

**„Waldbrände in den Nördlichen Kalkalpen -
raumzeitliche Verteilung und Beispiele lokaler Auswirkungen“**

Dissertation zur Erlangung des
naturwissenschaftlichen Doktorgrades (Dr. rer. nat.)
der Fakultät für Angewandte Informatik
der Universität Augsburg

vorgelegt von
Diplom-Geograph
Michael Heel
aus Nesselwang

Augsburg im April 2015

Erstgutachter:
Zweitgutachter:

Prof. Dr. Arne Friedmann
Prof. (apl.) Dr. Karl-Friedrich Wetzel

Tag der mündlichen Prüfung: 7.12.2015

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungen	XI
Glossar	XII
Vorwort	XIV
1. Einleitung	1
1.1 Einführung in die Thematik	1
1.2 Stand der Forschung	2
1.2.1 Aktuelle Projekte und Forschungsvorhaben	2
1.2.2 Aspekte der Feuerökologie	3
1.2.3 Brandhistorie	6
1.2.4 Auswirkungen von Waldbränden auf die Geomorphodynamik	8
1.2.5 Feuer und Vegetation	9
1.2.6 Feuer und Böden	12
1.3 Zielsetzungen der eigenen Untersuchungen:	13
2. Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebiets	14
2.1 Lage und Abgrenzung	14
2.2 Geologie	14
2.3 Geomorphologische und hydrologische Gegebenheiten	17
2.4 Klima	18
2.5 Vegetation	21
2.6 Böden	28
2.7 Raumnutzung, Natur- und Landschaftsschutz	31
3. Verwendete Methoden und Datenquellen	33
3.1 Rekonstruktion und Analyse der regionalen Waldbrandhistorie	33
3.1.1 Internet- und Literaturrecherche	33

3.1.2 Kontakte mit Fachleuten/-behörden, Zeitzeugen, Ortskundigen und Chronisten	35
3.1.3 Archivarbeit	36
3.1.4 Literatur- und Kartenstudium: Flurnamen in Landkarten	41
3.1.5 Geländebegehung	41
3.1.6 ¹⁴ C-Datierung von Holzkohle- bzw. Makroresten im Verbund mit Pollenanalysen	42
3.1.7 Aufbau eines Waldbrandinformationssystems	43
3.1.8 Datenanalyse	44
3.1.9 Fazit	45
3.2 Beurteilung des brandinduzierten morphodynamischen Prozessgeschehens	46
3.2.1 Issanger (Sedimentfallen, Denudationspegel, Geländekartierung)	47
3.2.2 Arnspitze (Sedimentfallen, Grobsedimentfallen, Lawinenabtragsbestimmung)	49
3.2.3 Aufgetretene Schwierigkeiten	51
3.3 Untersuchung der Vegetationsdynamik nach Bränden	53
3.3.1 Jährliches Artenmonitoring Brandfläche Issanger	53
3.3.2 Arten-Vergleichstudie Brandfläche Im Ödkarl Brennten	54
3.3.3 Zeigerwertanalyse von Pflanzen nach Ellenberg	55
3.3.4 Vergleich von Artbeständen nach Jaccard	55
3.3.5 Vegetationstypenanalyse	55
4. Darstellung der Ergebnisse	57
4.1 Die regionale Waldbrandhistorie	57
4.1.1 Räumliches Verbreitungsmuster der Waldbrände 1534-2010	57
4.1.2 Zeitliche Aspekte des regionalen Waldbrandgeschehens 1534-2010	62
4.1.3 Ausmaße der Waldbrände 1534-2010	69
4.1.4 Ursachen und Rahmenbedingungen der Waldbrände 1534-2010	75
4.1.5 Das extreme Waldbrandjahr 1947	83
4.1.6 Aspekte des subregionalen und lokalen Waldbrandgeschehens	87
4.2 Lokale Auswirkungen von Waldbränden	106
4.2.1 Gefährdung von Infrastruktur und Menschenleben	106
4.2.2 Schädigung von Vegetation und Boden	107
4.2.3 Verlagerungsdynamik von Boden	108
4.2.4 Anhaltende Schuttdynamik auf der Brandfläche Arnspitze Süd	116
4.2.5 Murgänge im Halltal 2008	117
4.2.6 Lawinenaktivität	118
4.2.7 Notwendigkeit von Rekultivierungs- bzw. Hangsicherungsmaßnahmen	122
4.2.8 Übersicht zum Rahmen finanzieller Schäden	125

4.3 Beispiele unterschiedlicher Vegetationsentwicklung nach Waldbränden	127
4.3.1 Die geschlossene Bedeckung mit Gehölzformationen	127
4.3.2 Die Dominanz fehlender bzw. sporadischer Vegetationsbedeckung	128
4.3.3 Das Nebeneinander von Gehölzen und alpinen Rasen	130
4.3.4 Die Etablierung (dichter) alpiner Rasen	131
4.3.5 Die Dominanz von Fels und Schutt bei Gehölzanteilen von > 20%	132
4.3.6 Vergleichsstudie zweier Areale aus dem Jahr 2003	133
4.3.7 Fazit	140
5. Diskussion der Ergebnisse	142
5.1 Das Waldbrandgeschehen in anderen Alpenregionen zum Vergleich	142
5.1.1 Waldbrandhäufigkeiten in den Nord-, Zentral- und Südalpen 1900-2010	142
5.1.2 Waldbrandhäufigkeiten in diversen Alpenregionen zwischen 1980 und 2010	147
5.1.3 Waldbrandflächen	149
5.1.4 Waldbrandsaisonalität	155
5.1.5 Waldbrandursachen	160
5.2 Bedeutung des regionalen Waldbrandgeschehens im globalen Kontext	163
5.2.1 Waldbrandhäufigkeiten	163
5.2.2 Waldbrandflächen	166
5.2.3 Waldbrandextreme	173
5.2.4 Waldbrandsaisonalität	175
5.2.5 Waldbrandursachen	178
5.3 Bewertung der lokalen Waldbrandfolgen im Vergleich zu anderen Regionen	181
5.3.1 Personen- und Infrastrukturschäden	181
5.3.2 Finanzielle Schäden und Aufwendungen für Feuerprävention	182
5.3.3 Bodenerosion	186
5.3.4 Murgänge	188
5.3.5 Lawinen	190
5.3.6 Die Regeneration von Waldbrandflächen	192
5.3.7 Klimawirksame und gesundheitsgefährdende Emissionen	202
6. Zusammenfassende Abschlussbetrachtung / Summary	206
7. Ausblick	215
Quellenverzeichnis	217
Anhang	247

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb.1: Wirkungsgefüge von Waldbränden im Gebirgsraum	2
Abb.2: Lage und Abgrenzung des Untersuchungsraums mit Lokalisierungen von Sonderstandorten	14
Abb.3: Übersicht zur Geologie des Untersuchungsraums	15
Abb.4: Geologische Profile durch Karwendel-, Wetterstein- und Mieminger-Geb.	16
Abb.5: Tektonische Gliederung des Untersuchungsgebiets	17
Abb.6: Niederschlagsverlauf an ausgewählten Messstationen	19
Abb.7: Temperaturverlauf an ausgewählten Messstationen	20
Abb.8: Mittlere Windrichtungen (1971-2000) an den Messstationen a) Ehrwald, b) Seefeld, c) Ibk	20
Abb.9: Höhenstufengliederung der mittleren Ostalpen	21
Abb.10: Vegetationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet	22
Abb.11: Postkarte von Hall i.T. vor (a) und nach (b) dem Waldbrand am Hochmahdkopf von 1923	34
Abb.12: In Kurrentschrift verfasstes Dokument aus dem Jahr 1852	40
Abb.13: Brand-Schuber aus der Schorn-Kartei (a) nebst Karteikarte zum Großbrand von 1705 (b)	40
Abb.14: Informationsbeiträge verschiedener Quellen zur Gesamtwaldbrandzahl	44
Abb.15: Maximale Reichweiten der verwendeten Informationsquellen	44
Abb.16: Sedimentfallenbauprinzip nach Hoinkis (2004)	47
Abb.17: Grobsedimentfalle an der Arnspitze	50
Abb.18: Lage der Monitoringflächen im Bereich der Brandfläche	54
Abb.19: Lage der dokumentierten Waldbrände im Untersuchungsgebiet	57
Abb.20: Absolute und relative subregionale Waldbrandhäufigkeiten im Untersuchungsraum	58
Abb.21: Verteilung der Waldbrände über verschiedene Höhenlagen	60
Abb.22: Waldbrände pro Dekade 1530-2010	62
Abb.23: Saisonale Verteilung der Waldbrände	64
Abb.24: Monatliche Verteilung der Waldbrände	65
Abb.25: Monatliche Häufigkeiten von Waldbränden unterschiedlicher Dauer	68

Abb.26: Häufigkeiten verschiedener Waldbrandkategorien	69
Abb.27: Die Entwicklung der Waldbrandflächen 1750-2010	70
Abb.28: Saisonabhängigkeit der Waldbrandausmaße	72
Abb.29: Waldbrandursachenverteilung	75
Abb.30: Absolute subregionale Waldbrandhäufigkeiten 1947 und 1534-2010	83
Abb.31: Vertikale Verteilung der Waldbrände 1947 und 1534-2010	84
Abb.32: Monatliche Verteilung der Waldbrände 1947 und 1534-2010	85
Abb.33: Subregionale Waldbrandhäufigkeiten pro Dekade 1900-2010	87
Abb.34: Saisonale Waldbrandverteilung in ausgewählten Subregionen	89
Abb.35: Monatliche Waldbrandverteilung in den vier bedeutendsten Subregionen	90
Abb.36: Weitgehend gehölzfreie Flächen des 1705er-Brandes am Hahnkamp 2008	94
Abb.37: Bekämpfung des Erdfeuers an der Arnspitze in mühsamer Handarbeit	96
Abb.38: Mehrere Brandherde an der Ostseite der Arnspitze 1947	97
Abb.39: Brandfläche Im Ödkarl-Brennten am Südabfall der Spritzkarlspitze	99
Abb.40: Brandfläche Issanger oberhalb des Weges zum Lafatscher Joch	100
Abb.41: Brandnachweise im Raum Scharnitz	102
Abb.42: Waldbrandchronologie "Im Ödkarl Brennten" mit Einzelnachweisen	105
Abb.43: Teilabschnitte der Brandflächen Schartlehner (a) und Bettelwurf (b)	107
Abb.44a-h: Vergleich der Abtragswerte an verschiedenen Messstandorten 2006-2010	110
Abb.45: Anteil des Erosionsmaterials > 2 mm von 2006 bis 2010	111
Abb.46: Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Abtrag	111
Abb.47: Dynamik von Erosion und Akkumulation 2006-2010 in den Denudationspegelfeldern 1-5	112
Abb.48.1: Vergleich der Kartierungen zur Morphodynamik auf der Brandfläche Issanger 2006/2008	113
Abb.48.2: Vergleich der Kartierungen zur Morphodynamik auf der Brandfläche Issanger 2009/2010	114
Abb.49: Abtragsvergleich 2008-2010 der Messstandorte Falle 1 und 2	115
Abb.50: Murgänge im Halltal aus dem Jahr 2008	117
Abb.51: Lawinenablagerungen auf den Schutthalden unterhalb der Arnspitze	118

Abb.52: Verlauf des einzugsgebietspezifischen Abtrags durch Lawinen an der Arnspitze 2004-2009	119
Abb.53: Lawinenpotential und -verbauungen im westlichen Karwendelgebirge	120
Abb.54: Lawinträchtige Waldbrandflächen an der Brunnsteinspitze bei Scharnitz	121
Abb.55: Holzschneebrücken und Verbügelungen am Hochmahdkopf	123
Abb.56a-c: Stadien der Wiederbewaldung der Brandfläche Kranebitterklamm 1920	128
Abb.57: Blick vom Härmelekopf auf die Waldbrandfläche Arnspitze Süd	129
Abb.58: Orthofoto mit eingegrenzter Brandfläche Fallbachgraben	130
Abb.59: Orthofoto mit eingegrenzter Brandfläche Thaurer Zunterkopf	131
Abb.60: Hüttenspitze 1866	132
Abb.61: Boden-Sonnenseite 1924	132
Abb.62: Vegetationsverteilung auf der Brandfläche Issanger 2009	134
Abb.63: <i>Verbascum thapsus</i> (a) u. <i>Coronilla vaginalis</i> (b) auf der Brandfläche Issanger	136
Abb.64: Brandgeschädigte Legföhren und weitgehend intakter Unterwuchs	139
Abb.65: Lage der inneralpinen Vergleichsgebiete	142
Abb.66: Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010	143
Abb.67: Schwankungsbreiten der absoluten (a) und relativen (b) jährlichen Waldbrandhäufigkeiten in den Nord-, Süd- und Zentralalpen	144
Abb.68: Schwankungsbreiten der absoluten (a) und relativen (b) jährlichen Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen	147
Abb.69: Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen 1980-2010	147
Abb.70: Jährliche Waldbrandflächen pro 100 km ² Wald in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010	149
Abb.71: Entwicklung der durchschnittlichen Waldbrandgröße in verschiedenen Alpenregionen	152
Abb.72: Entwicklung d. Durchschnittsbrandflächengröße in verschiedenen Alpenregionen 1980-2010	153
Abb.73: Waldbrandhäufigkeiten im Winterhalbjahr in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010	154
Abb.74: Jährliche Schwankungsbreiten des Winteranteils am Waldbrandjahresaufkommen in verschiedenen Alpenregionen 1980-2010	155
Abb.75: Prozentuale monatliche Waldbrandverteilung in verschiedenen Alpenregionen 1986 bis 2004	156
Abb.76: Monatliche Verteilung von Waldbränden im Kanton Tessin 1975-1999 und 1991-2006	157

Abb.77: Verteilung gängiger Waldbrandursachen in verschiedenen Alpenländern 1980-2010	159
Abb.78: Entwicklung des Anteils natürlicher und anthropogener Ursachen am Waldbrandgesamtaufkommen	160
Abb.79: Anzahl an Waldbränden pro 100 km ² in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010	165
Abb.80: Durchschnittliche Brandflächengröße in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010	169
Abb.81: Jährliche Waldbrandflächen in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010	172
Abb.82: Monatliche Brandhäufigkeiten in Spanien 2001-2010	176
Abb.83: Monatlich von Bränden betroffene Vegetationsflächen in Spanien 2001-2010	176
Abb.84: Monatliche Waldbrandhäufigkeiten [%] in Alberta 2001-2010	177
Abb.85: Monatliche Waldbrandflächen und -häufigkeiten in Kanada [%]	178
Abb.86: Foto aus dem 2009 von Waldbränden zerstörten russischen Dorf Mokhovoe	182
Abb.87: Mobiles Feuerbekämpfungsmaterial aus der Schweiz	185
Abb.88: Modell zur Entwicklung der Erosionsrate nach einem Vegetationsbrand	186
Abb.89: Vermurungen in Ronco sopra Ascona 1997 (a) und nahe San Bernardino 2003 (b)	189
Abb.90: Gefahrenkarte für Murgänge im nördlichen Los Angeles	190
Abb.91: Von Lawinenmassen begrabener Bahnwaggon im Winter 1910	191
Abb.92: 3m-hoher Schutzdamm oberhalb von Leuk	192
Abb.93: Erosionsschutz durch Querlegen von Baumstämmen und Mulchen	193
Abb.94: Vereinfacht dargestellter Wirkungskomplex diverser Einflussfaktoren bei der natürlichen Vegetationsentwicklung nach Waldbrand	195
Abb.95: Auswirkungen von Emissionen aus Vegetationsbränden auf das Ökosystem	202
Abb.96: Abschätzung der jährlichen regionalen Kohlenstoffemissionen im Zuge von Vegetationsbränden 1997-2009 in Megatonnen	203
Abb.97: Zusammensetzung des bei Vegetationsbränden freigesetzten Kohlenstoffs	203

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab.1: Höhenstufung der Böden in den Kalkalpen	28
Tab.2: Ansprechpartner aus den Sektoren Wald und Feuerwehr	35
Tab.3: Eingesehene Archivalien im TLA	38
Tab.4: Eigenschaften der Sedimentfallen und deren Einzugsgebiete (Ezg.)	48
Tab.5: Kategorien morphodynamischer Aktivität	49
Tab.6: Eigenschaften der Sedimentfallen und derer Einzugsgebiete (Ezg.)	50
Tab.7: Einzugsgebiete der Grobsedimentfallen	51
Tab.8: Waldbrände pro Gemeinde (n=499)	59
Tab.9: Waldbrände pro 10 km ² Gemeindegebietsfläche (n=467)	59
Tab.10: Verteilung der Waldbrände auf verschiedene Vegetationseinheiten	61
Tab.11: Statistische Eckdaten z. Waldbrandhäufigkeit 1534-1799, 1800-1899, 1900-2010, 1534-2010	63
Tab.12: Übersicht zu den waldbrandreichsten Jahren seit 1534	64
Tab.13: Jahreszeitliche Häufigkeiten von Waldbränden in verschiedenen Höhenlagen (n=238)	65
Tab.14: Monatliche Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Höhenlagen (n=236)	66
Tab.15: Waldbrände unterschiedlicher Dauer während verschiedener Zeiträume (n=499)	67
Tab.16: Häufigkeiten von Bränden bestimmter Dauer in verschiedenen Höhenlagen (n=361)	68
Tab.17: Rekurrenzintervalle von Ereignissen bestimmter Größe	70
Tab.18: Statistische Eckdaten zur jährl. Waldbrandflächengröße 1750-1899, 1900-2010, 1750-2010	71
Tab.19: Aufschlüsselung der Brandereignisse nach Größe und Höhenlage (n=187)	72
Tab.20: Monatliche Auftrittshäufigkeiten verschiedener Waldbrandklassen (n=219)	73
Tab.21: Statistische Eckdaten zu den monatlichen Waldbrandflächen 1810-2010 (n=218)	74
Tab.22: Übersicht zu Witterungs- u. Wetteranomalien in besonders waldbrandreichen Jahren	79
Tab.23: Übersicht zu Witterungsanomalien vor/während bedeutender Waldbrände	80
Tab.24: Häufigkeiten verschiedener Waldbrandkategorien 1947 (n=39)	86
Tab.25: Eckdaten zu den subregionalen Waldbrandchronologien	88

Tab.26: Mittlere Höhenverteilung der Waldbrände in ausgewählten Subregionen	90
Tab.27: Häufigkeiten einzelner Waldbrandkategorien, Schadflächensummen und durchschnittliche Brandflächengrößen in ausgewählten Subregionen	91
Tab.28: Wiederkehrzeiten von Ereignissen bestimmter Größe in verschiedenen Teilräumen [Jahre]	92
Tab.29: Nachweise holozäner Waldbrände im Raum Scharnitz	103
Tab.30: Variabilität von Erosion und Akkumulation innerhalb einzelner Pegelfelder 2006-2008	113
Tab.31: Gegenüberstellung Niederschlag-Erosionsmaterialgewicht verschiedener Messperioden 2009	115
Tab.32: Übersicht zur Verlagerungsdynamik im Bereich der Grobsedimentfallen	116
Tab.33: Eckdaten und entstandene finanzielle Schäden ausgewählter Waldbrände	125
Tab.34: Eckdaten der Waldbrandflächen mit geschlossenem Gehölzbestand 2011	127
Tab.35: Eckdaten der Waldbrandflächen mit sporadischer Vegetationsbedeckung 2010	129
Tab.36: Eckdaten der Waldbrandflächen mit einer Kombination aus alpinen Rasen und Gehölzen	131
Tab.37: Eckdaten gehölzarmer Waldbrandflächen mit sehr hohem Rasenanteil	132
Tab.38: Eckdaten der Brandflächen mit verbreiteter Vegetationsarmut bei Gehölzanteilen >20%	133
Tab.39: Ähnlichkeitskoeffizienten der Monitoringflächenvegetation nach JACCARD (1928)	135
Tab.40: Ausgewählte Zeigerwerte aus Monitoringfläche A3	135
Tab.41: Vegetationsbedeckungsgrade [%] und Artenzahlen auf den Monitoringflächen 2007-2009	137
Tab.42: Eckdaten der Vegetationskartierungen auf der Brandfläche Ödkarl 2008	138
Tab.43: Vegetationsaufnahmenvergleich Issanger (A) - Ödkarl (B) nach JACCARD (1928)	140
Tab.44: Ergänzende Eckdaten zu Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen	146
Tab.45: Waldbrandflächeninformationen aus diversen Alpenregionen, Angaben in Hektar	150
Tab.46: Saisonale Verteilung von Waldbränden in verschiedenen Alpenregionen	154
Tab.47: Absolute und relative Eckdaten ausgewählter regionaler Waldbrandhäufigkeiten 1970-2010	163
Tab.48: Eckdaten zur mittleren Brandflächengröße [ha] in verschiedenen Regionen 1970-2010	166
Tab.49: Eckdaten zur jährlichen Waldbrandfläche [ha] in verschiedenen Regionen 1970-2010	171
Tab.50: Bedeutende Waldbrandereignisse in Deutschland zwischen 1910 und 2010	173

Tab.51: Größere Brandereignisse zwischen 1910 und 2011 weltweit	174
Tab.52: Waldbrandursachenverteilung in verschiedenen Regionen der Erde (Angaben in %)	179
Tab.53: Besonders schadensträchtige Vegetationsbrände hinsichtlich Personen- / Infrastrukturschäden	181
Tab.54: Finanziell besonders schadensträchtige Vegetationsbrände in verschiedenen Regionen	183
Tab.55: Ablagerungsvolumina waldbrandinduzierter Murgänge in verschiedenen Regionen	188

Abkürzungen

ABS	Australian Bureau of Statistics
Abt.	Abteilung
AFFRI	Austrian Forest Fire Research Initiative
ALP FFIRS	ALPine Forest Fire waRning System
ANNO	AustriaN Newspapers Online
BC, v. Chr.	before Christ, vor Christi Geburt
BFV	Berufsfeuerwehrverband
BH	Bezirkshauptmannschaft(en)
BHSA	Bayerisches Hauptstaatsarchiv
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
EU	Europäische Union
FAO	Food and Agriculture Organization der United Nations
FDD	Forst- und Domänendirektion
FFW	Freiwillige Feuerwehr
FV	Forstverwaltung
FW	Feuerwehr
GFMC	Global Fire Monitoring Center
GP	Gendarmerieposten
Ibk	Innsbruck
IFFN	International Forest Fire News
KIÖS	Kommission für Interdisziplinäre Ökologische Studien
LFD	Landesforstdirektion
NIFC	National Interagency Fire Center
o.J.	ohne Jahr
o.S.	ohne Seitenangabe
Reg.-Z.	Registraturszeichen
SAM	Staatsarchiv München
SZ	Stammzahl
tiris	Tiroler Raumordnungs-Informationssystem
TLA	Tiroler Landesarchiv
TLM	Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum
ü. d. M.	über dem Meeresspiegel
UN	United Nations
WB	Waldbrand, Waldbrände
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Glossar

1. Waldbrand

In dieser Arbeit wird unter „Waldbrand“ ein Feuer von nicht näher definierter Größe im Wald oder in waldähnlichen Vegetationseinheiten wie Legföhren-, Grünerlen- oder Strauchbuchenbeständen verstanden, bei dem entweder der Boden, eine bestimmte Vegetationsschicht oder mehrere Elemente gleichzeitig betroffen sind. Als Wald gilt dabei eine mit bestimmten Holzgewächsen (forstlichem Bewuchs) bestockte Grundfläche, die mindestens eine Fläche von 1000 m² und eine durchschnittliche Breite von 10 m aufweist.

2. Feuerarten

In Abhängigkeit davon, welches Brandgut vom Feuer im Wesentlichen verbrannt wird, werden nach MCPHERSON ET AL. (1990) folgende Typen von Bränden unterschieden, wobei Mischformen ausdrücklich möglich sind:

a) Boden-/Erdfeuer

Mottendes Feuer, oftmals ohne Flamme, bei dem das unterirdische organische Brandgut (Bodenkomponenten, Wurzeln, Streu...) langsam verbrennt; wird oft fälschlicherweise für die Beschreibung eines Oberflächenfeuers verwendet, das sich aber zu einem Bodenfeuer entwickeln kann

b) Oberflächen-/Lauffeuer

Sich schnell ausbreitendes Feuer, bei dem nur das Brandgut an der Oberfläche (Streuaufgabe, niedere Vegetation) verbrennt

c) Kronenfeuer

Feuer, das sich mit mächtigen Flammen bis in die Baumkronen erstreckt und sich dort mehr oder weniger unabhängig vom Oberflächenfeuer ausbreitet

d) Bestandvernichtendes Feuer

Diesem Feuer fallen (fast) alle Bäume oder Sträucher zum Opfer; in Folge tritt eine sekundäre Sukzession oder eine Wiederbewaldung ein; normalerweise besteht diese Art von Feuer aus zwei oder drei der eben genannten Typen.

3. Feuerrekurrenzintervall

Durchschnittliche Zeitspanne in Jahren zwischen zwei aufeinander folgenden Waldbränden in einem bestimmten Gebiet während eines festgelegten Zeitraumes (MCPHERSON ET AL. 1990)

4. Feuerfrequenz

Waldbrandanzahl pro Zeiteinheit in einem bestimmten Gebiet (MCPHERSON ET AL. 1990)

5. Waldbrandsaisonalität

Jahreszeitliche Verteilung der Waldbrände; Frühjahr: März, April, Mai, weitere Jahreszeiten analog

6. Feuer- / Brandheftigkeit (im Sinne von *fire severity*)

Maß für den Verlust an ober- und unterirdischem organischem Material im Zuge eines Feuers. Aspekte aus dem Bereich ökosystemarer Auswirkungen, wie Erosion, Pflanzenregeneration oder faunistische Rekolonisation, fallen nicht hierunter (KEELEY 2009).

Kritisch ist anzumerken, dass Auswirkungen etwa von Insekten- oder Krankheitsbefall, wie von AGEE (2000), RIGLING ET AL. (2004) oder WASEM ET AL. (2010) beobachtet, sowie verstärkte Bodenerosion nach dem Brand einen höheren Schädigungsgrad und somit eine höhere Feuerheftigkeit vermuten lassen können, als tatsächlich gegeben war.

Anders als vielfach in der deutschsprachigen Fachliteratur wird in dieser Arbeit bewusst eine strikte Abgrenzung zum Begriff der Feuer- bzw. Brandintensität eingehalten, um eine Verwechslung mit der Begrifflichkeit *fire intensity* aus dem internationalen Sprachgebrauch zu vermeiden. *Fire intensity* ist gemäß KEELEY (2009) als Maß für die bei einem Feuer freigesetzte Energie zu verstehen.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand an der Universität Augsburg im Rahmen eines dreijährigen von der DFG geförderten Projektes mit dem Titel „Waldbrände in der montanen und subalpinen Stufe der Nördlichen Kalkalpen und deren Auswirkungen auf die Landschaftsdynamik“. Die Untersuchungen in Gelände und Archiv erstreckten sich über den Zeitraum März 2007 bis März 2010.

Innerhalb dieses Projektes entstanden u.a. unter Betreuung des Autors zahlreiche studentische Abschlussarbeiten, auf deren Ergebnisse z.T. zurückgegriffen wird. Ebenfalls fließen unter Mitwirkung des Autors aus dem Projekt hervorgegangene Publikationen in die vorliegende Doktorarbeit ein. Auf entsprechende Passagen wird im Text jeweils hingewiesen.

An dieser Stelle möchte ich noch einigen Personen, die maßgeblich zum Zustandekommen dieser Dissertation beigetragen haben, meinen besonderen Dank aussprechen.

Zu nennen sind zunächst die Professoren A. Friedmann, O. Sass und K.-F. Wetzel, auf deren Initiative die DFG-Förderung samt Doktorandenstelle zurückgeht. Während der gesamten Bearbeitungszeit standen sie mir mit Rat und Tat zur Seite und übernahmen freundlicherweise die Begutachtung der Dissertation.

Ferner ist besonders jenen Projektmitarbeitern zu danken, die mich bei den Geländearbeiten sowie deren Auswertung unterstützt haben: S. Böhm, C. Haida, M. Jüttner, R. Juraschek, B. Lang, I. Leistner, C. Schimmer, F. Stoeger, F. Weber.

Des Weiteren gebührt all denjenigen Dank, die mir Daten und Informationen aus den Bereichen Waldbrand, Forst, Kartographie und Lawinen zur Verfügung gestellt haben: H. Baier, M. Bauer, R. Bauer, G. Brenner, P. Hartl, R. Krebs, A. Krieglsteiner, S. Minerbi, H. Niedertscheider, M. Pezzatti, P. Steindl, D. Stöhr, A. Strudl, S. Tartarotti.

Ebenfalls zu erwähnen sind die Lesesaal-Mitarbeiter des Tiroler Landesarchivs, die mich zu Beginn meiner Archivstudien fachkundig beraten und mühevoll über Monate hinweg mit Archivmaterialien über die üblichen Kontingente hinaus versorgt haben.

Nicht vergessen möchte ich meine Freunde, welche mir sowohl mit mahnenden als auch aufmunternden Worten immer wieder zu neuer Motivation verhalfen und dann und wann für den notwendigen Ausgleich, für Unterkunft oder einen produktiven Arbeitsplatz sorgten.

Ein großes Vergelt's Gott abschließend an meine Eltern, die stets hinter mir standen und mich, wo immer möglich, unterstützten.

1. Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Das Ökosystem Wald übernimmt im Landschaftshaushalt und für den Menschen wichtige Funktionen. Hierzu zählen beispielsweise sein positiver Einfluss auf die Verfügbarkeit und Qualität von Wasser, sowie auf die Luftgüte und das Lokalklima (KÖNIG 2007).

Unbestritten ist auch die bedeutende Rolle von Wäldern als temporäre CO₂-Speicher, als Sauerstoffproduzenten und im Bereich Hochwasserschutz. In erster Linie sorgt hier die hohe Wasseraufnahmefähigkeit des Waldbodens im Idealfall für einen Wasserrückhalt in der Fläche und somit einen verzögerten Abfluss in Bäche und Flüsse. In diesem Zusammenhang sei auf weitere Schutzfunktionen von großem Belang hingewiesen: Zum einen kommt dem Wald gerade im Gebirge eine herausragende Bedeutung im Schutz von Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur vor Lawinen, Steinschlag und Muren zu. Zum anderen schränkt er Bodenerosion durch Wasser und Wind ein (WEINMEISTER 2003).

Überdies sind Wälder wertvolle Lebensräume für Tiere und Pflanzen. Nach GÖTTLE & SÈNE (1997) wächst beinahe die Hälfte aller Farn- und Blütenpflanzen Europas im Wald und in keinem anderen Ökosystem leben mehr Tiere.

Für den Menschen stellt der Wald sowohl einen Erholungs- als auch einen Lebensraum dar. Er gilt jedoch ebenso als ein wichtiger Wirtschaftsfaktor: Die Lebensgrundlage von über 1,6 Milliarden Menschen steht mit Wäldern in Verbindung (VEREINTE NATIONEN 2011); laut FAO (2013) wurde der Erlös aus dem Handel mit Holzprodukten im Jahr 2011 auf 504 Milliarden US-Dollar geschätzt.

Nichtsdestotrotz war im letzten Jahrzehnt global ein Nettoverlust von jährlich etwa 5,2 Millionen Hektar Wald zu verzeichnen, in den Neunzigerjahren waren es sogar noch 8,3 Millionen Hektar. Verantwortlich dafür zeichnen die beiden Ursachenkomplexe anthropogene Rodung, meist in Verbindung mit anschließender landwirtschaftlicher Nutzung oder dem Bau neuer Infrastruktur, sowie natürliche Umwelteinflüsse. Hierzu zählen u. a. Schädlingsbefall, Krankheiten, Stürme, Hochwasser, Dürren und Waldbrände, deren Entstehung oftmals aber auch auf menschliches Fehlverhalten zurück zu führen ist. Verlässliches Datenmaterial über diese Störungsformen liegt jedoch noch kaum vor. Eine Verbesserung des nationalen und globalen Monitorings auch im Bezug auf Waldbrände ist jedoch unumgänglich, um Voraussetzungen für verlässliche Risikoanalysen und effektive Schutzmaßnahmen zu schaffen. Gerade solche Ereignisse verheeren nämlich oft nicht nur ganze Landstriche, sondern sie bedrohen ebenso Existenzen und Leben (FAO 2010).

Häufige und katastrophale Waldbrände sind bisher insbesondere aus den wechselfeuchten Tropen, den sommertrockenen Subtropen und dem Gebiet des borealen Nadelwaldes bekannt. Es wird jedoch stark davon ausgegangen, dass es aufgrund des globalen Klimawandels zukünftig auch in anderen Regionen, wie z. B. im europäischen Alpenraum, zu einer weiteren Ausbreitung und Verschärfung dieses Phänomens kommen wird (SCHUMACHER & BUGMANN 2006; PARRY ET AL. 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2008; ZUMBRUNNEN ET AL. 2011).

Diese Annahme und die damit verbundene steigende Gefahr von Bodenerosion, Steinschlag, Lawinen und Murgängen in Folge von Schutzwaldzerstörungen durch Feuer lassen die Beschäftigung mit Waldbränden und deren Auswirkungen in den Alpen von Seiten der Wissenschaft und der Behörden immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Dabei gilt es allerdings, die Ereignisse samt ihren Auswirkungen und Rückkopplungen als Gesamtkomplex (Abb.1) zu betrachten, wobei für ein möglichst weit reichendes Verständnis von aktuellen und zukünftigen Entwicklungen die Kenntnis der Gegebenheiten während der Vergangenheit von großem Wert ist (ASSELIN & PAYETTE 2005; CONEDERA ET AL. 2009).

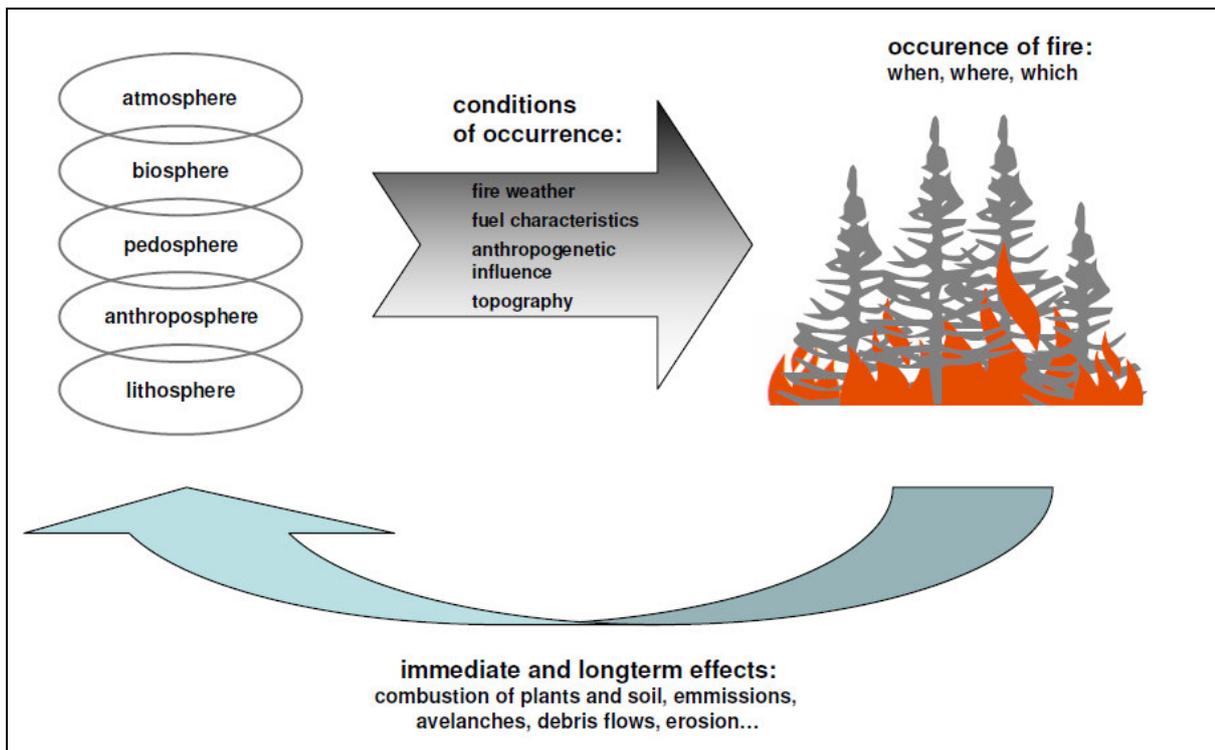


Abb.1: Wirkungsgefüge von Waldbränden im Gebirgsraum (nach CONEDERA ET AL. 2009)

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Aktuelle Projekte und Forschungsvorhaben

An augenblicklichen länder- und/oder institutionsübergreifenden Waldbrandforschungsprojekten im Alpenraum ist beispielsweise das von der EU geförderte ALPine Forest Fire waRning System (ALP FFIRS) zu nennen. Insgesamt 14 öffentliche Institutionen aus Frankreich, Italien, Slowenien, Österreich, Deutschland und der Schweiz arbeiten darin an der Entwicklung eines gemeinsamen Waldbrandwarnsystems unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Witterungsbedingungen und Vegetationsverhältnisse. Eine Analyse der Zusammenhänge zwischen der Häufigkeit und Verteilung von Waldbränden soll es möglich machen, die Waldbrandgefahr im Gebirgsraum modellhaft

darzustellen. Oberstes Ziel ist die Bereitstellung einer Entscheidungshilfe für Behörden und Feuerwehren sowohl zu einer besseren Einschätzung der Waldbrandgefahr als auch zu einer verbesserten Feuerbekämpfung (ALP FFIRS 2009).

Ebenfalls Erwähnung finden sollte die Austrian Forest Fire Research Initiative (AFFRI), eine Kooperation der Institute für Waldbau, für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, für Meteorologie sowie dem Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft der BOKU Wien mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Diese Forschungsinitiative beschäftigt sich insbesondere mit der Identifizierung der Waldbrandschwerpunkte in Österreich in Abhängigkeit von Vegetation, Klima und Lageparametern sowie mit der Modellierung dieser „hot spots“ im Hinblick auf den Klimawandel auch unter Berücksichtigung verschiedener Bewirtschaftungsarten des Waldes (BOKU WIEN 2009).

Das Institut für Waldbau der BOKU Wien ist ferner Partner des Centre for Climate Change Adaption Technologies (alpS) und des Instituts für Geographie und Raumforschung der Universität Graz im Projekt Fire Risk Austria (FIRIA). Im Rahmen dieser Zusammenarbeit geht es vordringlich darum, brandgefährdete Regionen im alpinen Raum zu lokalisieren, die zukünftige Entwicklung der regionalen Waldbranddynamik und der daraus resultierenden Auswirkungen insbesondere in Form von Naturgefahren zu prognostizieren und entsprechende Anpassungsstrategien zu erarbeiten (SASS 2010).

Neben dieser Auswahl an auf den Alpenraum beschränkten Forschungsvorhaben sei noch auf weitere Projekte auf europäischer bzw. globaler Ebene verwiesen. Zu nennen wäre etwa das European Forest Fire Information System (EFFIS) des Joint Research Centres (JRC) der Europäischen Kommission oder das Global Wildland Fire Monitoring Center (GMFC) in Verbindung mit der UNISDR Wildland Fire Advisory Group und dem Global Wildland Fire Network. Letzterem sind eine ganze Reihe an regionalen und nationalen Projekten untergeordnet, wie z. B. auch AFFRI oder ALP FFIRS, die im subregionalen Euro-Alpine Network organisiert sind (vgl. JRC - EUROPEAN FOREST FIRE INFORMATION SYSTEM 2012; GMFC 2011).

1.2.2 Aspekte der Feuerökologie

In der Literatur findet sich u. a. mit den Werken von DEBANO ET AL. (1998), JOHNSON & MIYANISHI (2001), WHELAN (2002), OMI (2005) oder WUERHNER (2006) eine Reihe ganzheitlicher Betrachtungen, die sich mit der Wirkungsweise und Ökologie von Vegetations- bzw. Waldbränden beschäftigen. Anders als z. B. in BOND & VAN WILGEN (1996), die sich eingehend mit dem Komplex Feuer-Pflanze auseinandersetzen, werden hier etwa Gesichtspunkte der Auswirkungen von Feuer auf Tiere, den Boden oder das Abfluss- und Abtragsgeschehen ebenso behandelt, wie die Bedeutung von chemischen und physikalischen Prozessen in diesem Zusammenhang. Darüber hinaus werden die bisherige Rolle

von Feuer im soziökonomischen und ökologischen Kontext sowie Ansätze für einen zukünftigen, nachhaltigen Umgang damit diskutiert.

Im Allgemeinen handelt es sich bei den meisten Arbeiten jedoch um räumlich und/oder thematisch begrenzte Untersuchungen, die sich also auf eine Region und/oder einen bestimmten Aspekt aus dem Themenkomplex Feuer und seine Folgen beschränken. Gerade aus den oben erwähnten Gebieten liegen zahlreiche umfassendere Werke vor. So z. B. die Aufsatzsammlung von COCHRANE (2009a), der eine großzügige Übersicht zur Feuerökologie in den Tropen gibt, wo Brände bereits in einzelnen Ländern jährlich mehrere Millionen Hektar Wald vernichten und ökonomische Schäden in Milliardenhöhe verursachen können (GOLDAMMER 1993; 1997; BARBOSA & FEARNSTIDE 1999; RUITENBEEK 1999; UNEP 2000; COCHRANE 2003). Die Waldbrände werden mittlerweile hauptsächlich direkt oder indirekt vom Menschen verursacht (vgl. GOLDAMMER 1990; BALCH ET AL. 2009; BAKER & BUNYAVEJCHEWIN 2009; KULL & LARIS 2009), die auf natürliche Weise durch Blitzschlag entstandenen Feuer verlieren im Vergleich zusehends an Bedeutung (GOLDAMMER 1997). Der zunehmende anthropogene Einfluss führt zudem nach Ansicht von COCHRANE (2009b) zu einer dramatischen Verkürzung der Waldbrandintervalle. Im Amazonas etwa konnte eine Reduzierung von einst mehreren hundert, wenn nicht tausend Jahren (KAUFMANN & UHL 1990), auf fünf bis zehn Jahre in heutiger Zeit nachgewiesen werden (COCHRANE 2001). Ähnliche Zahlen werden für das südliche Afrika von ABAKERLI (2001) und ALBANO (2003) genannt, die von aktuellen Wiederkehrzeiten im Bereich von ca. 10 Jahren ausgehen. MYERS & RODRÍGUEZ-TREJO (2009) berichten von noch kürzeren Waldbrandrekurrenzenintervallen in Kiefernbeständen, die zwischen einem Jahr und fünf Jahren liegen dürften.

Das Waldbrandgeschehen und dessen Folgen in mediterranen Ökosystemen stehen im Zentrum eines weiteren Sammelwerks, das von CHUVIECO (Hrsg. 2009) stammt, der auf eine lange Tradition der Mensch-Feuer-Beziehung in diesem Raum verweist, die sich u. a. in einer an wiederkehrendes Feuer angepassten Vegetation niedergeschlagen hat. Es ist jedoch zu erkennen, dass in Folge des Klimawandels und Veränderungen von menschlichen Verhaltensweisen Brände bzw. deren Intensität während der letzten Jahrzehnte zugenommen haben und immer schwerwiegendere Folgen für Mensch und Natur damit verbunden sind (MORENO ET AL. 1998; SYPHARD ET AL. 2007; LEONE ET AL. 2009; PÉREZ-CABELLO ET AL. 2009; USTIN ET AL. 2009). Für die euromediterrane Region (Portugal, Spanien, Frankreich, Italien, Griechenland) beispielsweise, in der zwischen 1980 und 2006 pro Jahr durchschnittlich 600.000 ha Wald gebrannt haben, konnten SAN-MIGUEL-AYANZ ET AL. (2009) einen Anstieg der Waldbrände von rund 30.000 (1980) auf über 45.000 (2006) feststellen. Über 2/3 der 2816 Feuer mit einer Fläche von mehr als 500 ha ereigneten sich dabei nach CAMIA & AMATULLI (2009) in den Monaten Juli (28 %) und August (40 %). Je nach Land liegt der Anteil an Blitzschlagbränden zwischen einem und 5 % (ALEXANDRIAN ET AL. 1999). Die verbreitet auftretende Verkürzung der waldbrandfreien Zeit kann trotz der mannigfaltigen Anpassungsmechanismen der regionalen Vegetation zur Zurückdrängung ursprünglich vorhandener Arten und zur Invasion neuer Spezies führen, die ihrer-

seits wiederum häufigere Brände begünstigen (MOONEY & CLELAND 2001; KEELEY 2006; FORSYTH & VAN WILGEN 2008; GONZALES & RIOS 2009).

Mit Waldbränden in den borealen Wäldern beschäftigten sich u.a. KASISCHKE & STOCKS (2000) sowie GOLDAMMER & FURYAEV (1996) umfassend, die zahlreiche Aufsätze zu dieser Thematik zusammen getragen haben. Wie in den Tropen und im mediterranen Raum wird auch in dieser Ökozone das Waldbrandgeschehen mittlerweile maßgeblich vom Menschen beeinflusst (vgl. TRETER 1994; PYNE 1996; KOROVONIN 1996; GOLDAMMER & STOCKS 2000; DAVIDENKO ET AL. 2003). Auf Blitzeinschläge zurückzuführende Waldbrände spielen nichtsdestotrotz weiterhin eine wichtige Rolle, da sie besonders in dünn besiedelten Gebieten etwa Alaskas oder Russlands immer noch einen nicht unerheblichen Teil der Ereignisse (38,5 % bzw. 50-70 %) ausmachen und beispielsweise in Kanada durchschnittlich für 85 % der gesamten Schadfläche verantwortlich sind (KASISCHKE ET AL. 2006; DAVIDENKO & KOVALEV 2004; STOCKS ET AL. 2010). Aus Literaturvergleichen kamen SHVIDENKO & NILSSON (2000) zu dem Schluss, dass die Waldbrandrekurrenzintervalle in Abhängigkeit vom Waldtyp, von der geographischen Lage, von der Verfügbarkeit von Zündquellen und vom Maß und Erfolg von Verhinderungsmaßnahmen räumlich und zeitlich im nördlichen Eurasien stark variieren. In lichten Nadelwäldern mit den Hauptbaumarten *Pinus* und *Larix* liegt nach ihren Untersuchungen die mittlere Feuerfrequenz im Bereich zwischen 15-20 und 60-70 Jahren, die in trockenen Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte aber auch nur vier bis 15 Jahre betragen kann. In dichten Koniferenwäldern dagegen sind Zeiträume von 70-90 bis 150-180 Jahren normal. SANNIKOV & GOLDAMMER (1996) gehen von unterschiedlichen Wiederkehrzeiten auf nord- und südexponierten Hängen zwischen 30-50 bzw. fünf bis 50 Jahren in montanen Nadelwäldern Nordostchinas aus. In Folge der kurzen Brandintervalle auf den Südseiten kommt es zur Einwanderung von Pyrophyten mit *Pinus sylvestris* als dominierender Art. Die jährlich von Waldbränden betroffenen Flächen liegen in den borealen Wäldern Finnlands und Schwedens je nach Trockenheitsverhältnissen laut NIKLASSON & GRANSTRÖM (2004) und FAO (2006a) aktuell zwischen einigen hundert und einigen tausend Hektar, denen knapp 1000 bzw. 2100 bis 3500 Brandereignisse gegenüberstehen. In Kanada ereigneten sich der FAO (2006b) zu Folge in der Periode 2000-2004 im Schnitt rund 7300 Feuer pro Jahr, die zusammen im Mittel eine Schadfläche von über 1,6 Mio. ha aufwiesen. Auch einzelne Waldbrände mit Ausmaßen von mehr als 100.000 ha sind laut STOCKS ET AL. (2010) in Kanada keine Seltenheit, von über eine Million Hektar großen Ereignissen existieren ebenfalls Aufzeichnungen. Die für Russland aus Satellitenbeobachtungen abgeleiteten Werte ergeben für denselben Zeitraum eine durchschnittliche annuelle Waldbrandfläche von 6,46 Mio. Hektar bei ca. 4600 Bränden (GOLDAMMER ET AL. 2008).

1.2.3 Brandhistorie

Wie bereits angedeutet, ist sowohl für das Verständnis und Management rezenter Vorgänge als auch für Vorhersagen zukünftiger Entwicklungen das Wissen um die Vergangenheit unerlässlich. Es haben sich daher bereits einige Autoren unter Verwendung verschiedener Methoden mit der Rekonstruktion von regionalen Waldbrandhistorien bzw. -chronologien mit unterschiedlichen zeitlichen Horizonten befasst. Über den aktuellen Stand des Methodenspektrums für die Beleuchtung eines Zeitraumes von Jahrhunderten bis Jahrtausenden geben CONEDERA ET AL. (2009) einen detaillierten und diskursiven Überblick. Sie weisen außerdem ausdrücklich darauf hin, dass es trotz zunehmenden Interesses seitens der Forschung leider immer noch an ausreichender Kenntnis der vorrezenten Störungsdynamik durch Feuer mangelt.

Eine erste mögliche Verfahrensweise zur Rekonstruktion des vergangenen Waldbrandgeschehens besteht im Nachweis einer entsprechenden NH_4^+ -Konzentration in Eisbohrkernen. Mit dieser Methode erzielten YALCIN ET AL. (2006) im Norden Kanadas in Form einer 1000-jährigen Zeitreihe gute Ergebnisse, die sich auch mit amtlichen Aufzeichnungen zufrieden stellend korrelieren ließen. An Resultaten lässt sich u. a. eine hohe Feueraktivität zwischen 1240 und 1410 während der mittelalterlichen Wärmeperiode, in den 1760er, 1780er, 1840er, 1860er, 1880er, 1890er, 1920er-1940er sowie in den 1980er Jahren zusammenfassen.

Andere chemische Marker, die mit der Verbrennung von organischem Material in Verbindung stehen, wie etwa Anhydride von Monosacchariden in Form von Levoglucosan, Galactosan oder Mannosan, Phenole wie z. B. Vanillin oder Vanillinsäure, oder Triterpenoide (α -Amyrone und β -Amyrone) sind nach OTTO ET AL. (2006) eine weitere gute Option für die Bestätigung von Brandereignissen. Benzen-carboxylsäuren (BCPAs), die ebenfalls Verwendung finden (vgl. GLASER ET AL. 1998), zählen zu den Markern zweiten Grades, die aus chemisch-physikalischen Transformationen primärer Verbrennungsprodukte entstehen (CONEDERA ET AL. 2009).

Mit Hilfe von jahringanalytischen Untersuchungen dagegen haben PAGE ET AL. (1997) für den Tiveden-Nationalpark in Südschweden eine von 1371 bis 1984 reichende Feuerchronologie erstellt und mit der Landnutzungs- und Siedlungsgeschichte abgeglichen. Dabei konnten sie über Jahrhunderte hinweg eine bedeutende Rolle von Waldbränden feststellen, wobei menschliche Eingriffe in das natürliche Brandgeschehen seit dem Ende des Mittelalters zu verzeichnen gewesen sind. In Ergänzung zu dendrochronologischen Auswertungen verwendeten BIGIO ET AL. (2010) in den Rocky Mountains Holzkohle führende alluviale Sedimente für den Nachweis von Waldbränden in der Vergangenheit. Dabei wurden zunächst zwei separate Jahrreihen erzeugt, die dann verglichen und zu einer rund 3000 Jahre umfassenden Waldbrandhistorie kombiniert wurden. Hierbei reichten die Ergebnisse der Jahringdatierung bis 1679, die der Radiokarbondatierung bis 2884 cal. yr. BP zurück. Aus den dendrochronologischen Analysen konnte in dem einen Quadratkilometer großen Untersuchungsraum für den Zeitraum 1679-1879 ein Wiederkehrintervall von Waldbränden in der Größenordnung von ca. 14 Jahren abgeleitet werden.

Ebenfalls in den Rocky Mountains haben SANBORN ET AL. (2006) aus Holzkohlelagen in colluvialen und alluvialen Schwemmfächersedimenten eine Waldbrandchronologie entwickeln können, die fast das ganze Holozän abdeckt. Sie konnten ein mittleres Feuerrekurrenzintervall von 800-1200 Jahren ermitteln, gehen aber davon aus, dass der tatsächliche Wert etwas niedriger liegt, da sich wohl nicht jedes Brandereignis in den Ablagerungen niedergeschlagen hat.

Bei ihren Untersuchungen zur Feuergeschichte und -ökologie im subalpinen Nadelwald in den Schweizer Zentralalpen kommen STÄHLI ET AL. (2006) mittels einer Analyse von Holzkohlepartikeln aus Mooren auf mittlere Feuerrekurrenzintervalle von 230 Jahren in Beständen von *Pinus mugo*, während sich für *Picea-abies*-Wälder Werte von über 600 Jahren ergeben. Ebenfalls in der Schweiz versuchten ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) die Verknüpfung der regionalen Klimavariabilität mit dem historischen Waldbrandgeschehen während des 20. Jahrhunderts im Wallis. Sie verglichen dabei den Einfluss von Temperatur, Niederschlag, Trockenheit und Föhn auf Feuerhäufigkeit und -saisonalität sowie die Größe der Brandfläche. Die entsprechenden Waldbrandinformationen konnten sie Archiven der kantonalen Forsteinrichtungen entnehmen. An Ergebnissen lässt sich u. a. festhalten, dass sich im Schnitt etwa neun Brände im Jahr ereigneten, der saisonale Schwerpunkt bei den Feuern in den Monaten März/April und Juli/August liegt, dass die Zusammenhänge in der subalpine Stufe andere sind als in den darunter liegenden Zonen und dass der anthropogene Einfluss im Vergleich zu jenem der Temperatur in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts stark an Bedeutung gewonnen hat. Weiters erwähnenswert ist ihre Feststellung, dass es bis dato vergleichsweise nur wenige Publikationen aus den Alpen zur Waldbrandgeschichte gibt und sich diese meist nur mit kurzen Zeiträumen von wenigen Jahrzehnten befassen (vgl. BURESTI & SULLI 1983; STEFANI 1989; CESTI & CERISE 1992; CONEDERA ET AL. 1996; GOSSOW ET AL. 2008). Zu den Veröffentlichungen mit größerer zeitlicher Reichweite zählen etwa jene von BERLI ET AL. (1989) und TINNER ET AL. (1998, 1999) aus den Schweizer Südalpen, von GIMMI ET AL. (2004) und BENDEL ET AL. (2006) aus dem Wallis oder die Zusammenschau für die gesamte Schweiz von TINNER ET AL. (2005a) sowie die Arbeit von CARCAILLET (1998) aus den nördlichen Französischen Alpen. TINNER ET AL. (1998) brachten in den Alpen erstmals Holzkohleablagerungen in Seesedimenten mit historischen Waldbrandaufzeichnungen in Verbindung und fanden heraus, dass gerade die Konzentration von Partikeln mit einer Größe von mehr als 75 µm gut mit der Anzahl von Waldbränden innerhalb eines Einzugsgebietsradius' von 20 bis 50 km korreliert. Zu einer Verbesserung der Aussagekraft von holzkohleanalytischen Untersuchungen trugen weiterhin ASSELIN & PAYETTE (2005) und CARCAILLET ET AL. (2007) bei.

Im Bereich der Nördlichen Kalkalpen wurde der Waldbrandproblematik bisher gerade von wissenschaftlicher Seite her nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt, wie TINNER ET AL. (2005a) kritisch bemerken. Es fehlt bis heute eine systematische Aufarbeitung der Feuergeschichte in dieser Region. Erste Ansätze sind bei GREMBLICH (1893) zu erkennen, der in seinem Aufsatz zum Legföhrenwald auf einige größere, durch Brände verwüstete Latschenbestände im südlichen Karwendelgebirge bei Absam verweist. Intensiv dagegen hat sich GRABHERR (1934, 1936, 1946/49, 1963) mit dem Einfluss des

Feuers auf die Wälder in Tirol auseinandergesetzt. Zunächst erfolgte eine Zusammenstellung von Waldbrandereignissen aus historischen Quellen und mündlichen Mitteilungen für Nordtirol samt einer entsprechenden Auswertung der Ursachen sowie der räumlichen und jahreszeitlichen Verteilung der Brände mit Schwerpunkt auf der weiteren Umgebung von Innsbruck (GRABHERR 1934). Auf der Grundlage der hierbei gewonnenen Erkenntnisse untersuchte er schließlich die Vegetationsdynamik auf verschiedenen Brandflächen im Karwendelgebirge (GRABHERR 1936). Weitere Arbeiten zu den Legföhrenwäldern bei Hall in Tirol (GRABHERR 1946/49) und zur Schwarzkiefer als Waldbaum in Tirol folgten (GRABHERR 1963), in denen ebenfalls Bezug zu Waldbränden genommen wird.

Einen außergewöhnlich großen Waldbrand, der sich 1705 über mehrere Täler hinweg im Karwendel ereignete, beschreibt HOCHENEGG (1955) näher. Auf die Verbreitung von Gehölzen im Raum Schwaz in Abhängigkeit von Klima und Gestein geht GAMS (1951) ein und gibt bei der Beschreibung des zusätzlichen Einflusses von Waldbränden Auskunft über die genauere Verortung einiger Brandereignisse. Auch in der forstlichen Literatur aus dem nordtiroler und bayrischen Raum finden sich einige Ausführungen zu Waldbränden, zu Verhinderungs- und Löschmaßnahmen oder ihren schädlichen Auswirkungen (GRÖBEL 1898; SCHIMITSCHEK 1947; LANDESFORSTINSPEKTION FÜR TIROL 1948 und 1952; JAHN & SCHIMITSCHEK 1950 und 1951; OBERRAUCH 1952; KLEBELSBERG 1954b; JULIO 1979).

1.2.4 Auswirkungen von Waldbränden auf die Geomorphodynamik

Speziell mit der Frage nach dem Einfluss von Bränden auf das morphodynamische Prozessgeschehen, angefangen von der Verwitterung - vergleiche auch DORN (2003) - über das Abflussverhalten bis hin zu Murgängen oder Lawinen, haben sich SHAKESBY & DOERR (2006) eingehend beschäftigt. Sie kamen bei der Zusammenschau von Forschungsergebnissen aus unterschiedlichen Regionen der Erde eindeutig zu dem Schluss, dass die Vernichtung der Vegetation durch Feuer einen sehr bedeutenden Steuerungsfaktor in diesem Zusammenhang darstellt. Das gleiche Fazit ziehen unter Einbeziehung ausreichender Niederschläge MOODY & MARTIN (2009) bei ihren Untersuchungen zur feuerinduzierten bzw. -modifizierten Geomorphodynamik unter verschiedenen Regenregimen im Westen der USA. Außerdem stellten sie auf der Grundlage von Literatur aus 80 Forschungsjahren fest, dass der Sedimentaustrag in Gerinnen signifikant höher als im Bereich von Hangflächen gewesen ist. Untersuchungen zu Verlagerungsprozessen nach Bränden in Gebirgsregionen liegen darüber hinaus u. a. aus dem Westen Nordamerikas von WONDZELLA & KING (2003), ROERING & GERBER (2005), BENAVIDES-SOLORIO & MACDONALD (2005), PETTICREW ET AL. (2006) sowie CANNON ET AL. (2001) und SANTI ET AL. (2008) vor, wobei sich die beiden letztgenannten insbesondere auf Murgänge in Folge einer Vegetationszerstörung durch Feuer beziehen. Aus dem europäischen Raum sind an neueren Arbeiten jene von FERNANDEZ ET AL. (2005) und CERDÁ & LASANTA (2005) zu nennen, die im gebirgigen Nordspanien Erosionsvorgänge zu quantifizieren versuchten.

Eine der wenigen Studien aus den Alpen in diesem Forschungsfeld stammt von MARXER (2003) zu Oberflächenabfluss und Bodenerosion auf Brandflächen in der Südschweiz im Raum Locarno-Bellinzona. An Ergebnissen ist festzuhalten, dass auf den meist weniger als ein Hektar großen Brandflächen in der collin-submontanen Stufe zwischen 200 und 850 m ü.d.M. verminderte Wasserinfiltration, erhöhter Oberflächenabfluss und eine verstärkte Bodenerosion im Vergleich zu ungestörten Verhältnissen zu konstatieren waren. An steuernden Faktoren wurde u. a. eine Kombination aus Feuerintensität und -frequenz ausgemacht, welche maßgeblichen Einfluss auf die Bodenbedeckung und das Pflanzenwachstum nach einem Brand haben. Die maximalen Abtragsraten in den ersten beiden Untersuchungsjahren betrugen beim Feinboden $3,3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$, lagen im Schnitt jedoch unter $0,5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$.

In derselben Region ereignete sich 1997 ein 132,5 Hektar großer Waldbrand, dem nach zweimonatiger Trockenheit ein von einem Starkregenereignis ausgelöster Mureabgang folgte. Bei der Untersuchung möglicher Zusammenhänge stellten CONEDERA ET AL. (2003) eine durchschnittlich um den Faktor 2,8 niedrigere Infiltration auf von Feuer beeinflussten Flächen, etwa eine Verdoppelung des Oberflächenabflusses und ein Volumen von mehr als 3000 m^3 an bewegtem Material fest. Nach ihrer Einschätzung wäre es ohne den vorangegangenen Waldbrand nicht zum Abgang der Mure gekommen. Außerdem weisen CONEDERA ET AL. (2003) auf zwei weitere Ereignisse dieser Art aus dem Südalpenraum im Piemont an der Grenze zum Aostatal und im Veltlin hin.

1.2.5 Feuer und Vegetation

Studien zu weiter zurückliegenden Vegetationszuständen sind in Folge methodischer und ökologischer Zusammenhänge meist eng mit Untersuchungen zur langzeitlichen Feuergeschichte verbunden. Es darf daher nicht verwundern, dass an dieser Stelle auch auf einige bereits genannte Autoren nochmals verwiesen wird, die insbesondere im Alpenraum entscheidende Erkenntnisse in diesem Forschungssektor zu Tage förderten.

Gewissermaßen eine Vorreiterrolle nehmen hier Schweizer Wissenschaftler ein, die für einzelne Landesteile, wie z. B. das Tessin (TINNER ET AL. 1999), das Schweizer Mittelland (TINNER ET AL. 2005b), das Engadin (GOBET ET AL. 2003; STÄHLI ET AL. 2006) und das Wallis (BENDEL ET AL. 2006) die Entwicklung der Vegetation im Postglazial unter dem Einfluss von Feuer, Mensch und Klima erforschten. Nach GOBET ET AL. (2003) stand die starke Ausbreitung von *Alnus viridis* und der Rückgang von *Pinus cembra* im oberen Engadin während der frühen Bronzezeit ebenso in enger Verbindung mit einer erhöhten Feueraktivität, wie die Etablierung der ersten bedeutenden Lärchen-Weidegründe in der subalpinen Stufe. Die starke Zunahme menschlicher Aktivitäten in diesem Zeitraum wird dabei ausdrücklich betont. Auch bei STÄHLI ET AL. (2006) findet sich der Hinweis auf eine Steigerung des Brandgeschehens in Zusammenhang mit einer Intensivierung der anthropogenen Landnutzung vor rund 2000 Jahren im Münstertal. Nichtsdestotrotz sprechen STÄHLI ET AL. (2006) von Feuern als einem natürlichen Vorgang in den Alpen, der einen großen Einfluss auf die subalpinen

Nadelwälder im Schweizer Nationalpark ausgeübt hat. Beispielsweise trugen Brände massiv zum Fortbestand von Spirken-Beständen über das mittlere und späte Holozän hinaus bei.

Ähnliche Untersuchungen, wie eingangs des Kapitels erwähnt, wurden ebenso im nördlichen Alpenvorland in der Nähe des Bodensees durchgeführt. CLARK ET AL. (1989) kommen darin u. a. zu dem Schluss, dass Brände mutmaßlich an der Umwandlung des bis etwa 5400 v. Chr. dominanten Haselgebüsches in Eichenmischwälder eine Rolle gespielt haben. Weiterhin nehmen sie an, dass in diesen Eichenmischwäldern zwischen 5300 und 3800 v. Chr. durchschnittlich alle 250 Jahre natürliche Waldbrände aufgetreten sind. Die um 3500 v. Chr. einsetzenden Umweltveränderungen dagegen gehen sehr wahrscheinlich auf von Menschen verursachte Brände zurück, die zu einer Verdrängung der Buchenwälder durch Haselgebüsch und Birkenwälder führten.

Einen Überblick über die gesamte Schweiz geben TINNER ET AL. (2005a) und CONEDERA & TINNER (2010). Letztere berichten von einer starken Verarmung der Waldvegetation des Mittellandes und der Nordalpen durch frühere menschliche Feuer. Diese förderten über Jahrtausende relativ störungsresistente Arten wie *Fagus sylvatica* oder *Quercus robur* in ihrer Ausbreitung in der collinen und montanen Stufe des Mittellandes sowie von *Picea abies* in der subalpinen Stufe der Nordalpen. Der Baumartenverarmung steht durch die Schaffung und Erhaltung offener Lebensräume wie Wiesen und Weiden durch anthropogene Brände ein Ansteigen der allgemeinen Artenvielfalt gegenüber.

Weitere Arbeiten aus den Alpen liegen u. a. von ALI ET AL. (2005) zu holozänen Vegetationsveränderungen nach Bränden in den inneren Französischen Alpen oder von WICK & MÖHL (2006) bezüglich des möglichen mittelholozänen Verschwindens von *Abies alba* in den Südalpen auf Grund zunehmender Feuerhäufigkeit vor.

Von den eben beschriebenen Forschungsvorhaben mit einem weiter gefassten zeitlichen und räumlichen Horizont sind jene zu unterscheiden, die sich mit der unmittelbaren, kurzfristigen Wiederbesiedlung meist einzelner Brandflächen befassen. Vor allem in Regionen mit großflächigen Feuern wird schon länger mit Hilfe von Fernerkundung sowohl der Schädigungsgrad der Vegetation als auch die Art und Weise des Wiederbewuchses erfasst (PATTERSON & YOOL 1998; DÍAZ-DELGADO ET AL. 2003; HERNANDEZ CLEMENTE ET AL. 2009).

Mit konventionellen Methoden im Gelände haben hingegen WOHLGEMUTH ET AL. (2005, 2006, 2010) die initiale Wiederbesiedlung einer Waldbrandfläche von 2003 bei Leuk im Wallis v. a. im Hinblick auf deren Geschwindigkeit, das beteiligte Artenspektrum und den Einfluss der Feuerintensität untersucht. Es konnte deutlich ein negativer Zusammenhang zwischen der Brandintensität und dem Regenerationsvermögen der Vegetation festgestellt werden. Zudem wiesen jene Flächen mit hoher Ascheauflage - also starker Brandschädigung - verminderte Infiltrationskapazitäten der Böden und in Folge dessen erhöhten Oberflächenabfluss und Erosionserscheinungen auf. Die Artenvielfalt übertraf im zweiten Jahr nach dem Feuer auf 500 m² großen Testflächen bereits jene vor dem Ereignis und ein weiteres Jahr später waren die Artenzahlen ebenso auf 200 m² z. T. bereits um einiges höher als vor dem Brand.

WOHLGEMUTH ET AL. (2010) führen dies auf die vielfältig veränderten Umweltbedingungen und insbesondere das einstweilige Wegfallen von Konkurrenz zurück. Dabei kann es mitunter zum Auftreten oder gar zur Dominanz völlig unerwarteter Arten kommen, wie das Beispiel von *Blitum virgatum* (Echter Erdbeerspinat), einer alten Kulturpflanze im Wallis, zeigt (MOSER ET AL. 2006). Das Aufkommen der ehemals bestandsbildenden Baumarten *Pinus sylvestris*, *Picea abies* und *Larix decidua* im Verhältnis zu jenem von Pioniergehölzen wie *Salix appendiculata* oder *Populus tremula* nur langsam und ausgehend von intakten Beständen vonstatten. Als Erklärung werden von WOHLGEMUTH ET AL. (2010) das Fehlen einer dauerhaften Samenbank und die zunehmende Bedeckung des freigelegten Bodens mit einer Krautschicht angeführt. Dass dieser eine entscheidende Rolle bei der generativen Verbreitung von Nadelbäumen zufallen kann, zeigen die Ergebnisse von HILLE ET AL. (2004), die nach der Beseitigung der Krautschicht durch Feuer ein gesteigertes Auskeimen von *Pinus-sylvestris*-Samen feststellen konnten.

Eine ähnliche Entwicklung bei der natürlichen Baumverjüngung wie WOHLGEMUTH ET AL. (2010) stellten WASEM ET AL. (2010) auf einer Brandfläche aus dem Jahr 1983 bei Müstair in Graubünden fest, wo ebenfalls Pionierbaumarten in den ersten Jahren nach dem Waldbrand in wesentlich größerer Zahl als die ursprünglich ansässigen Nadelhölzer auftraten. Beim Vergleich mit gleichzeitig durchgeführten Aufforstungsmaßnahmen zeigte sich, dass nach 10 Jahren die Naturverjüngung bei der Baumanzahl mit der Aufforstung (bei jedoch merklich geringerer Wuchshöhe) gleichgezogen hatte. 25 Jahre nach dem Brand galt die Wiederbewaldung der Brandfläche als gesichert. Weitere Untersuchungen zum Komplex Waldbrand - Vegetation liegen aus der Schweiz z.B. von ZUBER (1979), DELARZE ET AL. (1992) oder PEZZATTI ET AL. (2009) vor.

In den Karawanken, also in den Südlichen Kalkalpen, beobachtete KOCH (2003) eine äußerst rasche Etablierung von Pionierarten binnen drei Jahren auf einer ehemals von Kiefern dominierten Brandfläche. Auch in diesem Fall war eine Erhöhung der Artenzahl im Vergleich zum umliegenden, nicht vom Feuer betroffenen Wald ebenso erkennbar, wie eine nur spärliche Verjüngung des Baumbestandes. Es ergaben sich außerdem, wie bei WOHLGEMUTH ET AL. (2005) beschrieben, Abhängigkeiten der Vegetationsbedeckung von der Feuerintensität. Aus dem Sengengebirge im Nationalpark Oberösterreichische Kalkalpen beschreibt WEIGAND (2009) die ökologische Situation eines drei Jahre alten Waldbrandareals an der oberen Waldgrenze. Aufgrund von Bodenerosion in Folge der steilen Hanglage und extremer Wetterexponiertheit ist hier nach seinem Ermessen in den nächsten 100-500 Jahren keine Regeneration in Richtung eines dichten Waldes oder Latschengürtels zu erwarten.

Die wohl umfassendsten Studien zur Vegetationsdynamik nach Waldbränden im kalkalpinen Raum hat GRABHERR (1936) im südlichen Karwendelgebirge im weiteren Einzugsbereich von Innsbruck durchgeführt. Er kommt zu dem Schluss, dass eine Abgrenzung typischer Entwicklungsabschnitte der Vegetation auf abgebrannten Böden möglich ist. Hierbei sind generell zwei Stufen zu unterscheiden: zum einen die „typische Brandvegetation“, die die unter spezifischen Einflüssen der Brandböden aufeinander folgenden Pflanzengesellschaften umfasst. Zum anderen die „Brandfolgevegetation“, die jene

Pflanzengesellschaften darstellt, die nicht mehr in unmittelbarer sondern in indirekter Folge des Brandes auftreten. Hierzu zählt GRABHERR (1936) auch jene Pflanzengemeinschaften, die sich nach erfolgter Abschwemmung des Bodens als sog. „Brandverkarstungs-Folgevegetation“ oftmals auf abgebrannten Steilhängen im Latschengürtel einstellen. Über dies hinaus geht er näher auf die entscheidenden Einflussfaktoren bei der natürlichen Waldverjüngung ein und gibt schließlich Entscheidungshilfen zur Beurteilung der Brandintensität, in dem er verschiedene Auswirkungsgrade von Feuer auf die Vegetation beschreibt. Bei GRABHERR (1936) finden sich zudem Hinweise zu älteren Beschreibungen typischer Vegetationsstadien auf Brandflächen aus dem Wallis (HEB 1929) und den Dolomiten (BOJKO 1931).

1.2.6 Feuer und Böden

Obwohl in dieser Arbeit die Auswirkungen von Feuer auf den Boden nicht explizit thematisiert werden, so muss doch kurz auf einige wesentliche Grundlagen eingegangen werden, stehen doch Aspekte der Geomorphodynamik und insbesondere der Vegetationsentwicklung damit in unmittelbarem Zusammenhang. So weist u. a. LETEY (2001) auf erhöhten Oberflächenabfluss und verstärkte Erosion bei Starkregen sowie auf erschwertes Aufkommen von flächendeckendem Bewuchs in Verbindung mit feuerinduzierter Hydrophobizität von Bodenpartien hin. Die seit langem beobachtete Erhöhung von Boden-pH-Werten durch Freiwerden von Alkali- und Erdalkalioxiden beim Verbrennen organischer Substanz wirkt ebenso selektierend bei der Neu- bzw. Wiederbesiedlung einer Brandfläche durch Pflanzen, wie der oft angesprochene Düngeeffekt in Folge der Feuer bedingten Freisetzung essentieller Pflanzennährstoffe wie P, K, Mg, Ca oder N (vgl. HETSCH 1980). Abgesehen davon ist das bloße Vorhandensein eines Bodens nach einem Brand unabdingbare Grundvoraussetzung für ein erneutes, zeitnahes Aufkommen eines Pflanzenbestandes. Besonders Böden mit hohem Anteil an organischer Substanz werden durch Brände oft in Mitleidenschaft gezogen (vgl. WOHLGEMUTH ET AL. 2005), ja gänzlich vernichtet. Ebenfalls zu z. T. komplettem Bodenverlust können nach dem Feuer einsetzende Erosionsprozesse führen, wie etwa von WEIGAND (2009) aus dem Sengsengbirge in Oberösterreich beschrieben wird.

Abschließend sei noch auf eine Übersicht von CERTINI (2005) zu verschiedenen Auswirkungen von Feuer auf die Eigenschaften von Waldböden hingewiesen, in der Ergebnisse aus einschlägiger Forschungsliteratur zusammengestellt sind. Zu erwähnen ist an dieser Stelle ebenso die Zusammenschau von NEARY ET AL. (1999) zu Bodenveränderungen durch Feuereinwirkung und deren Einfluss auf die ökosystemare Nachhaltigkeit.

1.3 Zielsetzungen der eigenen Untersuchungen

Aus dem bisher Dargelegten geht hervor, dass in den Alpen, vor allem jedoch in den Nördlichen Kalkalpen auf dem Gebiet der (historischen) Waldbrandforschung gerade mit Blick auf den sich vollziehenden Klimawandel noch Aufholbedarf besteht.

Mit der vorliegenden Arbeit soll ein Beitrag zur Verbesserung des Verständnisses der Waldbranddynamik und deren Auswirkungen im eben angesprochenen Raum geleistet werden. Dabei stehen folgende Einzelziele im Fokus der Untersuchungen:

1) Möglichst umfassende Rekonstruktion der regionalen Waldbrandgeschichte:

- Wo und wann fanden Waldbrände in welchem Ausmaß statt?
- Welche Rolle spielten anthropogene und (witterungs)klimatische Einflüsse für die räumliche und zeitliche Verteilung der Brandereignisse?
- Wie groß sind die lokalen bzw. regionalen Wiederkehrintervalle
- Was waren die Brandursachen?
- Sind Aussagen zu Feuerart und -intensität möglich?

2) Darstellung und Analyse lokaler Auswirkungen von Waldbränden:

- Welcher Art sind die Waldbrandfolgen?
- Was für ein Ausmaß hatten die verschiedenen Folgeerscheinungen?
- Wie nachhaltig sind die Auswirkungen?
- Welche Maßnahmen und Kosten waren mit Waldbränden bzw. deren Folgen verbunden?

3) Darstellung und Analyse der Vegetationsentwicklung nach Waldbränden

- Wie vollzieht sich die Entwicklung der Vegetation auf verschiedenen Brandflächen?
- Lassen sich steuernde Faktoren bei der Wiederbesiedlung erkennen?
- In welchen Zeiträumen findet die Regeneration einer Brandfläche statt?

4) Einordnung der Resultate anhand von Beispielen aus anderen Regionen

- Wie gestaltet sich das Waldbrandgeschehen im (über)regionalen Vergleich?
- Sind die Auswirkungen andernorts ähnlicher Natur?
- Wie ist die Vegetationsentwicklung im Verhältnis zu anderen Regionen zu charakterisieren?

5) Einschätzung der zukünftigen Entwicklungen

2. Lage und Beschreibung des Untersuchungsgebiets

2.1 Lage und Abgrenzung

Der etwa 1700 km² große, in den Nördlichen Kalkalpen im bayrisch-österreichischen Grenzgebiet zwischen Fernpass und Achensee gelegene Untersuchungsraum, umfasst das Wetterstein-, Mieminger- und Karwendelgebirge. Im Norden wird das Untersuchungsgebiet durch das Loisach- und Isartal begrenzt, im Süden durch den Inn. Eine entsprechende Übersicht hierzu gibt Abbildung 2, der auch die Verortung von Standorten, die aufgrund ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit später häufiger Erwähnung finden, entnommen werden kann.

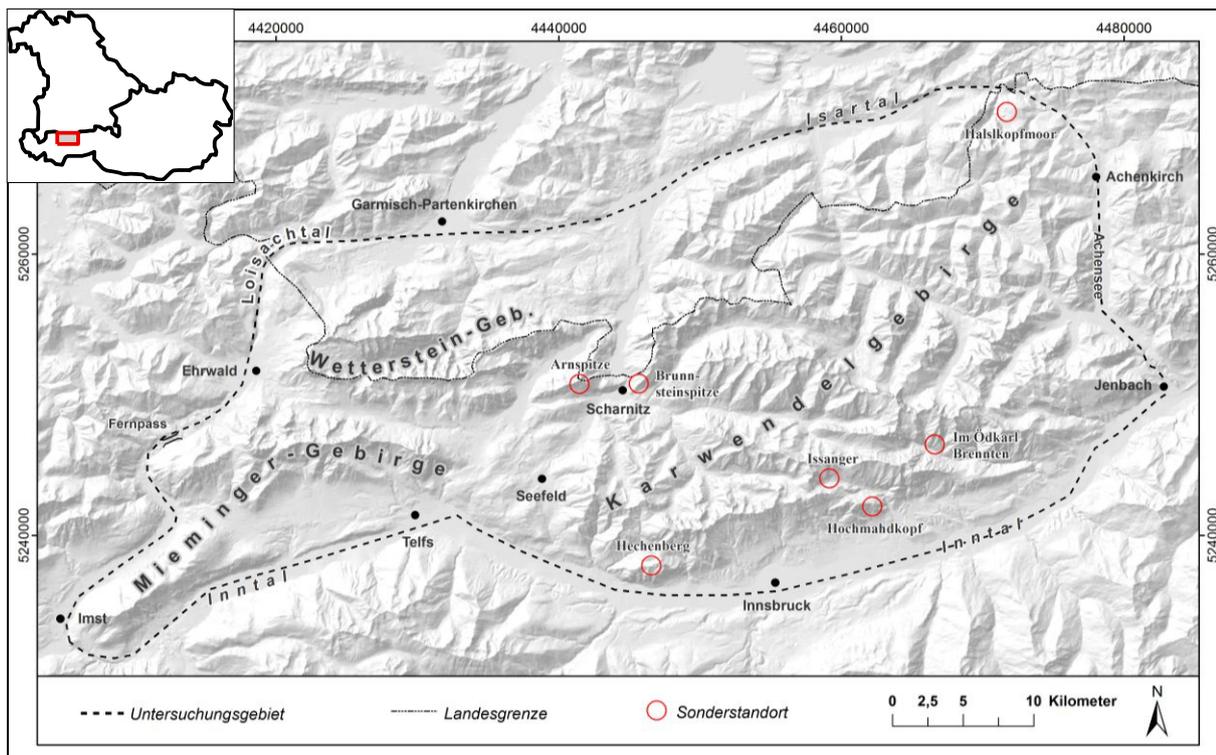


Abb.2: Lage und Abgrenzung des Untersuchungsraums mit Lokalisierungen von Sonderstandorten
Kartierungsgrundlage: Reliefschummerung Tirol Atlas (GEOGRAPHIE INNSBRUCK 2008)

2.2 Geologie

Im Anstehenden dominieren im Untersuchungsraum Gesteine der Alpenen Trias mit einer besonders großen Verbreitung von Hauptdolomit und Wettersteinkalk, wie Abb.3 zu entnehmen ist. Von Bedeutung sind darüber hinaus jurassische und kretazische Sedimentite sowie quartäre Ablagerungen. Herauszustellen ist hier eine Sonderform von interglazialen Hangschuttbreccien, die lokal unterschiedlich bezeichnet werden. Im Halltal, nordöstlich von Innsbruck, wo auch die Detail-Untersuchungsfläche „Issanger“ gelegen ist, tritt beispielsweise die sog. Höttinger Breccie aus dem Mindel-Riß-Interglazial als Felsbildner auf. Ebenfalls gesonderte Erwähnung soll das im Halltal einst intensiv bergbaulich genutzte Salz des permotriassischen Haselgebirges finden, dessen Abbau aufs engste mit der Nutzungs-

geschichte der Wälder im Untersuchungsgebiet verbunden ist (vgl. 2.7). Über die Salzgewinnung hinaus wurde Holz in größerem Umfang für die Steinölgewinnung aus den im Hauptdolomit eingeschalteten Ichtyolschiefern bzw. Seefelder Schichten ebenso benötigt, wie für den bergwerklichen Abbau von Gips und Anhydrit in den Raibler Schichten sowie von Blei- und Zinkerzvorkommen im Wettersteinkalk (PASCHINGER 1950; MILLER 1962; PLÖCHINGER 1980).

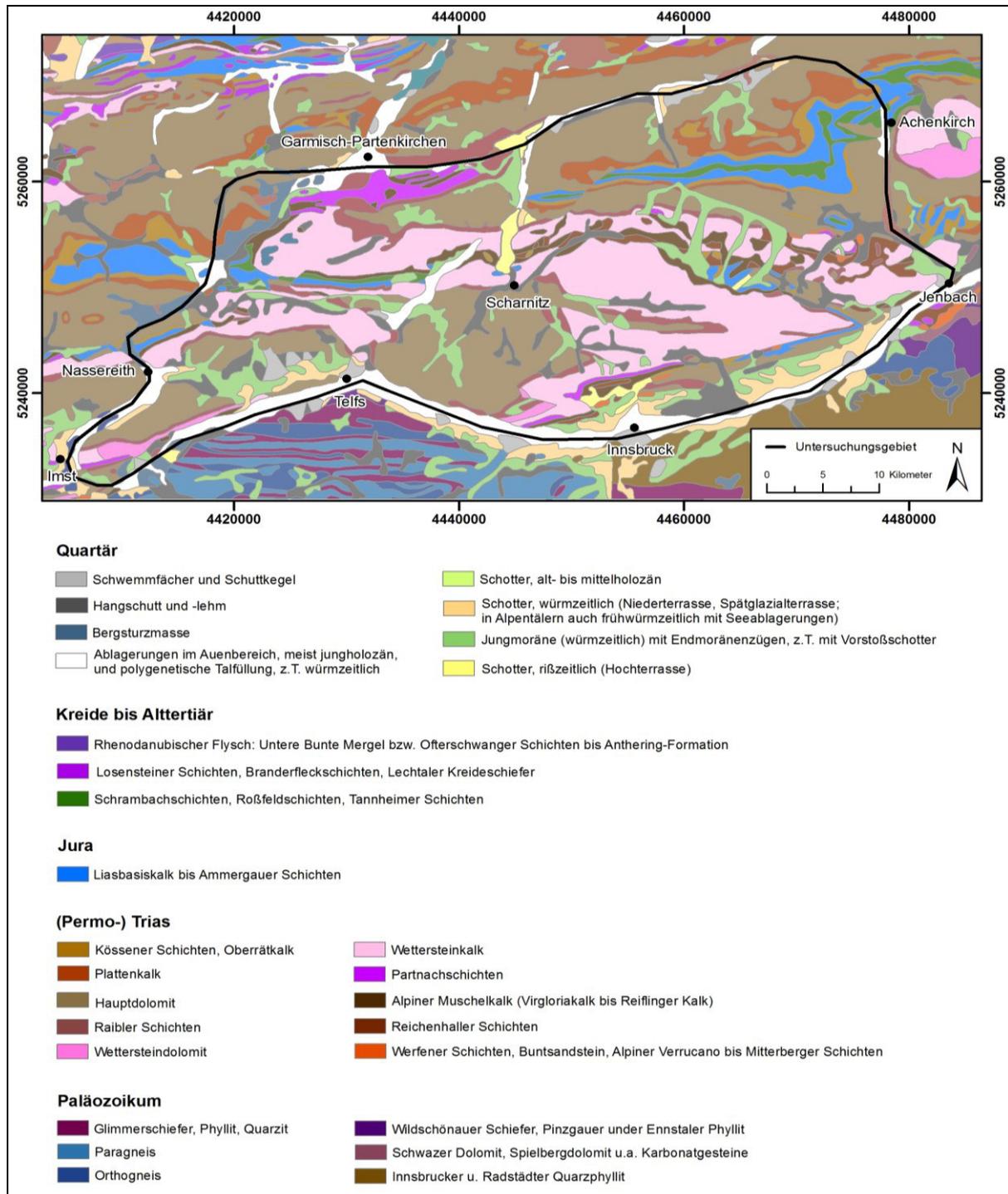


Abb.3: Übersicht zur Geologie des Untersuchungsraums (nach GLA 2004)

Tektonisch gesehen gehört das Untersuchungsgebiet in seinem Norden der Lechtal- und im Süden der darüber liegenden Inntaldecke an (Abb.4 und Abb.5). Zwischen Lechtal- und Inntaldecke zieht sich vom Ostrand des Ehrwalder Beckens bis in die Achenseeregion eine Zone ausgeprägter Schuppung, die als Karwendelschuppenzone bezeichnet wird und wohl aus einer Mischung an Gesteinen aus beiden Decken besteht (TOLLMAN 1969; DOBEN 1996).

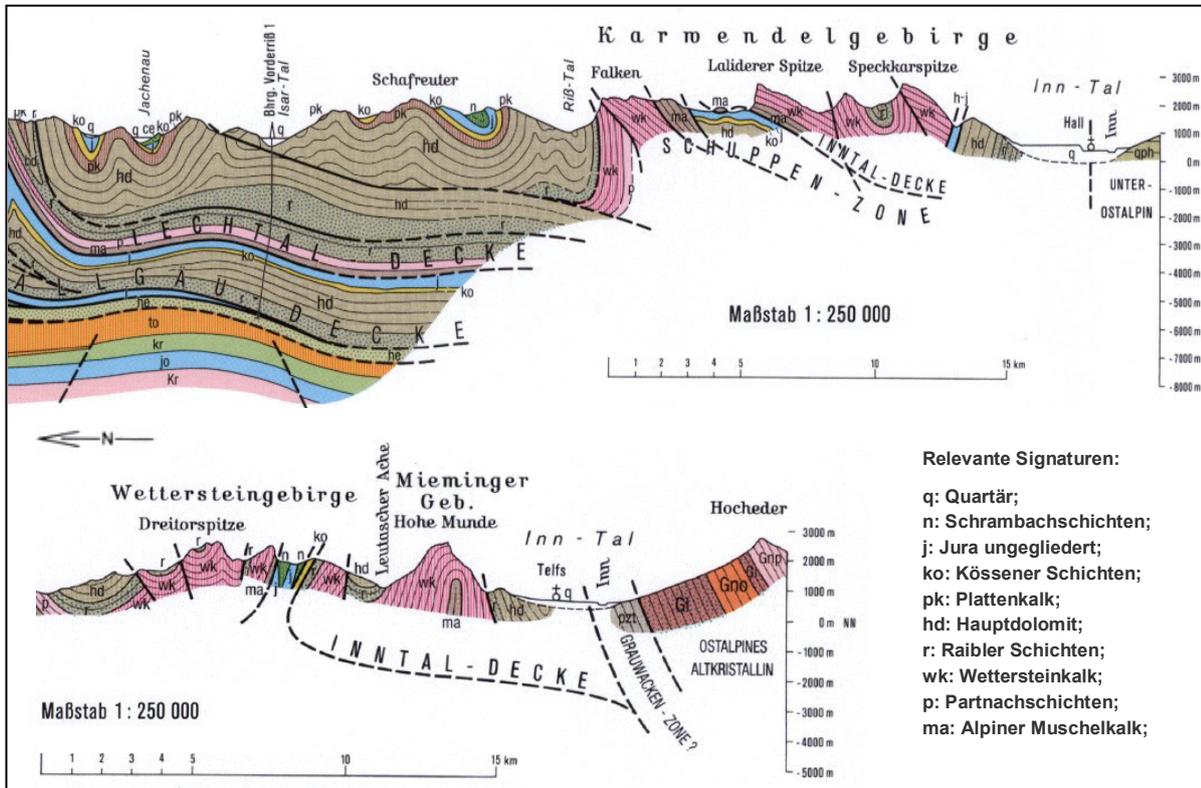


Abb.4: Geologische Profile durch Karwendel-, Wetterstein- und Mieminger-Geb. (nach GLA 2004)

Wie Abb.5 auf Seite 17 zeigt, durchziehen den Untersuchungsraum zahlreiche mehr oder weniger in West-Ost-Richtung streichende Faltelemente. Aus deren Ausrichtung ergibt sich häufig eine nach Süden einfallende Schichtlagerung an südexponierten Hängen, deren Einfluss auf die Entwicklungsdynamik von Brandflächen später noch diskutiert werden wird.

Erwähnenswerte tektonische Störungen stellen im Untersuchungsgebiet die SW-NO gerichtete Isar- und Loisachstörung sowie die in SO-NW-Richtung verlaufende Brenner-Telfs-Störung dar (TOLLMANN 1969).

Weitere Ausführungen zu den regionalen geologischen Gegebenheiten finden sich u. a. bei BECKE (1983), TOLLMANN (1985) sowie DOBEN & RISCH (1996).

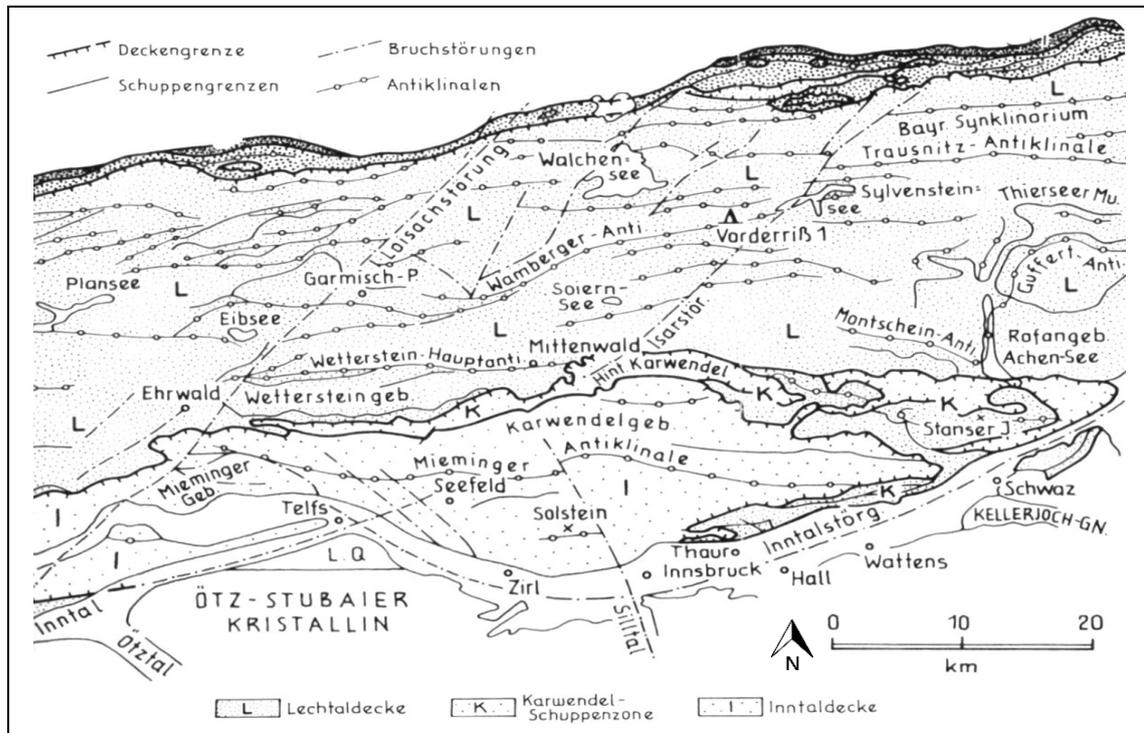


Abb.5: Tektonische Gliederung des Untersuchungsgebiets (nach TOLLMANN 1985)

2.3 Geomorphologische und hydrologische Gegebenheiten

Die drei Hochgebirgsgruppen Wetterstein, Mieminger und Karwendel prägen mit ihren zahlreichen Kämmen und bis über 1000 m hohen Wandfluchten sowie den darunter liegenden Schutthalden die Geomorphologie des Untersuchungsraums maßgeblich. Weitere wesentliche Landschaftselemente stellen die Vielzahl an Gebirgstälern sowie das Seefelder und Mieminger Plateau dar. Der tiefste Punkt liegt mit 563 m über dem Meeresspiegel (ü. d. M.) bei Jenbach im Inntal, die größte Höhe wird mit 2963 m ü. d. M. an der Zugspitze erreicht, sodass sich ein maximaler Höhenunterschied im Untersuchungsgebiet von 2400 m ergibt. An rezenten Formungs- und Umlagerungsprozessen, die auf Grund der verbreitet hohen Reliefenergie intensiviert sind, dominieren gravitative Massenbewegungen besonders in Form von Steinschlag oder Muren, wie sie beispielsweise in größerem Umfang als Schuttströme zuletzt im Halltal 2008 und 2010 niedergegangen sind (SASS ET AL. 2012a,b). Berg- und Felsstürze stehen in ihrer Häufigkeit hinter den erwähnten Ereignissen deutlich zurück, jedoch formen noch heute drei große Ereignisse aus dem mittleren Holozän das Landschaftsbild um den Eibsee, den Fernpass und südlich des Tschirgant. Hohe Materialumsätze sind darüber hinaus in Gebirgsbächen zu verzeichnen, die durch ihre Erosionswirkung auch eindrucksvolle Klammern und Schluchten geschaffen und in langsameren Fließabschnitten mitunter mächtige Sedimentkörper akkumuliert haben. Lawinen sollten an dieser Stelle ebenfalls nicht vergessen werden, die, wie u. a. HECKMANN (2006) und SASS ET AL. (2010) gezeigt haben, gerade in vegetationsfreiem Gelände eine nicht zu unterschätzende Rolle beim Materialabtrag spielen. An glazialen bzw. fluvioglazialen Formenschatz finden sich Lo-

kal- und Fernmoränen, zahllose Kare, Trog(sohlen)täler sowie verschiedene Terrassenstrukturen. Im Wettersteingebirge gibt es über dies hinaus mit dem Nördlichen Schneeferner und dem Höllentalferner noch zwei stark im Rückzug befindliche Gletscher. Außerdem haben sich hier auf dem Zugspitzplatt, auf dem Leutascher Platt und im Höllental tertiäre Altflächen erhalten. Für alle drei Gebirge ist vor allem im Bereich der Wettersteinkalke das Auftreten von Verkarstungserscheinungen typisch.

An größeren Fließgewässern haben im Untersuchungsraum die Loisach im Fernpassgebiet und die Isar im Hinterautal ihren Ursprung. Beide sind maßgeblich für die Entwässerung des Wetterstein- und eines Großteils des Karwendelgebirges ins Alpenvorland, während der Inn diese Rolle für beinahe die komplette Mieminger Kette und das südliche Karwendelgebirge übernimmt. Die Wasser- und Feststoffführung der Gebirgs- bzw. Wildbäche ist typischer Weise großen Schwankungen unterlegen (MORCHE ET AL. 2010) und wird durch die weite Verbreitung verkarstungsfähigen Gesteins zusätzlich modifiziert. Generell ist der Einfluss des Karstphänomens auf die Hydrologie im Untersuchungsgebiet als durchaus gegeben einzustufen. Dort, wo der Untergrund von einer entsprechenden Wasserdurchlässigkeit gekennzeichnet ist, sind natürliche Oberflächengewässer trotz der durchaus hohen Niederschläge selten bis nicht vorhanden, was oft Probleme bei der Löschung von Waldbränden bereitet hat. Seen treten gehäuft am Fernpass, am Seefelder Sattel und im Raum Mittenwald auf, ansonsten handelt es sich eher um Einzellerscheinungen wie z. B. den Achen- und Eibsee oder Seen in Karen des Hochgebirges. Aufgrund der geologischen Verhältnisse mit einem hohen Anteil an wasserdurchlässigen Gesteinen an der Oberfläche und Aquicluden wie den Partnachsichten oder den Raibler Schichten im Untergrund ist das Gebiet reich an Quellaustritten mit z. T. beträchtlichen Schüttungen. So gibt es beispielsweise laut SONNTAG (2009) allein im tirolischen Teil des Karwendels 350 Quellen und der Partnachursprung im Wettersteinmassiv zählt nach WETZEL (2004) zu einer der größten Karstquellen in den Bayerischen Alpen. Für die Wasserversorgung von zahlreichen Almen und Unterkunftshütten im Gebirge, aber auch von vielen Orten in den Tälern sind Quellen von herausragender Bedeutung, wie etwa für Innsbruck oder Hall i.T. (IKB AG o.J.; HALL AG o.J.).

2.4 Klima

Im Untersuchungsgebiet herrscht in weiten Teilen ein kühlhumides Klima mit ausgeprägter kalter Jahreszeit, großen Schneemengen und hohen Niederschlägen vor. Demgemäß entsprechen die klimatischen Gegebenheiten dem Typus VI (X) 3 (atlantisch getönt, nordalpin) nach WALTER & LIETH (1964). Eine Sonderrolle nimmt jedoch v. a. das Inntal ein, das relativ niedrige Niederschlagswerte aufweist und thermisch begünstigt ist, wie Abb.6 und 7 zeigen. Das dortige Klima mit seinem inneralpinen Charakter ist daher dem Klimatypus VI 3 b nach WALTER & LIETH (1964) zuzuordnen. Die besondere Situation im Inntal lässt sich laut MEISEL ET AL. (1984) durch die verhältnismäßig tiefe Lage und die Abschirmung gegen die häufig Niederschlag bringenden aus nördlicher und westlicher

Richtung anströmenden Luftmassen erklären. Eine wichtige Rolle spielen gemäß PITSCHMANN ET AL. (1970) hierbei aber auch die vorwiegend im Herbst und Frühjahr häufig auftretenden, mitunter heftigen Föhnwinde, die für einen Anstieg der Temperatur und z. T. ausgesprochene Trockenheit mit entsprechenden Auswirkungen auf die Vegetation sorgen (vgl. 2.5). Im Innsbrucker Raum hat ORTNER (2010) beispielsweise ein Auftreten von Südföhn an 46 Tagen im jährlichen Mittel festgestellt.

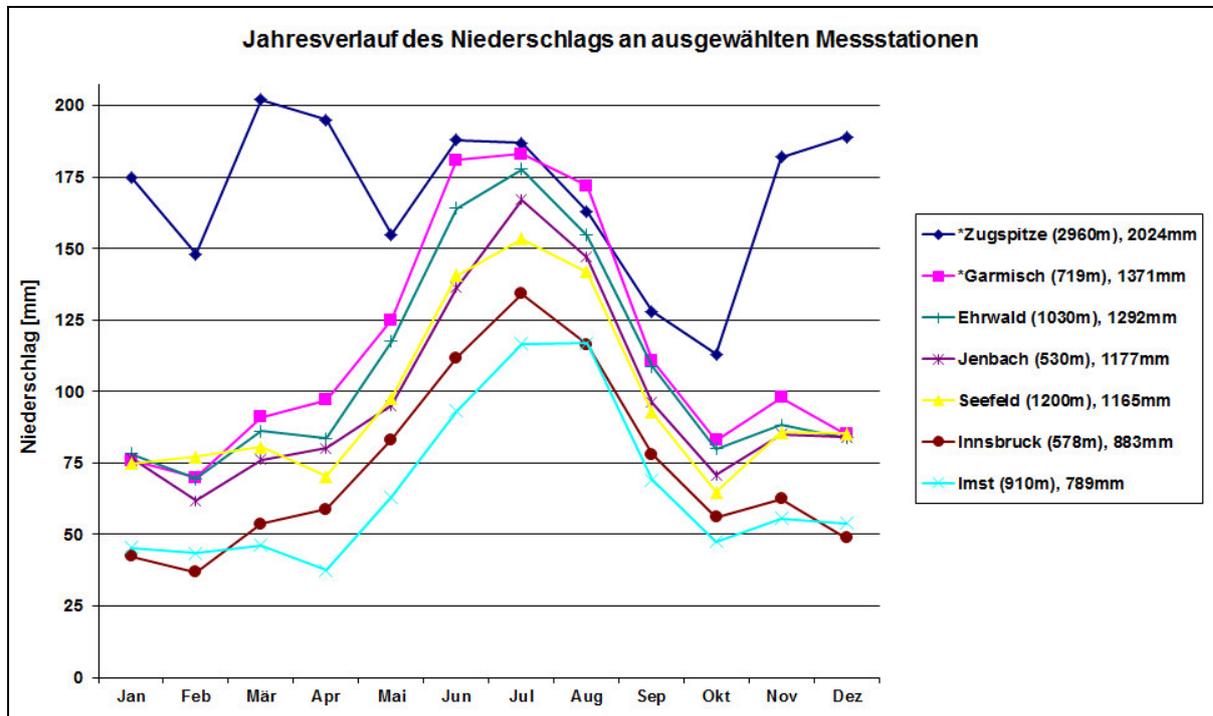


Abb.6: Niederschlagsverlauf an ausgewählten Messstationen (nach *MÜHR 2007a,b; ZAMG 2011)

Ähnlich wenig Niederschlag wie im Inntal fällt ferner zwischen Nassereith und Imst sowie im Bereich des Mieminger Plateaus mit Jahreswerten um 800 mm. Ansonsten bewegen sich die mittleren Jahresniederschlagsmengen durchweg über 1000 mm und erreichen in den höchsten Kammlagen Werte von mehr als 2000 mm (PITSCHMANN ET AL. 1970). Generell ist ein Rückgang der Jahresniederschläge gegen das Alpeninnere hin festzustellen. Die Niederschlagsmaxima liegen verbreitet im Sommer, wobei KILIAN ET AL. (1994) eine breitere Streuung der Niederschläge auf die Monate Juni bis August besonders in den höheren Lagen gegen Westen zu sowie eine Zunahme des Winterniederschlags gegen die kältere Jahreszeit mit ansteigender Seehöhe festgestellt haben. Dies kann bis zu einer Verschiebung des Hauptmaximums reichen, wie das Beispiel der Zugspitze in Abb.6 zeigt.

Die Phasen des Vorhandenseins einer geschlossenen Schneedecke während des Jahres variieren in Abhängigkeit von Exposition und Höhenlage stark. Das Spektrum reicht dabei nach Daten der ZAMG (ZAMG 2002) von 64 Tagen in Innsbruck bis zu einer stark lokal konzentrierten, dauerhaften Schnee- bzw. Eisbedeckung im Hochgebirge. Erwähnenswert ist an dieser Stelle, dass besonders südexponierte

Waldbrandflächen außerordentlich schnell schneefrei werden, der Austrocknung unterliegen und daher ausnehmend brandgefährdet sind (GRABHERR 1936).

Die höchsten Jahresdurchschnittstemperaturen werden im Inntal erreicht, wobei Innsbruck den Spitzenwert mit knapp 9 °C stellt. Mit zunehmender Höhe und größer werdender Entfernung zum Inntal sinken die Werte bis auf ein Minimum von -4,6 °C auf der Zugspitze ab. FLIRI (1975) gibt für die Tiroler Alpen eine mittlere Abnahme der Temperatur von 0,46 °C pro 100 m Höhenzunahme an.

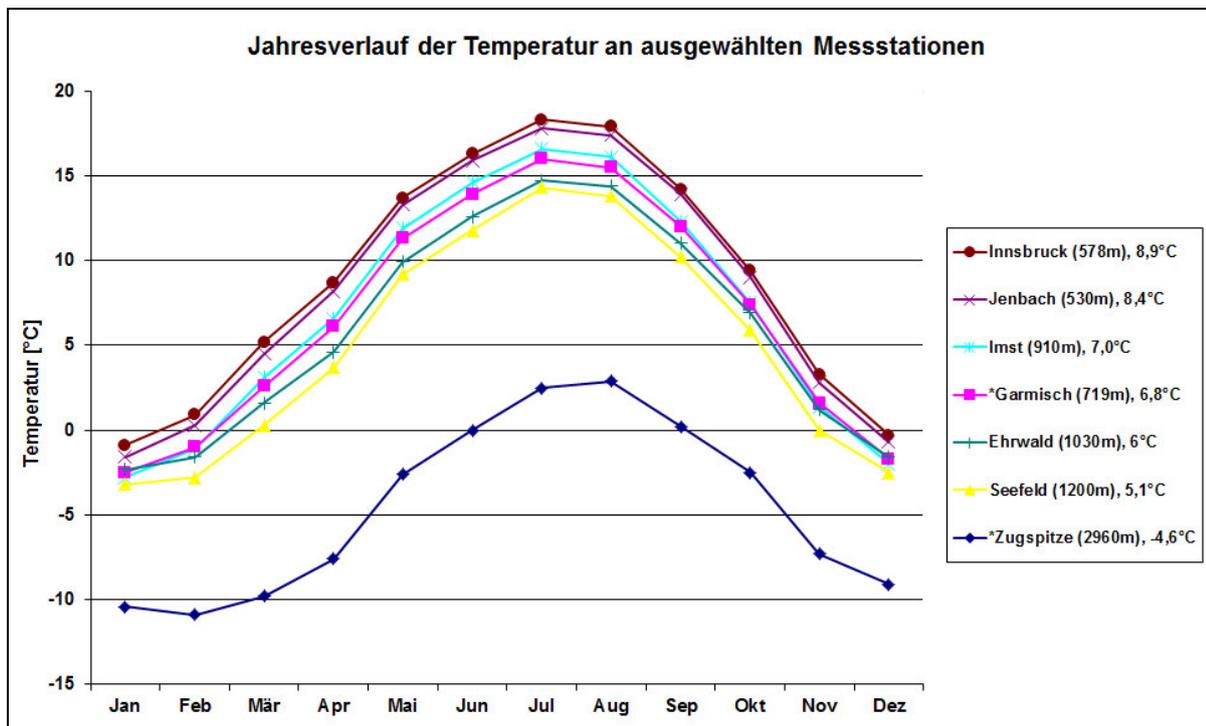


Abb.7: Temperaturverlauf an ausgewählten Messstationen (nach *MÜHR 2007a,b; ZAMG 2011)

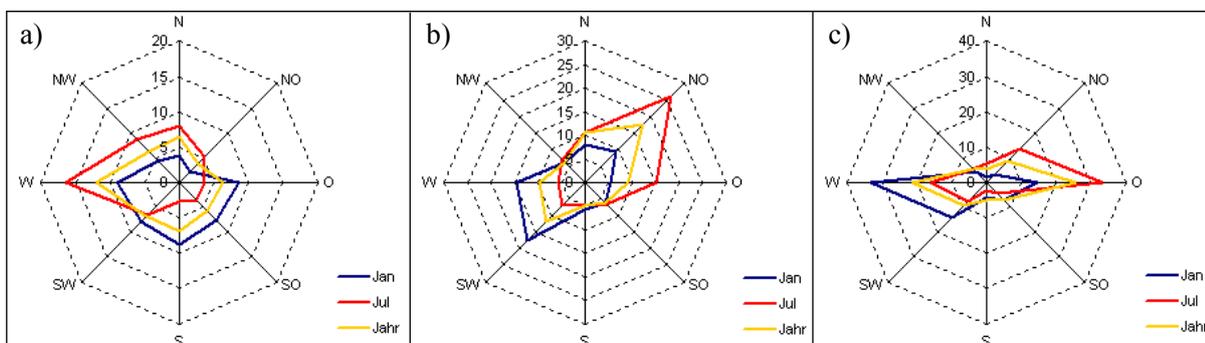


Abb.8: Mittlere Windrichtungen (1971-2000) an den Messstationen a) Ehrwald, b) Seefeld, c) Ibk (nach ZAMG 2002)

Zu den Windverhältnissen können bis auf den bereits erwähnten Föhn lediglich wenige allgemeine Aussagen gemacht werden, da sich hier die Gegebenheiten nach den Daten der ZAMG (2002) regional

doch recht unterschiedlich darstellen (s. Abb.8), was v. a. auf den Einfluss der jeweiligen topographischen Verhältnisse zurück zu führen ist. Es deutet sich an, dass lokale und regionale Windsysteme im Inneren des Alpenkörpers von größerer Bedeutung sind als die für den Alpenrand maßgeblichen überregionalen Anströmungsrichtungen mit Schwerpunkt West und dass die vorherrschenden Winde durch die gegebene Topographie eine Kanalisierung und Verstärkung erfahren (vgl. FLIRI 1975).

Ein weiteres, eng mit Waldbränden in Verbindung stehendes Wetterphänomen, sind Gewitter, da Blitzschlag im Untersuchungsgebiet als einzige natürliche Ursache von Waldbränden in Frage kommt. Eindeutig die häufigsten Gewitter treten im Sommer mit einem Maximum im Juli auf. Die mittlere jährliche Zahl an Gewittertagen reicht von etwa 15 im Raum Imst bis über 30 am Alpennordrand.

Die vorangehenden Ausführungen sind als überblickshafte Beschreibung des regionalen Makroklimas zu verstehen, innerhalb dessen Rahmen sich das Gelände- bzw. Bestandsklima - z.T. mit großer Variation auf engstem Raum - weitestgehend abspielt.

2.5 Vegetation

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß NIKLFELD (1993) pflanzengeographisch zum Hauptteil in der Region der nördlichen Randalpen, während mit dem Inntal ein Bruchteil der Zone der Zwischenalpen angehört.

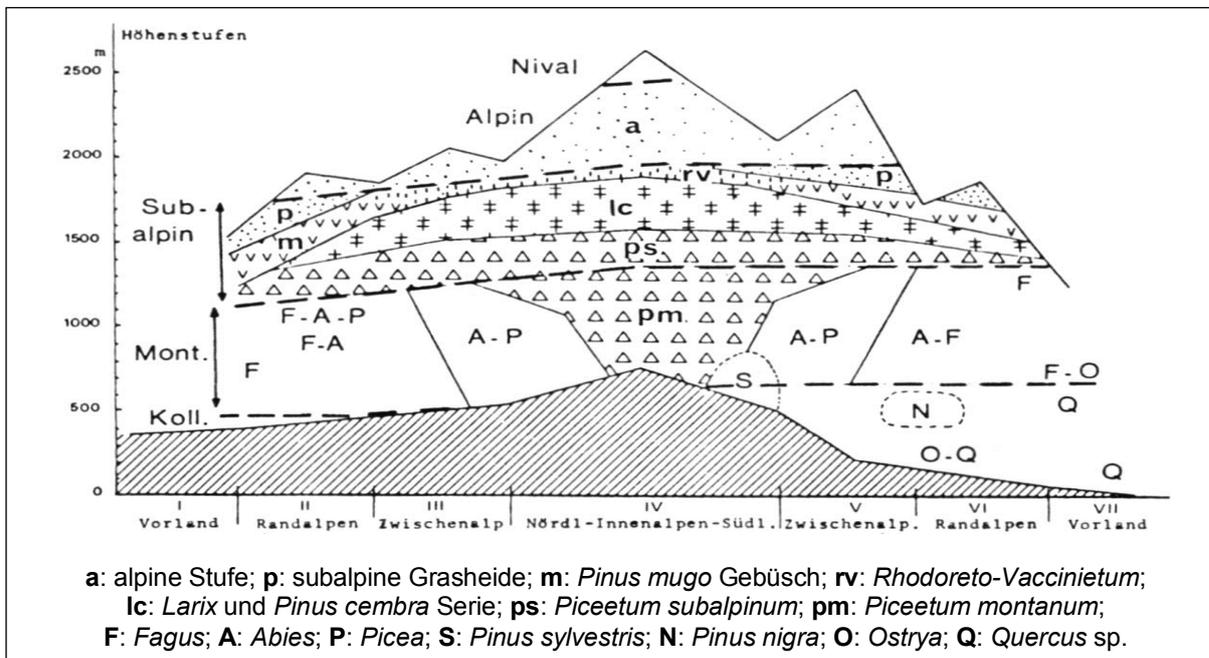


Abb.9: Höhenstufengliederung der mittleren Ostalpen (nach OZENDA 1988)

Entscheidender als die horizontale Gliederung der Vegetation ist trotz der zunehmenden Kontinentalität zu den Zentralalpen hin jedoch eine Betrachtung der Pflanzenformationen unter vertikalen Gesichtspunkten (vgl. Abb.9). Dies hängt mit der großen Höhenamplitude in der untersuchten Region und den sich mit der Höhe stark verändernden ökologischen Rahmenbedingungen zusammen. Nach ELLENBERG & LEUSCHNER (2010) äußert sich dies v. a. in einer Vegetationszeitverkürzung von durchschnittlich sechs bis sieben Tagen pro 100 Meter Höhenzunahme, vermehrtem Niederschlags- und Strahlungsgenuss, abnehmender Temperatur und steigender Gefährdung durch Frosttrocknis.

Der Untersuchungsraum erstreckt sich von der collinen bis zur (sub)nivalen Stufe. In Kapitel 2.5.1 bis 2.5.6 wird auf die in größerer Verbreitung auftretenden und in Zusammenhang mit Waldbrandereignissen relevanten Vegetationseinheiten etwas näher eingegangen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass jeweils das Schwerpunktorkommen beschrieben wird und dass ein Auftreten einzelner Formationen in Folge lokalspezifischer Gegebenheiten durchaus auch in anderen Höhenlagen möglich ist.

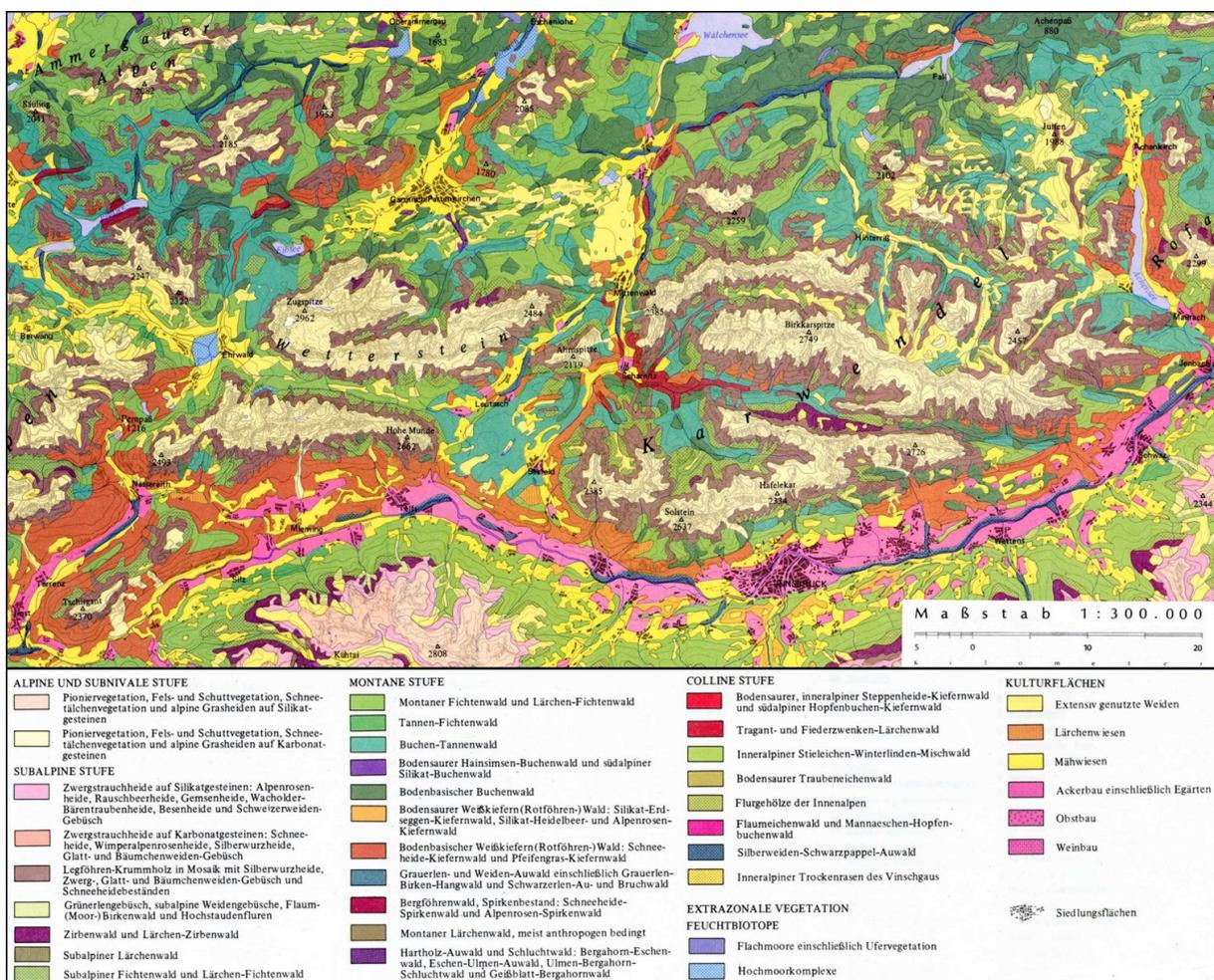


Abb.10: Vegetationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet (nach TROGER 1969)

2.5.1 Colline Stufe

Mit Silberweiden-Schwarzpappelauwäldern (*Saliceto-Populetum nigrae*), die laut MEISEL ET AL. (1984) nur mehr in schmalen Beständen das Innufer säumen, weist lediglich das Inntal colline Vegetationselemente auf. Neben dem *Saliceto-Populetum nigrae* sind v. a. Kulturfleichen in Form von Mähwiesen oder ackerbaulich genutzten Feldern für diese Talung charakteristisch (vgl. Abb.10).

2.5.2 Montane Stufe:

a) Laub- und Mischwälder

Größere Bestände an montanen Grauerlen-Weiden-Auwäldern sind laut Abb.10 im Gurgltal, in der Leutasch sowie an der Isar und am Rißbach zu finden. Diese setzen sich aus der Grauerle (*Alnus incana*), der Reif-, Purpur-, Grau- und Schwarzweide (*Salix daphnoides*, *Salix purpurea*, *Salix eleagnus* und *Salix nigricans*) zusammen. Auf tonreichem Untergrund wie z. B. den Partnachschichten und auf jungen sowie staunassen Böden dominiert die Grauerle, während erlenarme Weidenauwälder (*Salicetum daphnoides*) entlang fast aller Geschiebe führender Bäche und Flüsse vorkommen (SCHIECHTL ET AL. 1987).

Der Bergulmen-Bergahorn-Eschen-Mischwald (*Ulmeto-Acereto-Fraxinetum excelsae*) ist in bedeutenderem Umfang lediglich bei Garmisch Partenkirchen im Bereich der Partnachklamm verbreitet und dies nach SCHIECHTL ET AL. (1987) überwiegend in schluchtwaldartiger Ausbildung.

Als der im Untersuchungsgebiet überwiegend vorkommende Buchenwaldtypus gilt der nordalpine Hainlattich-Tannen-Buchenwald (*Aposerido-Fagetum*). Seine Baumartenkombination wurde in Folge anthropogener Einflüsse örtlich stark verändert, sodass an seiner Stelle z. T. Tannen-Fichtenwälder (*Piceeto-Abietum*) entstanden, auf die später noch zurückzukommen sein wird. Gelegentlich tritt anstatt des *Aposerido-Fagetum* der thermophile Karbonat-Weißseggen-Buchenwald (*Carici albae-Fagetum*) auf trockenwarmen Südhängen über Dolomit, Hartkalken und Moränen unter 900 m ü. d. M. auf. Dieselben Standorte werden auch vom Blaugras-Buchenwald (*Seslerio-Fagetum*) vorzugsweise bestanden. Vorwiegend auf schattseitigen Hängen über Hartkalken und Dolomit in Höhenlagen zwischen 700 und 1300 m ü. d. M. hat dagegen der Karbonat-Alpendost-Fichten-Tannen-Buchen-Wald (*Adenostylo glabrae-Abieti-Fagetum*) sein verbreitetes Vorkommen. Zu den Namen gebenden Baumarten bei zumeist auftretender Dominanz der Buche können auch Lärche oder vereinzelt Bergahorn beigemischt sein. Den Unterwuchs bilden neben der neunblättrigen Zahnwurz (*Cardamine enneaphylla*) und dem Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) hauptsächlich Kalkschutt- und Felsspaltenbesiedler (MEISEL ET AL. 1984).

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass gerade in den Nördlichen Kalkalpen ein Wechsel von beinahe reinen Buchenbeständen zu nadelholzreichen Formationen auf engem Raum stattfinden kann. Dies ist insbesondere der Fall, wenn weniger kalkreiche Böden und/oder zunehmende Höhe das Aufkommen

von Buchen hemmen, das von Nadelbäumen (in dieser Höhenstufe bei geringerem Kalkgehalt speziell der Tanne) dagegen fördern. Gerade der Übergang zum Buchen-Tannenwald, der wie Abb.10 zeigt, eine weite Verbreitung findet, ist daher meist fließend (ELLENBERG 1996).

b) Nadelwälder

Weißkiefernwälder (*Pinetum sylvestris*) bevorzugen ausgesprochene Trockenstandorte auf Sonnenhängen mit felsnahen Skelettböden oder auf wasserdurchlässigen jungen und jüngsten Ablagerungen stark Geschiebe führender Fließgewässer. Vielfach sind die Ausgangsbedingungen für das Aufkommen des *Pinetum sylvestris* auf den Südhängen durch Erosion oder Waldbrände geschaffen worden, so dass diese Bestände größtenteils als sekundär, quasi als Degenerationsvegetation auf ehemaligen Tannen-Buchenwald-Standorten zu verstehen sind. Als Reliktföhrenwälder, die keiner wesentlichen Verjüngung mehr unterliegen, sind die Weißkiefernwälder dagegen in extrem trocken-steilen Lagen oder auf schwer verwitterndem Dolomit anzusprechen. Solche Vorkommen sind beispielsweise am Fernpass und am Seefelder Sattel vorzufinden. In den wärmeren tiefen Lagen sind die Föhrenwälder den Typen des *Dorycnio-Pinetum* bzw. *Calamagrostio-Pinetum* (Buntreitgras-Kiefernwald) zuzuordnen, während sie oberhalb von 800 bis 1000 (1200) m ü. d. M. in einen nordalpinen Schneeheidekiefernwald (*Erico Pinetum*) übergehen. Dieser ist durch einen lichten und artenarmen Bestand sowie den Kontakt bzw. die Verzahnung mit Legföhren oder die Durchsetzung mit Felsfluren gekennzeichnet. Im Bereich der Talauen gehören die Weißkiefernwälder dem *Dorycnio-Pinetum* in Form eines Kiefern-Trockenauenwaldes und dem *Molinio-Pinetum* (Pfeifengraskiefernwald) an, wobei eine größere Beimengung von Auengehölzen vornehmlich der Gattung *Salix* festzustellen und eine Weiterentwicklung zum Schneeheidekiefernwald gegeben ist (SCHIECHTL ET AL. 1987; ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Eine weitere reliktsche Besonderheit stellen die Spirken- bzw. Bergföhrenwälder (*Pinetum uncinatae*) dar, die in ihrer Ausbildung als Hang- und Auwälder im Raum Scharnitz bzw. an der Isar zu den reichsten und ausgedehntesten nordalpinen Vorkommen zählen und hier Landschaftsbild prägend sind. Ähnlich der Weißkiefer besiedeln sie nährstoffarme Standorte auf Schuttkegeln und Talschottern. In den Talungen tritt der Spirkenauwald als Zwischenglied zwischen initialem Weidengebüsch und Weißkiefernwald auf, so SCHIECHTL ET AL. (1987).

Zu den ertragsreichsten Wirtschaftswaldtypen im Untersuchungsraum zählt der in Teilen infolge von Wirtschaftseinflüssen aus Hainlattich-Tannen-Buchenwäldern hervorgegangene Tannen-Fichtenwald (*Piceeto-Abietum*), der aufgrund des kalkreichen Untergrundes als *Piceeto-Abietum calcicolum* und/oder *Galio-Abietetum* ausgebildet ist. Diese Vertreter stocken auf skelettreichen, mäßig frischen Moderrendzinen und Kalksteinbraunlehmen über Hartkalken und Dolomitgesteinen in Höhenlagen zwischen 800 und 1500 m ü. d. M. Sie sind charakterisiert durch einen Reichtum an Weißseggen, regelmäßiges Auftreten von Lärchen und eine dauerhafte Unterständigkeit der Buche. Die typische

Form des Karbonat-Tannen-Fichtenwaldes mit Alpendost (*Adenostylo glabrae-Abietetum typicum*) hingegen kommt auf Schatthängen mit feinerdereichen, tiefgründigen, nachhaltig frischen Moder-Mullrendzinen bis verbrauchten Kalksteinbraunlehm über Hartkalkschutt vor. Kennzeichnend ist neben dem Zurücktreten der Lärche das Vorkommen von Schuttanzeigern und die Häufung von Laubwaldarten wie etwa Waldmeister (*Galium odoratum*), Wald-Bingelkraut (*Mercurialis perennis*) oder Sanikel (*Sanicula europaea*) im Unterwuchs (MEISEL ET AL. 1984).

Montane Fichtenwälder (*Piceetum montanum*) konzentrieren sich in niederschlagsarmen Gebieten, in windigen Höhenlagen oder edaphisch bedingt (Dolomit) auf steilen Südhängen. Daneben sind sie aufgrund menschlicher Einflussnahme z.T. auch auf Standorten des *Aposerido-Fagetums* beheimatet. Auf triasischen Kalken und Dolomiten liegt das *Piceetum montanum* als alpendostreiches *Adenostylo glabrae-Piceetum montanum* vor, während unter extremeren Bedingungen relativ kleinflächig auch Torfmoos-, Grauerlen- und Blaugras-Fichtenwaldtypen auftreten. Aus der Eibseeregion und dem Oberreintal ist auf Blockhalden auch eine Ausprägung des Streifenfarn-Fichtenwaldes bekannt. Auf dolomitischen Untergrund beschränkt ist der Weißseggen-Fichtenwald.

In den autochtonen Fichtenwäldern ist die Lärche eine recht häufige Mischholzart, daher werden Lärchen-Fichtenwälder (*Lariceto Piceetum montanum*) als gesonderte Vegetationseinheit ausgeschieden. Schwerpunktmäßige Vorkommen finden sich am Fernpass, im Einzugsbereich von Ehrwald und am Seefelder Sattel (SCHIECHTL ET AL. 1987).

2.5.3 Subalpine Stufe

Mehr noch als in den montanen Fichtenwäldern kann die Lärche in den subalpinen Fichtenwäldern (*Piceetum subalpinum*) insbesondere auf Hauptdolomit und Wettersteinkalk in den Vordergrund treten, was eine Ausscheidung subalpiner Lärchen-Fichtenwälder (*Lariceto Piceetum subalpinum*) rechtfertigt. Dieser Waldtyp ist zerstreut im gesamten Untersuchungsraum in entsprechenden Höhenlagen vorzufinden.

Eine andere Ausprägung von subalpinem Fichtenwald stellt der Alpendost-Fichtenwald dar, von dem es Varianten mit der Dominanz von Waldhainsimse (*Luzula sylvatica*), Kalkblaugras (*Sesleria albicans*), buntem Reitgras (*Calamagrostis varia*), Strich- und Lanzenfarn (*Asplenium viride*, *Polystichum lonchitis*) und Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) gibt.

Im Untersuchungsraum wird zum überwiegenden Teil die Waldgrenze von subalpinen Fichtenwäldern in Höhenlagen zwischen ca. 1500 und 1800 m, stellenweise 1900 m ü. d. M. gebildet (MEISEL ET AL. 1984; SCHIECHTL ET AL. 1987).

Zirben- und Lärchen-Zirbenwälder (*Pinetum cembrae* und *Lariceto-Pinetum cembrae*) sind in größeren Beständen nur an Nordhängen im Hinterau- und Gleirschtal sowie punktuell im Wettersteingebirge vorhanden (s. Abb.10). Sie gehören alle dem Typus des Karbonat-Lärchen-Zirbenwaldes an,

der durch einen ausgesprochen mosaikartigen Aufbau charakterisiert ist, wobei Felsspalten- und Schuttpioniere neben initialen Grasheiden- und Zwergstrauchheiden-Elementen aufkommen. Im Unterwuchs dominiert meist die Legföhre, daneben können auch Rhododendren und Vaccinien sowie Schneeheide (*Erica herbacea*) hohe Deckungsgrade erreichen (SCHIECHTL ET AL. 1987).

Den Anschluss zu den Lärchen-Zirbenwäldern bilden die im i.d.R. felsigeren Gelände in 1600 bis 1800 m ü. d. M. stockenden Lärchenwälder (*Laricetum vaccinietosum*), die im Untersuchungsraum nur mehr lokale Vorkommen auf nordexponierten Hängen im Stallen- und Unterautal (beides Ostkarwendel) besitzen. Eine Zwergstrauchvegetation aus Bewimperter Alpenrose (*Rhododendron hirsutum*), Gestreiftem Seidelbast (*Daphne striata*), *Erica herbacea* und der Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*) ist im Allgemeinen typisch für den Unterwuchs, wobei aufgrund verbreiteter freier Felspassagen auch Felsspaltenbesiedler vertreten sein können (MEISEL ET AL. 1984).

Oberhalb der Waldgrenze hat das Legföhren-Krummholz (*Pinetum mugii*) seinen Verbreitungsschwerpunkt, wenngleich es laut SCHIECHTL ET AL. (1987) auf Gunststandorten (Lawinenbahnen, Schuttkegel, schroffe Felspartien) auch bis in montane Lagen vorstoßen kann. Im Untersuchungsraum kommt großflächig die basiphile Ausbildung (*Pinetum mugii calcilcolum*) vor, bei der nach OZENDA (1988) die beiden gesellschaftsprägenden Arten *Pinus mugo* und *Rhododendron hirsutum* von Charakterarten wie Blauer Heckenkirsche (*Lonicera coerulea*), Alpen-Heckenkirsche (*Lonicera alpigena*), Alpenbeerentraube (*Arcostaphylos alpina*), Zwergmehlbeere (*Sorbus chamaemespilus*) oder Buntem Reitgras (*Calamagrostis varia*) begleitet werden. Typischerweise über mächtigen Tangelrendzinen kann sich im kalkalpinen Raum ebenso die azidophile Variante (*Pinetum mugii silicicolum*) entwickeln, die durch das Auftreten von Heidel- und Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*), Rostblättriger Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*) sowie Krähenbeere (*Empetrum hermaphroditum*) gekennzeichnet ist, so OZENDA (1988). Beide Formen können gemäß HAFENSCHERER & MAYER (1986) in unmittelbarer Nachbarschaft vorliegen bzw. mosaikartig in einander greifen.

Insbesondere in enger Verzahnung mit den lokalen Schlusswaldgesellschaften der montanen Stufe kommt mit dem Schneeheide-Latschengebüsch (*Erico-Pinetum*) eine dritte Form des *Pinetum mugii* vor. Kalkzeiger wie Grüner Alpendost (*Adenostyles glabra*) oder Silberwurz (*Dryas octopetala*) dominieren neben *Erica herbacea* auf flachgründigen, erosionsanfälligen Rendzinen und Protorendzinen (HAFENSCHERER & MAYER 1986).

2.5.4 Alpine und subnivale Stufe

Die alpine Stufe wird von Rasengesellschaften dominiert, die je nach Standorteigenschaften unterschiedlich ausgeprägt sein können. Am weitesten verbreitet sind dabei Blaugras-Horstseggenrasen (*Seslerio-Semperviretum*), die auf sonnseitigen Hängen mitunter bis in die subalpine Stufe hinabreichen. Dort, wo die Böden tiefgründiger und feuchter sind, werden sie von Rostseggenrasen (*Cari-*

cetum ferruginei) abgelöst. An die Bedingungen im stark windexponierten Gelände mit oft fehlendem Schneeschutz und extremen Temperaturen ist wiederum der Nacktrietrasen (*Elynetum*) am besten angepasst, der jedoch auf oberflächlich versauerten Humuskarbonatböden meist nur kleinflächig ausgebildet ist. Im zunehmend felsigeren Terrain über nicht sehr tiefgründigen und humusarmen Protorendzinen ist schließlich der Polsterseggenrasen (*Caricetum firmae*) vorherrschend. Weiter nach oben hin dünne die Rasen allmählich aus und nur mehr Moose und Flechten können sich halten (SCHIECHTL ET AL. 1987; OZENDA 1988; FRIEDMANN & KORCH 2010).

Neben den alpinen Rasen spielen Schutt- und Felsspaltengesellschaften ebenfalls eine wichtige Rolle. An Vertretern der Schuttgesellschaften ist in Hochlagen auf stark bewegtem Material häufig die artenarme nordalpine Täschelkrautflur (*Thlaspietum rotundifolii*) anzutreffen. Weiter in tiefere Lagen dringt die Schneepestwurzflur (*Petasitetum paradoxo*) vor, die ebenfalls eine weite Verbreitung zeigt und eher feuchtere Standorte bevorzugt (ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Bei den im Untersuchungsraum auftretenden Felspaltenfluren handelt es sich überwiegend um eine Felsenfingerkrautflur (*Hieracio humilis-Potentilletum caulescentis*), wobei das Fingerkraut selbst nicht bis in die alpine Stufe vordringt, sondern dort nach MEISEL ET AL. (1984) von *Primula auricula* ersetzt wird. Aus den südseitigen Hochlagen des Wettersteingebirges berichtet BAYLFU (2005) außerdem von einer Gesellschaft des Schweizer Mannsschildes (*Adrosacetum helveticae*).

2.5.5 Kulturflächen

Abseits der höhenzonalen Betrachtung sollten die Kulturflächen noch kurz angesprochen werden.

An Weiderasen, die im Untersuchungsgebiet Höhenstufen übergreifend und auch auf ehemaligen Brandflächen verbreitet sind, finden sich u. a. in eher kleinerer Ausdehnung in trockenen Sonnenlagen Trockenrasen des *Mesobrometum und Festuco Brometum*. Darüber hinaus ist großflächig das *Seslerio-Semperviretum* und das *Caricetum ferruginei* vertreten. Ferner ist im Kernbereich der Almen ein *Prunello-Poetum alpinae* ausgebildet und auf stark beweideten Flächen lässt sich ein *Nardetum alpinum* ausmachen. In Verbindung mit der almwirtschaftlichen Nutzung haben sich lokal auch ausgedehnte Hochstaudenbestände in Form von Alpenampferlägerfluren (*Rumicion alpini*) entwickelt.

Eine Mischung aus Mäh-, Weide- und Waldfläche stellen die in größerem Umfang auf dem Mieminger und Seefelder Plateau vorkommenden Lärchenwiesen dar. Es handelt sich hier um lichte, recht artenreiche Haine, die durch Aushieb der stärker schattenden Bäume entstanden sind, i.d.R. einmal im Jahr gemäht und anschließend beweidet werden. Eine forstliche Nutzung findet ebenfalls statt (PITSCHMANN ET AL. 1970).

2.5.6 Vegetationsgeographische Besonderheiten

Aufgrund lokalklimatischer Gegebenheiten (Föhneinfluss, Leelage) lassen sich im Untersuchungsraum thermophile Elemente ausmachen, die sich besonders im Bereich des sog. Innsbrucker Föhndeltas - hier trifft der trockenwarme Südwind aus dem Wipptal direkt auf die Südhänge der Innsbrucker Nordkette - konzentrieren. An submediterranen Vertretern lassen sich beispielsweise Europäische Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*), Manna-Esche (*Fraxinus ornus*), Gewöhnlicher Blasenstrauch (*Colutea arborescens*), Strauchkronwicke (*Coronilla emerus*) oder Zwerg-Nadelröschen (*Fumana procumbens*) aufzählen (PITSCHMANN ET AL. 1970).

2.6 Böden

Bedingt durch die klimatischen Einflüsse, das Relief sowie anthropogene Eingriffe reicht die Bodenbildung im Untersuchungsgebiet meist nicht über ein Initialstadium hinaus. Es sind daher häufig flachgründige und steinreiche Böden mit A-C-Profil anzutreffen. Nur an Gunststandorten beispielsweise in Tallage, in Senken oder im Bereich von Verebnungen finden sich Böden mit fortgeschrittenerer Entwicklung. Aus dem auf kleinem Raum wechselnden Vorherrschen von verschiedenen Bodenbildungsfaktoren ergibt sich dennoch ein Bodenmosaik mit vielen Subtypen und Übergangsformen, auf die im Detail aber nicht eingegangen werden kann.

Die detaillierte Besprechung der im Untersuchungsgebiet weiter verbreiteten Bodentypen soll in Anlehnung an KILIAN ET AL. (1994) und die von VEIT (2002) überarbeitete Höhenstufung der Böden erfolgen (s. Tab.1), die sich idealisiert in Abhängigkeit der Veränderungen der klimatischen und vegetationspezifischen Gegebenheiten mit zunehmender Höhe ergibt. Es wird dabei auch auf Ausführungen von KUNTZE ET AL. (1994), MÜCKENHAUSEN (1993), NESTROY ET AL. (2000), KÜFMANN (2008) sowie BLUME ET AL. (2010) zurückgegriffen.

Tab.1: Höhenstufung der Böden in den Kalkalpen (nach VEIT 2002)

Höhenstufe	Bodentypen
nival	Syroseme, Lockersyroseme
subnival	Syroseme, Lockersyroseme, inselhaft Polsterrendzinen
alpin	Pararendzinen, Tangelrendzinen, Pechrendzinen, alpine Braunerden
subalpin	Tangelrendzinen, Pararendzinen, alpine Braunerden
montan	Rendzinen, Terra fusca, Braunerden
collin	Rendzinen, Terra fusca, Pararendzinen, Braunerden

Der Syrosem ist bedingt durch die anhaltende Abtragung von losem Bodenmaterial in höheren und steilen Lagen des Hochgebirges oft vertreten. In Folge eingeschränkter Verwitterung und biologischer Aktivität weisen Syrosemi nur eine geringe Humusbildung und Horizontdifferenzierung (Ai/(Cv/mC) auf, wobei ein lückiger und weniger als 2 cm mächtiger humoser Oberboden unmittelbar festem Gestein auflagert, das allenfalls 30 cm tief mechanisch zerkleinert ist. Die Bodeneigenschaften werden stark vom Anstehenden geprägt, der Ai-Horizont ist oft steinig und durch extreme Wechsell Trockenheit gekennzeichnet.

Im Gegensatz zum Syrosem weist der Lockersyrosem ein Ai/lCn-Profil mit einem optional durchgehend vorhandenen humusarmen Oberboden auf über 30 cm mächtigem Lockergestein auf. In der Regel stellen Lockersyrosemi nur kurzfristige Durchgangsstadien dar, die sich auf Mergeln schnell zu Pararendzinen entwickeln. Sie bleiben nur dort länger erhalten, wo die Entwicklung der Vegetation eine ständige Störung, wie z.B. durch Materialumlagerungen, erfährt. Das Ausgangsgestein beeinflusst auch hier maßgeblich die Eigenschaften des Bodens, der im Allgemeinen einen tiefgründigen, potentiellen Wurzelraum aufweist.

Das Ah/C-Profil der typischen (Mull-) Rendzina besitzt einen oft humus- und skelettreichen, krümeligen Oberboden (Humusanteil < 30 %) über einem festen oder lockeren Carbonat- oder Sulfatgestein. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstand des Bodens und dem Verlauf der Humifizierung, die besonders im Hochgebirge gestört sein kann, treten eine Reihe von Subtypen auf, die nun kurz erläutert werden sollen. Am Beginn der Entwicklung steht die sog. Proto- oder Syrosem-Rendzina mit einem weniger als 2cm mächtigen A-Horizont. Mit fortschreitender Lösungsverwitterung und der Bildung von Residuen entsteht über das Zwischenstadium der Mullartigen Rendzina die Typische bzw. Mull-Rendzina. Diese besitzt im Gegensatz zur Mullartigen Rendzina, die noch wenig tonverbundenen Humus, jedoch schon viele koprogene Aggregate aufweist und moderartig erscheint, den charakteristischen Mull im A-Horizont, der u.a. durch eine innige Vermengung von organischer Substanz und mineralischen Bodenbestandteilen, einem engen C/N-Verhältnis und einer regen Tätigkeit der Bodenfauna in Folge hoher pH-Werte und hoher Ca-Sättigung gekennzeichnet ist. Ein weiterer Fortgang der Bodenbildung führt je nach Zusammensetzung des Ausgangssubstrats zur Ausbildung von verbraunten, Braunerde-, Terra-fusca-, Pseudogley- und Pelosol-Rendzinen in hängigem Gelände.

Dort, wo eine Störung der Mullbildung etwa durch Streunutzung, starke Humidität oder Trockenheit gegeben ist, entstehen Moderrendzinen, wobei in den niederen kühlhumiden Lagen der Alpen meist die Alpine Moderrendzina und oberhalb der Waldgrenze die Tangelrendzina ihre Verbreitung finden. Die Tangelrendzina zeichnet sich durch ein L/Of/Oh/Ah/C-Profil mit einer sehr stark ausgeprägten (Roh-) Humusaufgabe von bis zu über 40 cm Mächtigkeit aus - hier können sich lange weitläufig Bodenfeuer halten - und ist in ihrer sauren und dystrophen Ausprägung typisch für Fichtenwälder und Latschenkrummholz. An ihre Stelle tritt unter Rasenbedeckung die Alpine Pechrendzina, bei der der

untere Bereich der Humusauflage schwarz, dicht und in feuchtem Zustand schmierig (pechartig) ist. Beide Bodentypen sind vor allem an sehr reine Kalke und Dolomite gebunden. Lösen sich die angesprochenen Rasen in Polster auf, so entwickelt sich unter diesen die sog. Alpine Polsterrendzina. Die Sonderformen der Tangel-, Pech- und Polsterrendzinen werden häufig ausgeschieden, da Rendzinen an sich zum einen weniger als 30 % Humusgehalt aufweisen (die eben genannten Böden aber Gehalte bis über 80 % besitzen können), und weil zum anderen der Humus dieser Bodentypen oft lediglich aus Auflagehumus, also O-Lagen besteht. Streng genommen handelt es sich somit also nicht um Rendzinen im eigentlichen Sinn, die den wichtigsten Bodentyp der Kalkalpen darstellen.

Verglichen mit der Rendzina geht die Pararendzina, die ebenfalls im Normalfall eine Horizontabfolge von Ah-C zeigt, aus einem deutlich carbonatärmeren Ausgangsgestein wie beispielsweise Geschiebemergeln, kalkreichem Geröll oder Schutt hervor. Typischerweise entsteht dieser Boden dort, wo Erosion das Anstehende freigelegt hat und eine neuerliche Bodenbildung vonstatten geht. Die Eigenschaften des weniger als 40 cm mächtigen Ah-Horizontes im Hinblick auf pH-Wert, Ca-Sättigung, Humusform und Gefüge ähneln denen der Rendzina jedoch durchaus. Der Wasserhaushalt der Pararendzina ist im Allgemeinen von einer gewissen Trockenheit geprägt. Analog der Rendzina können auch bei der Pararendzina entwicklungsbedingte Subtypen unterschieden werden. So entspricht etwa die Versauerte Pararendzina (Moderpararendzina) unter Nadelwald mit ihrem L/Of/Oh/Ah/C-Profil der Tangelrendzina.

Ebenfalls der Rendzina nahe und oft mit ihr vergesellschaftet ist die braune bis rötlich braune Terra fusca (Kalksteinbraunlehm). Sie entsteht durch Versauerung des silikatischen, tonreichen Lösungsrückstandes der Rendzina i.d.R. bei gleichzeitiger Verbraunung und weist vereinfacht dargestellt ein Ah-T-C-Profil bei einem im Vergleich zur Rendzina verminderten Humusgehalt auf und ist vor allem auf Gipfelplateaus, Hangverebnungen und in Akkumulationslagen vorzufinden. Die Vorkommen in den Alpen gelten aufgrund der langen Bildungszeiträume mächtigerer Lösungsrückstände im Allgemeinen als Relikte aus dem Pleistozän oder Tertiär, die häufigen Umlagerungen unterworfen waren. Eine rezente Bildung tiefgründigerer Böden ist auf Kalken mit höherem nichtcarbonatischen Anteil jedoch ebenso möglich.

Weit verbreitet findet sich wiederum oft in engster Mosaiklage mit Rendzina und Kalksteinbraunlehm die zwischen diesen beiden Bodentypen vermittelnde Kalklehmrendzina. Sie tritt als rendzinenartiger Boden auf Hangschutt oder klüftig aufgewittertem Carbonatgestein sowie Terrassenschottern mit Kalklehmkomponenten auf. Ein meist polyedrisches Gefüge sowie ein dunkelbrauner bis schwarzer, basengesättigter Rendzinahumus sind u.a. typische Merkmale der Kalklehmrendzina.

Besonders unter günstigeren Bedingungen, die im flachen Gelände in der montanen und collinen Stufe des Untersuchungsgebiets vorzufinden sind, kommt es auch zur Ausbildung von Braunerden. Diese besitzen i.d.R. ein Ah-Bv-C-Profil und sind hier durch einen hohen Basen- bzw. Kalkanteil und somit pH-Werte nahe 7 charakterisiert und werden daher als basenreiche Braunerde bzw. Kalkbraunerde bezeichnet. Im Allgemeinen zeichnen sich Braunerden neben ihrer entsprechenden Horizontierung durch einen recht geringmächtigen Ah-Horizont von meist weniger als 20 cm und ein subpolyedrisches Makrogefüge mit porösen Aggregaten aus.

In höheren Lagen unter Grünerlenbeständen auf Raibler und Kössener Schichten können Braunerden in Form von eher basenarmen, alpinen Braunerden vorliegen, die vergleichsweise niedrige pH-Werte zeigen.

Abgesehen von diesen Böden mit größerer räumlicher Verbreitung kommen lokal, jedoch auch noch von nennenswerter Bedeutung Gebirgsschwarzerden, Pseudo- und (Hang)-Gleye, An-, Hoch- und Niedermoore sowie im Isar- und Loisachtal Auenböden vor.

Bei sämtlichen oberhalb genannten Bodentypen sind Einflüsse äolischer Ablagerungen in Form von silikatischen Flugstäuben möglich (vgl. KÜFMANN 2008).

2.7 Raumnutzung, Natur- und Landschaftsschutz

Die Hauptsiedlungs- und Wirtschaftsräume befinden sich in den Talräumen (Inn-, Gurgel- und Isarquertal) sowie im Bereich des Mieminger und Seefelder Plateaus. Eine große Bedeutung kommt im Untersuchungsgebiet dem Sommer- und Wintertourismus zu, was sich auch in einer entsprechenden Infrastruktur (Aufstiegshilfen, Wanderwegenetz, Unterkunftshütten, etc.) in der Gebirgslandschaft niederschlägt.

Eine wesentlich längere Tradition als die touristische Nutzung des Gebirges hat die auch heute noch verbreitete Almwirtschaft, die bereits von den Römern intensiv betrieben wurde. Erste größere Eingriffe in den Gebirgswald zur Gewinnung von landwirtschaftlichen Kulturflächen in Form von (brandwirtschaftlichen) Rodungen fanden jedoch erst im sechsten und siebten Jahrhundert nach Christus im Zuge der bajuwarischen Besiedlung Tirols statt, da die Römer noch überwiegend die alpinen Matten oberhalb der Waldgrenze als Weideflächen genutzt hatten. Eine zweite noch intensivere Rodungsphase folgte nach der Jahrtausendwende mit steigenden Bevölkerungszahlen und nahm ihren Höhepunkt zur Zeit der Siedlungsblüte im 12. und 13. Jahrhundert (SCHRECKENTHAL 1933; OBERRAUCH 1952).

Wohl noch weiter zurück reicht die Geschichte des seit 1967 eingestellten intensiven Bergbaus (vgl. 2.2) und dessen schwerwiegenden Auswirkungen auf den Waldbestand in Tirol. Insbesondere während der Hochzeit im 15., 16. und 17. Jahrhundert wurden Unmengen von Holz für die Absicherung

der Stollen, v. a. aber für das Salzsieden in der Saline Hall benötigt, was sich in einem massiven Raubbau nicht nur in den tirolischen Wäldern äußerte (vgl. SCHRECKENTHAL 1933). Heute findet lediglich noch im Bächental (Nordostkarwendel) in kleinem Rahmen der Abbau von Ichtyolschiefern zur Steinölgewinnung statt. Es war nicht zuletzt Aufgabe der nach wie vor wichtigen Forstwirtschaft, diese Missstände wieder zu beseitigen und für einen nachhaltigen Umgang mit der im Gebirge besonders wertvollen Ressource Wald zu sorgen. Einen nicht unmaßgeblichen Beitrag zur Instandhaltung intakter Wälder leistet auch die organisierte Jagd, die schon seit langem - HAFENSCHERER & MAYER (1986) nennen für das Karwendeltal das Jahr 1490 - in dieser Region betrieben wird.

Dem Natur- und Landschaftsschutz wird im Untersuchungsgebiet nicht zuletzt auch auf Grund seiner Nutzungsgeschichte große Aufmerksamkeit geschenkt. Allein im Karwendelgebirge gibt es vier Naturschutzgebiete, sechs Landschaftsschutzgebiete und zwei Ruhegebiete, die laut SONNTAG (2009) zusammen eine Fläche von ca. 920 km² einnehmen, als Natura 2000 Gebiet ausgewiesen sind und im Verbund zu den größten Schutzgebieten der Ostalpen zählen. Auch im und um das Wettersteinmassiv gibt es durch eine Vielzahl an verschiedenen Schutzgebieten einen nahezu flächendeckenden Natur- und Landschaftsschutz von rund 150 km², wie dem Onlineviewer des Bayerischen Fachinformationssystems Naturschutz FIN-Web zu entnehmen ist (STUMG, LFU, GUC 2012). Lediglich knapp 11 km² an Schutzgebietsfläche lassen sich jedoch im Einzugsbereich der Mieminger Kette ausmachen (LAND TIROL, TIRISMAPS 2012).

3. Verwendete Methoden und Datenquellen

3.1 Rekonstruktion und Analyse der regionalen Waldbrandhistorie

Potentielle Datenquellen zur Gewinnung von Informationen zur jüngeren Waldbrandgeschichte (1500-2010) waren insbesondere im Umfeld forstlicher Einrichtungen sowie der Feuerwehr zu vermuten, haben sich doch diese primär mit dieser Problematik auseinandersetzen. Darüber hinaus waren auch von Waldbrandspuren im Gelände, speziellen Flurnamen in Landkarten oder Ortskundigen wertvolle Hinweise zu erwarten. Anhaltspunkte zur älteren Waldbrandgeschichte sollten durch Holzkohlenachweise und -datierungen in natürlichen Archiven (Böden, Moore, Seen) gewonnen werden.

Im Folgenden werden die verschiedenen Möglichkeiten der Informationsgewinnung und -verarbeitung, die im Rahmen dieser Arbeit Verwendung fanden, näher erörtert. Anzumerken ist, dass sich die Wahl der unterschiedlichen Vorgehensweisen vornehmlich am Zeitraum, für den die Daten zu erheben waren, orientierte.

3.1.1 Internet- und Literaturrecherche

Die in heutiger Zeit wohl naheliegendste Informationsquelle - auch im Hinblick auf Waldbrände - stellt das Internet dar. In regelmäßigen Abständen wurden daher die Webseiten von über 25 Feuerwehren im Untersuchungsgebiet sowie das Internetportal für Feuerwehr und Rettungsdienst „wax.at.“ besucht. Hierbei ließen sich neben zahlreichen Daten zu jüngeren Waldbränden auch Auszüge aus Feuerwehrchroniken mit Angaben zu früheren Löscheinsätzen bis ins Jahr 1888 finden.

Die Webseiten der Feuerwehren zeigten im Bezug auf Auskünfte zu Waldbränden z.T. jedoch unterschiedliche Stände. Auf einigen Seiten suchte man z.B. vergebens nach einer Auflistung der Löscheinsätze oder nach Chroniken mit einer Aufführung von besonderen Brandereignissen. Problematisch war zudem, dass sich in manchen Fällen zu den gleichen Waldbränden unterschiedliche Angaben fanden.

Der virtuelle Zeitungslesesaal der Österreichischen Nationalbibliothek „ANNO“ bot außerdem die Möglichkeit, historische österreichische Zeitungen und Zeitschriften online einzusehen (ÖSTERREICHISCHE NATIONALBIBLIOTHEK 2003). Darunter befand sich u.a. die Österreichische Forstzeitung mit Ausgaben aus den Jahren 1883 bis 1937, in der nach Anhaltspunkten zu Brandereignissen recherchiert wurde.

In der digitalen Bibliothek „austrian literature online“ (ABTEILUNG FÜR DIGITALISIERUNG DEA, UNIVERSITÄTS- UND LANDESBIBLIOTHEK TIROL 2009), die Bücher, Zeitschriften, Zeitungen, Handschriften, aber auch Dissertationen, Diplomarbeiten und wissenschaftliche Aufsätze vom 11. Jahrhundert bis zur Gegenwart zur Verfügung stellt, erfolgte ebenfalls eine Suche nach Hinweisen zu Waldbränden. Intensiv wurden dabei die Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins in Innsbruck von 1870 bis 2001 studiert. Zitate bei GRABHERR (1934, 1936) hatten die Aufmerksamkeit auf diese Veröffentlichungsreihe gelenkt.

Schließlich wurde im Internet noch die Onlineausgabe der Seefelder Rundschau (OBERLÄNDER VERLAGS-GMBH o.J.) durchgesehen.

Ebenfalls im Internet erfolgte die gezielte Suche nach alten, z.T. bis ins späte 19. Jahrhundert zurückreichenden Post- bzw. Ansichtskarten, die Landschaftsausschnitte aus dem Untersuchungsgebiet zeigen. Damit sollten Aufschlüsse über die lokale Vegetationssituation zu einem früheren Zeitpunkt - etwa vor einem Waldbrand - gewonnen werden. Beispielhaft gelang dies etwa in Zusammenhang mit dem Brandereignis von 1923 am Hochmahdkopf (vgl. Abb.11). Weiters wurde davon ausgegangen, dass auf solchen Karten auch alte Waldbrandflächen noch zu erkennen sind, die heute bereits wieder Vegetation bedeckt. Zur Verortung bzw. Abgrenzung gerade von älteren Brandereignissen sind solche Darstellungen durchaus hilfreich gewesen.

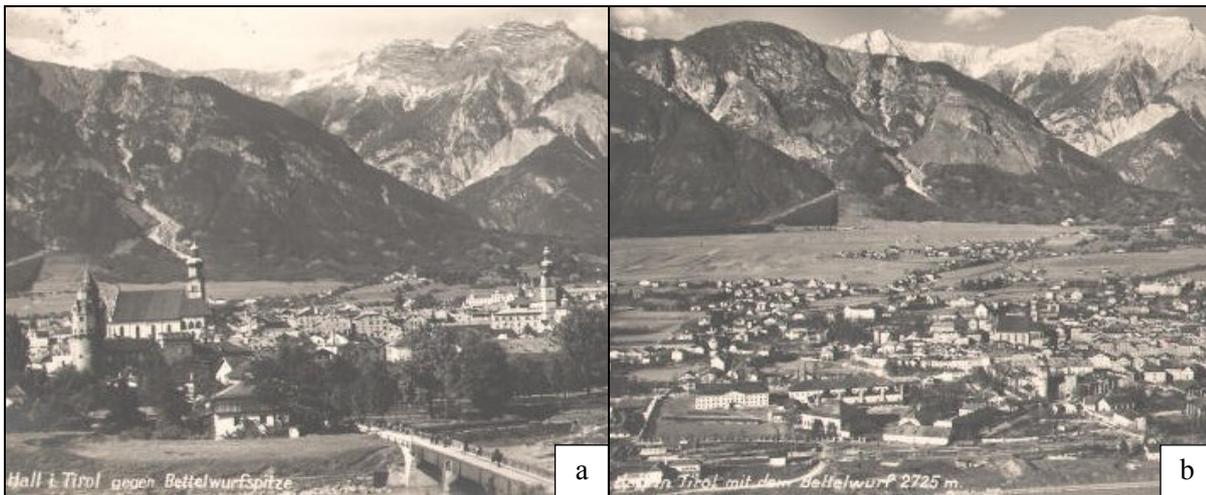


Abb.11: Postkarte von Hall i.T. vor (a) und nach (b) dem Waldbrand am Hochmahdkopf von 1923 (nach BARTKO-REHER OHG 2009)

Noch besser eigneten sich jedoch (historische) Luftbilder, die im Luftbildatlas des Tiroler Raumordnungs-Informationssystems „tiris“ (LAND TIROL, ABT. GEOINFORMATION 2011a) ab einem Maßstab von 1:50000 abgerufen und heruntergeladen werden können. Sie erlaubten mit ihrer Reichweite bis 1946 ähnlich den Ansichtskarten ebenfalls einen wichtigen Blick in die Vergangenheit und ermöglichten vielfach eine Lokalisierung gerade älterer Waldbrandareale. Mit ihrer Hilfe gelang es, auch einige sog. „Brandverdachtsflächen“ auszumachen, die in ein GIS (s. u.) übertragen wurden. Brandverdachtsflächen sind Areale, die von ihrem Erscheinungsbild her wie Waldbrandflächen aussehen, also keinen oder einen auffälligen Bewuchs im Vergleich zur Umgebung aufweisen, für die aber der Nachweis eines Waldbrandes noch nicht erbracht worden ist. Eine Geländebegehung sollte in diesen Fällen Klarheit schaffen.

Manche der Ansichtskarten schieden in Folge mangelnder Qualität von vornherein für eine Verwendung aus. Bei brauchbaren Exemplaren fehlten mitunter Zeitangaben wie Poststempel oder Erscheinungsjahr, was eine genauere zeitliche Einordnung des Dargestellten schwierig machte. Nicht einfach

gestaltete sich auch die Übertragung der Abgrenzungen der (vermeintlichen) Brandflächen aus den Postkarten bzw. älteren Luftbildern ins GIS aufgrund des Vorliegens teils sehr unterschiedlicher Perspektiven. Bei den Luftaufnahmen von 1946 trat zusätzlich das Problem zu Tage, dass sie überwiegend im Winter gemacht worden waren und die Schneebedeckung eine Interpretation erheblich erschwerte. Hinzu kam eine oftmals recht grobe Auflösung, die notwendige Detailansichten im Einzelfall nicht ermöglichte. Das größte Problem war jedoch das Fehlen von historischen Bilddokumenten zu einem Großteil der recherchierten Brände.

3.1.2 Kontakte mit Fachleuten/ -behörden, Zeitzeugen, Ortskundigen und Chronisten

Um über das Internet hinaus etwas über Waldbrände und deren Auswirkungen in Erfahrung zu bringen, wurde u. a. mit entsprechenden Institutionen und Personen aus den Bereichen Wald und Feuerwehr per Email und/oder persönlich Verbindung aufgenommen (vgl. Tab.2).

Tab.2: Ansprechpartner aus den Sektoren Wald und Feuerwehr

Wald (Tirol)	Wald (Bayern)	Feuerwehr
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lebensministerium Abteilung IV/1: Waldpolitik u. Waldinformation ➤ Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft ➤ Österreichische Bundesforste, Forstverwaltung Oberinntal ➤ Bezirkshauptmannschaften und -forstinspektionen Innsbruck, Reutte, Schwaz, Imst, Hall ➤ Landesforstdirektion Tirol ➤ mehr als 30 Waldaufseher ➤ BOKU Wien 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Staatsministerium für Landwirtschaft u. Forsten ➤ Bayerische Staatsforsten, Forstbetriebe Oberammergau und Bad Tölz ➤ Landesanstalt für Wald- u. Forstwirtschaft Freising ➤ Amt für Landwirtschaft u. Forsten Weilheim i.OB ➤ Forstrevier Murnau-Süd 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bezirksfeuerweharchiv Oberbayern ➤ Feuerwehrdateninformationssystem Tirol ➤ Landesfeuerwehverband Bayern ➤ Landesfeuerwehverband Tirol ➤ Bezirksfeuerwehverband Innsbruck, Reutte, Schwaz, Imst

Die wiederholten Anfragen per Email, insbesondere an die Waldaufseher, brachten allerdings nicht den erhofften Erfolg. Obwohl in jedem Fall um Antwort gebeten worden war, waren die Rücklaufquoten äußerst gering. Gerade von den Waldaufsehern, die den Tiroler Wald in privatem, öffentlichem und genossenschaftlichem Bereich betreuen (VEREINIGUNG DER WALDAUFSEHER UND FORSTWARTE TIROLS 2004), waren reichhaltige Informationen erwartet worden. Von den genannten Feuerwehrorganisationen kamen überhaupt keine Rückmeldungen, aus den Reihen der übergeordneten forstlichen Einrichtungen nur wenige.

Wie sich überhaupt gezeigt hatte, wird die Waldbrandthematik in Behördenkreisen sehr unterschiedlich gehandhabt. In der Forstinspektion Reutte werden beispielsweise ausführliche Waldbrandkataster geführt, während es andernorts weder Aufzeichnungen noch jemand unmittelbar Zuständigen zu geben scheint.

Bei den Nachforschungen wurden auch Gespräche mit Zeitzeugen, Ortskundigen und Chronisten gesucht. Im Einzelnen handelte es sich dabei um die Ortschronistin von Scharnitz, Sieglinde Heiss, Hans Spoetl, der einige Waldbrände in der Umgebung von Hall i. T. selbst miterlebt hat, sowie Peter Steindl, den Dorfchronisten und ehemaligen stellvertretenden Bürgermeister von Absam und Pater Thomas Naupp, Stiftsarchivar des Klosters Fiecht. Zudem wurden zur Lawinensituation am Brunstein Hermann Baier, der Leiter des Ordnungsamtes Mittenwald und Vize-Obmann der Lawinenkommission Mittenwald, und Peter Hartl, Projektleiter im Rahmen der Planungen eines Lawinenschutzes, befragt.

3.1.3 Archivarbeit

Die Reichweite der bisher genannten Datenquellen genügte in der Breite nicht für die Erarbeitung einer möglichst umfassenden Waldbrandgeschichte, da gerade zu weiter zurück liegenden Ereignissen nur wenige Erkenntnisse zu gewinnen waren. Die Einbeziehung regionaler Archive in die Forschungen schien hier ein viel versprechender Ansatz zu sein. Entsprechend der Lage des Untersuchungsgebietes fiel die Auswahl auf das Staatsarchiv München (SAM), zuständig für alle Fragen des Archivwesens im Regierungsbezirk Oberbayern, das Tiroler Landesarchiv (TLA) und das Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum (TLM), dem eine Spezialbibliothek für gesamttirolische Landeskunde angeschlossen ist.

Sowohl bei den Recherchen im SAM als auch im TLA galt es zunächst eine Übersicht über die Bestände zu gewinnen und herauszufinden, welche Akten sich überhaupt als Quellen eignen. Hilfreich waren dabei der Internetauftritt des jeweiligen Archivs (GENERALDIREKTION DER STAATLICHEN ARCHIVE BAYERNS 1999 bzw. LAND TIROL 2011) sowie das Werk von BEIMROHR (2002) über die Bestände des Tiroler Landesarchivs. Nach der Auflistung der potentiellen Quellen wurden im Archiv die zugehörigen Repertorien (Aktenverzeichnisse) bzw. Indizes auf Hinweise zu Waldbränden überprüft, wobei neben „Waldbrand“ auch Stichworte wie „Schadereignisse“, „Besondere Vorkommnisse“, „Naturereignisse“, „(Wald-) oder (Feuers-) Brunst“, „Feuerwehr“, „Forst“, Feuer oder „Brand“ Verwendung fanden. Abhängig vom Aufbau der Aktenverzeichnisse hatte es sich auch bewährt, die Ortsnamen aus dem Untersuchungsgebiet zu benutzen, so z. B. im TLA bei den Jahrbüchern der Bezirkshauptmannschaften (BH). Konnte etwas Auffälliges entdeckt werden, wurden die entsprechenden Akten(ordner) angefordert.

Die Aufgabenstellung für das Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum war recht klar umrissen. Im Fokus standen die Durchsicht der sog. Schorn-Kartei und Recherchen in der hauseigenen Bibliothek. Im Nachstehenden wird auf die Untersuchungen in den einzelnen Archiven etwas genauer eingegangen.

- Staatsarchiv München

Im Staatsarchiv München erfolgte eine Einsichtnahme in die Bestände der Forstbehörden des 19. und 20. Jahrhunderts. Hierzu zählten sowohl Akten der mittleren Forstbehörde, der Oberforstdirektion München bzw. des Regierungsforstamtes Oberbayern, als auch Dokumente der unteren Forstbehörden, namentlich der Forstämter Fall, Garmisch, Jachenau, Krün, Mittenwald, Partenkirchen und Tölz, die für die Verwaltung des Staatswaldes sowie die Beratung und Aufsicht über den nichtstaatlichen Wald verantwortlich waren. Bei den Unterlagen mit einem verwertbaren Informationsgehalt handelte es sich meist um Schriftverkehr zwischen den Behörden, wie etwa Anzeigen bzw. Meldebögen von Waldbränden oder Jahres- bzw. Rechenschaftsberichte. In diesen informierten die Forstämter die übergeordneten Behörden z.B. über die Holznutzung, die Besitz- und Personalverhältnisse, die Bestandsstrukturen, die Erträge, die durchgeführten Arbeiten oder die im Wald vorgekommenen Schadereignisse. In den Akten der Oberforstdirektion konnten sogar komplette Waldbrandstatistiken für ganz Bayern vorgefunden werden.

Darüber hinaus wurden Unterlagen der während der NS-Zeit bestellten, u. a. mit der Forstaufsicht im Isarwinkel und Mangfallgebirge betrauten Kreisjägermeister gesichtet.

Als problematisch für gezielte Nachforschungen stellte sich heraus, dass nicht sämtliches Archivmaterial zugänglich war. Umfangreiche Akten der im Zuge der Forstreform 2005 aufgelösten Behörden standen der Öffentlichkeit nicht zur Verfügung, da sie zuerst von Archivmitarbeitern noch bearbeitet werden sollten. Hinderlich für ein zügiges Vorankommen der Recherchen war zudem der Umstand, dass die angeforderten Akten aufgrund ihrer Aufbewahrung in einem Außenlager jeweils erst nach rund zweiwöchiger Wartezeit zur Verfügung standen.

Auf eine Untersuchung der sog. Altbestände, die hauptsächlich die Zeit zwischen 1507 und 1803 umfassen, wurde in Folge dessen und unter der auf den bisherigen Erfahrungen basierenden Annahme, dass die zu erwartenden Ergebnisse in keinem Verhältnis zum erbringenden Aufwand stehen würden, verzichtet. Außerdem schien eine umfangreichere Recherche im Tiroler Landesarchiv in Anbetracht des weitaus größeren Anteils von Tirol am Untersuchungsraum sinnvoller.

- Tiroler Landesarchiv

Aus genanntem Grund und weil das TLA umfangreiches Material von Bedeutung bereitstellte, fand der Großteil der Forschungen dort statt. Neben dem Zugang zu den bis ins 11. Jahrhundert zurückreichenden Archivbeständen war eine Recherche in der zugehörigen Bibliothek über einen zentralen Katalog in Form einer Schlagwort- und Namenkartei möglich. Dies stellte sich als sehr nutzbringend heraus, waren doch hier auf schnellem Weg u. a. die Ortschroniken von Absam (SCHOBER 1988), Ehrwald (KECHT 1955), Hall (KLEBELSBERG 1953), Imst (KLEBELSBERG 1954a), Karrösten (HÖLZL 1975), Telfs (STOLZ, PASCHINGER 1955), Vomp (HÖLZL 1978) und Zirl (PRANTL 1960) oder das Bezirksbuch von Schwaz (VILAS 1973) zu finden. Fast alle beinhalteten einen eigenen Abschnitt zur

Geschichte des Feuerlöschwesens mit einer Aufzählung besonderer Einsätze. An weiteren nützlichen Informationsquellen ließen sich Festschriften zu Gründungsjubiläen von Feuerwehren (FFW ARZL 1989, BFV INNSBRUCK 1958) sowie diverse interessante Veröffentlichungen mit Bezug zum Untersuchungsgebiet finden, wie etwa die Werke von BERGER (1927), GAMS (1951), HOCHENEGER (1955), GRABHERR (1963) und OBERRAUCH (1952).

Die eingesehenen Archivalien sind mit ihrem zeitlichen Umfang nach Provenienz geordnet im Anschluss in einer Übersicht (Tab.3) zusammengestellt. Die Gliederung orientiert sich an jener der Archivbestände des TLA (vgl. BEIMROHR 2002).

Tab.3: Eingesehene Archivalien im TLA

Behörden und Ämter (Zentralbehörden)	Behörden und Ämter (Unterbehörden)	Behörden und Ämter (Sonderbehörden)
<u>Älteres Gubernium:</u> Forestalia (1778-1783) <u>Jüngeres Gubernium:</u> Sachgebietsrepertorien (1784-1808) <u>Generallandeskommissariat des Innkreises:</u> Sachakten (1808-1815) <u>Statthaltereie v. Tirol und Vorarlberg:</u> Sachgebietsrepertorien (1850-1908)	<u>BH Imst:</u> Jahresjournale und aus- gewählte Akten (1868- 1969) <u>BH Schwaz:</u> Jahresjournale und aus- gewählte Akten (1868- 1981) <u>BH Innsbruck:</u> Jahresjournale und aus- gewählte Akten (1850- 1980) <u>Kreisamt Schwaz:</u> Indizes (1792-1848)	<u>Obristjägermeisteramt:</u> Amtsprotokolle (1736-1783) <u>Salinenbücher Saline Hall:</u> Waldberichte (1677-1686), Waldamts- bücher (1719-1785), Indizes der Berg- und Salinendirektion (1816-1868), Indizes Forstsachen (1854-1871), Protokolle der Bayrischen Forstin- spektion (1908-1914) <u>Forst- u. Domänendirektion Ibk:</u> Repertorien und ausgewählte Akten (1873-1940) <u>Sammelbestand Forst u. Waldämter:</u> Akten des Forstamtes Hinteriss- Pertisau (1898-1925)
Sammlungen (Mikrofilme)		
<u>Gedenkbücher von Forstverwaltungen:</u> Achtal (1875-1975), Hall (1877-1946), Imst (1884-1939; 1950-1987), Innsbruck (1876-1932; 1950-1980), Scharnitz (1886-1936), Schwaz (1878-1940; 1950-1980)		
<u>Gendarmeriechroniken:</u> Absam (1918-1974), Achenkirch (1896-2003), Ehrwald (1947-1972), Haiming (1941-1997), Hall (1851-2003), Hinteriss (1920-1973), Hötting (1936-1938), Innsbruck (1850-1997), Imst (1850-1971), Jenbach (1877-2004), Leutasch (1918-1976), Nassereith (1878-2003), Obermieming (1898-1938), Roppen (1934-1964), Rum (1946-2001), Scharnitz (1911-1977), Seefeld (1869-1999), Telfs (1887-1969), Zirl (1876-2002)		

Über die in Tab.3 dargestellten schriftlichen Dokumente hinaus wurden auch die Postkarten aus dem Bestand Sammlungen (Lichtbilder) durchgesehen, um gegebenenfalls etwas über Abgrenzungen von Waldbrandflächen o.ä. in Erfahrung zu bringen (s.o.).

Eines der beiden Hauptprobleme in Verbindung mit den Nachforschungen im TLA bestand wie im SAM in der nicht immer uneingeschränkten Zugänglichkeit des Archivmaterials. Im TLA konnte für

die der Öffentlichkeit (noch) nicht freigegebenen Archivalien des Sammelbestandes „Forst- und Waldämter“ bzw. die Gendarmeriechroniken jedoch eine Sondererlaubnis erwirkt werden. Im schlimmsten Fall aber waren Bestände trotz Vorhandenseins von Repertorien bzw. Jahresjournalen bereits vernichtet worden oder ihr Verbleib war in Folge der unzähligen Umstrukturierungen gerade der forstlichen Einrichtungen unbekannt.

Das zweite größere Problem lag in der enormen Zeitaufwendigkeit der Recherchen. Ursache dafür war i.d.R. die Tatsache, dass an wichtige Angaben, wie z.B. den Brandort, oft nur über Umwege zu gelangen war. So musste zunächst ein Aktenverzeichnis bestellt werden, mit dessen Hilfe im Idealfall der eigentliche Akt mit den Ausführungen zum Brandereignis herausgefunden und schließlich angefordert werden konnte. Die dort enthaltene Information zum Ort des Brandes war aber in vielen Fällen nicht direkt verwertbar, da sie kodiert in Form von Forstabteilungsnummern vorlag. Es galt also noch die passenden Forstkarten ausfindig zu machen, um die Waldbrände befriedigend verorten zu können, was entsprechende Anfragen bei den Forstbetrieben der Bayerischen Staatsforsten Bad Tölz und Oberammergau sowie bei der Forstverwaltung Oberinntal der Österreichischen Bundesforste notwendig machte. Hier konnten schließlich mit freundlicher Genehmigung von Herrn Robert Krebs, Richard Baur und Andreas Strudl die Archivinformationen mit alten und aktuellen Forstkarten abgeglichen werden. Ein ähnlich geartetes Problem trat auf, wenn Brandlokalitäten mit alten Ortsbezeichnungen angegeben wurden, die heute nicht mehr verbreitet sind. In diesem Fall wurde - mitunter erfolgreich - versucht, mit Hilfe historischer Kartenwerke aus dem Tiroler Rauminformationssystem tiris, wie z.B. der Kulturren-Skelett-Karte (LAND TIROL 2010a) sowie der ersten bis dritten Landesaufnahme Tirols (LAND TIROL 2010b,c,d), die Standorte der Waldbrände zu finden.

Ein weiterer Punkt, der in diesem Zusammenhang zu nennen ist, war die bei fast jeder neuen Quelle von vorn beginnende Suche nach der Lokalisierung der eigentlichen Informationen. Es stellte sich zudem heraus, dass selbst innerhalb derselben Quelle die gesuchten Angaben in verschiedenen Akten stehen können. So geschehen z.B. bei den Jahrbüchern der Bezirkshauptmannschaft Innsbruck, wo die Waldbrände anfangs in Jahrbuch II, ab einem bestimmten Zeitpunkt aber in Jahrbuch IV indiziert waren. Diese Problematik steht in enger Verbindung mit der Vielzahl von Strukturreformen innerhalb des (forstlichen) Behördenapparates, die Veränderungen von regionalen Zuständigkeiten, von Behördenbenennungen und amtsinternen Strukturen mit sich brachten. Um sicher zu stellen, dass keine Hinweise übersehen werden, mussten so des Öfteren mehr Archivalien durchgesehen werden, als eigentlich notwendig. Dies war umso mehr für Akten zutreffend, zu denen es noch kein Repertorium bzw. keinen Index gab, wie etwa für diejenigen des Forstamtes Hinteriss-Pertisau.

Einen optimalen Ablauf der Archivarbeiten behinderte darüber hinaus die Limitierung der bestellbaren Archivstücke im TLA auf 20 pro Tag.

Schließlich bereiteten der Zustand bzw. die handschriftliche Abfassung der Dokumente in Kurrentschrift beim Lesen selbst nach längerer Einarbeitungsphase immer wieder Schwierigkeiten. In Abbildung 12 ist ein Beispiel eines Schriftstückauszuges durchschnittlicher Qualität dargestellt.

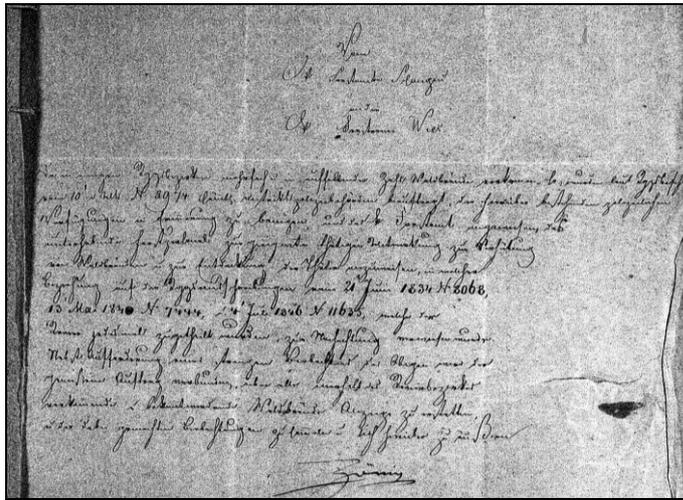


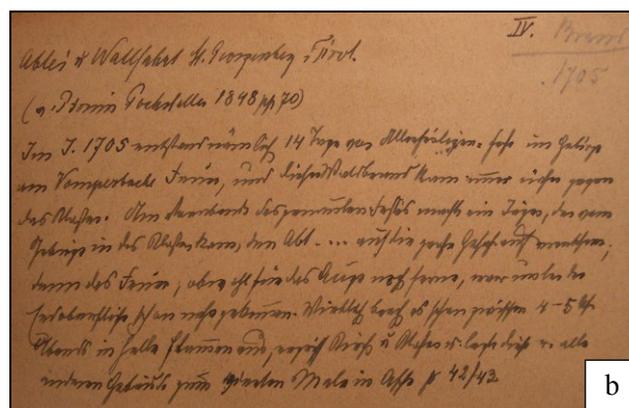
Abb.12: In Kurrentschrift verfasstes Dokument aus dem Jahr 1852 (nach SAM: FORSTÄMTER 19344)

- Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum

Die sog. Schorn-Kartei, eine nach ROHR (2007) vom Tiroler Archivar Josef Schorn Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts angelegte handschriftliche, 6000 Karten umfassende Kartei zu extremen Naturereignissen in Tirol und Vorarlberg vom 11. bis zum beginnenden 20. Jahrhundert, stand im Zentrum der Forschungen im Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum. Abb.13a zeigt einen Schubler dieser Kartei, in dem eigens Geschehnisse zum Stichwort „Brand“ zusammengestellt sind.



a



b

Abb.13: Brand-Schuber aus der Schorn-Kartei (a) nebst Karteikarte zum Großbrand von 1705 (b)
Fotos: Heel

Die Notizen von Schorn waren teilweise nur schwer zu entziffern und vom Inhalt her wenig ergiebig, da sich die von ihm angeführten Brände überwiegend im Siedlungsbereich ereignet hatten. Der Großwaldbrand von 1705 stellte eine der wenigen Ausnahmen dar (Abb.13b).

Im TLM ermöglichte ferner ein Zettelkatalog, der die umfangreichen Bestände samt einem umfassenden Zeitungsarchiv in der landeskundlichen Bibliothek mittels Schlagworten aufschlüsselt, eine einigermaßen gezielte Suche nach Aufzeichnungen zum Thema Waldbrände. Die Recherchen förderten besonders in Bezug auf die vorgefundenen Zeitungsartikel im Verhältnis zum Aufwand nur wenige neue Erkenntnisse zu Tage - vieles war bereits aus den Dokumenten des TLA bekannt. Die Nachforschungen im Ferdinandeum wurden daher nach einer Woche eingestellt. Wie Stichproben anhand von Zeitungsartikeln aber gezeigt haben, sind im Zettelkatalog nicht alle Berichte über Waldbrände verzeichnet, so dass vom Vorhandensein noch weiterer Informationen auszugehen ist.

3.1.4 Literatur- und Kartenstudium: Flurnamen in Landkarten

In Anlehnung an FINSTERWALDER (1990) und GRABHERR (1934), die Flurnamen wie Brandjoch, Brentenkopf, Brunntal, Bajazzbrunst, Durrenbrünstl oder Brunstkopf auf Brandereignisse zurückzuführen, erfolgte in den Alpenvereinskarten 4/1, 4/2, 4/3, 5/1, 5/2 und 5/3 eine Suche nach vergleichbaren Flurnamen. Ihre Lage wurde ins GIS übertragen und ein Abgleich mit den bisher recherchierten Waldbrandinformationen vollzogen. Die Flächen, für die keine korrespondierenden Daten vorlagen, wurden in die Kategorie Brandverdachtsflächen übernommen und sollten einer Geländebegehung unterzogen werden.

Als problematisch erwies sich in diesem Zusammenhang, dass lange Zeit für jede größere Blöbe im Volksmund die Bezeichnung „Brand“ verwendet worden ist, ohne jedoch deren Entstehungsursache genau zu kennen. So gehen laut GRABHERR (1934) einige einschlägige Flurnamen lediglich auf Holzeinschlag und nicht auf Feuer zurück. Endgültige Gewissheit konnte letztlich also nur im Gelände durch den Nachweis von Brandspuren gewonnen werden.

3.1.5 Geländebegehung

Makroskopische Holzkohlenachweise im Boden oder an Pflanzen(resten) sollten die Frage nach dem tatsächlichen Auftreten eines Brandes auf Verdachtsflächen klären. Besaßen die Areale auf den (historischen) Luftbildern meist eine einigermaßen klare Abgrenzung, so musste bei den markanten Flurnamen eine solche i.d.R. anhand von vegetationspezifischen Auffälligkeiten im Gelände erfolgen. Bot sich diese Möglichkeit nicht, sollte das Vorkommen von Holzkohle im Boden zur Festlegung der vermeintlichen Grenzen herangezogen werden.

Sowohl der Brandnachweis als auch die Abgrenzung von potentiellen Brandflächen durch Holzkohlefundorte stellte aber sich als schwieriger wie zunächst angenommen heraus, da sich im Gelände selten

eindeutige und aussagekräftige Brandspuren erkennen ließen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Abhängigkeit von Brennmaterial und Feuerintensität nicht flächendeckend während eines Feuers Holzkohle entsteht und diese gerade im Gebirge verstärkt Verlagerungs- und Abbauprozessen unterliegt (OHLSON & TRYTERUD 2000). Es besteht also durchaus die Möglichkeit, dass auf Brandflächen aus den genannten Gründen Holzkohle nicht (mehr) makroskopisch erkennbar ist. Umgekehrt ist folglich das Vorkommen von Brandresten außerhalb der unmittelbaren Brandgebiete nicht auszuschließen. TINNER ET AL. (2006) konnten beispielsweise bei einem Waldbrand im Wallis in über fünf Kilometer Entfernung vom Brandherd noch bis zu 1,3 cm große Brandrückstände nachweisen, die von Starkwinden dorthin verfrachtet worden waren; BOURGEOU-CHAVEZ ET AL. (2000) berichten von Transportdistanzen von bis zu zwei Kilometern. Es zeigte sich außerdem, dass in den meisten Fällen in Folge des Fehlens von Auffälligkeiten in der Vegetationsstruktur eine engere Abgrenzung eines Brandareals nicht möglich war.

Um diesen Problemen zu begegnen, wurde innerhalb des im Vorwort erwähnten Projekts ein für das Untersuchungsgebiet geltender Mindestwert an Holzkohlevorkommen ermittelt, ab dem ein Waldbrandereignis als wahrscheinlich anzunehmen ist. Des Weiteren fanden nur nestartige, als autochthone Bildungen anzunehmende Ansammlungen von Holzkohle beim Waldbrandnachweis Verwendung.

In manchen Fällen kamen die genannten Schwierigkeiten erst gar nicht zum tragen, da einige vermeintliche Brandflächen in Folge ihrer Lage in unzugänglichem Terrain erst gar nicht begangen werden konnten.

3.1.6 ¹⁴C-Datierung von Holzkohle- bzw. Makroresten im Verbund mit Pollenanalysen

Bei der Suche nach Erkenntnissen zu Bränden, für die es keine schriftlichen oder bildlichen Nachweise gibt, besteht nur mehr die Möglichkeit, auf natürliche Archive in Form von Böden, Mooren oder Seen zurückzugreifen, wo sich Brandrückstände im Untersuchungsraum z. T. über mehrere Jahrtausende erhalten konnten. Für die Gewinnung datierbaren Materials waren folglich das Anlegen von Bodenprofilen und die Bergung von Bohrkernen erforderlich.

Proben zur Altersbestimmung wurden zum einen offensichtlich holzkohleführenden Schichten aus Böden brandverdächtiger Flächen in Folge einschlägiger Flurnamen (Solenbrunst, im Ödkarl Brennten, Salcherbrand, Am Brand, Mittlerer Brand) entnommen. Zum anderen erfolgten ¹⁴C-Datierungen an Holzkohlestücken tief liegender Holzkohlehorizonte von bereits datierten (Arnspitze, Brunnstein, Issanger, Gamsgarten) oder vom Erscheinungsbild her auffälligen Flächen (Brunnsteineck, Hoher Gleirsch), da hier von noch weiteren Brandereignissen auszugehen war. An den Lokalitäten Solenbrunst, im Ödkarl Brennten und Brunnstein konnten Profile mit mehreren übereinander lagernden Holzkohleschichten angelegt werden, wobei die ca. 80 cm mächtige Tangelrendzina am Brunnstein genaueren Untersuchungen unterzogen wurde (s. KIÖS 2006, 4.1.6). Bei der Beprobung wurde darauf geachtet, dass nur aus klar abgegrenzten Horizonten aus nestartigen Ansammlungen Holzkohle ver-

wendet wird und im Idealfall die Einzelstücke ausreichende Größe aufweisen. Die Altersbestimmung selbst wurde von Labors an der ETH Zürich bzw. der Uni Erlangen-Nürnberg übernommen.

Bei den Ergebnissen der Radiocarbonatierungen kam es in Einzelfällen zu Mehrdeutigkeiten. Trotz Vorsicht bei der Probennahme ist nicht auszuschließen, dass bei der Einsendung mehrerer zu datierender Holzkohlebruchstücke innerhalb einer Probe das Resultat lediglich deren Mischalter entspricht. Neben den hohen Kosten, die eine Beschränkung auf 14 Datierungen zur Folge hatte, weist die ^{14}C -Methode außerdem den Nachteil auf, dass sie bei jüngerem Material aus den letzten drei Jahrhunderten nicht mehr einwandfrei anwendbar ist. Für diesen Zeitraum stünden als Alternative dendrochronologische Methoden zur Verfügung, die jedoch aufgrund ihrer in einem Pilotversuch festgestellten Aufwendigkeit und schweren Durchführbarkeit nicht weiter verfolgt wurden.

Bohrkerne wurden nahe Seefeld dem Seefeldersee und nach Vorsondierungen im Halskopfmoor westlich von Achenwald gewonnen und sowohl Pollen- als auch holzkohleanalytisch ausgewertet. Bei der für alle 4 cm erfolgten und an einigen Stellen auf 2 cm verdichteten Analyse durch JÜTTNER (2010) und BÖHM (2011) am über 5 Meter langen Bohrkern aus dem Halskopfmoor kamen die entsprechenden Standardverfahren zur Anwendung, wie sie etwa in ERDTMANN (1954), MOORE ET AL. (1991), JACOMET & KREUZ (1999) oder BEUG (2004) beschrieben werden. Die genauere Vorgehensweise bei der Auswertung des Seefeldersee-Bohrkerns ist WAHLMÜLLER (1985) und KIÖS (2006) zu entnehmen.

Brandhistorische Auswertungen von See- und Torfbohrkernen liefern jedoch im Allgemeinen nur eine recht grobe zeitliche und räumliche Auflösung des Waldbrandgeschehens, da sich über den Abgleich mit den Pollenspektren nur relative Altersangaben machen lassen und die Einwehung von Holzkohlepartikeln auch aus großen Entfernungen das Bild der lokalen Brandgeschichte verfälschen kann. Des Weiteren ist nicht zu unterscheiden, ob die Holzkohle bei Waldbränden oder nur bei häuslichen Feuern entstanden ist.

3.1.7 Aufbau eines Waldbrandinformationssystems

Mit den gewonnenen Informationen wurde eine Waldbranddatenbank bestehend aus einer Tabellendatei und einem Geoinformationssystem (GIS) auf Basis des Programms ArcGIS 9.3 von ESRI aufgebaut. Neben der bloßen Datenspeicherung bot diese Kombination Möglichkeiten für Analysen verschiedenster Art.

Die Grundlage des Waldbrand-GIS bildeten ein Ausschnitt aus der topographischen Karte ÖK 50 (Maßstab 1:50.000) mit einem eigenen Datensatz Höheninformationen (Basis: 20m-Höhenlinien) und ein ebenfalls das Untersuchungsgebiet abdeckender Luftbildteppich aus 533 farbigen Orthofotos (Aufnahmezeit: September 2005, Maßstab: 1:5.000, Bodenauflösung: ein Meter). Des Weiteren lagen eine Karte der aktuellen Vegetation basierend auf den Arbeiten von SCHIECHTL ET AL. (1987) und

MEISEL ET AL. (1984) sowie eine Waldtypenkarte der Landesforstdirektion für Teile des Untersuchungsareals vor. Einen reibungslosen Zugriff auf die erwähnten Geodaten aus dem Tiroler Raumordnungs-Informationssystem machten der Fachbereichsleiter-Stellvertreter für tiris Herr Mag. Hannes Niedertscheider und der stellvertretende Landesforstdirektor Herr Dr. Dieter Stöhr möglich.

Im GIS wurden die recherchierten Waldbrände bei Vorliegen ausreichender Informationen zu ihrer Abgrenzung in Form von Polygonen, ansonsten als Punkte verortet und sämtliche zugehörige Angaben in eine Attributtabelle überführt. Diese enthielt folgende Kategorien: Name, Gemeinde, Gebirge, Datum, Fläche, Ursache, Höhe, Exposition, Neigung, Vegetationssituation vor und nach dem Feuer, Gestein, weitere Anmerkungen, Quelle, Jahreszeit. War zu einem Waldbrand weiterführendes Material wie z.B. Fotos, Geländeprotokolle, historische Luftbilder o.ä. vorhanden, so wurde dieses über Hyperlinks ebenfalls im GIS hinterlegt.

Als Backup aber auch als zusätzliche Option für Auswertungen dienten Exceltabellen, die ebenfalls alle für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Waldbranddaten enthielten. Für eine Erleichterung der Analysen wurden diese feiner aufgegliedert, sodass zu den genannten Kategorien der Attributtabelle noch Feuerart, Monat, Untersuchungsgebiet und Land hinzukamen.

3.1.8 Datenanalyse

Mit Hilfe des GIS wurden räumliche Analysen durchgeführt, die Aufschluss über das Verteilungsmuster der Waldbrände im Untersuchungsgebiet geben sollten. Hierbei ging es in erster Linie um folgende Fragestellungen:

- Wie ist die generelle räumliche Verteilung der Waldbrände
- Gibt es eine regionale Konzentration von Ereignissen („hotspots“)?
- In welchen Höhen und Expositionen treten Waldbrände vermehrt auf?
- Welche Vegetationseinheiten sind betroffen?
- Existieren Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern?

Die Exceltabellen kamen v. a. bei der Waldbrandursachenanalyse und bei Auswertungen, die sich auf zeitliche Aspekte bezogen, zum Einsatz. Im Einzelnen handelte es sich hier um die Erstellung von Waldbrandchronologien und der lokalen bzw. regionalen Brandrekurrenzintervalle sowie die Untersuchung der jahreszeitlichen und monatlichen Auftretshäufigkeiten der Waldbrände.

Daneben wurden aber auch verschiedene Faktoren wie etwa Jahreszeit und Brandgröße, Ursache und Jahreszeit oder Brandgröße und Ursache miteinander in Verbindung gebracht und analysiert.

3.1.9 Fazit

In Folge der Vernichtung bzw. unmöglichen Lokalisierung an sich datenträchtiger Unterlagen ist schwer einschätzbar, inwieweit das Datenpotential tatsächlich ausgeschöpft werden konnte. Es ist ferner davon auszugehen, dass prinzipiell nicht von allen Waldbränden Überlieferungen existierten.

Was die Ergiebigkeit der ausgewerteten Quellen zur im Fokus der Untersuchungen stehenden jüngeren Waldbrandhistorie betrifft, so ist herauszustellen, dass allein in den Archiven über die Hälfte aller Brandfälle dokumentiert war, wobei das TLA hierbei die bedeutendste Rolle einnimmt (s. Abb.14). Innerhalb des TLA kommt die Bezirkshauptmannschaft Innsbruck auf die meisten Beiträge (56) knapp vor den Salinenbüchern (52). Mit großem Abstand folgen dem TLA die Informationsträger Literatur und Internet. ¹⁴C-Datierungen auf einer Brandverdachtsfläche führten nur in einem Fall zum Ziel.

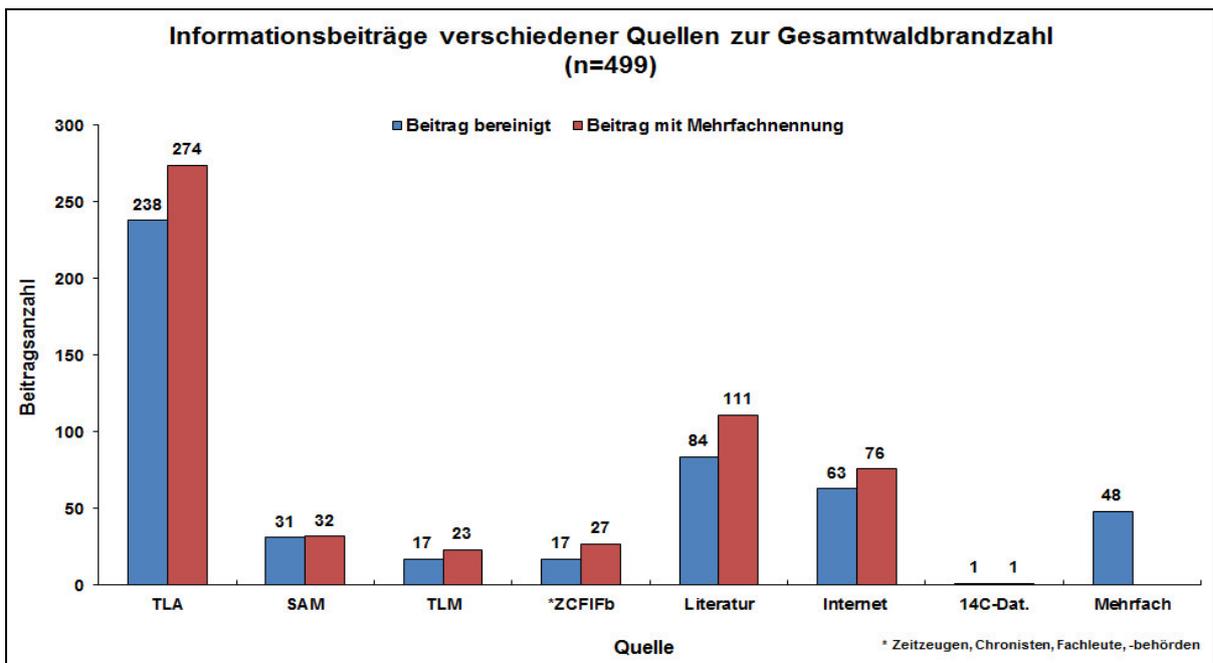


Abb.14: Informationsbeiträge verschiedener Quellen zur Gesamtwaldbrandzahl

		21. Jh.	20. Jh.	19. Jh.	18. Jh.	17. Jh.	16. Jh.	früher
Bilddokumente	Luftbilder		■					
	Historische Postkarten		■	■				
	Sonstige bildhafte Darstellungen		■	■	■	■		
Schriftliche Aufzeichnungen	Archivdokumente TLA		■	■	■			
	Archivdokumente TLM		■	■				
	Archivdokumente SAM		■	■				
	Literatur		■	■	■	■	■	
Internet	Feuerwehren		■	■				
	Zeitungen		■	■				
Zeitzeugen/Chronisten/ Fachleute, -behörden			■	■				
Vegetation			■	■	■	■		
Holzkohlenachweis	Boden		■	■	■	■	■	■
	Seesedimente		■	■	■	■	■	■

Abb.15: Maximale Reichweiten der verwendeten Informationsquellen

Bei den verfügbaren Informationen in schriftlich oder bildlich dokumentierter Form musste festgestellt werden, dass sie mit zunehmender Reichweite in die Vergangenheit ausdünnen und Aufzeichnungen in größerem Umfang nur bis zum Ende des 18. Jahrhunderts zurück überliefert sind. Die maximalen Reichweiten aller verwendeten Informationsquellen im Einzelnen zeigt schematisch Abb.15.

Zur Qualität der gewonnenen Informationen ist zu sagen, dass sie z.T. mangelhaft war: es lagen wiederholt lediglich qualitative Angaben vor, die z.B. das Gelände als steil oder den Waldbrand als groß beschrieben. Im ungünstigsten Fall wurden gar keine Details genannt, sodass bei 499 dokumentierten Bränden nur für 166 eine Ursache, für 219 eine Fläche, für 228 eine Exposition, oder für 369 ein Auftrittsmonat für die Auswertungen zur Verfügung standen. Weitere Mängel bestanden in unterschiedlichen Aussagen zum gleichen Ereignis oder in viel zu unpräzisen Beschreibungen der Waldbrandlokalitäten.

Die Verarbeitung der gewonnenen Informationen war durch die teilweise mangelhafte Datenqualität erschwert. Analysen von mehreren Größen zusammen hatten folglich oft nur eingeschränkte Aussagekraft. Nach Möglichkeit wurden fehlende bzw. irritierende Informationen aus dem GIS ermittelt bzw. mit dessen Hilfe geklärt.

In Folge der unzureichenden Lagebestimmung vieler Waldbrände konnten nur 50 Ereignisse eindeutig im GIS verortet werden. Dabei wurde mit zunehmendem Alter der Schadfälle und verwischenden Waldbrandspuren in der Natur die Zuordnung immer schwieriger bis unmöglich. Es ist zudem generell davon auszugehen, dass nicht jedes Feuer ein Bestand zerstörendes ist und somit nachträglich im Gelände (wieder) erkannt werden kann, wie auch DICKMANN & CLELAND (2002) feststellten. Aus den genannten Gründen unterlagen die raumbezogenen Auswertungen ebenfalls gewissen Einschränkungen.

3.2 Beurteilung des brandinduzierten morphodynamischen Prozessgeschehens

Es wurden oberhalb des Issangers im Halltal (Branddatum 2003) und am Südabfall der Arnspitze bei Scharnitz (Branddatum 1946) Dauerbeobachtungsflächen mit Niederschlagsmesser eingerichtet, um die kurz- bzw. längerfristige Morphodynamik nach einem Waldbrand beurteilen zu können. Im Halltal stand dabei eher die Untersuchung der kleinräumigen Verlagerungsprozesse von Boden- und Feinmaterial im Vordergrund, während an der Arnspitze aufgrund der gänzlich anders gestalteten Rahmenbedingungen der Schwerpunkt mehr auf der großräumigen Umlagerungsdynamik auch im Hinblick auf größere Komponenten lag. Hier konnten ebenfalls aufschlussreiche Erkenntnisse gewonnen werden, was die Effektivität des Gesteinsabtrags durch Lawinen betrifft.

Die Arbeiten wurden hierbei nicht alle vom Autor selbst durchgeführt, er war jedoch zum überwiegenden Teil zumindest in unterstützender Form beteiligt. Es wird daher nachfolgend insbesondere auf

die Arbeiten von SCHIMMER (2009), SASS ET AL. (2010), LEISTNER (2011) und SASS ET AL. (2012a,c) Bezug genommen, denen Details zur Vorgehensweise im Einzelnen entnommen werden können.

3.2.1 Issanger

- Sedimentfallen

Im Sommer 2006 erfolgte im Rahmen eines Geländepraktikums der Universität Augsburg die Installation der ersten vier Sedimentfallen (Nummer 1-4) an Standorten unterschiedlicher Vegetationsbedeckung, wobei Nummer 4 abseits der Brandfläche als Referenzfalle unter ungestörten Bedingungen eingerichtet wurde. Ein Jahr später kamen weitere vier in ihrer Bauweise etwas modifizierte Einrichtungen (Nummer 5-8) hinzu, deren Einzugsgebiete ebenfalls verschiedene Deckungsgrade an Vegetation aufwiesen. Das allen Auffangvorrichtungen zu Grunde liegende Bauprinzip ist in Abb.16 dargestellt. Einen Überblick v.a. über wesentliche Eigenschaften der jeweiligen Einzugsgebiete gibt Tab.4.



Abb.16: Sedimentfallenbauprinzip nach HOINKIS (2004), (Foto: Heel)

Die Mehrzahl an Einzugsgebieten pro Falle ergibt sich aus Varianten bei deren Bestimmung, wobei das Ezg. hydrologisch von den weiteren beschriebenen, Sediment liefernden Einzugsgebieten zu unterscheiden ist. Es resultiert aus der Auswertung von Laserscandaten, die unter Verwendung des Moduls *Spatial Analyst (Flowaccumulation)* in ArcGIS durchgeführt wurde. Das Ezg. gemessen stellt hingegen das direkt im Gelände vermessene Einzugsgebiet dar, bei dem auch die für die Sedimentlieferung entscheidenden kleinräumigen Gegebenheiten Berücksichtigung finden konnten. Beim Ezg. statisch handelt es sich um eine vereinheitlichte, subjektiv festgelegte Fläche von zwei Metern

Längserstreckung über der jeweiligen Auffangvorrichtung, von der angenommen wurde, dass daraus das Gros des innerhalb der kurzen Messzeiträume abgetragenen Materials stammt. Da mit dieser Variante nach eigenen Beobachtungen im Verlauf der Untersuchungen eine möglichst realitätsnahe Darstellung der Prozesse am wahrscheinlichsten schien, diente das statische Einzugsgebiet bei allen Berechnungen flächenbezogener Abtragswerte in dieser Arbeit als Grundlage.

Tab.4: Eigenschaften der Sedimentfallen und deren Einzugsgebiete (Ezg.)

Nummer	Breite [m]	Vegetationsbedeckung [%]	Ezg. [m ²] hydrologisch	Ezg. [m ²] gemessen	Ezg. [m ²] statisch
1	1	0	32	5,4	2
2	1	50	12	8	2
3	1	50	16	12	2
4	1	100	99	24	2
5	1,5	10	28	9	3
6	1,5	75	1258	27,5	3
7	2	90	338	22,5	4
8	1,5	50	520	46	3

Die Zeitabstände zwischen den Leerungen der Sedimentfallen variierten im gesamten Untersuchungszeitraum von 2006 bis 2010 z.T. beträchtlich und reichten von zwei bis vier Wochen bis zu mehreren Monaten. Das aufgefangene Material wurde jeweils im Labor nach Trocknung gewogen, auf sein Korngrößenspektrum sowie auf den Anteil an Holzkohle und organischem Material analysiert.

Bei der Berechnung des Gesamtjahresabtrags wurden aus den den Jahreswechsel beinhaltenden Daten jeweils die Werte für die Zeit seit der letzten Leerung bis zum 31.12. des Vorjahres bzw. ab dem 1.1. bis zur ersten Leerung des Folgejahres abgeleitet.

- Denudationspegel

Zur Untersuchung kleinräumiger Erosions- und Akkumulationsprozesse wurden insgesamt fünf ca. 2-4 m² große Denudationspegelfelder mit sechs bis acht Denudationspegeln (erosion pins) ausgesteckt (vgl. u.a. HAAS 2008). Selbige bestanden aus 40 bis 50 cm langen Eisenstangen mit einem Durchmesser von 8 mm, die 20 bis 30 cm in den Boden versenkt worden waren. Von den Pegelfeldern existierten vier bereits im Sommer 2006, während das fünfte Feld 2007 hinzukam. Wie bei den Sedimentfallen wurden die Standorte unter Einbezug der Vegetationsbedeckung und des Mikroreliefs ausgewählt. Eine Besonderheit stellt jedoch Pegelfeld 5 dar, das unmittelbar oberhalb von Sedimentfalle 6 eingerichtet wurde, um einen Ergebnisvergleich zwischen den beiden Methoden anstellen zu können. Die Abmessungszeitpunkte orientierten sich an den Leerungsterminen der Sedimentfallen.

Einen Überblick zur Lage der beschriebenen, von 2006 bis 2010 gewarteten Einrichtungen am Issanger geben sowohl SCHIMMER (2009) als auch LEISTNER (2011).

- Geländekartierung

Der Brandhang wurde bereits 2006 in Abhängigkeit vom Grad der Vegetationsbedeckung und dem Anteil an von Erosion betroffener Fläche in Abschnitte unterschiedlicher morphodynamischer Aktivität unterteilt (vgl. Tab.5). Mittels weiterer Geländebegehungen sowie Detail- und Übersichtsfotos konnte die Entwicklung dieser Bereiche über die Jahre 2008, 2009 und 2010 hin von SCHIMMER (2009) und LEISTNER (2011) verfolgt und auskartiert werden.

Tab.5: Kategorien morphodynamischer Aktivität (nach SASS ET AL. (2012c))

Kategorie	Kennzeichen
Hohe Morphodynamik	Anteil an Umlagerungsfläche > 75 %
Mittlere Morphodynamik	Anteil an Umlagerungsfläche 25-75 %
Geringe Morphodynamik	Anteil an Umlagerungsfläche < 25 %

Als "Umlagerungsfläche" werden in Tab.5 solche Flächen bezeichnet, auf welchen deutlich sichtbar Erosions- und Akkumulationsprozesse stattfanden und die generell durch einen hohen Anteil an nacktem Boden sowie eine entsprechend geringe oder fehlende Vegetationsdeckung charakterisiert waren.

3.2.2 Arnspitze

- Sedimentfallen

Wie am Issanger, so wurden auch an der Arnspitze Sedimentfallen zur Untersuchung von Verlagerungsprozessen eingesetzt und die Sedimente auf die gleiche Weise analysiert. Die Installierung der drei Vorrichtungen erfolgte im Sommer 2008 im westlichen, am besten zugänglichen Bereich der Brandfläche, nachdem Voruntersuchungen bereits in 2004 durch HOINKIS (2004) durchgeführt worden waren. Die Standorte sind wiederum durch unterschiedliche Deckung mit Vegetation gekennzeichnet, wie Tab.6 zu entnehmen ist und analog zum Issanger ergeben sich je nach Verfahrensweise bei der Abgrenzung auch hier verschiedene Einzugsgebietsgrößen. Als Bezugsgröße für vom Brand unbeeinflusste Abtragsverhältnisse dienen hier die Ergebnisse am sog. „Schafhügel“.

Tab.6: Eigenschaften der Sedimentfallen und derer Einzugsgebiete (Ezg.)

Standort	Breite [m]	Vegetationsbedeckung [%]	Ezg. [m ²] hydrologisch	Ezg. [m ²] gemessen	Ezg. [m ²] statisch
Schafhügel	1	100	449	3,5	2
Falle 1	1	50	446	23	2
Falle 2	1	10	468	4,5	2

- Grobsedimentfallen

Zur groben Erfassung der auf die den Hang längs durchziehenden Rinnen konzentrierten Verlagerungsdynamik wurden 2008 in zwei solcher Tiefenlinien Grobsedimentfallen in Form von Gewebenetzen (Maschenweite 5mm) in Verbindung mit Steinwällen und Aluschiene eingerichtet (vgl. Abb.17).



Abb.17: Grobsedimentfalle an der Arnspitze (Foto: Heel)

Dabei sind drei der insgesamt vier Schuttfänger in einer Rinne mit Abständen von etwa 50 m untereinander angeordnet, um so die Materialtransporte innerhalb solcher Rinnen besser erfassen zu können. Der Standort der vierten Falle liegt in einer weiter östlich gelegenen Rinne, die im Vergleich einen deutlich engeren Querschnitt aufweist. Die im Einzelnen ermittelten Einzugsgebietsgrößen zeigt Tab.7. Das zurückgehaltene Material wurde nach den Korngrößen Blöcke, Steine, Grobkies und Kies < 20 mm sortiert im Gelände mit einer Federwaage gewogen.

Tab.7: Einzugsgebiete der Grobsedimentfallen

Standort	Ezg. Hydrologisch [m ²]	Ezg. modelliert (SIF) [m ²]
Rinne 1_1	21327	742
Rinne 1_2	2759	263
Rinne 1_3	3508	672
Rinne 2	52179	733

Die Modellierung der Einzugsgebiete in der letzten Spalte von Tab.7 erfolgte nach einem von HEINMANN ET AL. (1998) und WICHMANN (2006) entwickelten und von HAAS (2008) in den Nördlichen Kalkalpen erfolgreich umgesetzten Ansatz. Die Methode beruht auf einem statistischen Zusammenhang zwischen dem jährlichen fluvialen Einzugsgebietsaustrag und der Größe der tatsächlich Sediment liefernden Fläche (SIF). Die Sediment liefernde Fläche innerhalb eines Einzugsgebiets ist dabei definiert durch einen direkten Anschluss ans Gerinnenetz und potentiell möglichen Abtrag. Hieraus ergeben sich zu deren Festlegung zunächst eine maximale Distanz zu einem Gerinne von 100 m und eine Mindesthangneigung von 25°, wobei die Neigung des jeweiligen Gerinnes nicht unter 3,5° liegen darf. Zusätzlich findet die Vegetationsbedeckung Berücksichtigung, indem bewachsenen Flächen ein Abtragungspotential von 20 % und spärlich bzw. unbewachsenen Arealen ein Wert von 100 % zugeordnet wird. An Eingangsparametern werden also lediglich ein Digitales Höhenmodell, aus dem sich ein Gerinnenetz sowie Hang- und Gerinneneigung berechnen lassen und ausreichende Vegetationsinformationen benötigt.

Einen Überblick zur Lage der beschriebenen, von 2008 bis 2010 gewarteten Einrichtungen an der Arnspitze gibt SCHIMMER (2009).

- Lawinenabtragsbestimmung

Zur Quantifizierung des von Grundlawinen an den Hangfuß transportierten Materials wurden in den Jahren 2004 bis 2009 im Frühjahr die zugehörigen von Schutt bedeckten Schneeakkumulationen Untersuchungen unterzogen. Es wurden dabei je nach den Gegebenheiten Flächen mit niedrigem, mittlerem und hohem Deckungsgrad unterschieden und vermessen. Im Anschluss wurden darin jeweils 1x1 Meter große Bereiche abgegrenzt und das vorgefundene Gesteinsmaterial mit Federwagen gewogen. Mit den für diese repräsentativen Testparzellen ermittelten Werten konnte sodann durch Hochrechnung auf den kompletten Ablagerungsraum das Gesamtgewicht des vom Hang abgetragenen Gesteins bestimmt werden. Die Einbeziehung der einzelnen Lawineneinzugsgebiete bzw. der gesamten Hangfläche ermöglichte schließlich die Berechnungen konkreter Abtragszahlen. Die Einzugsgebiete wurden hierbei aus einem Digitalen Höhenmodell abgeleitet und für die Bestimmung der Erosionsraten wurden die Dichten von massivem Wettersteinkalk (2,6 t/m³) und Gesteinsschutt (1,8 t/m³) verwendet (SASS ET AL. 2010).

3.2.3 Aufgetretene Schwierigkeiten

Die Durchführung der notwendigen Geländearbeiten im alpinen Gelände war in höherem Maße von günstigen Witterungsverhältnissen abhängig und wurde durch die topographischen Gegebenheiten erschwert. Hinzu kamen im Einzelfall methodenspezifische Schwierigkeiten, die nachfolgend kurz angerissen werden sollen.

- Sedimentfallen

Die Einrichtung der Sedimentfallen war nicht ohne entsprechende Eingriffe in das Bodengefüge des unmittelbaren Einzugsgebiets möglich. Insbesondere die Herstellung und Aufrechterhaltung eines nahtlosen Überganges zwischen Gelände und Sedimentauffangvorrichtung stellte eine besondere Herausforderung dar. Ebenso nicht ganz einfach gestaltete sich die Abgrenzung der jeweiligen Einzugsgebiete, da es ja vordringlich darum ging, zu lokalisieren, aus welchen Arealen überhaupt Material in die Fallen eingetragen wird. Aus diesem Grund und um Vergleiche mit anderen Arbeiten zu ermöglichen, wurde wie oben beschrieben, eine Mehrzahl an möglichen Einzugsgebieten gewählt. Im Zusammenhang mit diesen ergab sich die Problematik, dass zunehmender Pflanzenbewuchs eine Veränderung der Ausgangsbedingungen für Abtragsprozesse mit sich brachte. Die Wartung der Fallen erwies sich überdies in Folge wiederholter Beschädigungen und Kleintieransammlungen in den Sedimentbehältern als durchaus aufwendig. Bei Starkniederschlägen erscheint zudem eine Überspülung der Auffangrinnen möglich, die eine Materialablagerung verhindern würde. Bei der Sedimentanalyse konnte der Holzkohleanteil nur für Fraktionen größer 2 mm bestimmt werden, da eine makroskopische Unterscheidbarkeit zum übrigen organischen Material darüber hinaus nicht gegeben war. Darüber hinaus waren die Sedimentmengen z.T. so groß, dass nur Stichproben und nicht das gesamte Volumen untersucht werden konnten.

- Denudationspegel

Beispielsweise bei BARSCH (2000) wird darauf hingewiesen, dass durch die Pegel das Abflussverhalten des Oberflächenabflusses verändert wird, was einen Abtrag von Substrat oberhalb und eine Ablagerung unterhalb des Stabes verursachen und somit die Aussagekraft der Ergebnisse einschränken kann. Zu dieser generellen Problematik kam am Issanger die Verbiegung etlicher Pegel durch die winterliche Schneelast hinzu, was ein Einschlagen von neuen Pegeln notwendig machte und somit zu Unterbrechungen in den Messreihen führte.

- Geländekartierung

Verfahren dieser Art, die mit subjektiven Einschätzungen von verschiedenen Personen in zeitlicher Abfolge verbunden sind weisen immer kleinere Ungenauigkeiten und keine einhundertprozentige Kontinuität auf.

- Lawinenabtragsbestimmung

Der optimale Zeitpunkt für die Geländearbeiten war schwierig zu treffen, an dem die Lawinenabgänge und die Schuttakkumulation auf deren Oberfläche bereits beide abgeschlossen waren. In diesem Zusammenhang ist auf zwei mögliche Sachverhalte hinzuweisen, die einen Einfluss auf die Genauigkeit der erzielten Ergebnisse haben können. Zum einen könnten Lawinenablagerungen schon abgetaut sein, wenn die Untersuchungen zu spät durchgeführt werden. Zum anderen besteht die Gefahr, dass im Fal-

le der Überlagerung mehrerer Ereignisse der mitgeführte Schutt früherer Abgänge nicht Berücksichtigung findet, da er zum jeweiligen Zeitpunkt im Gelände möglicherweise nicht zu erkennen ist. HECKMANN (2006) weist zudem auf das Problem hin, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass das auf dem Lawinenschnee am Hangfuß liegende Gesteinsmaterial z.T. auch durch Steinschlag oder fluvialen Transport dorthin gelangt ist.

- Niederschlagsmessung

Eine kontinuierliche Erfassung der Niederschläge war in beiden Untersuchungsgebieten aufgrund technischer bzw. witterungsbedingter Störungen nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum möglich.

3.3 Untersuchung der Vegetationsdynamik nach Bränden

Im Rahmen der Studien zur Vegetationsdynamik nach Waldbränden kamen Verfahren mit unterschiedlichen Bezugsebenen zur Anwendung. So wurden zur Klärung der kurzfristigen bzw. unmittelbaren Wiederbesiedelung von Brandflächen Erhebungsmethoden auf Artebene gewählt, die unter 3.3.1 bis 3.3.4 näher erläutert sind. Zur Erfassung der Vegetationsverhältnisse auf älteren Brandhängen hingegen sollte eine gröbere Betrachtung in Form einer Bestandsaufnahme der vorherrschenden Vegetationstypen genügen (s. 3.3.5). Diese Vorgehensweise schien unter Berücksichtigung des erforderlichen Aufwandes - etwa im Vergleich mit pflanzensoziologischen Untersuchungen auf den 50 abgegrenzten und z.T. über 100 ha umfassenden Arealen - und der schlussendlichen Aussagefähigkeit der Resultate am sinnvollsten.

3.3.1 Jährliches Artenmonitoring Brandfläche Issanger

Auf der Brandfläche Issanger wurden in 2006 acht Vegetationsbeobachtungsflächen (A1-4 und A6-9) ausgepflockt und deren Pflanzenbestand entsprechend der vorgefundenen Gegebenheiten getrennt nach Strauch- und Krautschicht erhoben. Nach einer allgemeinen Charakterisierung der Untersuchungsflächen (Höhenlage, Exposition, Neigung, Grad der Vegetationsbedeckung) erfolgte die Aufnahme der Arten unter Berücksichtigung ihres Deckungsanteils an der Gesamtfläche in Anlehnung an BRAUN-BLANQUET (1964). Die Aufnahmeflächen wiesen eine Größe von ca. 25 m² auf, mit Ausnahme von Nummer 4, die 40 m² umfasste. Die Erhebungen wurden in den Jahren 2007 bis 2009 wiederholt, wobei mehrere Geländeaufenthalte im Jahr notwendig waren, um möglichst alle vorkommenden Arten zu erfassen. Vorgefundene Moose gingen aufgrund ihrer schweren Bestimmbarkeit nicht in die Auswertungen ein. Zu Vergleichszwecken wurde ferner das Artenspektrum eines nicht vom Brand betroffener Latschenbestandes (A5) im unmittelbaren Umfeld untersucht. Eine Übersicht zur Lage der einzelnen Monitoringflächen gibt Abb.18.

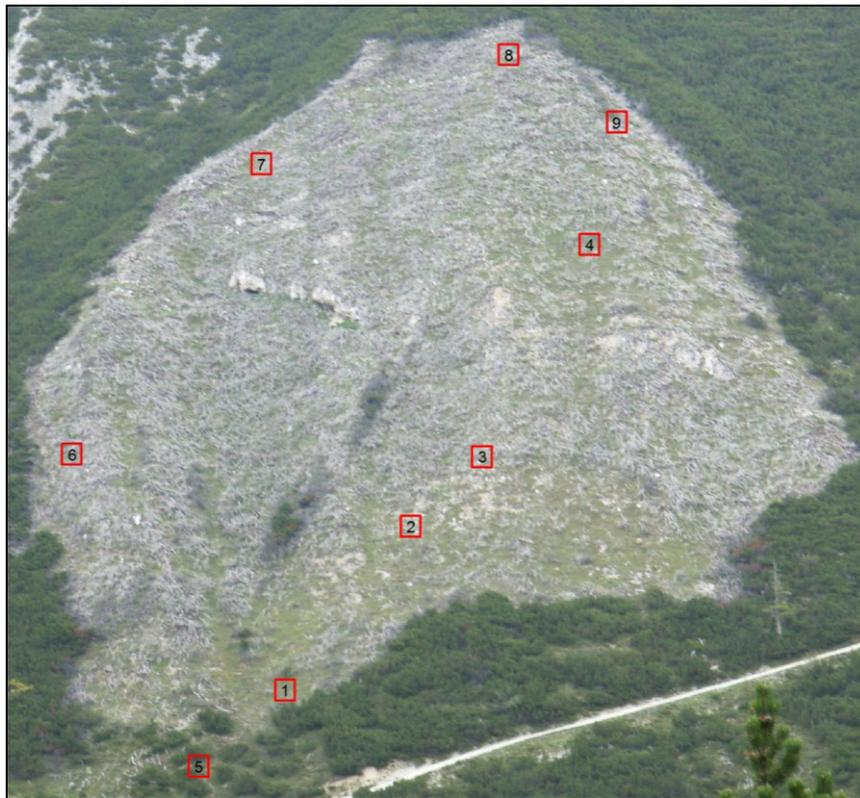


Abb.18: Lage der Monitoringflächen im Bereich der Brandfläche

Mit Hilfe der aus dem Artenmonitoring gewonnenen Erkenntnisse konnte ferner durch eine zusätzliche Geländebegehung eine Übersichtskartierung der gesamten Brandfläche erstellt werden.

Die Geländearbeiten am Issanger waren von einer alljährlichen winterlichen Beschädigung der Monitoringflächenmarkierungen begleitet. Die weitaus größere Schwierigkeit bestand jedoch in der richtigen Wahl der Aufnahmezeitpunkte zur Erfassung möglichst aller auftretenden Arten, da die Blühphasen der Pflanzen z. T. doch wesentlich auseinander lagen. Die ersten Untersuchungen im Jahr 2006 fanden in einer sehr frühen Phase der Vegetationszeit statt, sodass mit Sicherheit keine vollständige Bestimmung der Pflanzenbestände durchzuführen war. Aus diesem Grund können die Ergebnisse von 2006 nur als grober Anhaltspunkt dienen und sie fließen in die Gesamtauswertung in 4.3.6. nur bedingt ein.

3.3.2 Arten-Vergleichsstudie Brandfläche Im Ödkarl Brennten

Auf der ebenfalls aus dem Herbst 2003 stammenden Latschenbrandfläche Im Ödkarl Brennten (Vomper Loch, unweit dem Issanger) fanden 2008 Studien der gleichen Art wie eben ausgeführt statt, wobei hier nur drei Aufnahmeareale, darunter eine ungestörte Vergleichsfläche, Untersuchungen unterzogen wurden. Es sollte herausgefunden werden, welche Arten hier möglicherweise im Gegensatz zu dem von den Rahmenbedingungen her sehr ähnlichen Issangerbrandhang vorzufinden sind. Der Brandhang

Im Ödkarl Brennten konnte aufgrund seiner erschwerten Zugänglichkeit nur einmal besucht werden, sodass möglicherweise nicht alle dort ansässigen Pflanzen erhoben werden konnten.

3.3.3 Zeigerwertanalyse von Pflanzen nach Ellenberg

Zur Beurteilung der Standortbedingungen auf den jungen Brandflächen Issanger und Im Ödkarl Brennten fand das von Heinz Ellenberg für das westliche Mitteleuropa entwickelte Verfahren der Indikation durch Zeigerwerte Verwendung (vgl. ELLENBERG ET AL. 1992). Diese Vorgehensweise erlaubte aus den ermittelten Pflanzenbeständen vom Issanger und Ödkarl ohne zusätzliche aufwendige Untersuchungen eine ausreichend genaue Ableitung der lokal gegebenen standörtlichen Kenngrößen Licht, Temperatur, Kontinentalität, Feuchtigkeit, Bodenreaktion und Stickstoff- bzw. Nährstoffversorgung.

3.3.4 Vergleich von Artbeständen nach Jaccard

Um die Pflanzenbestände der Vegetationsaufnahmefelder beider Brandflächen für sich als auch miteinander optimal vergleichen zu können, wurde der auf den Botaniker Paul Jaccard zurückgehende Gemeinschafts-Koeffizient verwendet (vgl. JACCARD 1928). Mit diesem Hilfsmittel sollten Anhaltspunkte für die möglicherweise unterschiedliche Entwicklung einzelner Monitoringareale in Bezug auf ihre Wiederbesiedlung auch im Vergleich zu nicht vom Feuer betroffenen Legföhrengbüschen gewonnen werden.

3.3.5 Vegetationstypenanalyse

Im Rahmen von Geländebegehungen wurden erste Erhebungen zu den auf den Brandflächen vorgefundenen Vegetationseinheiten (Wald bzw. Latschen, unterschiedlich dichte alpine Rasen, Fels, (aktiver) Schutt, Gehölzjungwuchs) durchgeführt. Eine differenziertere Betrachtung der Farbgebung der Schuttablagerungen - bewegter bzw. frischer Schutt zeigt i.d.R. eine wesentlich hellere Färbung - erlaubte darüber hinaus Rückschlüsse auf morphodynamische Aktivität.

Eine flächige Auskartierung der Brandhänge erfolgte schließlich anhand der im Waldbrand-GIS vorliegenden Orthofotos. Eigenständige weiterführende Untersuchungen wurden unter Verwendung des obigen Ansatzes im Zuge der Diplomarbeiten von WEBER (2009), STOEGER (2011) und JURASCHEK (2011) - unter zusätzlicher Heranziehung historischer Luftbilder - angestrengt, auf welche im Ergebnisteil Bezug genommen wird.

Bei der Vegetationstypenanalyse unter Verwendung von Orthofotos verhinderten bisweilen Schatten eine folgerichtige Typenzuteilung und die Unterscheidung von Schutt und Fels fiel mancherorts nicht leicht. Unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte der Luftbilder in Verbindung mit verschiedener Farbge-

bung waren hierbei eine besondere Erschwernis. Nicht einfach gestaltete sich außerdem die Ausweisung von Jungwuchs, da gerade unter den schwierigen Wuchsbedingungen im Hochgebirge unter Umständen auch alte Bäume nur geringe Größen aufweisen können.

4. Darstellung der Ergebnisse

4.1 Die regionale Waldbrandhistorie

4.1.1 Räumliches Verbreitungsmuster der Waldbrände 1534-2010

- Übersicht

Allgemein ist festzustellen, dass die Mehrzahl der 499 zwischen 1534 und 2010 dokumentierten Schadereignisse bis auf wenige Ausnahmen in relativer Nähe zum Siedlungsraum stattfand, was auf einen hohen Grad an anthropogener Beeinflussung des Waldbrandgeschehens hindeutet (vgl. 4.1.4). Ein gehäuftes Auftreten von Waldbränden ist im Besonderen für die Südabfälle zum Inntal hin, den Raum Scharnitz sowie das Mieminger Plateau mit einem Schwerpunkt oberhalb von Telfs zu verzeichnen, wie Abb.19 zeigt. Die größte Waldbranddichte (55 WB/10 km²) weist das der Innsbrucker Nordkette zugehörige Gebiet rund um den sog. Hechenberg westlich von Innsbruck auf, wo sich im Zeitraum 1689-2010 auf einer Fläche von etwa 13 km² 71 Waldbrände ereigneten.

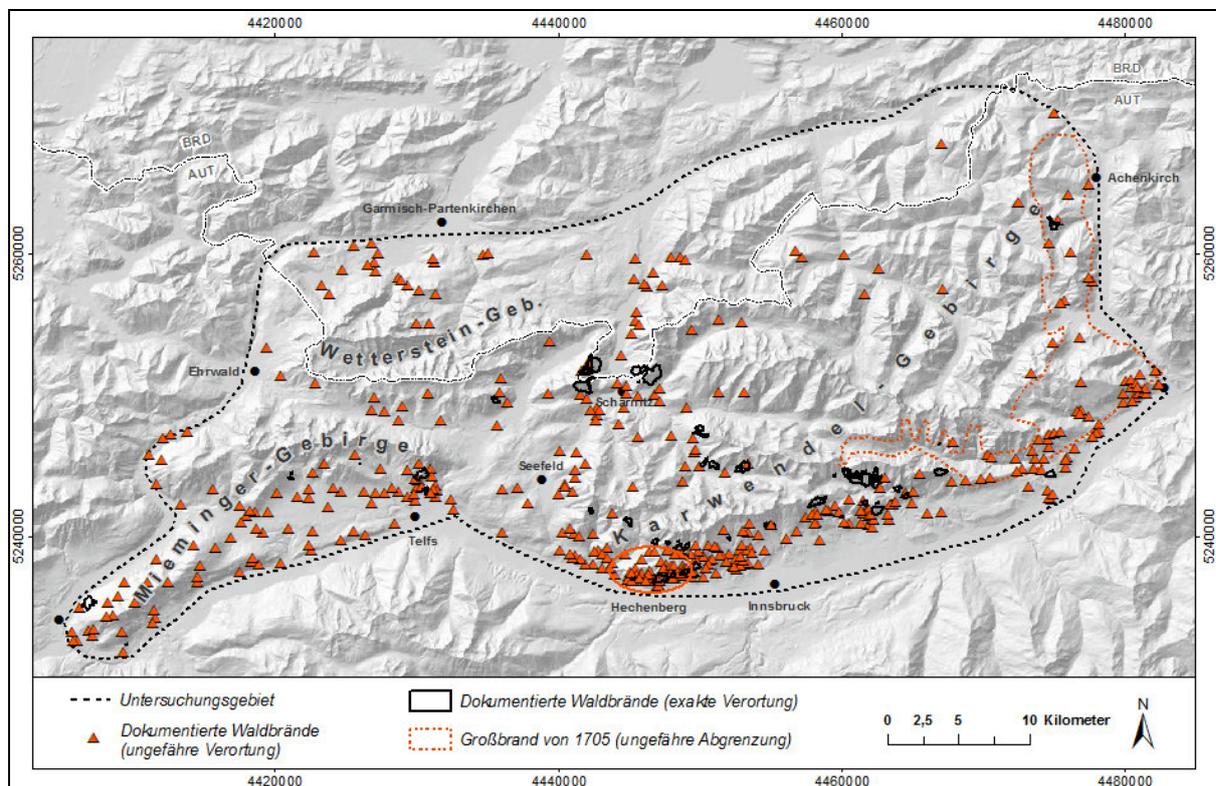


Abb.19: Lage der dokumentierten Waldbrände im Untersuchungsgebiet

Festzuhalten ist weiterhin, dass mit 42 von 499 Waldbränden nur ein Bruchteil (ca. 8 %) auf bayerischem, die überwiegende Mehrheit dagegen (457 bzw. ca. 92 %) auf tiroler Territorium stattfand, wobei der Anteil Bayerns am Untersuchungsgebiet in etwa 25 % ausmacht.

- Subregionale Waldbrandhäufigkeiten

Betrachtet man die vier das Untersuchungsgebiet prägenden Landschaftsräume getrennt von einander, so sticht das Karwendel mit 298 Bränden hervor. Im Mieminger-Gebirge traten zum Vergleich 87, im Wetterstein inklusive der Arnspitzgruppe 49 und im Talraum des Inns 52 Ereignisse auf (s. Abb.20). 13 Schadfälle waren aufgrund unzureichender Quellenangaben oder Verortung im Bereich des Seefelder Plateaus nicht eindeutig zuordenbar. Unter Einbeziehung der Flächen der jeweiligen Teilräume ergibt sich ein etwas anderes Bild: das Inntal weist hier mit 4,3 Waldbränden pro 10 km² den höchsten Wert gefolgt vom Mieminger-Gebirge mit 3,6 WB/10 km² auf. Erst an dritter Stelle steht das Karwendel-Gebirge (2,9 WB/10 km²) klar vor dem Wettersteinmassiv (1,4 WB/10 km²). Für den gesamten Untersuchungsraum errechnet sich zum Vergleich eine mittlere Waldbranddichte von 2,8 WB/10 km². In Folge der Vielzahl an Ereignissen im Karwendelgebirge, dessen schierer Größe und dessen vielgliedrigen Aufbaus bietet sich hier eine genauere Betrachtung sowohl der absoluten als auch der relativen Waldbrandhäufigkeiten auf der Ebene einzelner Gebirgsabschnitte an. Einen entsprechenden Überblick dazu gibt Abb.20. Auffällig ist darin insbesondere die sehr hohe Zahl an Ereignissen im Bereich der Innsbrucker Nordkette (149), wo allein die Hälfte aller Brände innerhalb des Karwendels ausgebrochen ist. Ins Auge fällt zudem, dass mit zunehmender Entfernung zum Inntal die Waldbrände tendenziell weniger werden. So waren beispielsweise im Vorkarwendel trotz seines großen Anteils an der gesamten Gebirgsfläche lediglich 13 bzw. 0,4 Ereignisse pro 10 km² zu verzeichnen. Ebenfalls eine Abnahme der Waldbrandhäufigkeit zeigt sich gegen das Gebirgsinnere hin. So waren für die zentral gelegene Falken-Gamsjoch-Sonnjochgruppe beispielsweise keine Brandereignisse nachzuweisen. Weitere Aspekte des subregionalen Waldbrandgeschehens werden unter 4.1.6. näher beleuchtet.

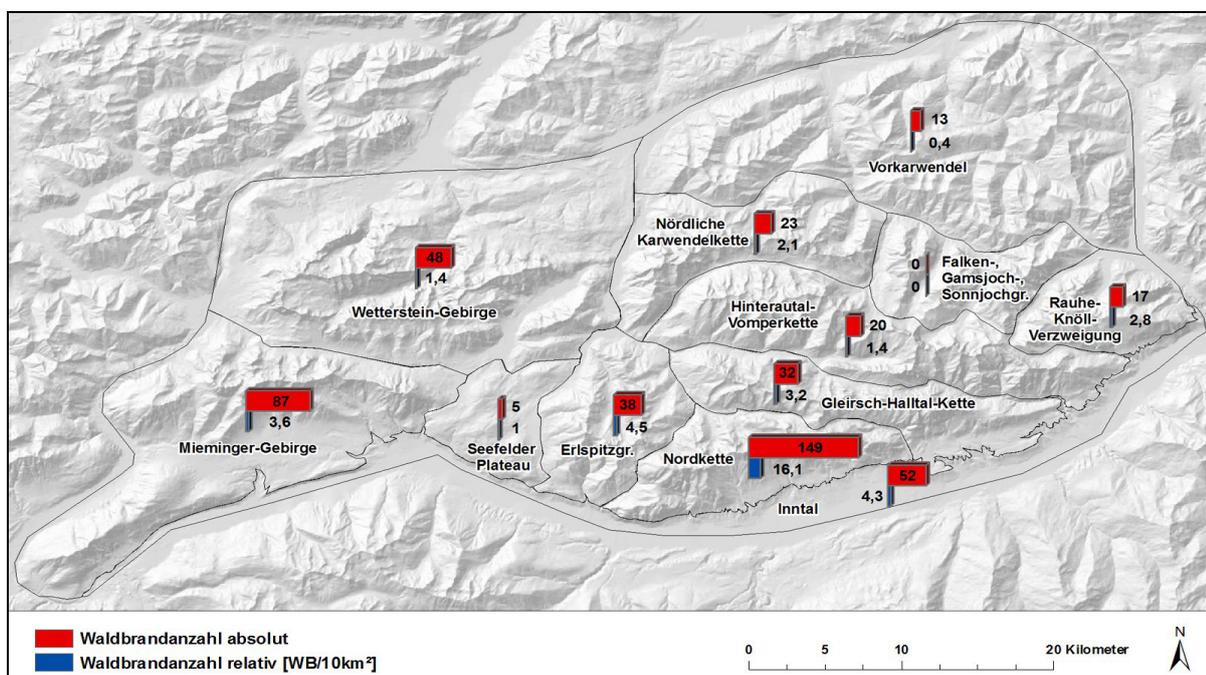


Abb.20: Absolute und relative subregionale Waldbrandhäufigkeiten im Untersuchungsraum

- Kommunale Waldbrandhäufigkeiten

Insgesamt waren 35 Gemeinden im Untersuchungsraum von Waldbränden betroffen, Krün blieb als einziges verschont. Bemerkenswert ist, dass sich allein in den fünf Kommunen Innsbruck, Zirl, Scharnitz, Absam und Vomp zusammen über die Hälfte aller zuordenbaren Ereignisse (245 von 467) zuge tragen hat. Wie Tab.8. zeigt, ereigneten sich auf Innsbrucker Gebiet mit großem Abstand die meisten Schadensfälle (99). An zweiter Stelle findet sich Zirl mit 50 Bränden vor Scharnitz mit 35. Der Durchschnitt lag bei rund 13 Ereignissen pro Gemeinde, der Median bei 6,5.

Tab.8: Waldbrände pro Gemeinde (n=499)

Brandanzahl	0-1	2-6	7-14	15-30	>30
Gemeinde	Krün (0)	Rum (2), Silz (3)	Eben (7)	Stans (15)	Nicht zuzuordnen (32)
	Gnadenwald (1)	Karres (3)	Karrösten (8)	Thaur (17)	Scharnitz (35)
	Lenggries (1)	Reith (3)	Wildermieming (8)	Mittenwald (20)	Zirl (51)
	Mils (1)	Ehrwald (3)	Garmisch-Part. (9)	Telfs (25)	Innsbruck (99)
	Mötz (1)	Tarrenz (4)	Seefeld (11)	Vomp (30)	
	Petttau (1)	Terfens (4)	Grainau (12)	Absam (30)	
	Roppen (1)	Achenkirch (5)	Obsteig (12)		
		Haiming (6)	Leutasch (13)		
		Jenbach (6)	Mieming (14)		
		Nassereith (6)			

Unter Einbezug der Gemeindegebietsfläche (Tab.9) wartet ebenso Innsbruck mit dem höchsten Wert (1,28 WB/10 km²) auf. Ebenfalls auf über einen Waldbrand pro zehn Quadratkilometer kommt die relativ kleine Kommune Karrösten. Vomp und Scharnitz, die unter Berücksichtigung der bloßen Ereignisanzahl zu den fünf waldbrandreichsten Gemeinden zählen, verlieren in diesem Zusammenhang an Bedeutung - sie liegen beide unter dem Gemeindedurchschnitt von 3,5 WB/10 km², bzw. dem Median von 2,4 WB/10 km².

Tab.9: Waldbrände pro 10 km² Gemeindegebietsfläche (n=467)

WB/10km ²	<1	1-1,9	2-3,9	4-10	>10
Gemeinde	Krün (0)	Leutasch (1,3)	Scharnitz (2,2)	Karres (4)	Karrösten (10,1)
	Lenggries (0,1)	Reith (1,4)	Rum (2,3)	Haiming (4,1)	Innsbruck (12,8)
	Eben (0,4)	Mils (1,5)	Grainau (2,4)	Jenbach (4,9)	
	Ehrwald (0,6)	Mittenwald (1,5)	Roppen (2,4)	Telfs (5,5)	
	Gnadenwald (0,9)	Vomp (1,6)	Wildermieming (2,6)	Absam (5,8)	
	Garmisch-Part. (0,9)	Mötz (1,7)	Terfens (2,6)	Seefeld (6,3)	
	Achenkirch (0,9)	Nassereith (1,9)	Tarrenz (2,7)	Stans (7,5)	
	Petttau (0,96)		Mieming (0,28)	Thaur (8,1)	
			Obsteig (3,5)	Zirl (9,2)	
				Silz (9,4)	

- Vertikale Verteilung der Waldbrände

Über die Hälfte aller zuordenbaren Waldbrände fand unterhalb von 1000 m ü. d. M. statt, mit einem Schwerpunkt von 36 % in Höhenlagen von 750 bis 1000 m ü. d. M. Auffallend ist die stetige Abnahme der Ereignisse mit zunehmender Höhe ab 1000 m ü. d. M. mit einem Minimum von 5 % oberhalb von 1800 m ü. d. M. (vgl. Abb.21). Ebenfalls bemerkenswert ist die große Zahl an Bränden unterhalb von 750 m ü. d. M. trotz des vergleichsweise geringen Anteils dieser Höhenstufe am gesamten Untersuchungsraum. In der gesamten vertikalen Verteilung schlägt sich der unterschiedliche Grad der anthropogenen Einflussnahme deutlich nieder. Zudem muss der mit der Seehöhe geringer werdende Anteil an Gehölzen berücksichtigt werden. Anzumerken ist, dass für die übrigen 214 Ereignisse in Ermangelung entsprechender Informationen keine Höhenzuweisung erfolgen konnte.

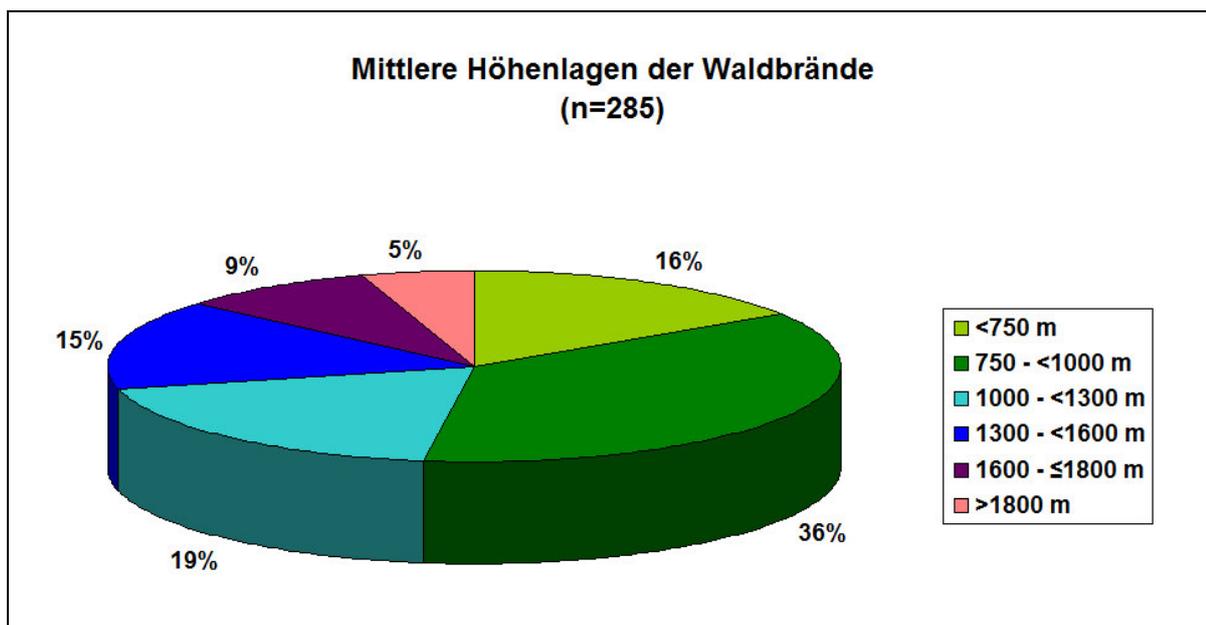


Abb.21: Verteilung der Waldbrände über verschiedene Höhenlagen

- Exposition der Waldbrandlokalitäten

Aus der Analyse der schriftlichen Aufzeichnungen in Verbund mit Auswertungen aus dem Waldbrand-GIS geht hervor, dass nur für 228 Waldbrandlokalitäten näherungsweise Angaben zu deren Exposition gemacht werden können. Wie schon zu Beginn des Kapitels angedeutet wurde, brachen die Brände ganz überwiegend (80 %) in Lagen mit südwärts gerichteter Orientierung aus, allein 60 % in reinen Südlagen. Nur in rund 16 % aller dokumentierten Fälle ereigneten sich die Brände an Standorten, deren grundsätzliche Ausrichtung keine südliche Komponente aufweist. Die restlichen 4 % sind durch wechselnde Expositionen gekennzeichnet. Erwähnenswert ist ebenfalls, dass von den 49 überdurchschnittlich großen Brandereignissen (> 9 ha) nur vier (Arnspitze Ost 47, Tschirgant, Brunstein West I, II) annähernd keine südwärts ausgerichteten Teilflächen besitzen.

- Betroffene Vegetation

Aus der GIS-Analyse von 301 grob verorteten Brandlokalitäten und 47 lagegenauen Waldbrandflächen im tiroler Teil des Untersuchungsgebiets ergibt sich eine deutliche Konzentration der Brandereignisse auf Fichten-Föhrenwälder und Legföhrenbestände (Tab.10). Fichten-Föhrenwälder sind weit und dazu überwiegend in Südexposition und siedlungsnah verbreitet, woraus sich ihre große Bedeutung in diesem Zusammenhang ableiten lässt. Legföhrenbestände zeigen ebenfalls eine ausgedehnte Verbreitung und viele der Großbrände fanden gerade in dieser Region statt. Der relativ geringe Stellenwert der reinen Fichtenwälder trotz ihres großen Flächenanteils ist darauf zurückzuführen, dass sie auch in nicht südexponierten Lagen und abseits der Siedlungsräume auftreten. Auffällig ist zudem, dass bei der flächenbezogenen Ereignisanzahl die Vegetationsformation Weichholzaue/Grauerlen den Höchstwert (12,1) aufweist. Dies steht mit deren geringer Gesamtfläche sowie deren Beliebtheit bei Erholungssuchenden besonders im Inntal - Stichwort „Lagerfeuer“ - in enger Verbindung.

Tab.10: Verteilung der Waldbrände auf verschiedene Vegetationseinheiten

Vegetation	Auswertung WB-Punkte (n=301 Ereignisse)	Auswertung WB-Fläche [ha] (n=47)	Fläche im UG in Tirol [ha]	WB- Ereignisse pro 10km ²	WB-Fläche pro 10km ² [ha]
Buchen-Tannenwald	22	9,4	7004	3,1	1,3
Fichtenwald	69	3,4	18723	3,7	0,2
Fichten-Föhrenwald	162	128,0	13567	11,9	9,4
Fichten-Tannenwald	14	1,1	10994	1,3	0,1
Lärchenwald/-wiese	1	0,5	912	1,1	0,5
Legföhrenbestand	24	256,3	17619	1,4	14,5
Laub- / Laubmischwald	1	-	218	4,6	-
Spirken-Föhrenwald	3	1,7	815	3,7	2,1
Weichholzaue/Grauerlen	5	0,1	414	12,1	0,2

4.1.2 Zeitliche Aspekte des regionalen Waldbrandgeschehens 1534-2010

- Übersicht

Die weitestgehend aus historischen Aufzeichnungen rekonstruierte Waldbrandzeitreihe, reicht wie bereits erwähnt, von 1534 bis zum Ende des Jahres 2010 und umfasst 499 Ereignisse. Die in Abb.22 dargestellte Chronologie zeigt die Anzahl der pro Dekade stattgefundenen Waldbrände. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier auf eine jährliche Auflösung verzichtet. Einen groben Überblick anhand statistischer Eckdaten zum annuellen Waldbrandgeschehen während verschiedener Zeiträume gibt nachfolgend jedoch Tab.11, ergänzt durch die Auflistung besonders waldbrandreicher Jahre in Tab.12. Zudem findet sich eine detaillierte Zeitreihe für die Periode 1900-2010 in Abb.66 unter 5.1.1.

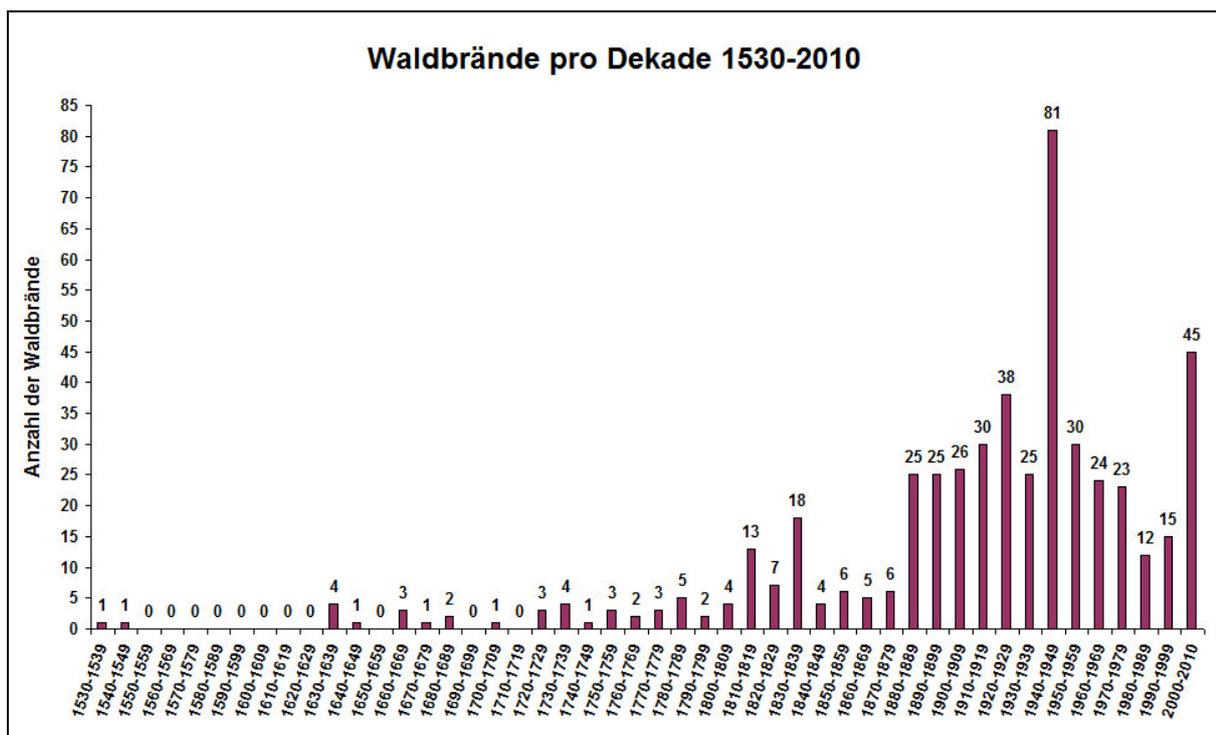


Abb.22: Waldbrände pro Dekade 1530-2010

Auffällig in Abb.22 ist im ersten Moment die sehr niedrige Anzahl an Bränden bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Mit Sicherheit ist dieser Sachverhalt in weiten Teilen der suboptimalen Datenlage geschuldet, konnten doch für diesen Zeitraum bis auf einige Salinenamtsbücher nur mehr sehr wenige zuverlässige Quellen vorgefunden werden. Ein wesentlicher Einfluss der Kleinen Eiszeit ist ebenfalls anzunehmen. In den Dekaden 1810 bis 1819 und 1830 bis 1839 traten erstmals über zehn Waldbrände auf, doch die Zahlen stiegen erst nach einer längeren, offensichtlich von geringer Waldbrandtätigkeit geprägten Phase ab 1880 signifikant an, um sich schließlich bis 1919 auf hohem Niveau bei etwa 25-30 Bränden zu stabilisieren. Diese deutliche Zunahme ist mit Gewissheit insbesondere auf das Einsetzen der Gedenkbücher diverser Forstverwaltungen in etwa zwischen 1875 und 1886 zurückzuführen. Ab diesem Zeitpunkt ist von einer einigermaßen gesicherten Datenlage auszugehen. In den 1920ern

wurde nach nochmaligem Anstieg schließlich mit 38 Ereignissen der dritthöchste Wert überhaupt nachgewiesen. Ein markanter Rückgang des Waldbrandgeschehens kennzeichnete die 1930er Jahre, ehe in den 1940ern das absolute Maximum von 81 Waldbränden erreicht wurde. Annähernd so viele Schadfälle wie in den 40er Jahren traten erst wieder zwischen 2000 und 2010 auf, nachdem die Jahrzehnte zuvor mit Ausnahme der 1990er einen stetigen Rückgang der Waldbrandzahlen von Dekade zu Dekade gezeigt hatten. Der auffällige Anstieg ab 2000 steht z. T. mit einer stark steigenden Informationsverfügbarkeit durch die zunehmende Zahl an Internet-Auftritten von Feuerwehren in Verbindung.

In Bezug auf die jährliche Anzahl an Brandereignissen ist zu sagen, dass sie zwischen 1534 und 2010 bei einer Standardabweichung δ von 3,4 im Mittel bei eins gelegen ist (Tab.11). Dieser Wert spiegelt jedoch sicherlich nur bedingt die Realität wieder, betrachtet man die Daten für den Zeitraum 1900-2010, für den weitestgehend verlässliche Brandinformationen vorliegen. Während dieser 111 Jahre ist es zum Ausbruch von durchschnittlich drei Waldbränden pro Jahr gekommen ($\delta=4,3$). Unter Berücksichtigung des absoluten Ausnahmejahres 1947 (s. Tab.12) ist seit Einsetzen der ersten indizierten Quellen in Form salinenamtlicher Aufzeichnungen 1816 im Untersuchungsraum von jährlich zwei Waldbränden auszugehen. Im Umkehrschluss bedeutet dies ein Brandrekurrenzintervall von einem halben Jahr. Weitere verschiedenartige Wiederkehrzeiten sind Tab.11 zu entnehmen.

Tab.11: Statistische Eckdaten z. Waldbrandhäufigkeit 1534-1799, 1800-1899, 1900-2010, 1534-2010

Zeitraum	1534-1799	1800-1899	1900-2010	1534-2010
WB Σ	37	113	349	499
WB/Jahr $\bar{0}$	0,1	1,1	3,1	1,0
WB/Jahr $\bar{\delta}$	0,4	1,5	4,3	3,4
WB/Jahr Med.	0	1	2	1
WB/Jahr Max.	2	8	39	39
WB/Jahr Min.	0	0	0	0
Rekurrenzintervall [Jahre]	7,1	0,9	0,3	1,0
Rekurrenzintervall [Jahre/10km²]	1262	156,3	56,2	168,5

Eine Auflistung auffallend waldbrandträchtiger Jahre zeigt Tab.12. Wie darin zu ersehen ist, fanden 1947 mit großem Abstand die meisten Ereignisse (39) statt, weswegen dieses Jahr in 4.1.5 noch einer genaueren Analyse unterzogen wird. An zweiter Position steht mit zwölf Bränden das Jahr 1911 gefolgt von den Jahren 1949 (10 WB) und 1909 bzw. 1950 (je 9 WB). Aus der jüngeren Vergangenheit sind die Jahre 2003 und 2006 mit je acht Schadfällen hervorzuheben. Im 19. Jahrhundert traten 1810, 1834 und 1887 weit überdurchschnittlich viele Waldbrände auf. An Jahren ohne Waldbrandereignis

während der letzten fünf untersuchten Jahrzehnte sind 1965, 1967, 1973, 1977, 1982, 1984, 1985, 1988, 1992, 1995 und 1999 zu nennen.

Tab.12: Übersicht zu den waldbrandreichsten Jahren seit 1534

Waldbrandanzahl	6	7	8	9	10	>10
Jahr	1834, 1943, 1972, 2007, 2009	1887, 1908, 1921, 1934, 1969	1810, 1923, 1946, 2003, 2006	1909,1950	1949	1911 (12) 1947 (39)

- Saisonalität der Waldbrände

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil bei der Analyse des Waldbrandgeschehens unter zeitlichen Gesichtspunkten ist die Klärung der jahreszeitlichen Verteilung der Ereignisse. Im Untersuchungsgebiet stellt sich die Situation diesbezüglich wie folgt dar (Abb.23): die Hauptbrandsaison ist das Frühjahr, in dem 39 % der 376 auswertbaren Waldbrände stattfanden, gefolgt vom Sommer mit 30 %. Im Herbst ereigneten sich immerhin noch rund 1/4 der Schadfälle, während im Winter das Minimum mit lediglich 8 % liegt. Es ist folglich davon auszugehen, dass die Feuersaison in unregelmäßigen Abständen ganzjährig ist. Dies war im statistischen Mittel zwischen 1900 und 2010 etwa alle vier Jahre der Fall.

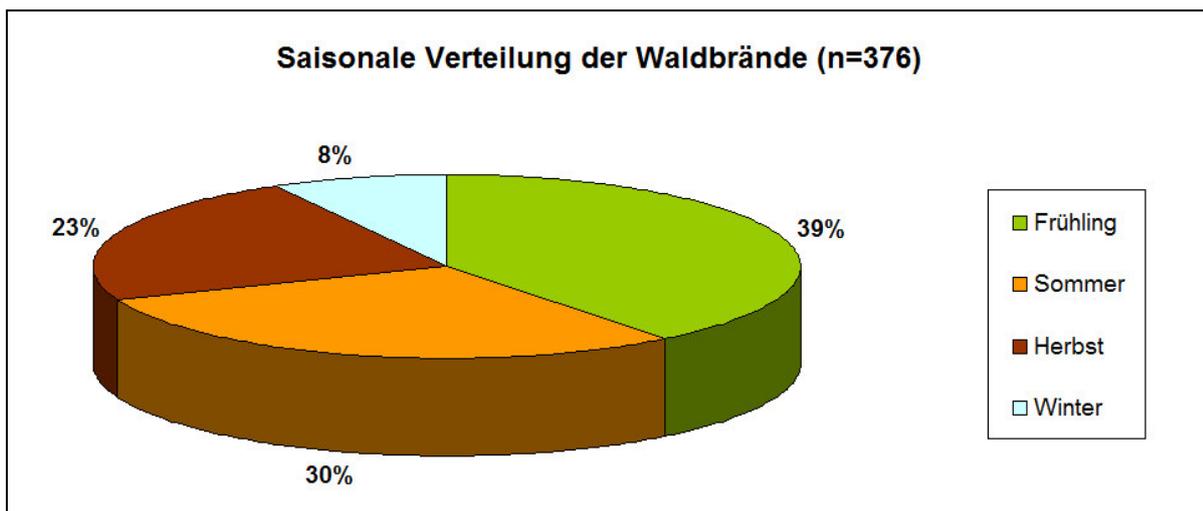


Abb.23: Saisonale Verteilung der Waldbrände

- Saisonale Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Höhenlagen

Während die Waldbrände im Frühjahr noch in den tieferen Lagen unter 1000 m ü. d. M. klar ihr Schwerpunkt vorkommen haben, finden Ereignisse im weiteren Jahresverlauf - ausschließlich des Winters - immer häufiger auch in größeren Höhen statt (vgl. Tab.13). So treten etwa frühjährlich oberhalb von 1600 m ü. d. M. nur vier Schadfälle, im Sommer bereits zehn und im Herbst schließlich das Maxi-

mum von 13 Bränden auf. Zu erklären ist dies in erster Linie durch die längere Schneebedeckung in der Höhe sowie das gehäufte Vorstoßen von Menschen in diese Regionen erst zu einem späteren Zeitpunkt im Jahr. Es fällt des Weiteren ins Auge, dass im Herbst die Ereignisanzahl über die unterschiedlichen Höhenstufen am gleichmäßigsten verteilt ist.

Tab.13: Jahreszeitliche Häufigkeiten von Waldbränden in verschiedenen Höhenlagen (n=238)

Höhenlage	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Gesamt
<750 m	29	2	6	3	40
750 - <1000 m	39	18	13	10	80
1000 - <1300 m	22	17	11	1	51
1300 - <1600 m	11	17	8	3	39
1600 - ≤1800 m	4	7	7	-	18
>1800 m	-	3	6	1	10

- Monatliche Verteilung der Waldbrände

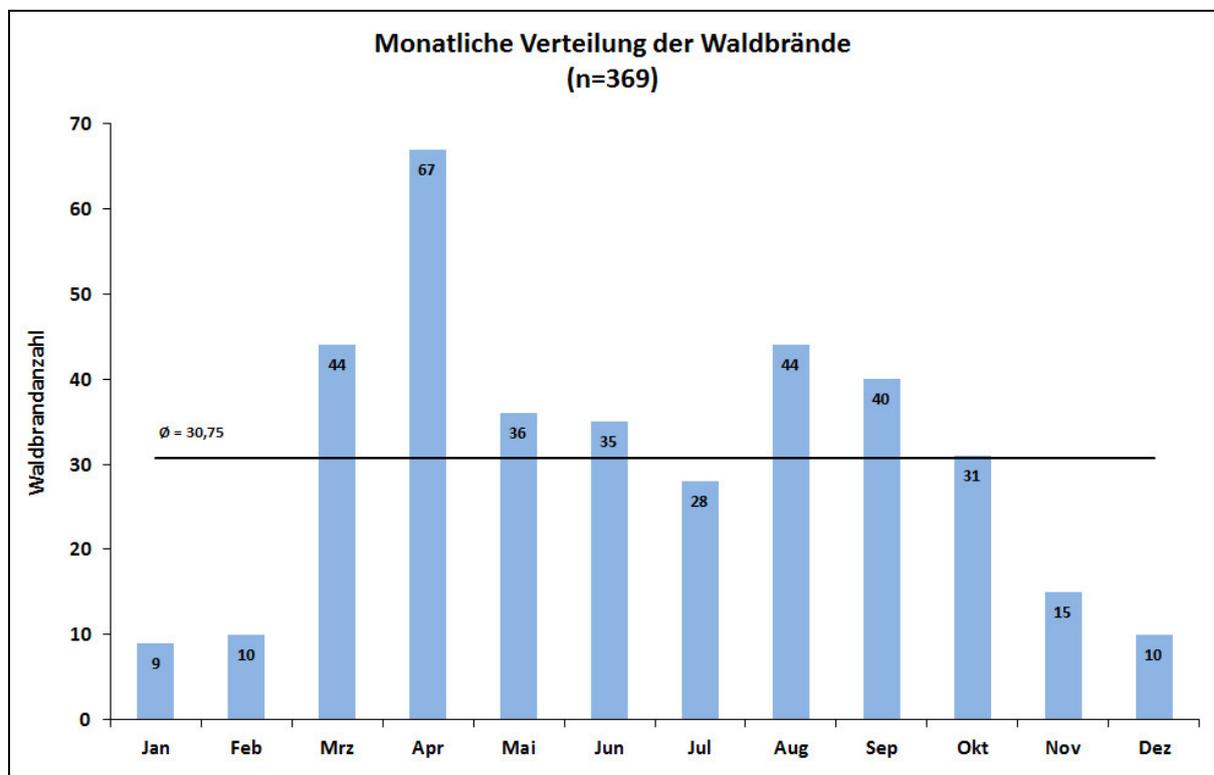


Abb.24: Monatliche Verteilung der Waldbrände

Wie Abb.24 zeigt, kann der April mit 67 Ereignissen - dies entspricht rund einem Fünftel aller bekannten Fälle (n=369) - als der Waldbrandmonat schlechthin bezeichnet werden. Am zweithäufigsten sind Brände im August und März (44) aufgetreten, gefolgt vom September (40). Im weiteren Bereich des

Durchschnitts (~ 31 WB) liegen Mai, Juni, Juli und Oktober. Der November vermittelt mit 15 Waldbränden zu den Wintermonaten, in denen zehn bzw. neun Ereignisse registriert worden sind. Im Untersuchungsgebiet können also zwei Phasen mit (stark) erhöhter Waldbrandaktivität im Frühjahr und im Zeitraum August/September ausgeschieden werden.

- Monatliche Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Höhenlagen

Als feiner aufgelöste Ergänzung zu Tab.13 ist Tab.14 zu sehen, in der die monatlichen Waldbrandhäufigkeiten in unterschiedlichen Höhenstufen dargestellt sind. Auffällig ist, dass bis auf die Ausnahmen Juli, August, Oktober und Dezember das Auftrittsmaximum stets zwischen 750 und 1000 m ü. d. M. gelegen ist, während es in jenen Monaten oberhalb von 1300 bzw. gar 1600 m ü. d. M. zu Tage tritt. Bei den Schadfällen unterhalb von 750 m ü. d. M. ist festzustellen, dass allein im März und April über die Hälfte aller in der Region vorkommenden Brände stattfinden (23 von 39). Es ist weiterhin ein stetiges Höhersteigen der Waldbrände von Januar bis Juni zu beobachten. Von Juli bis Oktober finden schließlich $\frac{3}{4}$ aller Ereignisse über 1600 ü. d. M. statt.

Tab.14: Monatliche Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Höhenlagen (n=236)

Höhe [m ü. d. M.]	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Ges.
<750	-	2	8	15	5	2	-	-	2	3	1	1	39
750 - <1000	4	4	10	19	10	7	3	7	8	1	4	2	79
1000 - <1300	-	1	8	10	4	5	4	8	5	4	2	-	51
1300 - <1600	-	-	2	4	5	5	3	9	5	2	1	3	39
1600 - ≤1800	-	-	-	2	2	-	5	2	3	4	-	-	18
>1800	1	-	-	-	-	1	1	1	2	3	1	-	10

- Waldbranddauer

Im Untersuchungsgebiet beläuft sich die durchschnittliche Waldbranddauer auf 1,8 Tage. Berücksichtigt man, dass zu 138 Ereignissen keine auswertbaren Daten zur Verfügung standen, also von einer Mindestdauer von einem Tag auszugehen ist, dürfte der tatsächliche Wert noch etwas höher liegen. Wie aus Tab.15 hervorgeht, erstreckten sich die meisten Waldbrände (274) über nicht mehr als einen Tag. Zudem ist zu erkennen, dass die Anzahl der Brände mit zunehmender Dauer kontinuierlich abnimmt. An Schadfällen, die sich über mehr als 14 Tage hinzogen, sind schließlich noch sechs dokumentiert. Der längste Waldbrand, dem ein Zeitraum von 40 Tagen zugeschrieben werden kann (s. a. 4.1.6), brach am 25.8.1947 im Bereich des sog. Riedbergs an der Arnspitze nordwestlich von Scharnitz aus (SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48).

Tab.15: Waldbrände unterschiedlicher Dauer während verschiedener Zeiträume (n=499)

	1534-1799	1800-1899	1900-1949	1950-2010	1534-2010
1 Tag	14	38	131	91	274
2 Tage	2	9	14	14	39
3-5 Tage	-	5	5	10	20
6-9 Tage	-	1	7	6	14
10-14 Tage	-	2	6	-	8
>14 Tage	2	-	4	-	6
k. A.	19	58	33	28	138

Betrachtet man die Entwicklung der Waldbranddauer im Laufe der Zeit (Tab.15), so ist festzustellen, dass nach 1950 keine Waldbrände mehr stattfanden, die sich über eine längere Spanne als neun Tage erstreckten. Dafür kommt dem davor liegenden Zeitraum 1900-1949 bei länger anhaltenden Brandereignissen eine besonders große Bedeutung zu: über 70 % aller zehn und mehr Tage umfassenden Waldbrände traten binnen dieser 50 Jahre auf. Allein in die 1940er fielen dabei drei der vier über zwei Wochen dauernden Brände. Die weiteren drei der insgesamt sechs Großereignisse datieren in die Jahre 1705, 1779 und 1926.

Trotz modernster Löschmethoden mit Hubschrauberunterstützung sind mehrtägige Ereignisse jedoch auch in den letzten zehn Untersuchungsjahren durchaus keine Seltenheit gewesen. In dieser Periode kam es neben 30 eintägigen zu acht 2-tägigen und fünf über drei Tage währenden Waldbränden, wobei sich der längste Brand 2009 im Bereich des sog. Sparberegg westlich von Innsbruck vom 10. bis 17.4. ereignete (FF HÖTTING o.J.a).

Wie aus der Darstellung der Anteile von Waldbränden unterschiedlicher Dauer am monatlichen Waldbrandaufkommen in Abb.25 hervorgeht, überwiegen mit Ausnahme des Novembers überall deutlich die eintägigen Ereignisse. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass mit zunehmender Waldbranddauer die Anzahl der Auftrittsmonate sinkt, was schlussendlich in einer Beschränkung der mehr als zehn Tage anhaltenden Brände auf den Zeitraum April bis Oktober resultiert. Ihre größte Bedeutung erreichen diese Ereignisse zwischen August und Oktober.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ein lang andauernder Brand nicht zwangsläufig zu einer großen Schadensfläche führen muss. Im Falle eines zwölf-tägigen Waldbrandes 1947 im Vorderen Zugwald südlich des Eibsees etwa waren nur 0,15 ha eines 150 jährigen Fichten-Tannenbestandes betroffen (SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 Nr. 2151/48). Als ein mögliches Gegenbeispiel ist ein Vorfall nördlich des Militärschießstandes in Thaur 1940 zu nennen, bei dem an nur einem Tag 6 ha Waldkulturfläche zerstört wurden (TLA: FDD TIROL 611).

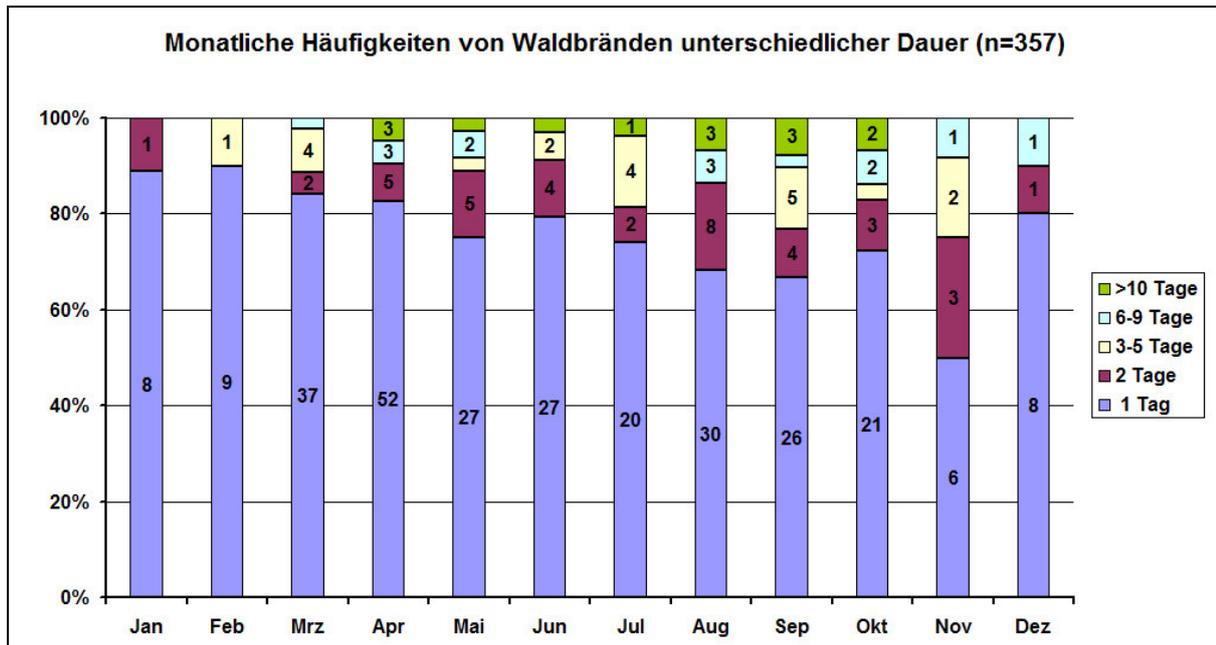


Abb.25: Monatliche Häufigkeiten von Waldbränden unterschiedlicher Dauer

Einen Überblick über die Auftrittshäufigkeiten von ein- und mehrtägigen Bränden in verschiedenen Höhenlagen gibt Tab.16.

Tab.16: Häufigkeiten von Bränden bestimmter Dauer in verschiedenen Höhenlagen (n=361)

Höhe [m ü.d.M.]	Ein Tag	2 Tage	3-5 Tage	6-9 Tage	10-14 Tage	>14 Tage	Ges.
<750	35	1	-	2	-	-	38
750 - <1000	52	5	5	2	-	-	64
1000 - <1300	27	3	4	2	2	-	38
1300 - <1600	12	5	4	3	-	3	27
1600 - ≤1800	6	2	2	2	4	1	17
>1800	3	1	-	2	1	-	7
k. A.	139	22	5	1	1	2	170

Hierin ist ersichtlich, dass sich das Vorkommen von länger andauernden Schadfällen in größeren Höhen konzentriert. Die eintägigen Ereignisse sind dagegen schwerpunktmäßig in tieferen Lagen, v. a. zwischen 750 und 1000 m ü. d. M. lokalisiert. Diese Anordnung erklärt sich zum einen aus der Häufigkeitsverteilung der Waldbrände an sich und zum anderen aus der einfacheren Lösbarkeit der in Siedlungsnähe gelegenen Walbrände durch deren bessere Erreichbarkeit. Zudem sind Feuer in der Latschenregion besonders schwer zu löschen, da sie sich in den mächtigen Tangelhumusböden unbemerkt unterirdisch verbreiten und an anderer Stelle nach Tagen wieder oberflächlich ausbrechen können (vgl. TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK, MIKROFILM 2291 GP IMST; STEINDL 2007).

4.1.3 Ausmaße der Waldbrände 1534-2010

- Übersicht

Die Auswertung von 219 verwertbaren Flächeninformationen ergab eine mittlere Waldbrandgröße von rund 9 ha. In die Berechnung gingen die drei Extremereignisse aus den Jahren 1705, 1635 und 1888 mit einigen 1000 bzw. 100 Hektar (vgl. 4.1.6) aufgrund ihrer Einzigartigkeit und dem Fehlen entsprechender genauerer Angaben nicht ein. Es ist anzunehmen, dass allein 1705 mehr Fläche gebrannt hat, als bei allen anderen Waldbränden zusammen, wo in Summe ca. 2000 ha zu Schaden gekommen sind.

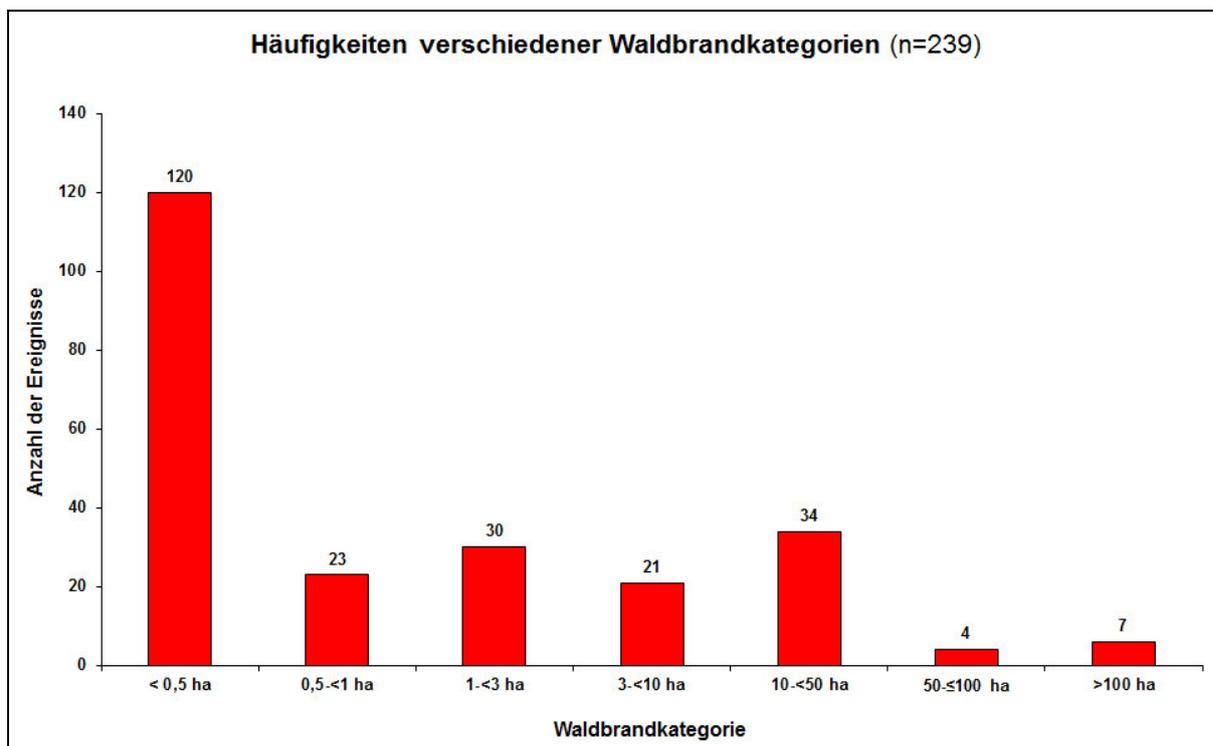


Abb.26: Häufigkeiten verschiedener Waldbrandkategorien

In Abb.26 sind die Auftretshäufigkeiten verschiedener Waldbrandgrößenklassen dargestellt. Es wird deutlich, dass rund die Hälfte aller auswertbaren Schadfälle (120 von 239) weniger als 0,5 ha umfasste. Am zweithäufigsten traten Brände zwischen 10 und 50 ha auf (34). Interessanterweise ergibt sich also keine (kontinuierliche) Abnahme der Anzahl mit zunehmender Größe, wie vielleicht zu erwarten gewesen wäre. Außerordentlich große Ereignisse mit Flächen über 50 ha sind nur elf bekannt.

Die (statistischen) Wiederkehrzeiten der verschiedenen Waldbrandkategorien seit der ersten auswertbaren Flächeninformation anno 1750 zeigt Tab.17. Das geringste Rekurrenzintervall tritt offensichtlich mit 2,2 Jahren im Bereich der Kleinstbrände (< 0,5 ha) auf. In den folgenden Größenklassen bewegen sich die Intervalle in einer Größenordnung von etwa 10 Jahren. Die längste Zeit - 65 Jahre - vergeht zwischen Waldbränden mit einer Ausdehnung zwischen 50 und 100 ha, während Ereignisse größer als 100 ha etwas kürzer aufeinander folgen. Mit besonders großen Schadfällen (> 50 ha) ist durchschnitt-

lich alle 26 und mit Bränden über 10 ha rund alle sechs Jahre zu rechnen. Als ergänzende Information enthält Tab.17 in der unteren Zeile Angaben zu derjenigen Zeit, die theoretisch innerhalb von 10 km² zwischen zwei Waldbränden ein- und derselben Kategorie verstreicht.

Tab.17: Rekurrenzintervalle von Ereignissen bestimmter Größe

Waldbrand-kategorie	<0,5 ha	0,5-<1 ha	1-<3 ha	3-<10 ha	10-<50 ha	50-≤100 ha	>100 ha
Rekurrenz-intervall [Jahre]	2,2	11,3	8,7	12,4	7,6	65	43,3
Rekurrenz-intervall [Jahre/10km ²]	383	1997	1531	2187	1351	11482	7655

- Entwicklung der Waldbrandflächen 1750-2010

Analog zur Waldbrandchronologie erfolgt die Darstellung der Waldbrandflächenentwicklung ebenfalls jahrzehnteweise (Abb.27). Informationen auf jährlicher Basis können Tab.18 sowie Abb.70 in Kapitel 5.1.1 entnommen werden.

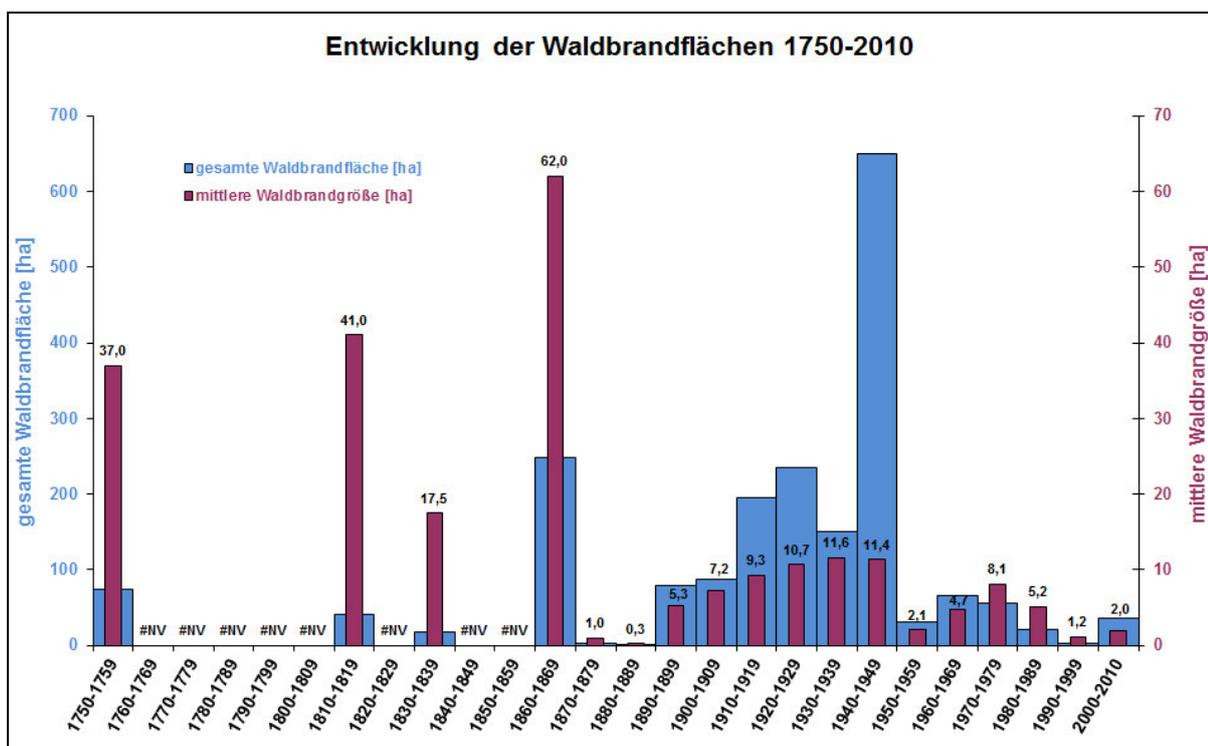


Abb.27: Die Entwicklung der Waldbrandflächen 1750-2010

Wie aus Abb.27 hervorgeht, unterliegen sowohl die von Waldbränden pro Dekade betroffene Gesamtfläche als auch die zehnjährliche Durchschnittsflächengröße großen Schwankungen. Die Spannweite

reicht von 2 bis 650 ha bzw. von 0,3 bis 62 ha, bei Mittelwerten von 111 bzw. 13 ha. Wie schon bei den Waldbrandhäufigkeiten spielen die 1940er Jahre auch im Hinblick auf die Brandflächensumme eine Sonderrolle: in diesem Zeitraum wird der zweitgrößte, aus den 1860ern stammende Wert von 248 ha nochmals um mehr als das Doppelte übertroffen. Ebenfalls hervorzuheben sind die Perioden 1910-1919 und 1920-1929, in denen aufaddiert die viert- bzw. drittgrößten Schadareale zu verzeichnen sind. Bei der mittleren dekadeweisen Waldbrandausdehnung relativiert sich die Bedeutung der 1940er jedoch in Folge der großen Ereignisanzahl. An erster Stelle ist hier stattdessen das Jahrzehnt 1860-1869 vorzufinden, das von vier (weit) überdurchschnittlich großen Ereignissen geprägt war. Zudem fällt auf, dass die vier Höchstwerte alle vor 1900 auftreten und nach 1950 nur mehr unterdurchschnittliche Brandgrößen vorkommen. Daraus ist abzuleiten, dass Waldbrände im Schnitt früher größere Ausmaße erreichten, als dies in jüngerer Vergangenheit der Fall gewesen ist, was sich auch in Tab.18 andeutet.

Tab.18: Statistische Eckdaten zur jährl. Waldbrandflächengröße 1750-1899, 1900-2010, 1750-2010

Zeitraum	1750-1899	1900-2010	1750-2010
Jahre mit ha-Informationen	27	68	95
Ø gesamte WB-Fläche [ha]	17	22,5	21
Min gesamte WB-Fläche	0,003	wenige m ²	wenige m ²
Max gesamte WB-Fläche [ha]	200	237,5	237,5
δ gesamte WB-Fläche [ha]	44,8	42,1	42
Med. gesamte WB-Fläche [ha]	0,7	5,5	3,6
Ø mittlere WB-Fläche [ha]	13,2	7,2	8,9
Min mittlere WB-Fläche	0,003	wenige m ²	wenige m ²
Max mittlere WB-Fläche [ha]	105	79,2	105
δ mittlere WB-Fläche [ha]	24,9	12	16,8
Med. mittlere WB-Fläche [ha]	0,8	2,8	1,8

Auch von Jahr zu Jahr schwanken die mittlere Brandflächenausdehnung und die Schadflächensumme beträchtlich, wie Tab.18 zu entnehmen ist. Die Extreme bewegen sich dabei von wenigen Quadratmetern bis zu über 75 bzw. 200 Hektar. Dass die Mediane jeweils deutlich unter den errechneten Durchschnitten liegen, ist durch die hohe Anzahl an kleinen Bränden zu erklären. So beträgt beispielsweise zwischen 1750 und 2010 die jährliche Waldbrandfläche im Schnitt 21 ha, der Median dagegen lediglich 3,6 ha; die durchschnittliche Einzelbrandgröße beläuft sich im selben Zeitraum per annum auf 8,9 ha, der Median auf 1,8 ha. Beachtenswert ist ferner, dass die Angaben aus einer (stark) beschränkten Anzahl an Jahren mit Flächeninformationen abgeleitet sind.

- Höhenabhängigkeit der Waldbrandausmaße

Interessante Aufschlüsse förderte die in 187 Fällen mögliche Untersuchung der Waldbrandgröße in Abhängigkeit von der Höhe zu Tage, deren Ergebnisse in Tab.19 zusammengefasst sind. Wie sich zeigte, ereigneten sich die kleineren Brände vornehmlich unterhalb von 1300 m ü. d. M., während die Großereignisse ab 10 ha auf Höhen oberhalb von 1300 m ü. d. M. konzentriert waren. Wie schon bei der Branddauer besteht auch bei dieser Höhenverteilung eine maßgebliche Abhängigkeit von den Löschmöglichkeiten, die in tieferen Lagen besser sind. Zudem werden Ereignisse in größerer Höhe oftmals erst später entdeckt. Zu diesem Zeitpunkt haben sie dann oft schon ein gewisses Ausmaß erreicht.

Tab.19: Aufschlüsselung der Brandereignisse nach Größe und Höhenlage (n=187)

	<0,5 ha	0,5-<1ha	1-<3 ha	3-<10 ha	10-<50 ha	50-<100 ha	>100 ha	Ges.
<750 m	17	1	2	1	3	-	-	24
750 - <1000 m	33	4	7	10	4	-	-	58
1000 - <1300 m	18	3	5	5	5	1	1	38
1300 - <1600 m	10	2	6	3	11	1	1	34
1600 - ≤1800 m	4	1	1	2	9	3	3	23
>1800 m	3	-	1	1	5	-	-	10

- Saisonabhängigkeit der Waldbrandausmaße

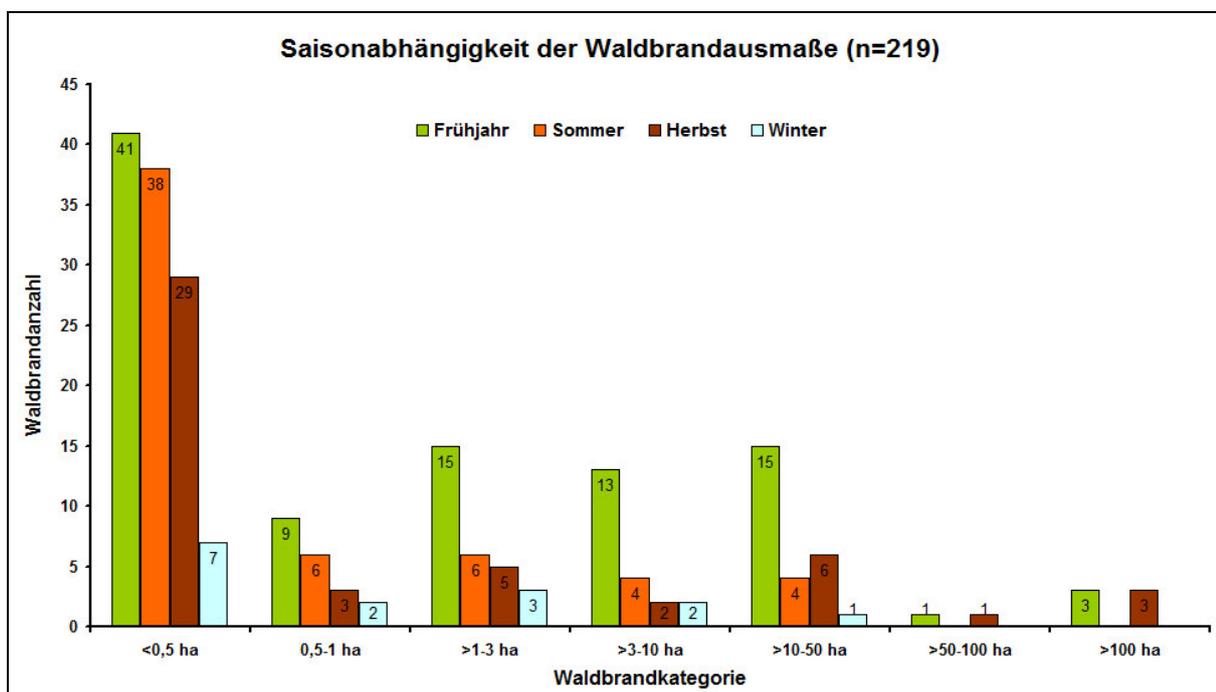


Abb.28: Saisonabhängigkeit der Waldbrandausmaße

Das Frühjahr weist, wie aus Abb.28 hervorgeht, über fast alle Waldbrandkategorien hinweg die meisten Waldbrände auf. Dabei ist der Unterschied zu den anderen Jahreszeiten, den Winter außer Acht lassend, bei Ereignissen von mehr als einem bis zu 50 Hektar Ausdehnung besonders deutlich. Bei den Klein- und Kleinstbränden (< 0,5 bis ein Hektar) dagegen ist er am geringsten. Weiterhin erwähnenswert ist, dass im Herbst Brände mit mehr als zehn Hektar Fläche häufiger sind als im Sommer, während alle kleineren Brandklassen noch im Sommer öfter auftreten. Die wenigen Großereignisse über 50 ha beschränken sich auf den Herbst und das Frühjahr. Der Winter spielt, wie bereits dargelegt, für das Waldbrandgeschehen eine untergeordnete Rolle, dennoch können zu dieser Jahreszeit vereinzelt durchaus auch bedeutendere Brände entstehen.

- Monatliche Auftrittshäufigkeiten verschiedener Waldbrandklassen

Die voranstehend dargestellten Resultate konnten noch feiner untergliedert werden und sind auf Monatebene in Tab.20 zusammengestellt. Diese weist den Mai und den Oktober als diejenigen Monate aus, in denen die über 100 ha großen Waldbrände stattgefunden haben. Während der August mit 22 Ereignissen Spitzenreiter in der Klasse < 0,5 ha gefolgt von September (17 WB) und April (16 WB) ist, wird der April seiner Rolle als ausgesprochener Waldbrandmonat in den Kategorien > 1-3 ha, > 3-10 ha und bedingt > 10-50 ha gerecht. In den ersten beiden Fällen zeichnet er mit Abstand für die meisten Ereignisse verantwortlich, in letzterem Fall fand im April nur ein Waldbrand weniger statt als im an erster Stelle liegenden März. Auffällig ist zudem die sehr gleichmäßige Verteilung der monatlichen Waldbrandanzahlen in der Kategorie 0,5-1 ha.

Tab.20: Monatliche Auftrittshäufigkeiten verschiedener Waldbrandklassen (n=219)

	<0,5 ha	0,5-1 ha	>1-3 ha	>3-10 ha	>10-50 ha	>50-100 ha	>100 ha	Ges.
Jan.	3	1	1	-	-	-	-	5
Feb.	3	-	-	-	1	-	-	4
Mrz.	14	4	3	2	6	-	-	29
Apr.	16	3	10	8	5	1	-	44
Mai.	11	2	2	3	3	-	3	24
Jun.	11	1	1	1	-	-	-	14
Jul.	5	1	2	2	1	-	-	11
Aug.	22	4	3	1	3	1	-	33
Sep.	17	2	1	1	2	-	-	23
Okt.	10	1	2	1	3	-	3	17
Nov.	2	-	2	-	1	-	-	5
Dez.	1	1	2	2	-	-	-	6

- Monatliche Waldbrandflächen

Betrachtet man unter Außerachtlassen der drei Extremereignisse die konkret pro Monat von Waldbränden betroffenen Flächensummen (Tab.21), welche maximal bis 1810 zurück nachvollziehbar sind, so ist festzustellen, dass im Oktober und Mai die größten Areale abgebrannt sind (~ 500 bzw. ~420 ha). Die Monate August und April fallen mit 250 bzw. 275 ha ebenfalls durch vergleichsweise sehr hohe Werte auf. Weniger als 10 ha Wald kamen nur im Juni (7 ha) und Januar (4 ha) zu Schaden.

Tab.21: Statistische Eckdaten zu den monatlichen Waldbrandflächen 1810-2010 (n=218)

Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Ges.
Gesamtfläche [ha]	4	14	164	275	417	7	43	250	68	497	18	20	1769
Einzelfläche Ø [ha]	0,8	3,5	5,7	6,3	17,4	0,5	3,9	7,6	3,0	24,9	3,6	3,3	8,1
Einzelfläche Min.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	< 0,01
Einzelfläche Max. [ha]	2	14	30	54	112	3,5	27	100	41,5	200	14	10	200
Einzelfläche δ [ha]	0,8	7,0	9,7	11,7	35,8	1,0	8,3	20,4	9,3	54,6	5,9	3,6	23,3
Einzelfläche Med. [ha]	0,5	0,1	0,8	2,0	1,1	0,3	1,3	0,2	0,01	1,5	2,0	2,3	0,5

Aus Tab.21 sind darüber hinaus u. a. die durchschnittlichen Größen der einzelnen Brandflächen je Monat zu entnehmen. Mit rund 25 ha weist dabei der Oktober das Maximum auf. Über 10 ha werden ansonsten nur noch im Mai erreicht. In den übrigen Monaten liegen die Werte unter dem arithmetischen Mittel von ca. 8 ha. Interessant zu beobachten ist, dass sich die Zahlen sowohl aus Juni und Januar als auch aus Juli und Dezember auf einem sehr ähnlichen Niveau bewegen. Insgesamt zeigen die Waldbrandausmaße über die verschiedenen Monate hinweg sowie innerhalb der einzelnen Monate große Schwankungen.

4.1.4 Ursachen und Rahmenbedingungen der Waldbrände 1534-2010

- Natürliche Ursachen

Die einzige im Untersuchungsgebiet aufgetretene natürliche Brandursache ist Blitzschlag, durch den 23 (14 %) der lediglich 166 auswertbaren Waldbrände ausgelöst worden sind (vgl. Abb.29). Die daraus resultierenden Schadflächen betragen in neun Fällen weniger als 2 ha, während für die übrigen 14 Ereignisse keine konkreten Größenangaben vorlagen.

Bei der jahreszeitlichen Verteilung der 23 Blitzschlagbrände gibt es ein ganz klares Maximum im Sommer (85 %) mit vier Ereignissen im Juni, acht im Juli und fünf im August. Allein der Anteil des Julis macht dabei 40 % aller zuordenbaren Waldbrände aus. Deutlich hinter dem Sommer zurück bleiben der Herbst (2 WB im September) und das Frühjahr (ein Feuer im Mai). Dreimal war keine saisonale Zuordnung möglich.

Außerdem ist zu erwähnen, dass sich bei den Blitzschlagbränden eine auffällige Häufung in den Jahren zwischen 2002 und 2006 zeigte. Fast die Hälfte aller 23 Schadfälle trat in diesem Zeitraum auf, 2006 allein fünf davon. Ein zweites kleineres Maximum ist zwischen 1950 und 1952 gelegen, wo es zum Ausbruch von vier derartigen Ereignissen gekommen ist.

Auch in der räumlichen Verteilung lassen sich zumindest andeutungsweise gewisse Muster erkennen. So weisen die verfügbaren Höheninformationen darauf hin, dass Blitzeinschläge v.a. in höheren Lagen, welche zudem eine gewisse Exponiertheit aufweisen, Waldbrände nach sich ziehen. Zudem scheinen im Einzugsbereich der Hohen Munde oberhalb von Telfs und im Gebiet Martinswand/Hechenberg durch Blitzschlag verursachte Feuer vergleichsweise häufig zu sein, wo jeweils vier solcher Ereignisse nachgewiesen werden konnten. Die nahe Zirl gelegene Martinswand wurde bereits in den 1930er Jahren vom Volke als besonders gefürchteter „Blitzberg“ beschrieben, so GRABHERR (1934a).

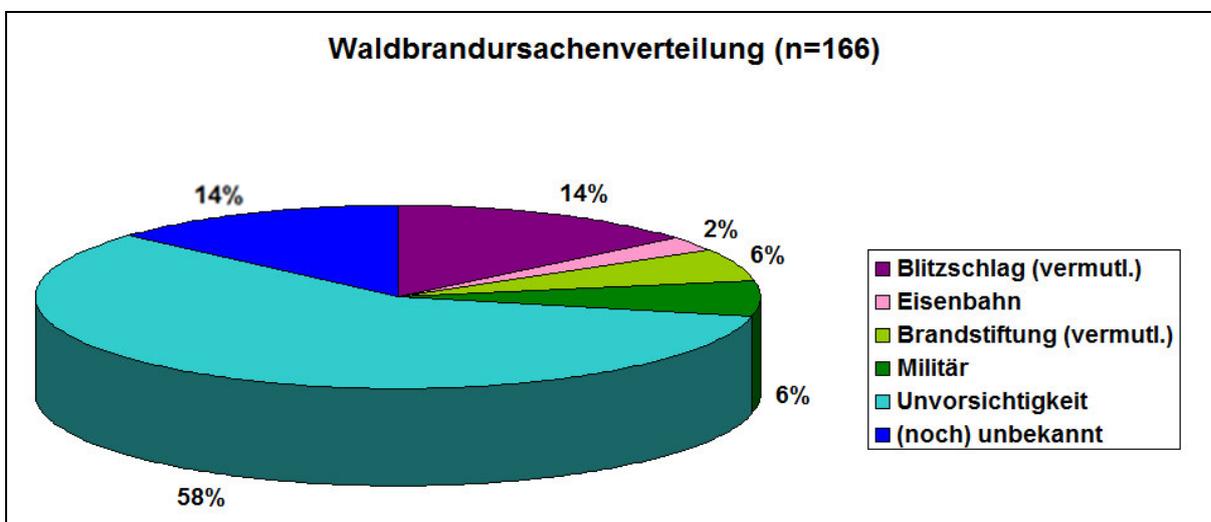


Abb.29: Waldbrandursachenverteilung

- Anthropogene Ursachen

Der Großteil der 86 % an auf menschliche Einflüsse zurückzuführenden Bränden entstand durch Unvorsichtigkeit ($\approx 60\%$) wie z.B. das Wegwerfen von Zündhölzern bzw. Zigarettenstummeln oder das Entfachen von Lager-, Koch-, Berg- und Rodungsfeuern (Abb.29). Mit derartigen Entstehungsursachen stehen Touristen schätzungsweise in einem Drittel bis zur Hälfte der Fälle in Verbindung.

Vom Militär wurden 6 % der Brände verursacht - die meisten davon waren mit Schießübungen am Militärschießstand bei Absam verbunden. Der gleiche Anteil an Schadereignissen geht auf Brandstiftung zurück, während 2 % ihre Ursache im Umfeld des Eisenbahnverkehrs, zumeist in Form von Funkenflug beim Bremsen, hatten. Bei etwas mehr als 13 % der Waldbrände blieb der Auslöser unbekannt.

- Feuereigenschaften: Art, Intensität und Heftigkeit

Die suboptimale Datenlage bezüglich der Feuereigenschaften Art, Intensität und Heftigkeit lässt keine aussagekräftigen Schlüsse zu. Bei den vorhandenen 122 Angaben zur Feuerart ist infolge der Klassifizierung von 81 Ereignissen als Bodenfeuer und nur einem als Oberflächen- bzw. Lauffeuer davon auszugehen, dass in den Quellen keine eindeutige und korrekte Unterscheidung zwischen diesen beiden vorgenommen wurde, was nach MCPHERSON ET AL. (1990) durchaus häufig vorkommt.

Es ist zu vermuten, dass die meisten Waldbrände Mischformen aus Boden-, Oberflächen- und Kronenfeuern darstellten und reine Kronenfeuer so gut wie ausgeschlossen werden können. Zumindest bei jenen Ereignissen, von denen bei entsprechenden Luftbilddauswertungen deutliche Spuren in der Landschaft in Form einer auffälligen Gehölzarmut zu erkennen gewesen sind, dürfte es sich um bestandsvernichtende Feuer gehandelt haben. Es darf davon ausgegangen werden, dass mindestens 50 derartige Waldbrände im Untersuchungsgebiet zwischen 1534 und 2010 aufgetreten sind. Anzumerken ist, dass der Eindruck einer Bestandsvernichtung durch Feuer natürlich auch nachträglich durch Waldbrandfolgen wie Muren, Lawinen oder Erosion sowie Insekten- oder Krankheitsbefall hervorgerufen werden kann.

Weitestgehend auf Vermutungen beschränken sich ebenso die möglichen Aussagen zu Feuerintensität und -heftigkeit. Während die Informationen in den Quellen zu letzterer zumindest noch spärlich sind - bei einzelnen Waldbrandbeschreibungen wird hierauf kurz eingegangen - liegen zur Brandintensität keinerlei Daten vor. Über die Aufzeichnungen hinaus können jedoch Waldbrandflächen, die noch immer (weitestgehend) gehölz- bzw. bewuchsfrei sind, einen Hinweis auf die Feuerheftigkeit auch z.T. längst vergangener Waldbrände geben. Es liegt der Schluss nahe, dass die 50 offensichtlich bestandsvernichtenden Ereignisse im Untersuchungsraum dementsprechend von einer gewissen Heftigkeit und wohl auch Intensität - unter Berücksichtigung der bereits genannten Einwände - gekennzeichnet waren.

- Witterungs- und wetterspezifische Einflüsse auf das Waldbrandgeschehen

Vorauszuschicken ist an dieser Stelle, dass in Folge der Schwerpunktsetzung der vorliegenden Arbeit nur eine kurze und ganz überwiegend qualitative Beleuchtung des Einflusses von Witterung und Wetter auf das Waldbrandgeschehen im Untersuchungsraum anhand einiger Beispiele geschehen kann.

Grundvoraussetzung für die Entstehung eines Waldbrandes ist zunächst einmal das Vorhandensein von Brennmaterial, das sich in einem entzündungsfähigen Zustand befindet, also ausreichend trocken ist (u. a. BOND & VAN WILGEN 1996; WALLACE ET AL. 2004; OMI 2005). Für eine äußerst wirksame Austrocknung von Boden, Streu und Vegetation sorgen im Untersuchungsraum insbesondere die nach ORTNER (2010) gehäuft im Frühjahr und Herbst auftretenden Föhnlagen. Anzumerken ist, dass im Raum Innsbruck die Wirkung der trockenwarmen Luftmassen, die hier aus dem Wipptal kommend direkt auf die Südhänge der Nordkette treffen, besonders groß ist. Es überrascht daher auch nicht, dass gerade im Bereich der Innsbrucker Nordkette ein enger Zusammenhang zwischen Föhn- und Waldbrandhäufigkeit zu erkennen ist. Hier fanden in den föhnreichsten Monaten März, April und Oktober auch eindeutig die meisten Brände statt (vgl. Abb.35 in 4.1.6).

Es gibt aber auch einige Waldbrände abseits der Nordkette, die von einer Föhnlage begünstigt worden sind, wie aus den Quellen hervorgeht. In diesen Fällen spielte der Südwind nicht nur im Vorfeld des Brandes eine Rolle, sondern vielmehr währenddessen, indem er eine zügige Ausbreitung des Feuers unterstützte. Zu erwähnen sind hier in erster Linie die alle z. T. weit mehr als 25 ha großen Ereignisse 1705 im Ostkarwendel, 1929 im Oberautal, 1947 an der Arnspitze oder 1962 im Vomper Forchat (GRABHERR 1963b; TLA: BH SCHWAZ 1929 ABT. II, RZ 82 SZ 1750; SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48; HÖLZL 1978).

Insgesamt wird von 31 Bränden berichtet, die vom Wind generell bei ihrer Ausbreitung profitierten. Dabei kann von einer massiven Förderung bei rund einem Drittel der Schadensfälle ausgegangen werden, die jeweils Ausdehnungen über 10 ha erreichten. Hierzu sind u. a. die Waldbrände 1888 am Kienberg, 1909 und 1946 im Halltal oder 1972 am Hechenberg zu zählen (FFW JENBACH o.J.; TLA: MIKROFILM 1804 FV HALL, MIKROFILM 1805 FV IBK).

Dem Wind war es des Weiteren wiederholt zu verdanken, dass aus Glutnestern im Humusboden bereits gelöscht geglaubte Feuer - mitunter erst nach einigen Tagen - von neuem ausbrachen. Selbiges ist beispielsweise bei den Arnspitzbränden 1946 und 1947 mehrfach aufgetreten (TLM: TIROLER TAGESZEITUNG 1946 NR. 105 S. 4; SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48). Auch aus dem Jahr 1898 wird ein Waldbrand geschildert, der nach seinem Ausbruch am 8. April am 13.4. als erfolgreich bekämpft galt, jedoch am 15.4. und 17.4. aufgrund starken Windes aus dem Boden erneut aufflammte (TLA: BH IBK 1898 FACH FORST 109 SZ 7302, 7740, 7774, 7942, 9165).

Negativen Einfluss kann der Wind auch unmittelbar auf die Löscharbeiten ausüben, wenn starke Luftströmungen einen notwendigen Hubschraubereinsatz stark einschränken oder gar ganz verhindern. Vergleichbares trat beim letzten bedeutenden Ereignis der jüngeren Vergangenheit im April 2009

westlich von Innsbruck ein, als laut Angaben des ORF Tirol (TIROLORF.AT 2009) die Maschinen mit unberechenbaren Föhnböen zu kämpfen hatten und daher nicht tief genug fliegen konnten.

Ebenfalls eine wichtige Rolle in der Steuerung der Entwicklung von Waldbränden spielen Trockenperioden, die auch ohne Föhneinwirkung im Untersuchungsgebiet auftreten können. Die Quellen nennen zusammen mit Föhnlagen in Summe 35 Ereignisse, die unter besonders trockenen Bedingungen zum Ausbruch kamen. 14 davon übertrafen die durchschnittliche Waldbrandgröße im Untersuchungsgebiet von 9 ha. Beispiele hierfür sind ein über 50 ha umfassender Brand am Hechenberg aus dem April 1894, in dessen Vorfeld es seit Februar anhaltend trocken gewesen ist, oder ein Schadereignis von ca. 11 ha Fläche von Anfang April des Jahres 1934, bei dem sich nach wochenlanger Trockenheit das Feuer im vollkommen ausgedörrten Gras und Gestrüpp rasch ausbreiten konnte (TLA: MIKROFILM 1804 FV HALL; FLIRI 1998; TLA: FDD 406). Auch die auffällige Häufung von Waldbränden in den 1947er Jahren steht in enger Verbindung mit einer nach FLIRI (1998) außerordentlich trockenen (Juli bis Oktober) und z.T. sehr heißen Witterung (Ende Juli bis zu 35 °C), die eine optimale Prädisposition für die Entstehung von Bränden geschaffen hat.

Bei vier der zehn Waldbrände mit mehr als 50 ha Ausdehnung trafen nach den historischen Aufzeichnungen zu Folge mehrere der genannten Ungünstfaktoren zusammen: 1705 im Oskarwendel, 1894 am Hechenberg, 1946 im Halltal und 1947 an der Arnspitze.

Auf der anderen Seite können spezifische Witterungseinflüsse den Ausbruch eines Waldbrandes aber auch von vornherein unmöglich machen, einer schnellen bzw. größeren Ausdehnung des Feuers entgegen wirken oder dessen Löschung überhaupt erst ermöglichen. Der nassen Witterung etwa war es 1944 laut Unterlagen der BH Schwaz (TLA: BH SCHWAZ 1944 ABT. II, REG.-Z. 39/671) zu verdanken, dass es neben dem Weg von Pertisau zur Plätzachalpe nicht zu einem Großwaldbrand gekommen ist. Eine ähnliche Situation war 1923 an der Arnspitze gegeben, als starke Niederschläge nach der raschen Vernichtung von 6 ha Latschen eine noch größere Katastrophe verhinderten (TLA: MIKROFILM 2307 GP SCHARNITZ). Oberhalb der Thaurer Alm gestatte gar erst einsetzender Regen eine erfolgreiche Feuerbekämpfung nach vergeblichen Versuchen einer 400 Mann starken Löschmannschaft (KLEBELSBERG 1953). Ähnlich verhielt es sich bei den Großereignissen 1705, 1946 und 1947.

Bei einem Waldbrand an der Hochwaldgrenze des Tschirgantwestabfalles Ende Juni 1949 hatte sogar der vorherrschende Wind einmal etwas Positives, da er das Feuer in die Felsen getrieben und so zu dessen Erlöschen beigetragen hatte (TLM: VOLKSZEITUNG 1949 NR. 146 S. 5).

Aus einem Abgleich auffällig waldbrandreicher Jahre sowie größerer Waldbrände mit Aufzeichnungen zu besonderen meteorologischen Beobachtungen aus der Naturchronik von Tirol (FLIRI 1998) sowie mit tirolbezogenen Auszügen aus Jahrbüchern der ZAMG (ZAMG 2005, 2007, 2011) konnten

weitere Indizien für eine witterungs- bzw. wetterbedingte Beeinflussung von Waldbränden gewonnen werden. Die entsprechenden Zusammenhänge sind in Tab.22 und Tab.23 dargestellt.

Tab.22: Übersicht zu Witterungs- u. Wetteranomalien in besonders waldbrandreichen Jahren

Jahr (WB-Anzahl)	Witterungs- / Wetteranomalien	Auftreten von Waldbränden
1834 (6)	lbk Winter mild; Vegetationsstart s. früh; lbk: Mai heiß, 20.5.: 37,5 °C; Sommer warm/heiß, Sommerhalbjahr 2°C über Ø (1830-1905)	keine Monatsangaben bei WB
1908 (7)	11.-30.3. trocken; 19. u. 21.5 über 30 °C; 13.-23.9. trocken	WB 19. u. 22.5.; WB 16.9.
1909 (9)	2.-12.4. u. 14.-26.4. trocken; 1.-3.6.: 31 °C	2 WB Apr. (9.4.: > 20 ha); WB 25.5.-4.6.: > 20 ha
1911 (12)	lbk Mär., Apr. trocken; lbk Jun. (Sommer) trocken u. heiß; Okt./Nov. trocken	5 WB Apr.; 2 WB Sommer; 2 WB Mitte Okt.
1921 (6)	8.-15.3. kalt u. 8.-18.3. trocken; Jun., Ende Jul./Aug. immer wieder heiß	5 WB zwischen 13. u. 26.3. (13.3.: 30 ha)
1923 (8)	lbk Jun., Jul. heiß, Ende Jul. trocken; 13.-15.8. heiß	6 WB im Sommer (15.7.: 9 ha; 12.8.: ca. 30 ha)
1934 (7)	Feb. wiederholt trocken; 17.3.-8.4 tro- cken; 10.-19.4. trocken; Sommer heiß, Sommerhalbjahr 1 °C wärmer als Ø (1906-1996)	5 WB zwischen 10.3. u. 17.4. (2.4.: 11 ha)
1943 (6)	17.2.-4.3. u. 7.-27.3. trocken; Jul./Aug. heiß bis 34 °C; 29.9.-5.11. trocken	2 WB Mär.; 2 WB Aug.; WB Ende Okt.
1946 (8)	Apr./Mai trocken; Anfang Jun. heiß, Sommer heiß, Sommerhalbjahr ca. 1,5 °C wärmer als Ø (1906-1996)	3 WB Apr.; 3 WB Mai (2 > 100 ha)
1947 (39)	Sommerhalbjahr ca. 2,8 °C wärmer als Ø (1906-1996); Anfang u. Ende Jul. lbk > 30 °C u. zunehmend trocken; Aug. Tro- cken- u. Hitzeperiode; Sept. nochmals trocken u. heiße Phasen; Okt. trocken	WB 8.7.-14.8.: 43 ha; 18 WB Aug. (16.-23.8.: > 25 ha); 13 WB Sept. (25.8.-3.10.: >100 ha); 5 WB Okt. (8.-20.: 15 ha);
1949 (10)	Mär. trocken u. kalt; 20.3.-4.4. trocken; Sommer heiß; Jun./Jul. trocken; 28./29.7. heiß; 6.-9.8. 33 °C	3 WB Ende Mär.; 2 WB Ende Jun.; WB 1.-18.8.: ca. 30 ha
1950 (9)	lbk Mai trocken (Trinkwassermangel); 18.-27.5. Südföhn, 21. u. 23.5. heiß; Jun. bis 36 °C; schweres Gewitter 1./2.7.; Sommer heiß	2 WB Mai; 2 WB Jun.; 3 WB Juli (2x Blitzschlag am 3.7.)
1969 (7)	26.2.-18.3. trocken; 25.10.-5.11. trocken	4 WB Anfang Apr.; WB 4.11.
2003 (8)	Mai bis Aug. z.T. außergewöhnlich warm mit überwiegend unterdurchschnittlichen Niederschlägen	5 WB Mai bis Aug.
2006 (8)	Jun. u. Jul. überdurchschnittlich warm, verbreitet < 75 % der Niederschlags- normalmengen; 21.-28.7. gewitterträchtig	6 WB Jul. (5x Blitzschlag zw. 21. u. 24.7.)

Tab.23: Übersicht zu Witterungsanomalien vor/während bedeutender Waldbrände

Datum u. Größe WB-Ereignis	Witterungsanomalie
1865 30.9.-5.10.: 26 ha	Sommerhalbjahr (Apr.-Sept.) sehr heiß
1915 8.6.-21.6.: 57 ha	Anfang Juni sehr heiß
1917 Mai: 50 ha	April, Mai trocken, Ende Mai 12 Tage anhaltend trocken
1918 17.-22.3.: 19 ha	Januar/Februar trocken; März trocken
1920 6.3.: 25 ha	12.-26.2. trocken
1928 März u. August: 18 bzw. ~ 10 ha	Feb., Mär. trocken; Jun., Jul., Anfang Aug. heiß
1929 Anfang Oktober: 32 ha	25.9.-7.10. trocken
1931 26.5.: 25 ha	7.-19.5. trocken; 24.-30.5. heiß
1945 12.-18.5.: ca. 50 ha	Mai heiß und trocken
1962 18.4.: ca. 27 ha	6.-25.4. trocken; 17.-22.4. Föhn
1972 Feb./Mär. 2 WB: ~ 10 bzw. 30 ha	3.-9.2., 18.-22.2. u. 9.-15.3. Föhn; 15.2.-5.3. trocken
1989 8.4.: 20.000 Bäume	21.3.-1.4. trocken; 28.3. 25,4 °C-; 8.-12.4. Föhn
2009 10.-16.4.: 25 ha	April außergewöhnlich warm und trocken

Abschließend ist festzuhalten, dass bei 30 der 44 Ereignisse, die größer als 10 ha waren, eine Korrelation zwischen Witterung bzw. Wetter und dem Waldbrandausmaß nachgewiesen werden konnte und dass für waldbrandarme Jahre ein schneereicher Winter bzw. Schneefälle bis weit in den Frühling oder gar Frühsommer hinein kennzeichnend zu sein scheinen. Oftmals bleibt eine Waldbrandentstehung jedoch einfach dem Zufall überlassen, da ein punktgenaues Zusammenkommen von mehreren Faktoren gegeben sein muss, wie aus den vorangehenden und nachstehenden Ausführungen unter 4.1.4 abzuleiten ist.

Eine Studie zur Zirkulationsdynamik von Extremereignissen zwischen 1850 und 2003, die von LANG (2010) innerhalb des DFG-Waldbrandprojektes durchgeführt wurde, kommt u. a. zu dem Ergebnis, dass Waldbrände im Frühjahr bei den Großwettertypen Ost und Südost (v. a. mit zyklonalem Charakter) sowie Süd (v. a. mit antizyklonalem Charakter) besonders häufig sind. Im Sommer stehen Waldbrandausbrüche dagegen mit den Großwettertypen Ost und Nordost (bd. mit antizyklonaler Ausprägung) statistisch nachweisbar in Verbindung. Allen genannten Zirkulationsmustern ist ein extrem trockener und mäßig warmer bis warmer Charakter gemeinsam.

- Kulturhistorische und sozioökonomische Rahmenbedingungen

Nachdem 86 % aller Waldbrandereignisse im Untersuchungsraum auf anthropogene Ursachen zurückgehen, erscheint eine etwas genauere Betrachtung der Einflüsse von kulturhistorischen und sozioökonomischen Hintergründen angebracht. Nicht zuletzt auch deshalb, weil sich hieraus eine bessere Nachvollziehbarkeit der in Abb.22 und Abb.66 dargestellten Waldbrandchronologien ergibt.

Viele Jahrhunderte lastete auf dem Wald großer Nutzungsdruck. Die Wälder dienten den Menschen und in besonders großem Umfang der Saline Hall nicht nur als Roh- und Heizstofflieferant, in ihnen wurde vielfach ebenso Vieh geweidet und Streu für die Stalltierhaltung gewonnen. Reichten die normalen Weidegründe nicht mehr aus, mussten Baumbestände brandgerodet werden, was ebenfalls zur Schaffung von Almflächen geschah. Die Bevölkerung versorgte sich darüber hinaus beispielsweise durch Wilderei, Beeren- und Pilzesuchen auch teilweise mit Nahrungsmitteln aus dem Wald oder versuchte mit dem Verkauf oder Tausch von in der Latschenregion und darüber gepflückten Aurikeln ihre Versorgungslage zu verbessern (SCHRECKENTHAL 1933; GRABHERR 1936).

Es ist daher nichts außergewöhnliches, dass es in Folge der engen Verzahnung des menschlichen Alltags mit dem Wald immer wieder zu Waldbränden durch Rodungs-, Lager- oder Kochfeuer gekommen ist. In besonderen Notzeiten, wie etwa während und nach den beiden Weltkriegen wurden die Wälder mit Sicherheit noch intensiver aufgesucht, was in Konsequenz zu einer Erhöhung der Brandfälle - bei Vorherrschen ausreichend trockener Bedingungen - führte (vgl. Abb.22 und Abb.66).

Auch mit der alten Tradition des Abbrennens von Bergfeuern etwa zu Ostern, Sonnwend oder zum Herzjesufest standen immer wieder Waldbrände in Verbindung. Am 22.6.1909 beispielsweise brannte in Folge von Sonnwendfeuern am Vortag an vier verschiedenen Stellen im Untersuchungsgebiet der Wald (TLA: BH IMST 1909 FACH J248/6393, FACH J251/6452; TLA: BH SCHWAZ 1909 ABT. II, REG.-Z. XXIX 80/a SZ 794, 795).

Im Laufe des 19. Jahrhunderts entwickelte sich mit dem immer stärker aufkommenden Tourismus eine zusätzliche Gefahrenquelle, da Sommerfrischler und Alpinisten in zunehmender Zahl das Erlebnis in freier Natur suchten. Der Zugang wurde ihnen zunächst durch die Anlage von Wegen und nach Ende des ersten Weltkrieges durch den Bau der ersten Seilbahnen etwa auf die Zugspitze oder die Nordkette (TIROL WERBUNG 2007) zusehends erleichtert. Im sorglosen Umgang von Touristen mit Feuer oft in Verbindung mit dem Rauchen ist eine verbreitete Ursache für Waldbrände im Untersuchungsgebiet gelegen, wie vorangehend gezeigt werden konnte.

Um der Beschädigung der in mehrfacher Hinsicht wertvollen Wälder durch Feuer entgegenzuwirken, wurden nach OBERRAUCH (1952) schon früh mehrfach Edikte und dergleichen erlassen, die beispielsweise alle Untertanen zur Hilfeleistung bei einem Waldbrand verpflichteten (anno 1528) oder unter Androhung harter Strafen wie Handabhacken o. ä. untersagten, „Feuer in den Wald zu tragen“ (1596 und 1646). Dass diese Maßnahmen nur für einen bestimmten Zeitraum eine Verbesserung der Waldbrandsituation brachten, zeigt die Tatsache, dass auch in späteren Jahrhunderten die Menschen wiederholt zu einem verantwortungsvollen Umgang mit dem Feuer in den Wäldern ermahnt/gezwungen werden mussten. In manchen Fällen wurde sogar eingefordert, bereits das Verlassen der Wege zum Suchen von Blumen oder Früchten mit Geld- oder Arreststrafen zu ahnden oder für manche Gebiete Betretungsverbote auszusprechen (TLA: BH SCHWAZ 1913 ABT. II, REG.-Z. XXIX 80/a SZ 659). Eine Meldung vom Reichsstatthalter an den Reichsforstmeister aus dem Jahre 1940 berichtet wiederum

davon, dass die einfachste Variante der Waldbrandbekämpfung die Verhinderung solcher Ereignisse sei, die im wesentlichen mit der Überwachung des Rauchverbotes geleistet werden könne (TLA: FDD 611).

Jahrhunderte lang musste man sich auf die Einhaltung entsprechender Verordnungen und die Vernunft der Menschen im Umgang mit Feuer stützen, da man den Waldbränden, waren sie erst einmal ausgebrochen, selten etwas entgegenzusetzen hatte. Dies nicht zuletzt auch deshalb, weil sich die Brandherde mitunter in schwerzugänglichem alpinen Gelände ohne nahe liegendes Wasserangebot befanden. War die Brandfläche überhaupt von den Löschkraften zu erreichen, beschränkten sich die Löschkaktivitäten i. d. R. auf Gräbenziehen, Schneisenanlegen und Ausschlagen der Flammen mit sog. Feuerpat-schen (vgl. u. a. SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48; TLM: INNSBRUCKER NACHRICHTEN 1911 NR. 175 S. 9). Diese Maßnahmen werden auch heute noch ergriffen, als wichtiges zusätzliches Element tritt jedoch die Versorgung mit Löschwasser hinzu, die in besonders schwierigem Gelände per Hubschrauber erfolgt. Durch die starke Verbesserung der Löschmöglichkeiten über die Zeit, erreichen die Waldbrände heute nur mehr in sehr seltenen, ungünstigen Fällen Größen von mehr als 5 ha (vgl. 4.1.3).

4.1.5 Das extreme Waldbrandjahr 1947

Wie unter 4.1.1 angekündigt, erfolgt nun aufgrund der außergewöhnlich hohen Anzahl von 39 Waldbränden eine gesonderte Auseinandersetzung mit dem Jahr 1947. Dabei soll u. a. darauf eingegangen werden, inwieweit abgesehen von der großen Ereignishäufigkeit weitere Auffälligkeiten im Waldbrandgeschehen bestanden.

- Rahmenbedingungen und Ursachen der Waldbrände

Wie sich bereits angedeutet hat, begünstigten 1947 zum einen äußerst waldbrandförderliche Witterungsbedingungen - es wird von einem Jahrhundert-, Steppen- bzw. Dürresommer mit wiederkehrenden Trockenperioden von Ende Juli bis Oktober berichtet (GREBE 1948; GEIGER 1950; FLIRI 1998; Z'GRAGGEN 2006) - das Zustandekommen dieser abnormen Zahl an Brandfällen. Zum anderen lag bedingt durch den vorangegangenen Krieg und einen der strengsten Winter des 20. Jahrhunderts nach NIKETTA (2003) ein besonders hoher Nutzungsdruck durch Nahrungsmittel- und Brennstoffbeschaffung, Wilderei und Weidewirtschaft auf dem Wald.

Nach der für 19 der 39 Ereignisse möglichen Ursachenanalyse gehen 15 Waldbrände auf Fahrlässigkeit, drei auf unbekannte Ursachen und einer auf Brandstiftung zurück. Blitzschlagbrände waren nicht zu verzeichnen.

- Subregionale Waldbrandhäufigkeiten

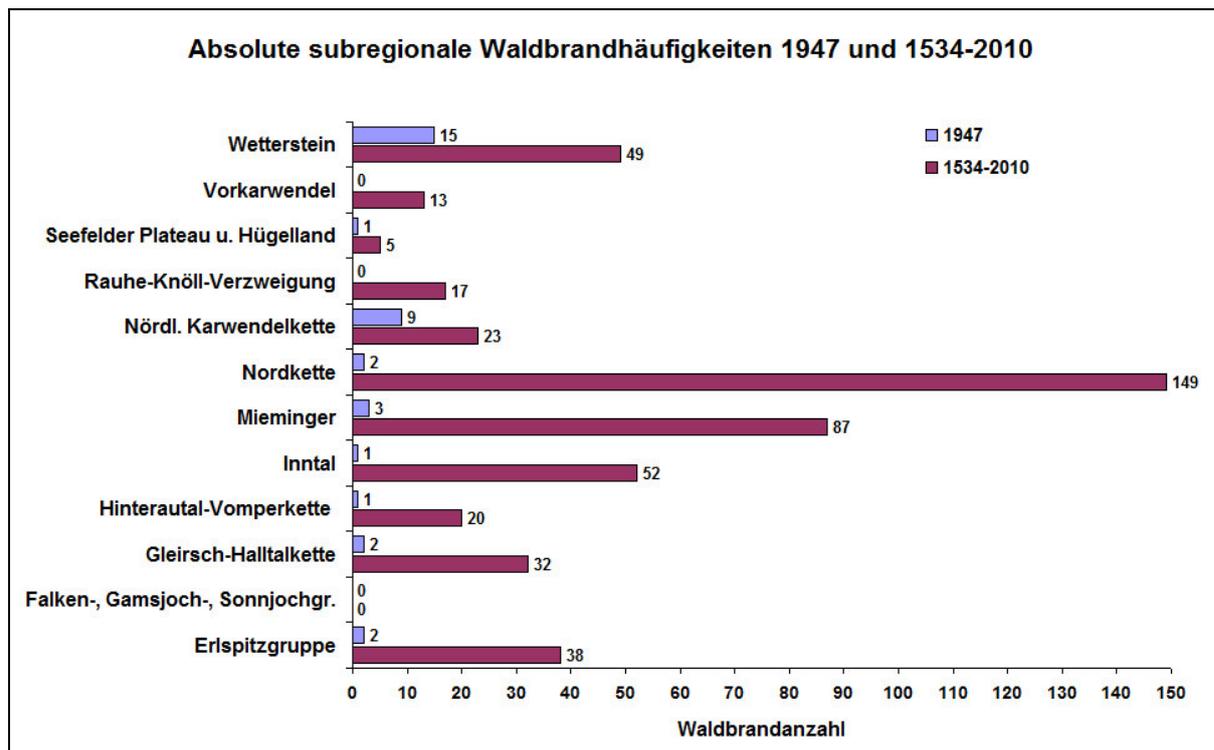


Abb.30: Absolute subregionale Waldbrandhäufigkeiten 1947 und 1534-2010

Bei der räumlichen Verteilung der Waldbrände ergibt sich für 1947 ein gänzlich anderes Bild als für den gesamten Untersuchungszeitraum (vgl. Abb.30). Während die an für sich sehr waldbrandreiche Nordkette in diesem Ausnahmejahr nicht besonders in Erscheinung tritt, spielt das Wettersteingebirge an deren Stelle die wichtigste Rolle: hier ereigneten sich 1947 die meisten Schadfälle (15). Diese 15 Ereignisse entsprechen immerhin knapp über 30 % aller im Zeitfenster 1534 bis 2010 in dieser Region aufgetretenen Waldbrände. Ähnliches gilt für die Nördliche Karwendelkette: hier sind allein im Jahr 1947 neun von insgesamt 23 für dieses Gebiet dokumentierten Brände ausgebrochen.

Auch das kommunale Verteilungsmuster ist folglich ein anderes: Mittenwald war 13mal und damit mit Abstand am häufigsten von Waldbränden betroffen. Es folgen Grainau und Garmisch-Partenkirchen mit fünf bzw. vier Ausbrüchen.

Ferner ist erwähnenswert dass 22 der 39 Ereignisse auf bayrischem Terrain stattfanden. Somit ereigneten sich mehr als die Hälfte aller untersuchten bayrischen Waldbrände 1947.

Eine weitere Besonderheit besteht darin, dass am 19.8. und am 8.9. gleichzeitig an fünf verschiedenen Stellen im Untersuchungsraum Brandereignisse auftraten. In keinem anderen Jahr kam es zu so vielen Waldbränden an einem Tag.

- Vertikale Verteilung der Waldbrände

Entsprechend der veränderten räumlichen Verteilung der Brände ist auch bei deren mittlerer Höhenlage eine andere Situation gegeben als insgesamt 1534-2010: allgemein kommen die Waldbrände 1947 in größerer Höhe mit einem Schwerpunkt zwischen 1000 und 1300 m ü.d.M. vor (Abb.31).

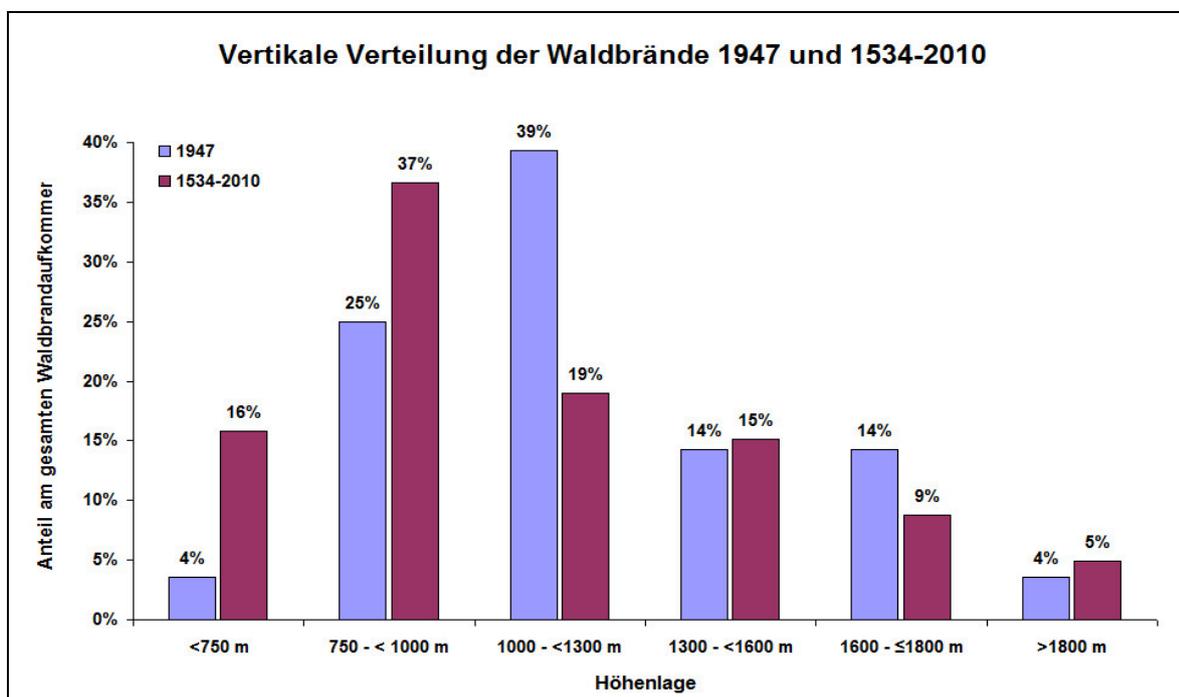


Abb.31: Vertikale Verteilung der Waldbrände 1947 und 1534-2010

- Exposition der Waldbrandlokalitäten

Bezüglich der Exposition der Brandflächen ist zu sagen, dass 1947 der Anteil nicht südwärtiger Orientierungen mit 55 % sehr hoch ist. Diese Tatsache legt den Schluss nahe, dass es in Folge der Witterungsanomalien auch in an für sich feuerarmen Lagen zur Ausbildung ausreichend trockener Verhältnisse für das Zustandekommen von Waldbränden gekommen sein muss. Es ist jedoch hinzuzufügen, dass gerade einmal für 22 der 39 Schadereignisse auswertbare Informationen vorlagen.

- Saisonales und monatliches Waldbrandgeschehen

Das Jahr 1947 zeigt im Vergleich mit den für den gesamten Datensatz erhaltenen Resultaten für die jahreszeitliche Verteilung der Waldbrände ebenso Besonderheiten. Abgesehen davon, dass für den Winter keine Ereignisse nachgewiesen werden konnten, kann für das Frühjahr eine nur sehr bescheidene Bedeutung für das Waldbrandgeschehen festgestellt werden, während sie in der Gesamtbetrachtung unter 4.1.1 als die an sich waldbrandträchtigste Jahreszeit ausgewiesen ist. Dagegen spielt in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf 1947 der Sommer, in dem die Hälfte aller Schadfälle aufgetreten ist, knapp vor dem Herbst (47 %) die wichtigste Rolle, wie Abb.32 zu entnehmen ist.

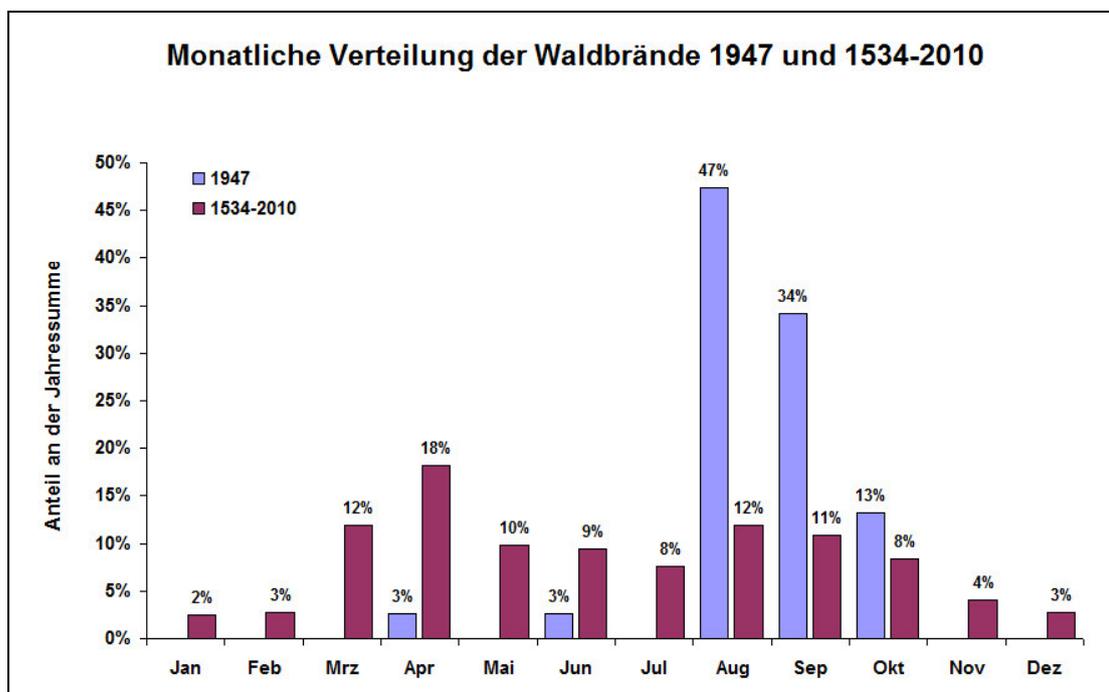


Abb.32: Monatliche Verteilung der Waldbrände 1947 und 1534-2010

Betrachtet man die prozentuale Verteilung der Waldbrände auf die einzelnen Monate (Abb.32), so sticht zunächst ins Auge, dass es in lediglich fünf Monaten zum Ausbruch von Bränden gekommen ist. Weiters ist der April, der als der Waldbrandmonat schlechthin im Untersuchungsraum gilt, in 1947 stark unterrepräsentiert. Dafür zeigen August (47 %) und September (34 %) außerordentlich hohe Wer-

te. An dritter Stelle folgt mit großem Abstand der Oktober. Es zeigt sich also 1947 eine sehr deutliche Verschiebung des Waldbrandmaximums in die zweite Jahreshälfte.

Unter Bezugnahme auf die absoluten Waldbrandzahlen der Monate August und September ist zu konstatieren, dass allein im Jahr 1947 über 40 % aller dokumentierten August- und knapp ein Drittel aller Septemberereignisse aufgetreten sind.

- Waldbranddauer

Im Jahr 1947 fand im Zuge einer ganzen Waldbrandserie an der Arnspitze auch der längste Waldbrand im Untersuchungsraum mit einer Dauer von insgesamt 40 Tagen statt (vgl. 4.1.6). Überhaupt ist der Anteil an Ereignissen von mehr als zehn Tagen Länge 1947 sehr hoch: 40 % aller zwischen 1900 und 2010 stattgefundenen Schadfälle fallen in dieses Jahr.

- Waldbrandausmaße

Insgesamt waren 1947 ca. 187 ha Wald von Bränden betroffen, wobei die durchschnittliche Brandflächengröße 6 ha betrug. Letzterer Wert liegt trotz offensichtlich günstiger Rahmenbedingungen sogar unter dem für den Zeitraum 1900-2010 errechneten Durchschnitt von 7,2 ha, während die Brandflächensumme der zweithöchsten in diesem Zeitraum entspricht.

Wie häufig einzelne Waldbrandkategorien aufgetreten sind, kann Tab.24 entnommen werden. Anzumerken ist hierzu, dass knapp 1/4 aller in der Größenordnung < 0,5 ha stattgefundenen Ereignisse ins Jahr 1947 fällt sowie eines von insgesamt vieren aus der Kategorie 50-100 ha.

Von den mehr als 10 ha umfassenden Waldbränden fielen drei in den August und einer in den Oktober. Die Klein- und Kleinstbrände ereigneten sich überwiegend im September (12) und August (11) sowie vereinzelt im Oktober (4) und April (1). In sieben Fällen war keine Zuordnung möglich.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich 1947 bei den Waldbrandausmaßen bei weitem keine so bemerkenswerten Auffälligkeiten zeigen, wie etwa bei der räumlichen oder saisonalen Verteilung der Brandereignisse.

Tab.24: Häufigkeiten verschiedener Waldbrandkategorien 1947 (n=39)

Waldbrandfläche	<0,5 ha	0,5-1 ha	10-50 ha	50-100 ha	k. A.
Waldbrandanzahl	27	1	3	1	7

4.1.6 Aspekte des subregionalen und lokalen Waldbrandgeschehens

Das bereits unter 4.1.1 angerissene Waldbrandgeschehen in einzelnen Gebirgsabschnitten (s. Abb.20) wird nachstehend vertiefter behandelt. Dabei stehen in erster Linie jene Aspekte im Fokus, welche durch eine entsprechende Datenlage ausreichend dokumentiert sind und im subregionalen Vergleich bzw. im Abgleich mit dem Gesamtergebnis Auffälligkeiten zeigen. Zudem soll auf einige Brandereignisse, die sich entweder durch spezielle Eigenschaften auszeichnen oder im Hinblick auf die Waldbrandfolgenanalyse in 4.2 bzw. 4.3 eine wichtige Rolle spielen, detaillierter eingegangen werden. Abschließend erfolgt ein kurzer Blick auf einige längerfristige Waldbrandzeitreihen.

- Waldbrandchronologie

Wie Abb.33 zu entnehmen ist, zeigt die jahrzehnteweise Verteilung der Waldbrände in den einzelnen Subregionen große Unterschiede. Während beispielsweise im Bereich der Nordkette das Auftrettsmaximum der Ereignisse in den 1920er Jahren liegt, traten im Mieminger-Gebirge die meisten Brände in den 1940ern und zwischen 2000 und 2010 auf. Einen Häufigkeitsschwerpunkt im Zeitraum 1940-1949 haben die Schadfälle ebenfalls im Wetterstein, im Inntal, in der Nördlichen Karwendelkette sowie in der Gleirsch-Halltalkette. Im Gebiet der Erlspitzgruppe und der Rauhen-Knöllverzweigung sind die Waldbrände in den 2000ern am häufigsten gewesen.

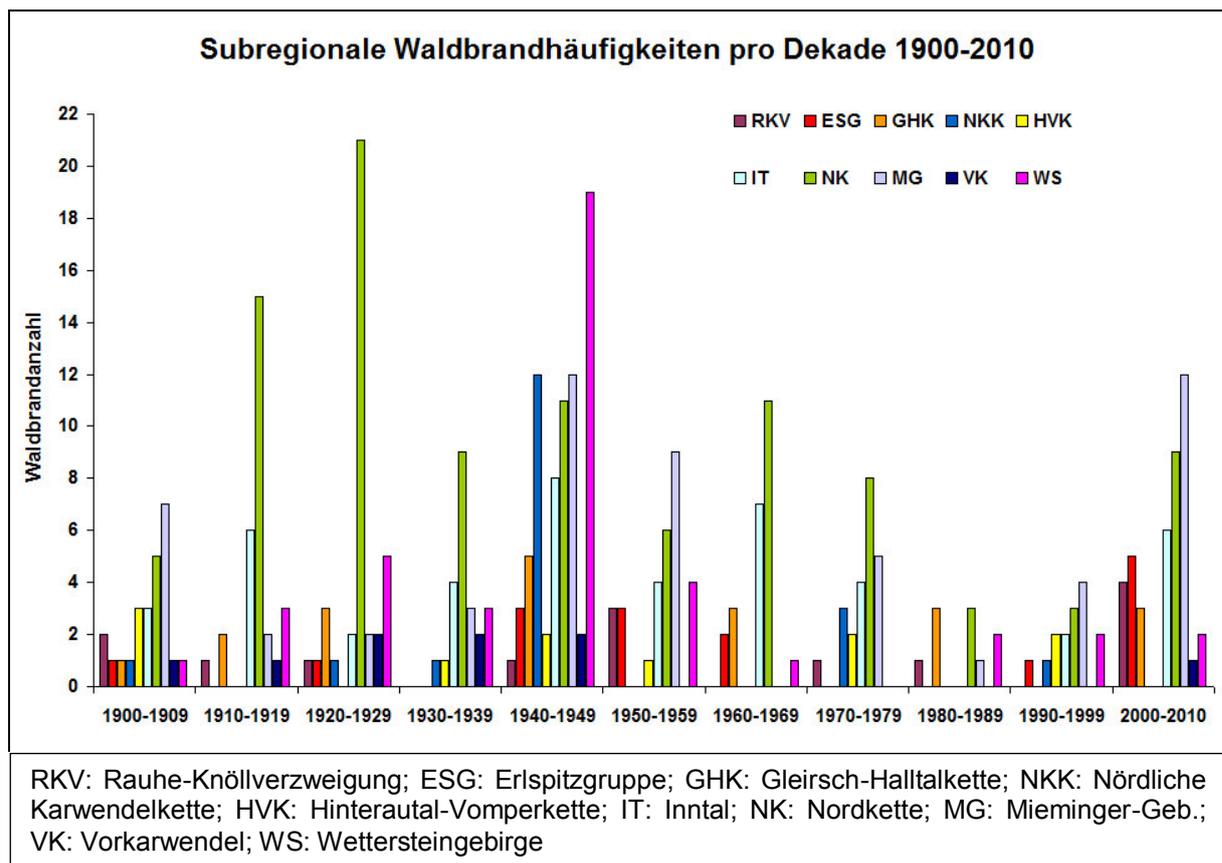


Abb.33: Subregionale Waldbrandhäufigkeiten pro Dekade 1900-2010

Die Nordkette kann als einziges in jeder Dekade Waldbrände vorweisen. Für das Wettersteingebirge, das Inntal sowie das Mieminger-Gebirge gilt dies mit Ausnahme der Perioden 1970-1979 bzw. 1980-1989 bzw. 1960-1969. In allen anderen Gebirgsabschnitten kommen öfter waldbrandfreie Phasen vor. Weiterhin bemerkenswert ist, dass es nur zwischen 1940 und 1949 in allen jemals von Bränden betroffenen Subregionen - einschließlich der in Abb.33 nicht dargestellten Umgebung von Seefeld - zum Ausbruch von Waldbrandereignissen gekommen ist.

In Tab.25 sind weitere Eckdaten zum subregionalen Waldbrandgeschehen, wie etwa die verschiedenen Reichweiten der Waldbrandzeitreihen, Durchschnittswerte von absoluten und relativen Ereignishäufigkeiten sowie Wiederkehrzeiten von Bränden zusammengefasst. Die letzte Spalte beinhaltet das Ergebnis für den gesamten Untersuchungsraum zum Vergleich. Aufgrund des sehr hohen Waldbrandaufkommens an der Nordkette liegt selbige bei allen Statistikwerten an erster Stelle: in ihrem Einzugsbereich ereigneten sich zum einen im Mittel pro Dekade sowohl zwischen 1540 und 2009 (3,2) als auch in der Periode 1900-2010 (9,2) die meisten Waldbrände. Am nächsten reichen hier das Inntal (2,3 WB 1783-2009) bzw. das Mieminger-Gebirge (5,2 WB 1900-2010) heran. Des Weiteren zeigt die Nordkette die größte Waldbranddichte zwischen 1900 und 2010 mit einem Ereignis pro 10 km² in zehn Jahren, wiederum gefolgt vom Inntal (0,3 WB). In Bezug auf die Rekurrenzintervalle weist die Nordkette mit 3,2 bzw. 29,2 Jahren die kürzesten Spannen auf. Die längste Zeit zwischen zwei Waldbränden vergeht statistisch gesehen im Bereich vom Seefelder Plateau und Hügelland (SPH, 40 Jahre) bzw. bezogen auf 10 km² Fläche im Vorkarwendel (491 Jahre).

Tab.25: Eckdaten zu den subregionalen Waldbrandchronologien

	RKV	ESG	GHK	NKK	HVK	IT	NK	MG	VK	WS	SPH	Ges.
1. WB	1635	1632	1747	1638	1764	1783	1540	1534	1827	1669	1810	1534
Letzter WB	2007	2008	2006	1996	2003	2009	2009	2010	2009	2001	2009	2010
Ø WB/10a gesamt	0,5	1	1,2	0,6	0,8	2,3	3,2	1,8	0,7	1,4	0,3	10,5
Ø WB/10a 1900-2010	1,3	1,5	1,9	1,7	1	4,1	9,2	5,2	0,8	3,8	0,4	31,7
Ø WB/10km²/10a 1900-2010	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	1	0,2	0,02	0,1	0,07	0,2
Rekurrenz- intervall [a]	22,1	9,9	8,2	16,2	12,3	4,4	3,2	5,5	14,1	7	40	0,9
Rekurrenzin- terv./10km² [a]	135	83,8	81,5	175	182	52,7	29,2	131	491	237	201	169

- Saisonale und monatliche Verteilung der Waldbrände

Auch bezüglich der saisonalen Waldbrandhäufigkeiten sind zwischen den Subregionen große Unterschiede festzustellen (s. Abb.34). Während in einigen Gebieten im Frühjahr die meisten Waldbrände ausbrechen - hierzu zählen die Rauhe-Knöllverzweigung, das Inntal und die Nordkette - weisen andere Abschnitte wie die Nördliche Karwendelkette, die Mieminger Gruppe oder das Wetterstein das Maximum im Sommer auf. In der Erlspitzgruppe verschiebt sich der Höchstwert gar in den Herbst. In der jahreszeitlichen Waldbrandverteilung für das gesamte Untersuchungsgebiet (UG) spiegeln sich in erster Linie die Anteilsverläufe der Rauhe-Knöllverzweigung und der Nordkette wieder, die durch eine relativ gleichmäßige Abnahme der Ereignishäufigkeiten vom Frühling bis zum Winter gekennzeichnet sind. Alle anderen Regionen zeigen davon deutliche Abweichungen.

Anzumerken ist darüber hinaus, dass es nicht in allen Gebirgsabschnitten im Winter zu Waldbränden kommt. Außer für die Erlspitzgruppe und die Nördliche Karwendelkette ist dies ebenfalls für das aufgrund unzureichender Datendichte in Abb.34 nicht dargestellte Vorkarwendel der Fall.

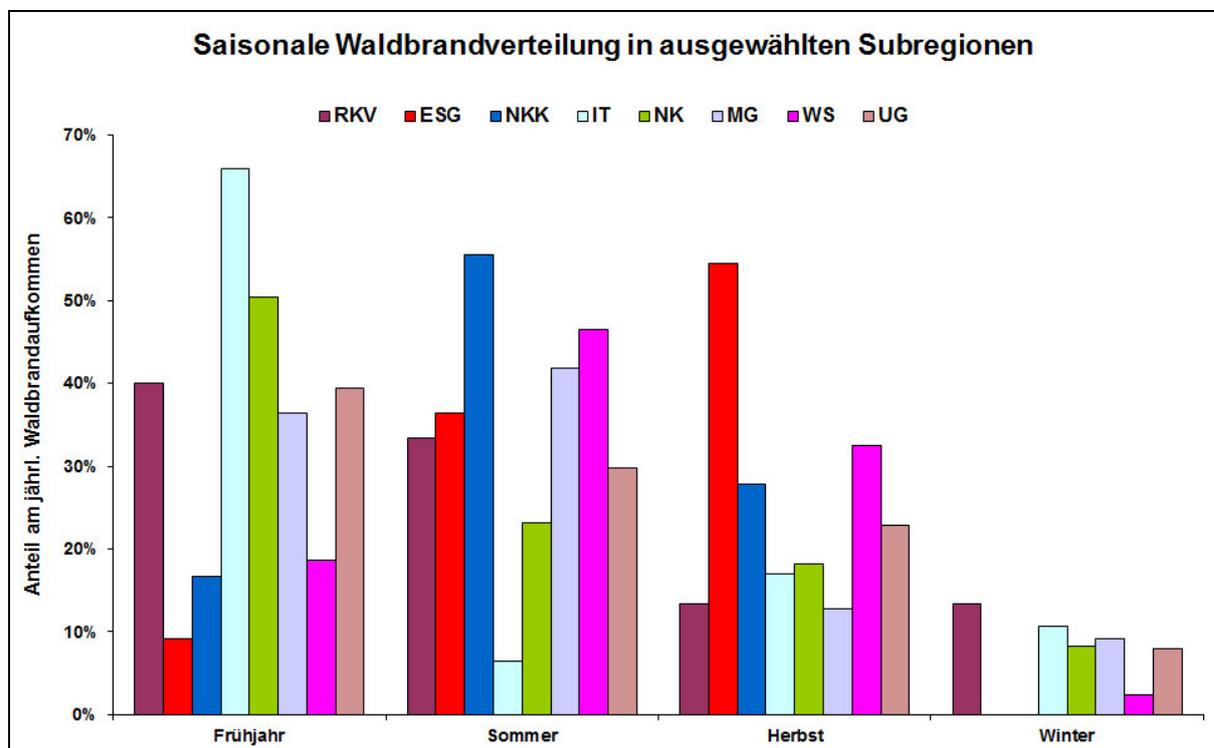


Abb.34: Saisonale Waldbrandverteilung in ausgewählten Subregionen

Im Hinblick auf die monatlichen Auftretshäufigkeiten von Waldbränden ist zu sagen, dass auch hier in den einzelnen Teilen des Untersuchungsraumes durchaus sehr verschiedene Ausprägungen vorzufinden sind. Wie in Abb.35 deutlich wird, sind im Bereich des Inntales und der Nordkette im April die Brandereignisse am häufigsten (35 bzw. 27%), gefolgt vom März. In den Miemingern tritt das Maximum dagegen im Mai (22%) knapp vor dem Juni auf. Im Wetterstein stellt sich die Situation mit den Höchstwerten im August (33%) und nachgeordnet im September noch einmal völlig anders dar. Für

das Untersuchungsgebiet insgesamt ergibt sich zum Vergleich eine markante Häufung von Schadfällen im April (18 %) und eine recht ausgewogene Verteilung (8-12 %) in den Monaten März sowie Mai bis Oktober.

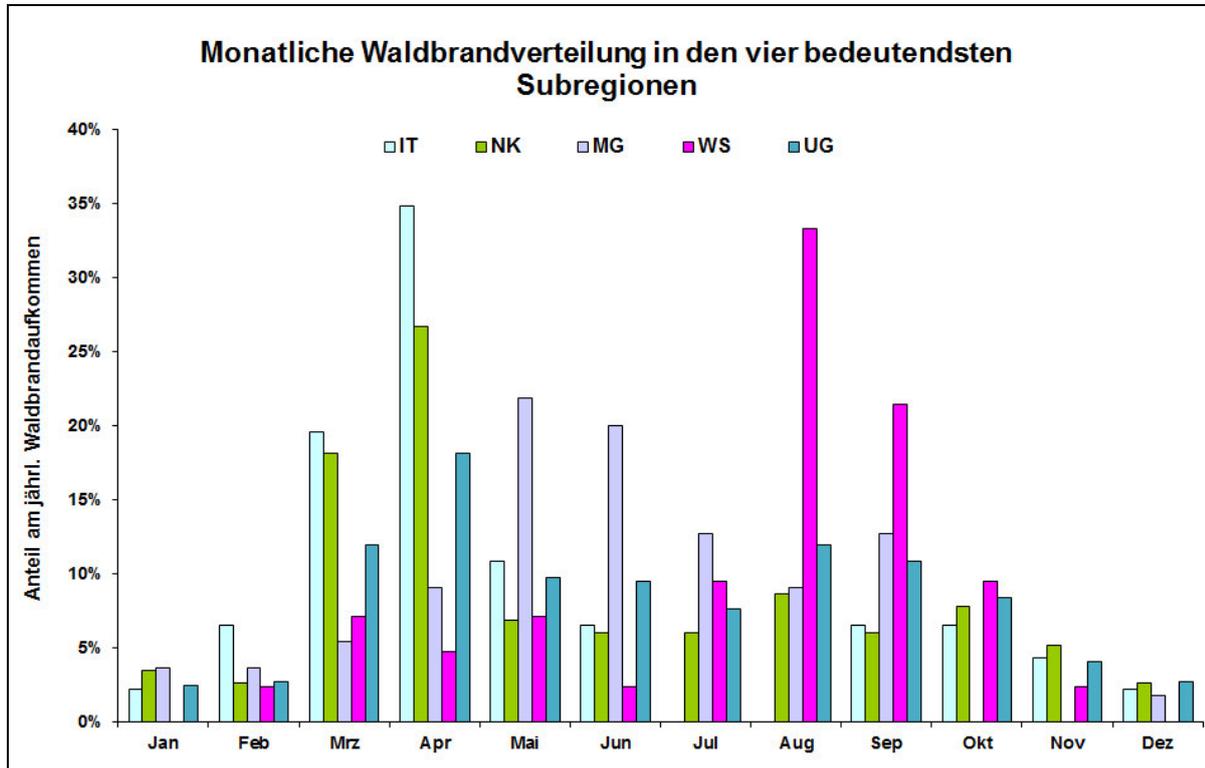


Abb.35: Monatliche Waldbrandverteilung in den vier bedeutendsten Subregionen

- Höhenlagen der Waldbrände

Tab.26: Mittlere Höhenverteilung der Waldbrände in ausgewählten Subregionen

Höhe [m ü.d.M.]	NKK (%)	GHK (%)	IT (%)	NK (%)	MG (%)	WS (%)	UG (%)
<750	0	0	80	3	0	2	9
750 - <1000	13	6	6	28	33	18	21
1000 - <1300	39	18	-	13	9	12	11
1300 - <1600	9	27	-	9	5	8	9
1600 - ≤1800	9	12	-	4	2	10	5
>1800	4	6	-	3	6	2	3
k.A.	26	30	14	40	45	47	43

Wie bei den bisher besprochenen Faktoren zeigen sich ebenso in Bezug auf die Höhenlagen der Brandfälle Auffälligkeiten im Vergleich der einzelnen Teilräume des Untersuchungsgebietes (vgl. Tab.26). Entsprechend seinem großen Anteil an der collinen Stufe liegt im Inntal das Schwerpunkt-

vorkommen der Waldbrände (80 %) ganz klar unterhalb von 750 m ü. d. M. In keiner anderen Region wird auch nur annähernd ein so hoher Anteil in diesem Höhensegment erreicht, sodass dem Inntal hier mit Blick auf den gesamten Untersuchungsraum sehr große Bedeutung zukommt. In den drei Gebieten Nordkette, Mieminger-Gebirge und Wetterstein ereignen sich die meisten Waldbrände zwischen 750 und 1000 m ü. d. M. Die Nördliche Karwendelkette weist dagegen ein deutliches Maximum (39 %) im Bereich 1000 - < 1300 m ü. d. M. auf und übertrifft dabei den Durchschnitt für diese Höhenstufe um mehr als das Dreifache. Nochmals höher ist die Auftrittsspitze in der Gleirsch-Halltalkette gelegen: hier bewegt sich der Anteil am subregionalen Waldbrandaufkommen zwischen 1300 und 1600 m ü. d. M. mit 27 % ebenfalls eindeutig über dem Untersuchungsgebietsmittelwert.

- Ausmaße der Waldbrände

Mit Ausnahme der Gleirsch-Halltalkette, die ein Ereignismaximum in der Kategorie > 10-50 ha aufweist, finden in allen übrigen Gebirgsabschnitten die meisten Waldbrände in einer Größenordnung von weniger als 0,5 ha statt, wobei deren Anteil in der Nördlichen Karwendelkette, im Inntal und im Wetterstein besonders groß ist (Tab.27). Die Nordkette fällt im Gegensatz dazu durch eine relativ hohe Anzahl an Schadfällen mit Ausmaßen zwischen einem und 100 Hektar auf. Im Bereich > 50-100 ha kamen hier allein drei der insgesamt vier Brände vor, in den entsprechenden darunter liegenden Kategorien werden Anteile um die 50 % bezogen auf das UG-Ergebnis erreicht.

Tab.27: Häufigkeiten einzelner Waldbrandkategorien, Schadflächensummen und durchschnittliche Brandflächengrößen in ausgewählten Subregionen

	NKK	GHK	IT	NK	MG	WS	UG
<0,5 ha	11	5	19	22	20	22	120
0,5 - 1 ha	1	0	2	4	7	3	23
>1 - 3 ha	1	3	2	14	4	3	30
>3 - 10 ha	0	3	2	12	3	1	21
>10 - 50 ha	2	6	1	17	2	3	34
>50 - 100 ha	0	0	0	3	0	1	4
>100 ha	1	2	0	0	0	1	6
k.A.	7	14	25	77	51	15	261
Σ WB- Fläche [ha]	151	530	52	734	121	277	1995
Ø WB- Fläche [ha]	9,4	27,9	2,7	4,9	1,4	5,6	9,1

In Folge der vielen und flächenintensiven Ereignisse im Einzugsgebiet der Nordkette ist dort auch mit rund 734 ha die größte Schadflächensumme zu verzeichnen (s. Tab.27). Die durchschnittliche Ausdehnung des einzelnen Waldbrandes beträgt allerdings lediglich 4,9 ha, was etwas mehr als der Hälfte

des Gesamtmittelwerts von rund 9 ha entspricht, dem das Resultat aus der Nördlichen Karwendelkette am nächsten kommt. Demgegenüber stehen 27,9 ha maximale bzw. 1,4 ha minimale Durchschnittsgröße in der Gleirsch-Halltalkette bzw. im Mieminger-Gebirge. Hier und v. a. im Inntal ist die Schadfächensumme besonders niedrig, da in den beiden Gebieten, anders als in den übrigen in Tab.27 aufgeführten Teilräumen, kein Brand mehr als 50 ha umfasste.

Einen Anhaltspunkt zu den zeitlichen Abständen, in welchen Waldbrände von bestimmtem Ausmaß in den einzelnen Subregionen auftreten, gibt Tab.28. Die verschiedenen darin aufgeführten Bezugszeiträume erklären sich aus dem unterschiedlichen Einsetzen der jeweils ersten auswertbaren Flächeninformationen. Entsprechend der größten Auftretshäufigkeiten bei Ereignissen zwischen einem und hundert Hektar im Bereich der Nordkette zeigt selbige hier auch die kürzesten Rekurrenzintervalle, die sich zwischen 15,3 (> 10-50 ha) und 86,7 Jahren (> 50-100 ha) bewegen. Die jeweiligen Höchstwerte liegen bei 123 (IT) bzw. 112 Jahren (WS). In der Kategorie der Kleinstbrände weist das Wetterstein mit etwas mehr als fünf Jahren die kürzeste Wiederkehrzeit auf, während im Mieminger-Gebirge bei den Schadfällen der Größenordnung 0,5-1 ha der geringste Wert erreicht wird (19,9 Jahre). Die korrespondierenden Maxima betragen 52 (GHK) bzw. 65 Jahre (NK).

Tab.28: Wiederkehrzeiten von Ereignissen bestimmter Größe in verschiedenen Teilräumen [Jahre]

	GHK (1750-2010)	IT (1783-2010)	NK (1750-2010)	MG (1871-2010)	WS (1898-2010)	UG (1750-2010)
<0,5 ha	52	6,5	11,8	7	5,1	2,2
0,5-1 ha	-	61,5	65	19,9	37,3	11,3
>1-3 ha	86,7	61,5	18,6	34,8	37,3	8,7
>3-10 ha	86,7	61,5	21,7	46,3	112	12,4
>10-50 ha	43,3	123	15,3	69,5	37,3	7,6
>50-100 ha	-	-	86,7	-	112	65
>100 ha	130	-	-	-	112	43,3

- Waldbrände von historischer Bedeutung bzw. Relevanz für eigene Detailuntersuchungen

a) Großwaldbrand im Ostkarwendel 1705

Die Ausführungen hierzu entsprechen einer Zusammenstellung aus RUF (1865), HOCHENEGG (1955), GRABHERR (1963b), KRAMER (1977) und der SCHORN-DATEI (o.J.).

Das mit Abstand größte neuzeitliche Waldbrandereignis im Untersuchungsgebiet fand im Jahre 1705 statt und dauerte vom 16.10. bis in den November hinein - der Zeitpunkt seines Erlöschens ging aus den zur Verfügung stehenden Quellen nicht hervor. Ihren Ausgang nahm die Waldbrunst, die wohl durch Sorglosigkeit von Hirten verursacht worden war, am Stupbach im Vomperloch. Aufgrund der vorherrschenden Trockenheit breitete sich das Feuer rasch bis in höhere Lagen und westwärts in Richtung Haller Anger aus. Zunächst blieben größere Löschanstrengungen aus, da sich der Waldbrand auf siedlungsfernes, überwiegend mit Legföhren bestandenes, felsiges Steilgelände in großer Höhe beschränkte. Erst nach elf Tagen, als die Salinenwäldungen unmittelbar bedroht waren, entsandte die Saline Hall selbst ein großes Aufgebot an Löschkräften und bemühte sich um weitere Unterstützung aus Schwaz.

Offensichtlich lange Zeit weitestgehend unbemerkt hatte sich das Feuer im Boden ohne große Flammenbildung auch ostwärts ausgebreitet, ehe es durch einen am 31. Oktober einsetzenden heftigen Wind zu seiner vollen Entfaltung kam. Die Flammen griffen in Folge schnell um sich, wobei sie u. a. das Kloster St. Georgenberg samt allen zugehörigen Bauten zerstörten und dessen Insassen nur durch Flucht ihr Leben retten konnten. Obwohl sich der Brand im Großen und Ganzen auf die Berghöhen beschränkte, wurden die Siedlungen zwischen Vomp und Jenbach ebenfalls von ihren Bewohnern überstürzt verlassen.

Der Sturmwind ermöglichte dem Waldbrand eine Ausbreitung durch Funkenflug über die Jöcher hinweg schließlich bis ins Achantal. HOCHENEGG (1955) berichtet auf S. 121 davon „*dass es öfters große Stücke von den brennenden Bäumen durch den heftigen Wind bis auf Tausend Schritte und noch weiter in der Luft fortgeführt, welche dann, wo sie hingefallen, einen neuerlichen Brand in dem Gehölze verursacht*“. Besonders leicht zu entzünden waren dabei alte Brand- und Lawinenflächen, die zu dieser Zeit lediglich überwiegend von dürrerem Gras oder Heidekraut bewachsen waren.

Die erst spät aufgebötenen Massen an Löschkräften standen dieser Naturgewalt, die selbst bei früherem Eingreifen nicht zu beherrschen gewesen wäre, völlig hilflos gegenüber. GRABHERR (1963b) schreibt von einer so starken Rauchentwicklung, dass auch im mittleren Inntal die Sonne wochenlang nur mehr als eine glutrote, verschwommene Scheibe hinter den Rauchschwaden zu erkennen war. Erst länger anhaltende Niederschläge geboten der Ausbreitung des Feuers im hinteren Achantal am Hähnerbach im bayrisch-tirolischen Grenzgebiet Einhalt und brachten den Waldbrand endgültig zum Erlöschen. Einen Anhaltspunkt zum groben Gesamtausmaß dieses Großereignisses gibt Abb. 19 auf S. 57. Zu den durch diese Feuersbrunst verursachten Schäden liegen nicht viele Informationen vor, außer, dass große Flächen in den Wäldern an den Berghängen westlich des Achensees gänzlich ausgebrannt waren und sich im Stallental bis auf einige Bäume alles vernichtet zeigte.

Einige der im Zuge des Waldbrandes von 1705 verheerten Areale weisen nach wie vor nahezu keinen Baum- oder Latschenbewuchs auf und sind auch heute noch gut im Gelände bzw. Luftbild zu erkennen, wie beispielsweise am Hahnkamp nordwestlich der Inntalgemeinde Stans (Abb.36). Andernorts dagegen haben sich die Brandflächen im Laufe der Jahrhunderte gut regeneriert und sind von unbetroffenen Bereichen nicht mehr zu unterscheiden, wie z. B. im Umfeld der Ganalpe, wo bereits 1718 schon wieder ein sichtbarer Ansatz von Waldwuchs festzustellen war, so GRABHERR (1963b).

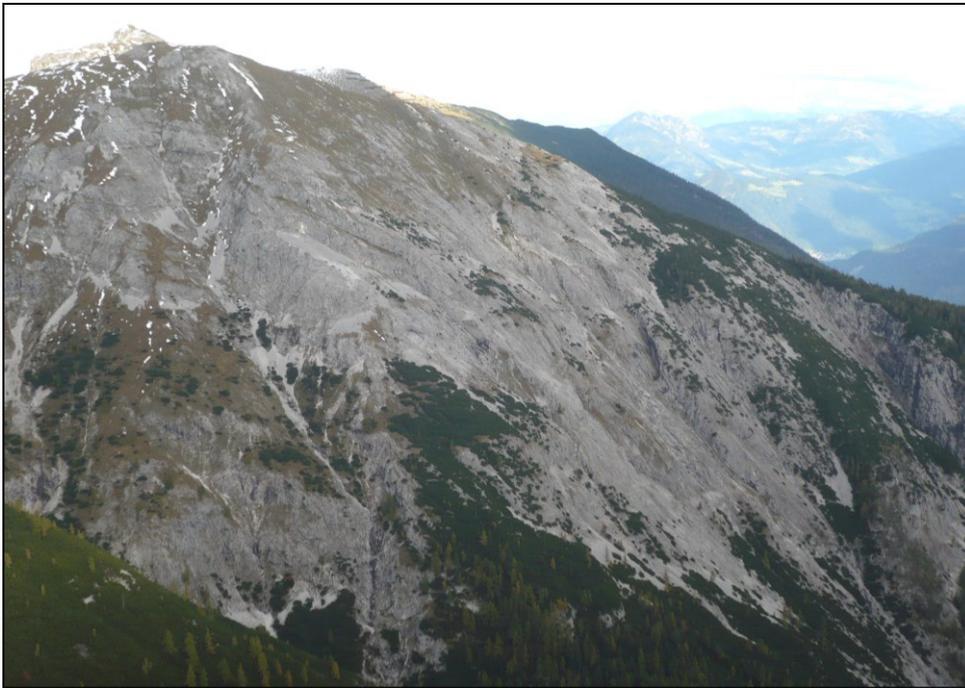


Abb.36: Weitgehend gehölzfreie Flächen des 1705er-Brandes am Hahnkamp 2008 (Foto: SASS 2008)

b) Großwaldbrand 1888 bei Jenbach

Nachdem zum zweitgrößten dokumentierten neuzeitlichen Waldbrand im Untersuchungsgebiet außer einer groben Lagebeschreibung (Gebiet Rappenspitze-Tristenkopf-Seekar-unteres Aotal nach GRABHERR (1963b) und dem Jahr 1635 keine weitere Informationen vorliegen, erfolgt stattdessen eine Beschreibung des drittgrößten Ereignisses. Dieses brach am 18. Mai 1888 um 10 Uhr im Archenwald am Kienberg westlich von Jenbach aus. Die vorherrschende Trockenheit verursacht durch anhaltenden Südwind im Vorfeld sowie das übermäßige Vorhandensein von Streu und Unterholz trugen maßgeblich zur überaus raschen Ausbreitung des Feuers bei. Heftige Regenfälle sorgten am 20.5. schließlich für die endgültige Löschung des Brandes, nachdem die Feuerwehren Stans, Jenbach, Vomp, Weer, und Schwaz sowie 200 Mann des Militärs und die lokale Bevölkerung zuvor vergeblich versucht hatten, dem Feuer Einhalt zu gebieten (FFW JENBACH o. J.). Zu den Dimensionen des Waldbrandes liegt lediglich von GRABHERR (1963b) eine Angabe von ca. 700 ha vor, die jedoch in Anbetracht der relativ kurzen Branddauer und der Beschreibung des Brandverlaufes in der Chronik der FFW Jenbach (deutlich) zu hoch gegriffen scheint.

Dennoch hatte der Waldbrand wohl einen recht großen Eindruck bei der Bevölkerung hinterlassen. Anders ist die Entstehung der folgenden Sage in Verbindung mit diesem Ereignis nicht zu erklären. Sie handelt nach KLEBELSBERG (1953) von einem Ritter zu Tratzberg, welcher in Folge frevelhaften Verhaltens während des in der Schlosskirche gefeierten Sonntagsgottesdienstes einst vom Teufel aus seinem Bett geholt, durch die vergitterten Fenster unter donnerartigem Getöse hinaus gezerrt wurde und von Zeit zu Zeit als feurige Gestalt noch umgehe und Waldbrände verursache.

c) Waldbrand am Hochmahdkopf bei Absam 1923

Am 12.8.1923 führte unvorsichtiges Feuermachen zur Entstehung eines folgenschweren Waldbrandes am Hochmahdkopf nördlich von Absam, der gefördert durch vorherrschende Trockenheit im Verein mit lebhaftem Wind schnell um sich griff. Die Angaben zur Größe der Brandfläche des bis zum 16.8. dauernden Ereignisses reichen von ca. 20 ha (STEINDL 2007) über 50 (GRABHERR 1936) bis zu 75-80 ha (TLA: MIKROFILM 2305 GP ABSAM). Beim letztgenannten Wert dürfte es sich allerdings um einen Schreibfehler in den Akten handeln. 25-30 ha würden mit der Ausdehnung von 30 ha, die anhand eines Luftbildes aus dem Jahre 1958 in Kombination mit einer historischen Postkarte (Abb.11, S. 34) abgeleitet wurde, wesentlich besser übereinstimmen. Durch das Feuer, das sich ca. zwischen 1000 und 1600 m ü. d. M. erstreckt hatte, wurden 7000-8000 Festmeter Holz vernichtet, wobei in den höheren Lagen v. a. Legföhren und in geringerer Seehöhe überwiegend Waldkiefern betroffen waren. Infolge von Steinschlag zogen sich mehrere Personen beim Löschen Verletzungen zu (TLA: GP ABSAM; TLM: TIROLER ANZEIGER 1923 NR. 184 S. 8; GRABHERR 1936; STEINDL 2007).

Wie sich nach einigen Jahren, in denen erste Aufforstungsmaßnahmen vergeblich versucht worden waren, zeigte, sollte es bei weitem nicht bei den durch den Holzverlust verursachten finanziellen Einbußen bleiben; das Einsetzen von stetig umfangreicher werden Erosionsprozessen auf und unterhalb der Brandfläche machte eine umfassende Sanierung selbiger notwendig (LAND TIROL 2006; TARTAROTTI 2011). Weitergehende Ausführungen hierzu finden sich unter 4.2.7.

d) Waldbrand an der Arnspitze 1946

Im Jahr 1946 ist es am Südabfall der Arnspitze zu einem großen Waldbrand gekommen, dem 5 bis 6 ha Waldkiefern und 100 ha Legföhren zwischen 1200 und 2000 m ü. d. M. zum Opfer fielen. Das am 2. Mai vermutlich durch eine Zigarette verursachte Feuer hatte sich aufgrund der vorangegangenen anhaltenden Trockenheit binnen einer halben Stunde bereits auf rund 5 ha ausgebreitet. Die Löscharbeiten, im Zuge derer es zu zwei Verletzten kam, gestalteten sich wegen der Steilheit des Geländes und ständigen Steinschlages eminent schwierig. Mehrmals waren die Einsatzkräfte aus Scharnitz, Seefeld, Leutasch und Mittenwald von einer erfolgreichen Bekämpfung der Flammen ausgegangen, doch immer wieder brach das Feuer angetrieben vom Wind von neuem aus. Erst mit einsetzendem Regen am 7.5. gelang es, den Brand immer mehr einzudämmen, der jedoch erst am 13.5. endgültig erfolgreich bezwungen war. Die Zerstörung der Latschen- und Hochwaldbestände lies Befürchtungen vor dem

zukünftig drohenden Abgang von Lawinen aufkommen. Neben dem Gehölz war auch der Humusboden gänzlich verbrannt (HEIß 1989; TLA: MIKROFILM 2307 GP SCHARNITZ u. BH IBK 1946 ABT. II REG.-Z. 6/15,18,19; TLM: TIROLER TAGESZEITUNG 1946 NR. 105 S. 4 u. TIROLER NACHRICHTEN 1946 NR. 105 S. 4, NR. 110 S. 3).

e) Waldbrandserie an der Arnspitze 1947

Die Ausführungen hierzu entsprechen einer Zusammenstellung aus BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM DES INNEREN (1947), SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48 und TLA: BH IBK 1947 ABT. II REG.-Z. 27.

Am 25.8.1947 brach wahrscheinlich durch Fahrlässigkeit von Beerensuchern oder Spaziergängern an der Ostseite der Arnspitze oberhalb des Einzugsgebietes der Hasellähne das erste Ereignis einer ganzen Waldbrandserie im Arnspitzgebiet aus. In dem durch den ungewöhnlich trockenen August gleichsam ausgedörrten mächtigen Humusboden dehnte sich das Feuer zunächst nur zaghaft als Erdfeuer in die umgebenden Legföhrenbestände aus. Die Brandbekämpfungsmaßnahmen, die sich auf das Ziehen von Schneisen und Gräben durch Waldarbeiter und freiwillige Helfer beschränkten, um den Brandherd einzudämmen (vgl. Abb.37), schienen von Erfolg gekrönt zu sein, da sich das Feuer bis Anfang September nicht nennenswert vergrößert hatte. Probleme bereiteten jedoch Glutnester im Boden, die nach vermuteter Löschung immer wieder vom Wind entfacht wurden. Mit dem Stärkerwerden des Windes schließlich geriet der Waldbrand außer Kontrolle und griff sowohl bergan in die Latschen als auch südwärts in den Bergwald rasch weiter um sich, so dass in kurzer Zeit etwa 25 ha in Flammen standen.



Abb.37: Bekämpfung des Erdfeuers an der Arnspitze in mühsamer Handarbeit
(SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48)

Am 5.9. geriet ca. 400 m von der ursprünglichen Brandfläche entfernt durch Funkenflug ein weiterer Abschnitt des Waldes in Brand und bald wütete das Feuer auf insgesamt 35 ha. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Berufsfeuerwehr München und die Feuerwehren des ganzen Kreises Werdenfels zur Brandbekämpfung hinzugezogen. Die hierbei ergriffenen Maßnahmen, die im Anlegen von bis zu 50 Meter breiten Schutzstreifen und Begrenzungslinien durch Gräben, Schneisen und Steinmauern bestanden, zeigten jedoch nicht die erwünschte Wirkung und mussten wegen mitunter massiven Steinschlags wiederholt unterbrochen und am Ende eingestellt werden. So wurde beschlossen, dem Feuer mit Wasser zu Leibe zu rücken und zwar von der Riedscharte und von der Hasellähne her. In ersterem Fall war der Aufbau einer Schlauchleitung aus der Leutasch mit einem Höhenunterschied von ca. 500 m notwendig, der am 7.9. abgeschlossen war. Inzwischen hatte sich das Feuer im Zuge wechselnder Windrichtungen bereits nochmals beträchtlich auf nun 60 ha ausgebreitet.

In den folgenden Tagen bis zum 11.9. zeigten die Löschversuche erste Wirkung, da seit dem 8.9. an der Riedscharte und seit dem 10.9. an der Hasellähne mit Wasser gegen das Feuer vorgegangen werden konnte. Ein bereits am 11.9. entdeckter und für gefährlich befundener neuer Brandherd südlich der Dotschenriese gewann aber am 12.9. talwärts und gen Norden immer mehr an Größe und aufkommender Föhn begünstigte dessen weitere Ausdehnung bis zum Tiefen Tal und unteren Riedsteig am 13.9.

Der Waldbrand hatte mittlerweile eine Größe von 120 ha erreicht und kam am 14.9. nach der Vernichtung von zusätzlichen 10 ha etwas zur Ruhe, da er nun an drei Seiten auf natürliche Hindernisse stieß. Die Hasellähne im Süden, der Grat im Westen und das Tiefe Tal im Norden boten jetzt für die Löschkkräfte neue Ansatzpunkte, dem Feuer Einhalt zu gebieten. Talwärts stellte der Brand ohnehin keine besonders große Gefahr dar, da hier das Gelände und die überwiegend in Nord- oder Südrichtung wehenden Winde für seine Ausbreitung nicht sonderlich förderlich waren.

Bis zum 17.9. mussten die Löschmannschaften alle Kräfte aufbieten, das Feuer in seinen bis dahin erreichten Grenzen zu halten, da sich das Feuer durch Wind begünstigt stellenweise immer wieder neue Nahrung suchte oder brennendes Holz bzw. Boden von oben in noch unbeschadet gebliebene Abschnitte herabstürzten und dort neue Brandherde entstehen ließen.

Ab dem 18.9. beruhigte sich die Situation aber zusehends, wozu zwei Niederschlagsereignisse am 22. und 24.9. ganz wesentlich beitrugen. Bis zum 3.10. blieben letzte Einsatzkräfte vor Ort, da es doch wiederholt zum Aufflackern einiger verbliebener Glutnester gekommen war.

Nur wenige Tage später am 8.10. kam bei der Riedscharte einige 100 Meter von der alten Brandflächen entfernt neuerlich ein Waldbrand zum Ausbruch. Die Lage des neuen Brandherdes in Mitten eines Reisighaufens und die Tatsache, dass kein offenes Feuer in der Umgebung mehr festzustellen war, legten eine Brandstiftung nahe. Als am 9.10. aus einem weiteren Reisighaufen unvermittelt Flammen schlugen, schien dieser Verdacht bestätigt. Die trockenen Reiser begünstigten ein rasches Anwachsen des Feuers auf 4-5 ha. Gegen Norden zu stieß der Waldbrand bald an eine natürliche Grenze in Form eines Felsbandes, während im Süden Teile des Bergwaldes und darüber liegende Latschenfelder lichterloh brannten. Da sich das Feuer hier in Richtung des ehemaligen Brandareals aus-

breitete bestand auch hier kein größerer Handlungsbedarf für die Löschrupps. Am Grat bestand jedoch die Gefahr des Übergreifens des Waldbrandes auf die andere Bergseite und nicht minder gefährlich war die Situation in talwärtiger Richtung, wo man befürchten musste, dass der Waldbrand irgendwann infolge des Südwindes in Richtung Wurzberg umschwenken und somit gen Mittenwald voranschreiten würde. Es war daher der Aufbau einer neuen Schlauchleitung notwendig, um mit Wasser auch die Einsatzkräfte beim Anlegen von Schutzstreifen unterstützen zu können. Nachdem sich das Feuer am 10.10. noch etwa 200 Meter talabwärts vorgearbeitet hatte, konnte es in den weiteren Tagen zunächst an einer weiteren Ausdehnung gehindert und schließlich zurückgedrängt werden. Man konnte somit den Waldbrand sich selbst überlassen und sich nur mehr auf die Überwachung der angelegten Schutzstreifen konzentrieren. Schneefall bis auf 1300 m ü. d. M. am 18.10. sorgte endgültig für eine Entspannung der Lage. Nachdem aber im Latschen- und Gratgebiet immer noch einzelne Brandherde loderten, wurde die Leitung erst am 22.10. abgebaut. Am 25.10. rückten schließlich die letzten Feuerwehren ab.



Abb.38: Mehrere Brandherde an der Ostseite der Arnspitze 1947
(SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48)

Zwischenzeitlich war am Südhang des Ahrnkopfes ca. 600 m oberhalb des Weilers Ahrn auch noch ein kleiner Waldbrand mit einem Ausmaß von 30 m² entstanden, der aber keine größeren Probleme bereitete.

Doch schon fünf Tage nach Abrücken der Löschmannschaften wurde bereits wieder ein Waldbrand gesichtet, der sich auf bisher unbeschadet gebliebenem Terrain über etwa 3 ha ebenfalls nahe der Riedscharte erstreckte. Bei der Brandursache ging man auch hier von Brandstiftung aus. Da nasskalte Witterung vorherrschte und Regen prognostiziert war, beließ man es bei einer konventionellen Bekämpfung bzw. Eindämmung des Feuers durch Ziehen von Gräben und Schneisen sowie durch Errich-

ten von Steinwällen. Der Waldbrand konnte so erfolgreich an einer weiteren Ausdehnung gehindert werden, seine endgültige Löschung übernahm am 5.11. länger anhaltender Regen- und Schneefall, der auch den letzten schwelenden Stellen im ersten Brandgebiet ein Ende bereitete.

f) Waldbrand „Im Ödkarl-Brennten“ im Vomper Loch 2003

Ein Blitzschlag verursachte am 5.9.2003 im Vomper Loch an den Südabstürzen der Spritzkarlspitze im Bereich der Örtlichkeit „Im Ödkarl-Brennten“ einen Waldbrand (Abb.39). Die ca. 0,5 ha umfassende Brandfläche liegt in einer Höhe von 1500 bis 1550 m ü. d. M., ist süd- bis südost-exponiert und wies vor dem Brand eine Latschenvegetation mit beigemischten Einzelbäumen (Waldkiefer, Lärche, Eberesche) auf. Die Löscharbeiten gestalteten äußerst schwierig, da die Brandstelle sehr abgelegen und nur in etwa fünfstündigem Fußmarsch zu erreichen war. Zudem hatten sich Glutnester mitunter in bis zu 50 cm Tiefe im Boden gebildet, die in mühsamer Handarbeit freigelegt werden mussten. Nur mit Hilfe des Einsatzes von drei Hubschraubern, die Löschpersonal der Feuerwehren von Schwaz und Vomp sowie Wasser ins Gelände flogen, konnte der Brand binnen drei Tagen gelöscht werden (FFW DER STADT SCHWAZ 2011).

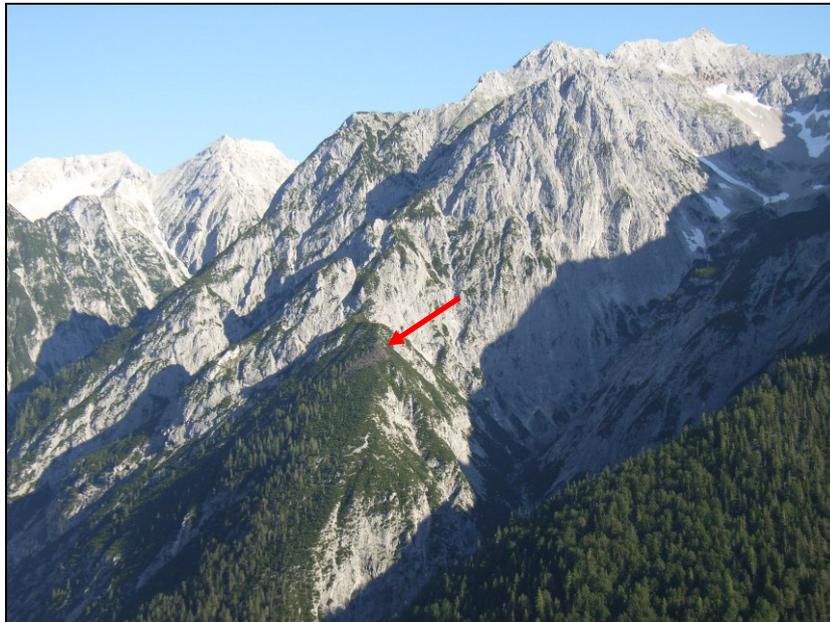


Abb.39: Brandfläche Im Ödkarl-Brennten am Südabfall der Spritzkarlspitze (Foto: Heel)

g) Krummholzbrand oberhalb des Issangers 2003

Wohl eine Zigarette war die Ursache für das Waldbrandereignis, das am 19./20. Oktober zwischen 1730 und 1840 m ü. d. M. im hinteren Halltal am Rand des vom Issanger zum Lafatscher Joch führenden Weges stattfand (vgl. Abb.40). Da das Feuer in der Nacht ausgebrochen war und kein Wasser in der näheren Umgebung zur Verfügung stand, konnte zunächst nur versucht werden, die Ausbreitung des Brandes im Legföhrengbüsch durch Freischneiden von Schneisen zu verhindern. Nach Anbruch des Tages wurden die Wehren aus Absam, Hall, Mils und Rum dann von drei Hubschraubern mit Löschwasserflügen unterstützt. Obwohl letzten Endes „nur“ eine Brandfläche von 1,5 ha zu bekämpfen war, erwiesen sich die Löscharbeiten als aufwendig, da sich Glutnester im Boden gebildet hatten, die bei aufkommendem Wind immer wieder von neuem entbrannten. Erst nach einsetzendem Schneefall konnte endgültig „Brand aus“ gegeben werden (STADTGEMEINDE HALL IN TIROL o. J.; HALBWAX 2004; STEINDL 2007).



Abb.40: Brandfläche Issanger oberhalb des Weges zum Lafatscher Joch (Foto: Heel)

- Längerfristige Waldbrandchronologien und deren Deutung

a) Raum Scharnitz

An der Brunnsteinspitze, nordöstlich von Scharnitz unmittelbar an der deutsch-österreichischen Grenze, gelang es, anhand einer 80 cm mächtigen Tangelrendzina einen Einblick in die lokale Waldbrandhistorie der letzten rund 6000 Jahre zu erlangen. Die in diesem Zusammenhang durchgeführten Untersuchungen fanden innerhalb eines von der KIÖS geförderten Forschungsprojektes zur holozänen Waldbrand- und Vegetationsgeschichte statt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die darin erzielten Ergebnisse, zu welchen der Autor keinen eigenen Beitrag geleistet hat (vgl. KIÖS 2006; BIELOWSKI & HAAS 2010, 2011; WAHLMÜLLER & HAAS 2012).

Das Vorfinden von Holzkohleresten in allen Tiefenstufen des Bodens mit Ausnahme der untersten Ton-/Lehmschicht lässt auf immer wiederkehrende Feuerereignisse schließen. Mittels Radiokarbondatierungen und palynologischen Analysen konnte das Alter von Brandrückständen aus verschiedenen Bodentiefen bestimmt und z. T. mit der Vegetations- und Siedlungsgeschichte in Verbindung gebracht werden.

Die älteste Datierung aus 71 cm Tiefe fällt mit 4355 ± 95 v. Chr. ins Früh-Neolithikum. Die holzkohle- und pollenanalytischen Auswertungen weisen für diesen Abschnitt die meisten Mikroholzkohlepartikel aus, so dass von einer erhöhten Feueraktivität in der Umgebung auszugehen ist. Diese könnte auf Brandrodungsaktivitäten der jungsteinzeitlichen Bauern der Region zur ersten Landnahme zurückzuführen sein (vgl. WAHLMÜLLER 1985), ebenso aber auch mit warm-trockenen Klimabedingungen in Verbindung stehen (HAAS ET AL. 1998).

Die zweite, bei einer in 55 cm Tiefe gelegenen an makroskopischer Holzkohle reichen Schicht durchgeführte Altersbestimmung, datiert mit 270 ± 110 v. Chr. in die Eisenzeit und nach HAAS ET AL. (1998) in eine relativ warme Klimaphase. Ein zu dieser Zeit gegebener anthropogener Einfluss in der Gegend schlägt sich deutlich im Pollenspektrum nieder und der Reichtum an großen Holzkohlestücken spricht für das Auftreten von Feuern in unmittelbarer Nähe. Letzteres gilt ebenfalls für eine nicht näher datierbare Phase des Mittelalters, die offensichtlich von massiver Waldrodung und Weidewirtschaft gekennzeichnet war, was aus Analysen von 47 und 40 cm tief gelegenen Bodenproben hervorgeht. Lokale Feuer verlieren in diesem Zeitraum jedoch an Bedeutung, während regionale Ereignisse, angezeigt durch den Anstieg von mikroskopischen Holzkohlepartikeln, an Bedeutung zu gewinnen scheinen.

Im Bereich eines erneuten Peaks von mit bloßem Auge erkennbarer Holzkohle bei 31 cm Profiltiefe erfolgte eine dritte ^{14}C -Datierung, die eine neuzeitliche Einordnung des verbrannten Materials in den Zeitraum 1795 ± 165 n. Chr. erbrachte. Eben aus dieser (1640) Zeit liegt ein historisches Dokument zu einem Waldbrand am Brunnstein aus dem Bayerischen Hauptstaatsarchiv vor, in dem dessen Ausmaß und die zu dessen Eindämmung getroffenen Vorkehrungen skizziert werden (vgl. BHSA: PLANSAMM-LUNG, NR. 4309 und 4310 o.J.). Es ist durchaus denkbar, dass die zuletzt beschriebene Anhäufung von Verbrennungsrückständen direkt von selbigem Ereignis stammt.

Nur wenige hundert Meter Luftlinie vom Standort der untersuchten Tangelrendzina entfernt wurden am sog. „Brunnsteineck“ im Boden ebenfalls Holzkohlestücke gefunden, deren Radiokarbondatierung eine grobe Entstehungszeit zwischen 1220 und 1306 ergab. Weitere Waldbrände in unmittelbarer Nähe fanden 1920 und 1949 statt (vgl. Abb.41 und Tab.29).

Es ist somit von insgesamt mindestens sechs Waldbränden auszugehen, die sich während der letzten ca. 6000 Jahre am Westabfall der Brunnsteinspitze innerhalb eines weniger als ein Quadratkilometer großen Einzugsbereiches ereignet haben. Dies entspricht einem mittleren Waldbrandintervall von 1000 Jahren. Tatsächlich dürfte die Waldbrandhäufigkeit in Anbetracht der vielen makroskopisch festgestellten Holzkohlereste in der Tangelrendzina aber höher und das Feuerintervall im Umkehrschluss niedriger sein. Zu einem sehr ähnlichen Resultat kommen SANBORN ET AL. (2006), die in den Rocky Mountains im Osten British Columbias Wiederkehraten von 800-1200 Jahren allerdings in Riesen-Thuja-Hemmlocktannen-Beständen bestimmen konnten.

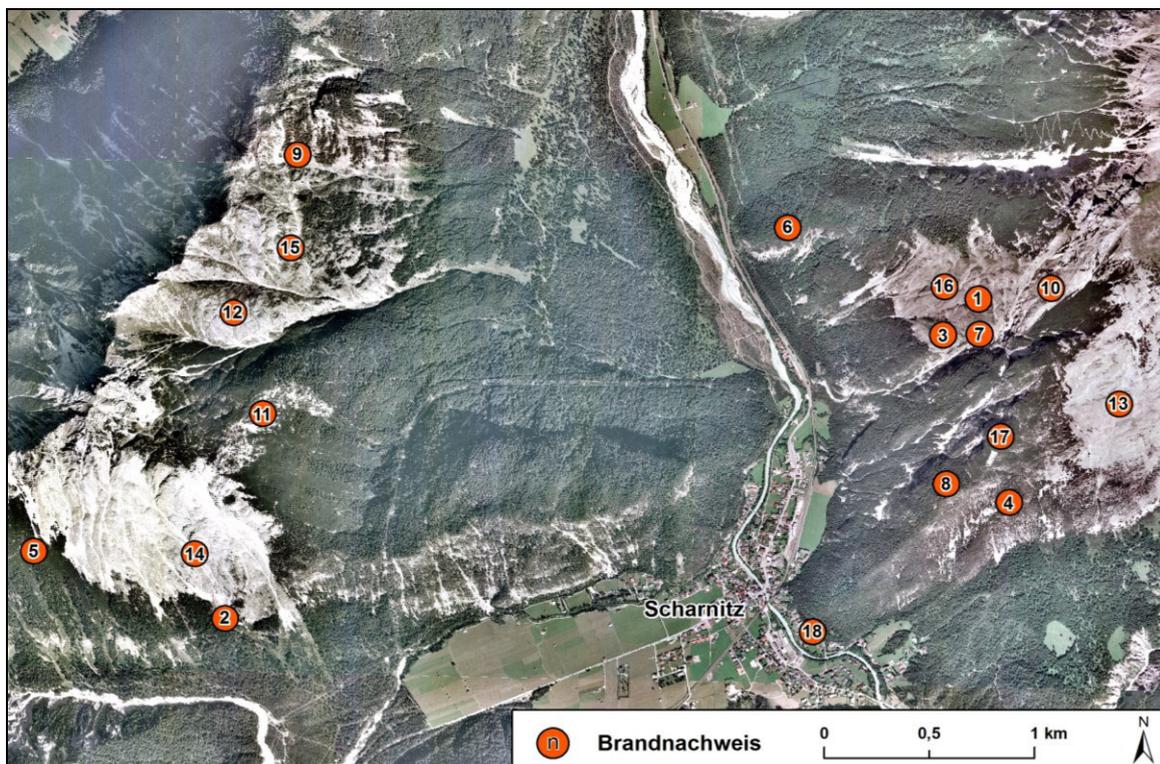


Abb.41: Brandnachweise im Raum Scharnitz, Kartierungsgrundlage: LAND TIROL - TIRIS (2007)

Bezieht man sämtliche Waldbrände an der Brunnsteinspitze, die schriftlich bzw. holzkohleanalytisch dokumentiert sind, in die Betrachtungen mit ein, so ergibt sich eine Gesamtzahl von elf Ereignissen in etwa 6400 Jahren. Das mittlere Wiederkehrintervall beträgt in diesem Fall rund 580 Jahre innerhalb rund 5 km². STÄHLI ET AL. (2006) kommen zum Vergleich in subalpinen Fichten-Wäldern in den Schweizer Zentralalpen auf Werte von über 600 Jahren.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der an der benachbarten Arnspitze nachgewiesenen Brandereignisse (vgl. Abb.41. und Tab.29) sind für den Raum Scharnitz zusammen mindestens 16 einzelne Brän-

de und somit eine Wiederkehrzeit von ca. 400 Jahren binnen ca. 15 km² zu konstatieren. Die Anzahl von 16 ergibt sich aus der Annahme, dass die Brandnachweise Nr. 7 und 8 aus Tab.29 ebenso auf ein und dasselbe Ereignis hinweisen, wie die Nummern 5 und 6.

Tab.29: Nachweise holozäner Waldbrände im Raum Scharnitz (¹⁴C-Datierung, Archiv, Literatur)

Nr.	Lokalität	Branddatum [Kalenderjahre]	Nachweisart(en)
1	Brunnstein West I	4355 ± 95 v. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
2	Arnspitze Süd I	1266-1012 v. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
3	Brunnstein West II	270 ± 110 v. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
4	Brunnstein Ost I	144 ± 40 n. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
5	Arnspitze Süd II	1206-1292 n. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
6	Brunnsteineck	1220-1306 n. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
7	Brunnstein West III	1795 ± 165 n. Chr.	Holzkohle, ¹⁴ C-datiert
8	Brunnstein BHSA	1640	Archivdokument
9	Arnspitze Ost I	1911	Archivdokument
10	Brunnstein West IV	1920	Archivdokument
11	Arntal	1923	Archivdokument
12	Arnspitze Ost II	vor 1937	Archivdokument, Postkarte
13	Brunnstein Ost II	1942	Literatur
14	Arnspitze Süd III	1946	Literatur, Archivdokument
15	Arnspitze Ost III	1947	Literatur, Archivdokument
16	Brunnstein West V	1949	Ortschronik, Archivdokument
17	Brunnsteingrat	1970	Literatur, Archivdokument
18	Scharnitz Ort	1972	Archivdokument

b) Seefeld

Die an einem Bohrkern aus dem Seefeldersee durchgeführten Untersuchungen der mikroskopischen Holzkohlevorkommen erfolgten ebenfalls innerhalb des von der KIÖS unterstützten Nachbarprojektes. Einige vorläufige Ergebnisse daraus sind gemeinsam mit Forschungsergebnissen von WAHLMÜLLER (1985) im Folgenden zusammengestellt (vgl. KIÖS 2006; BIELOWSKI & HAAS 2011).

Die näher untersuchten Ablagerungen reichen ca. 2700 Jahre, also bis in die frühe Eisenzeit zurück, wobei der untere Abschnitt lediglich geringe Mengen an Holzkohle aufweist. Im Bereich von 60 cm Tiefe wurde jedoch ein massiver Anstieg in der HolzkohleKonzentration festgestellt, der mit Hilfe der bereits vorliegenden Pollenchronologie ins frühe Mittelalter (ca. 650 AD) zu datieren war. In der gleichen Zeit nehmen die Pollen von *Pinus* leicht und die von *Picea*- und *Abies* markant ab, bei parallelem Ansteigen der Werte von Kulturzeigern. Alle Anzeichen sprechen also für einen deutlichen Einfluss des Menschen in diesem Zeitraum, der offensichtlich mit einer umgreifenden Zerstörung der Waldbestände in der näheren Umgebung des Sees durch Feuer verbunden war.

In einer Tiefe von 53 cm (\approx 800 AD) wurden ebenfalls auffällig viele Ablagerungen von Brandrückständen vorgefunden, die eine Mächtigkeit von mehreren Millimetern aufweisen. Sie können als Hinweis auf eine lokale Waldöffnung in Folge von (Brand-)Rodungen für die Landwirtschaft gedeutet werden.

Ein weiterer Holzkohlepeak lag bei 43 cm, was einem Entstehungsalter um das Jahr 1030 gleichzusetzen ist. Diese Ansammlung steht aller Wahrscheinlichkeit nach ebenso mit Brandrodungsaktivitäten der ersten Siedlungsbewohner von Seefeld in Verbindung - das erstmals 1022 dokumentlich erwähnt wird - wie eine 2 cm tiefer gelegene, bereits von WAHLMÜLLER (1985) beschriebene Holzkohleschicht.

Ähnliches gilt für eine in die Mitte des 16. Jahrhunderts datierte Häufung von Holzkohlepartikeln in den Seesedimenten, die möglicherweise auf anthropogene Einflüsse in Zusammenhang mit der Besiedlung des Schloßberges zurück zu führen ist. Für das Hochmittelalter und die frühe Neuzeit ist zusammenfassend zu sagen, dass es gerade in dieser Periode klare Anzeichen für eine erhöhte Feueraktivität gibt, was sicherlich nicht allein mit natürlichen Ursachen zu erklären ist.

Die letzten 400 Jahre sind durch relativ geringe Mengen an Holzkohle gekennzeichnet, was eine Folge klimatischer Rahmenbedingungen (Kleine Eiszeit) aber auch Resultat einer bewussten Feuerverhinderung bzw. erfolgreicherer Löschbemühungen der Bevölkerung sein könnte.

Es ist also in den letzten 1350 Jahren von mindestens vier größeren Brandereignissen auszugehen, die in Intervallen zwischen ca. 150 und 500 Jahren auftraten und sehr eng mit anthropogenen Aktivitäten im Seeumfeld verbunden zu sein scheinen. Für bedeutendere natürliche Waldbrände auf dem Seefelder Plateau binnen der letzten 2700 Jahre konnten nach den bisherigen Analysen der Seesedimente keine eindeutigen Hinweise gefunden werden. Es besteht aber durchaus die Möglichkeit, dass sich Großereignisse aus weiterer Entfernung in dem nachgewiesenen Hintergrundvorkommen von Holzkohle verbergen.

c) Halskopfmoor

Die Moorbasis wurde auf 7900-8300 cal. BC (2 Sigma) datiert, so dass nahezu das komplette Holozän mit dem Bohrkern abgedeckt ist. Extrem hohe Holzkohlewerte deuten auf eine rege, auf natürliche Ursachen zurückzuführende Waldbrandtätigkeit in den relativ geschlossenen Kiefernwäldern des Präboreal hin. Für das Boreal und das Atlantikum konnte von BÖHM (2011) kaum Holzkohle nachgewiesen werden - das Pollenspektrum zeigt keine Hinweise auf anthropogene Eingriffe in die Landschaft. Einflüsse des Menschen lassen sich erstmals im Subboreal erkennen, wobei die Holzkohlekonzentrationen äußerst gering bleiben und kein verstärktes Auftreten von Waldbränden etwa im Zuge von Rodungsmaßnahmen belegen können. Erst im Verlauf des späten Subatlantikum (Mittelalter) steigen die Holzkohlewerte erkennbar an, was mit mehreren großen Rodungsphasen in Verbindung zu bringen ist. Erstmals werden auch Getreidepollenkörner sowie hohe Gräser- und Kulturzeigerwerte

nachgewiesen. Die Holzkohlewerte bewegen sich fortan auf einem vergleichsweise hohen Niveau, im jüngsten Abschnitt kommt es noch einmal bei den Partikeln $< 37 \mu\text{m}$ zu einem deutlichen Anstieg, was auf eine Zunahme der regionalen Waldbrandeinflüsse deuten könnte.

d) Im Ödkarl Brennten

Ebenso wie am Brunnstein konnte aus der Datierung von nahezu schichtweise abgelagerten Holzkohleresten in Verbund mit historischen und aktuellen Nachweisen das längerfristige Waldbrandgeschehen im Gebiet der Lokalität „Im Ödkarl Brennten“ rekonstruiert werden. Die Waldbrandchronologie reicht dabei allerdings nur knapp über 1000 Jahre zurück, wie Abb.42 zeigt. Das daraus abgeleitete Feuerrekurrenzintervall liegt auf dem südexponierten Hang im Schnitt bei etwa 200 Jahren und bewegt sich dabei in einer Größenordnung, die von SHVIDENKO & NILSSON (2000) als normal für dichte Koniferenwälder Nordeurasiens bezeichnet wird. In Latschenbeständen der Schweizer Zentralalpen ermittelten STÄHLI ET AL. (2006) zum Vergleich ein Rekurrenzintervall von 230 Jahren.

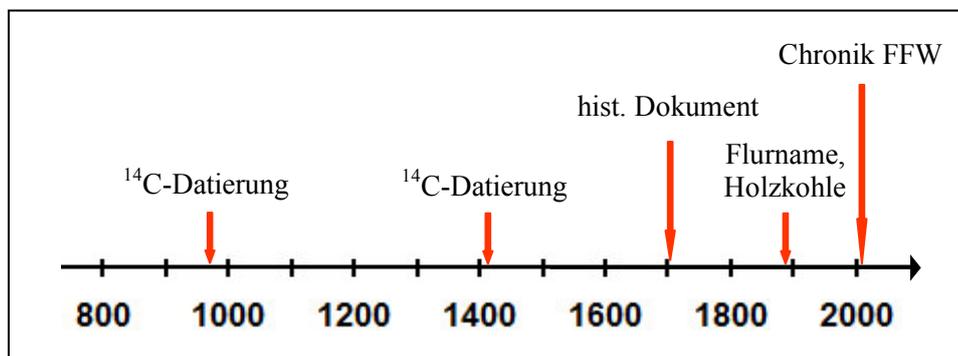


Abb.42: Waldbrandchronologie „Im Ödkarl Brennten“ mit Einzelnachweisen

4.2 Lokale Auswirkungen von Waldbränden

4.2.1 Gefährdung von Infrastruktur und Menschenleben

Im Gegensatz zu den u. a. aus dem mediterranen Raum bekannten Flächenbränden, denen oftmals auch Menschen und ganze Dörfer zum Opfer fallen, richteten die Waldbrände im Untersuchungsraum in den seltensten Fällen auch nur annähernd vergleichbare Schäden an. Die wohl größte Zerstörung von Infrastruktur fand im Zuge des Großwaldbrandes von 1705 statt, bei dem nach KRAMER (1977) sämtliche Gebäude am Georgenberg sowie die Hohe Brücke, die Säge, die Schmiede und die Mühle vernichtet wurden. In den Unterlagen fanden sich darüber hinaus lediglich noch zwei weitere Ereignisse, im Rahmen derer Bauwerke in Mitleidenschaft gezogen wurden: im April 2009 brannte eine kleine Jagdhütte beim Waldbrand östlich der Kranebitter Klamm nahe Innsbruck komplett ab (TIROLORF.AT 2009) und Ende Februar 1972 wurden etliche Steinschlagwände der ÖBB am Hechenberg oberhalb der Bahnstrecke Innsbruck-Mittenwald ein Raub der Flammen (TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK).

Eine unmittelbare Bedrohung durch Waldbrände bestand ferner 1888 für das zwischen Stans und Jenbach gelegenen Schloss Tratzberg (FFW JENBACH o. J.), 1929 für die Aschbachhütte (TLA: BH IBK 1929 ABT.I REG.-Z. XXIX 80 SZ 3516) sowie für die Siedlungsgebiete von Vomp 1962 bzw. Seefeld und Mittenwald 1947 (TLM: SONNTAGSPOST 1962 NR. 17 S. 5; TLA: BH IBK 1947 ABT.II REG.-Z. 27; SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48).

Darüber hinaus ging wiederholt Gefahr von Waldbränden für den Zugverkehr entlang der Mittenwaldbahn aus, wie etwa 1918, 1940, 1959, 1972, 2001 oder 2006 (TLA: MIKROFILM 2306 GP ZIRL und 1805 FV IBK; FW INNSBRUCK o. J.; FASCHING 2006).

Ebenfalls zu erwähnen ist ein Ereignis aus dem November des Jahres 1953 oberhalb der Martinswand, im Zuge dessen brennendes Holz und Steine bei Martinsbühel auf die von Zirl nach Kranebitten führende Bundesstraße 171 stürzten, worauf diese gesperrt werden musste (TLM: TIROLER TAGESZEITUNG 1953 NR. 270 S. 3 u. NR. 274 S. 3).

Abschließend sollen in diesem Zusammenhang noch die Verletzten und Todesopfer Erwähnung finden, zu denen es allein im Zuge von Waldbrandbekämpfungsmaßnahmen gekommen ist. Wie die Quellen belegen, verlor bei den Waldbränden 1888 am Kienberg, 1942 an der Brunnsteinspitze und 1972 am Hechenberg jeweils ein Mensch sein Leben (FF STANS 2011; TLA: MIKROFILM 2307 GP SCHARNITZ und 1805 FV IBK). Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass dieses Schicksal bei einigen der restlichen 496 Ereignisse noch weitere Löschkräfte ereilt hatte.

Zu mitunter zahlreichen Verletzungen durch während des Brandes einsetzendem Steinschlag kam es nachweislich 1911, 1946 und 1947 an der Arnspitze (TLM: INNSBRUCKER NACHRICHTEN 1911 NR. 175 S. 9; TLM: TIROLER TAGESZEITUNG 1946 NR. 105 S. 4; SAM: OBERFORSTDIREKTION 2765 NR. 2151/48), am Absamer Hochmahdkopf 1923 und ebenso bei den zuvorderst genannten Ereignissen 1888, 1942 und 1972. Darüber hinaus ist in mehreren Waldbrandberichten die Rede von schwierigen oder gefährlichen, ja lebensgefährlichen Löscharbeiten unter z. T. heftigem Steinschlag und/oder in

alpinem Absturzgelände. An Beispielen wären u. a. die Einsätze von 1950 am Kienberg (TLA: MIKROFILM 2311 GP JENBACH), von 1929 im Oberautal (TLA: BH SCHWAZ 1929 ABT.II REG.-Z. 82 SZ 1750) oder von 1911 beim Raueck unterhalb der Höttinger Alm (TLA: BH IBK 1911 ABT.II REG.-Z. XIII 39A SZ 4403) zu nennen. Es ist nicht auszuschließen, dass es bei diesen oder bei anderen Waldbränden ebenfalls zu Verletzten gekommen ist, die in den Quellen aber nicht gesondert aufgeführt worden sind.

4.2.2 Schädigung von Vegetation und Boden

In aller Regel bleibt es also bei den Waldbränden im Untersuchungsgebiet bei einer mehr oder weniger starken Beeinträchtigung von Vegetation und/oder Boden. Entscheidende Größen stellen dabei Feuerart und -intensität/-heftigkeit in Verbindung mit der letztendlich resultierenden Brandfläche dar. Nachfolgend werden anhand einiger besonders gut dokumentierter Brandereignisse die verschiedenen Schadensausmaße verdeutlicht.

Besonders schwerwiegend scheinen die Auswirkungen des Brandes am Südabfall der Arnspitze 1946 gewesen zu sein, der Holz und Humus laut eines Berichtes des Gendarmeriepostenkommandos Scharnitz an die BH Innsbruck (TLA: MIKROFILM 2307 GP SCHARNITZ) gänzlich verbrannt haben soll. Die ca. 100 ha große Brandfläche zeigt auch nach 65 Jahren immer noch kaum Spuren des ursprünglichen Bewuchses und wirkt vom Tal aus in weiten Teilen fast gänzlich kahl (vgl. u. a. 4.3.2).

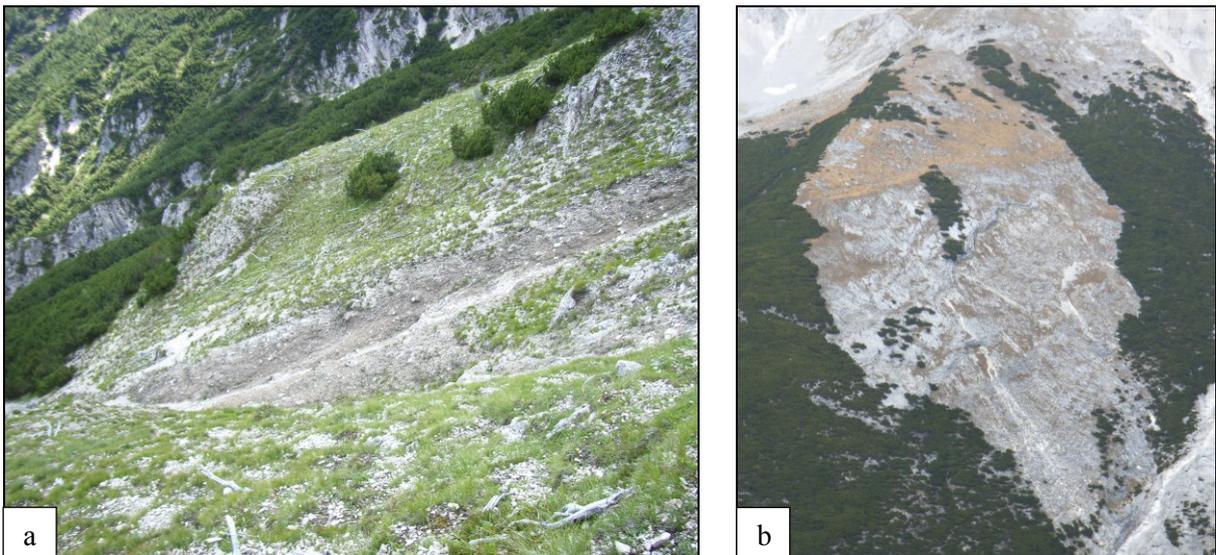


Abb.43: Teilabschnitte der Brandflächen Schartlehner (a) und Bettelwurf (b) (Fotos: Heel)

Von einer starken Verwüstung des Waldbodens in Folge eines Waldbrandes am Hechenberg Ende März 1972 wird im Gedenkbuch der Forstverwaltung Innsbruck berichtet (TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK), doch Langzeitschäden konnten durch Wiederbegrünungsmaßnahmen verhindert werden (vgl. 4.2.7). Etwas anders stellt sich die Lage auf der Waldbrandfläche von 1962 östlich des Schartlehner-

hauses dar. Hier konnten sich auf dem in der TIROLER TAGESZEITUNG NR. 212 von 1962 auf Seite 4 (TLM) als ausgeglüht beschriebenen Boden bisher gemäß HAIDA (2009) anstatt der ursprünglich vorhandenen Legföhrenbestände lediglich kalkalpine Fels- und Schuttfluren mit weniger als 65% Deckung etablieren und besonders im unteren, steileren Hangbereich sind zahlreiche Erosionsherde zu lokalisieren (Abb.43a).

Ein weiteres Beispiel mit folgenschweren Auswirkungen stellt der Waldbrand von 1909 am Südhang des Bettelwurfs im Halltal dar, bei dem eine Fläche von 10 ha nach Aufzeichnungen im Gedenkbuch der FV Hall (TLA: MIKROFILM 1804 FV HALL) buchstäblich eingeäschert wurde. Man ging damals von einem Wiederbewuchs - außer durch Gras - erst nach Jahrzehnten aus, doch selbst nach über 100 Jahren hat sich der einstige Wald- bzw. Latschenbestand noch nicht erholt (Abb.43b).

Auf die Vegetationsentwicklung nach Waldbränden wird in Kapitel 4.3. noch vertiefter eingegangen.

Neben dieser Auswahl an Waldbränden mit weitreichenderen Konsequenzen sollen der Vollständigkeit halber noch einige Ereignisse mit vernachlässigbaren Schäden angesprochen werden, die sich entweder in unbedeutend großen Brandflächen oder geringen Folgen für Gehölze oder den Boden äußerten. Zu nennen wären etwa ein 4 m² großer Brand bei der Sattelklamm vom 2.8.1911 auf Scharnitzer Flur (TLA: BH IBK ABT.II REG.-Z. XIII 39A SZ 3421), ein rund 10 ha umfassender Waldbrand am Hechenberg vom März 1961 (TLM: INNSBRUCKER NACHRICHTEN 1961 NR. 66 S. 3) oder ein wenige Quadratmeter betragender Kleinstbrand in der Nähe der Rosshütte oberhalb von Seefeld aus dem April 2007 (FF SEEFELD o. J.).

4.2.3 Verlagerungsdynamik von Boden

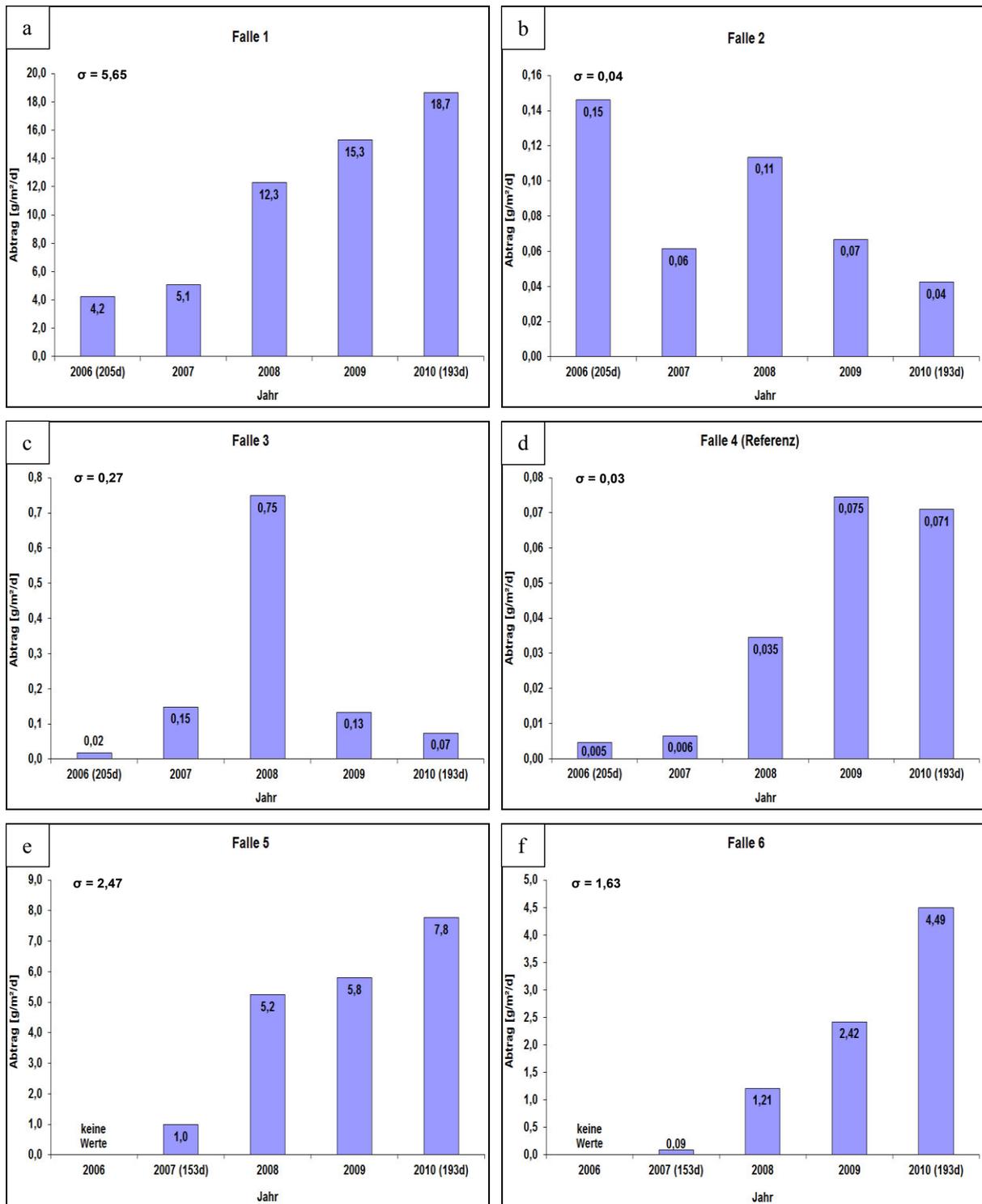
Wie bereits erwähnt, gibt es bei Waldbränden über die unmittelbaren Schädigungen von Boden und Vegetation hinaus weitere Folgen, zu denen u. a. die Verlagerung von Boden zählt. Die Ergebnisse der auf den Brandflächen Issanger und Arnspitze Süd durchgeführten Untersuchungen zum Umlagerungsgeschehen werden im Folgenden vorgestellt. Dabei wird u. a. auf Ergebnisse aus den Arbeiten von SCHIMMER (2009), LEISTNER (2011) und SASS ET AL. (2012c) zurückgegriffen. Allen flächenbezogenen Angaben zum Abtrag liegt in 4.2.3 das statische Einzugsgebiet zugrunde (vgl. 3.2.1).

- Bodenverlagerung auf der Brandfläche Issanger

a) Abtragsdynamik im Bereich der Sedimentfallen

Die Entwicklung des Bodenabtrags im Bereich der einzelnen Sedimentfallen zwischen 2006 bzw. 2007 und 2010 zeigt Abb.44a-h. Wie hier unter Beachtung der unterschiedlichen Diagrammskalierung zu erkennen ist, variieren die Zahlen sowohl räumlich als auch zeitlich deutlich, wobei am Standort von Falle 1 bis auf 2007 jeweils die höchsten Werte (4,2 bis max. 18,7 g/m²/d) erreicht werden. Im Vergleich zu Falle 4, die als Referenzpunkt die ungestörten Verhältnisse neben dem Brandhang wider-

spiegelt (0,005 bis max. 0,071 g/m²/d), bedeutet dies eine brandinduzierte Erhöhung des Abtrags um den Faktor 840 bzw. 263. Andere Sedimentfallen zeigen dagegen wesentlich geringere Abweichungen. Zwischen Referenzfalle 4 und Auffangvorrichtung 3 (0,02 bis max. 0,75 g/m²/d) beträgt diese beispielsweise nur ein vier- bzw. zehnfaches, bei Betrachtung allein des Jahres 2010 ist sogar kein klarer Unterschied mehr erkennbar. Über die sieben Messeinrichtungen gemittelt ergibt sich in etwa eine Verhundertfachung des Abtrages im Vergleich zum Referenzstandort.



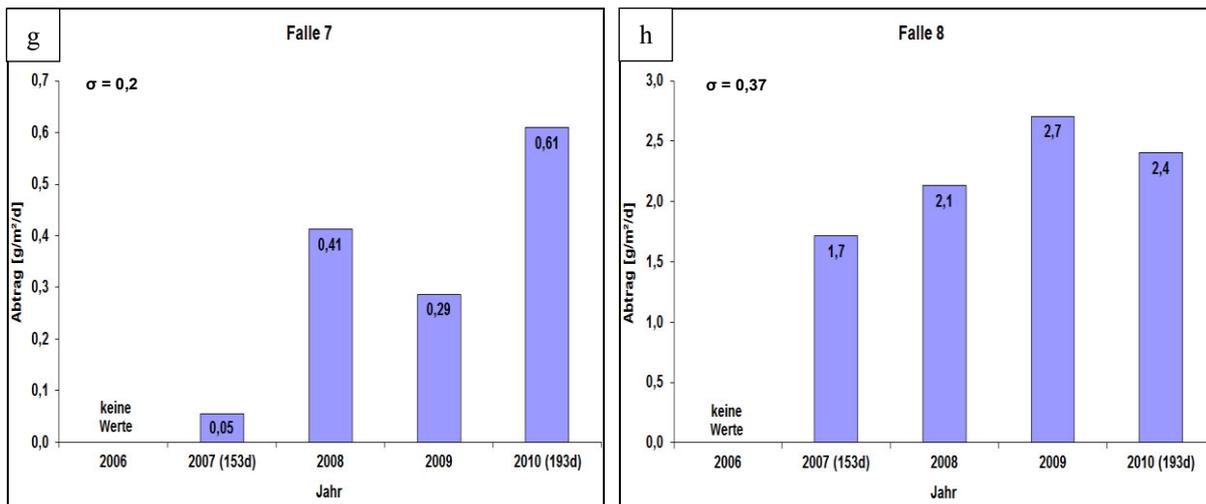


Abb.44a-h: Vergleich der Abtragswerte an verschiedenen Messstandorten 2006-2010

Auffällig ist des Weiteren der sprunghafte Anstieg der Abtragszahlen im Jahre 2008 verglichen mit dem Vorjahr mit Ausnahme von Falle 8. Wie Abb.44a-h ferner zu entnehmen ist, gehen die Werte danach bei den Fällen 2, 3 und 7 wieder zurück, wogegen sie bei den übrigen weiter zunehmen. An möglichen technischen Ursachen für die Erhöhung 2008 sind eine Verkürzung des Leerungsintervalls und Verbesserungen der Funktionalität der Sedimentfallen zu nennen. Aus der vergleichenden Auswertung der Jahressummen der monatlich zur Verfügung stehenden Niederschlagswerte von drei Totalisatoren im Halltal konnte kein gesicherter Einfluss des Niederschlagsgeschehens auf die gesteigerte Abtragsdynamik 2008 bzw. der Folgejahre abgeleitet werden. Beim Vergleich der während der Messperioden im Jahr 2008 eingetragenen Sedimentmassen mit den zugehörigen auf dem Brandhang ermittelten Niederschlagssummen zeichnete sich jedoch bei Nichtberücksichtigung von Extremfällen ein enger Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren ab (vgl. SCHIMMER 2009).

Eine mit Sicherheit entscheidende Rolle für die Entwicklung der Abtragsdynamik (ab) 2008 scheint ein herausragendes Regenereignis am 29.6.2008 mit einer Intensität von über 30 mm pro Stunde (BREMER & SASS 2012) gespielt zu haben, in dessen Folge es zu mehreren Murabgängen im Halltal gekommen ist und welches nach SCHIMMER (2009) für fast die Hälfte des gesamten Bodenabtrags in 2008 auf dem Brandhang verantwortlich gemacht werden kann. Es ist zu vermuten, dass hiermit insbesondere in den Einzugsgebieten 1, 4, 5, 6 und 8 weitreichendere Auswirkungen auf das morphodynamische Geschehen verbunden waren, mit denen sich die gesteigerten Prozessraten des bzw. der Folgejahre(s) ebenfalls noch erklären lassen. Die Vorgänge vom 29.6.2008 und unmittelbar danach sind quasi als Störungsereignis zu verstehen, das lokal intensiv genug ausgefallen ist, um das durch den Waldbrand ohnehin schon gestörte morphodynamische System nachhaltig zu beeinflussen.

Betrachtet man alle Sedimentfallen zusammen, so ist überwiegend eine Tendenz zu einem weiteren Anstieg der Abtragsraten zu verzeichnen. Neben den möglichen Auswirkungen des Starkregens ist

hierfür hauptsächlich das allmähliche Verrotten der weit über den Hang verbreiteten toten Latschen verantwortlich.

Die Intensivierung der Erosionsdynamik auf dem Brandhang spiegelt sich auch in der Veränderung im Korngrößenspektrum des von den Sedimentfallen aufgefangenen Materials wider. Es ist ein tendenzieller Anstieg des Anteils von größeren Komponenten festzustellen, wie Abb.45 zu erkennen gibt.

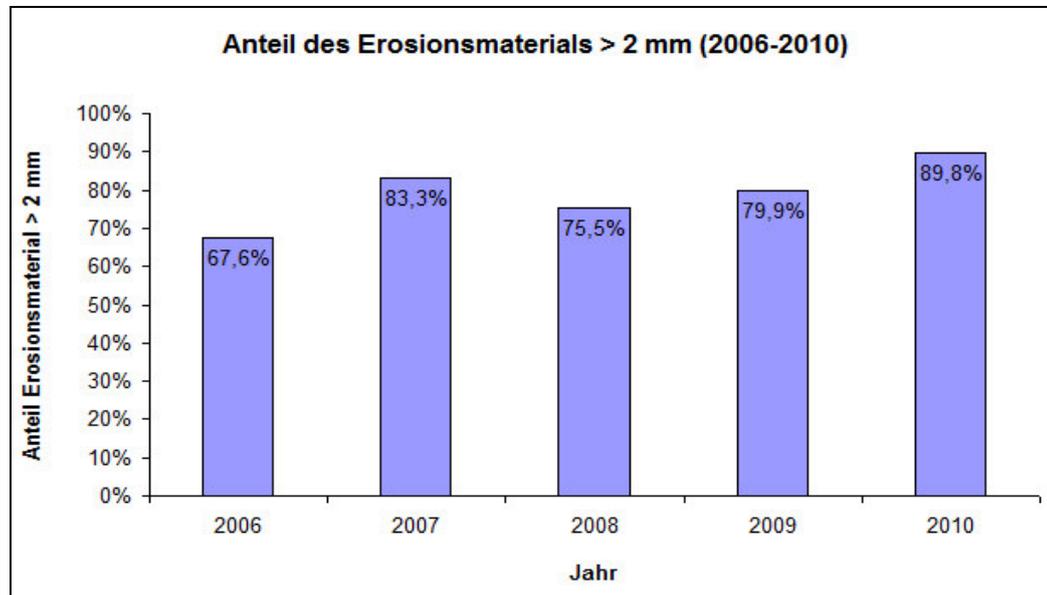


Abb.45: Anteil des Erosionsmaterials > 2 mm von 2006 bis 2010

Nur Falle 2 steht dem erwähnten Trend mit einem fast kontinuierlichen Rückgang der Abtragswerte klar entgegen, was mit dem zunehmenden Pflanzenbewuchs in deren Einzugsgebiet verbunden sein mag, der aus dem Vergleich der Arbeiten von SCHIMMER (2009) und LEISTNER (2011) hervorgeht.

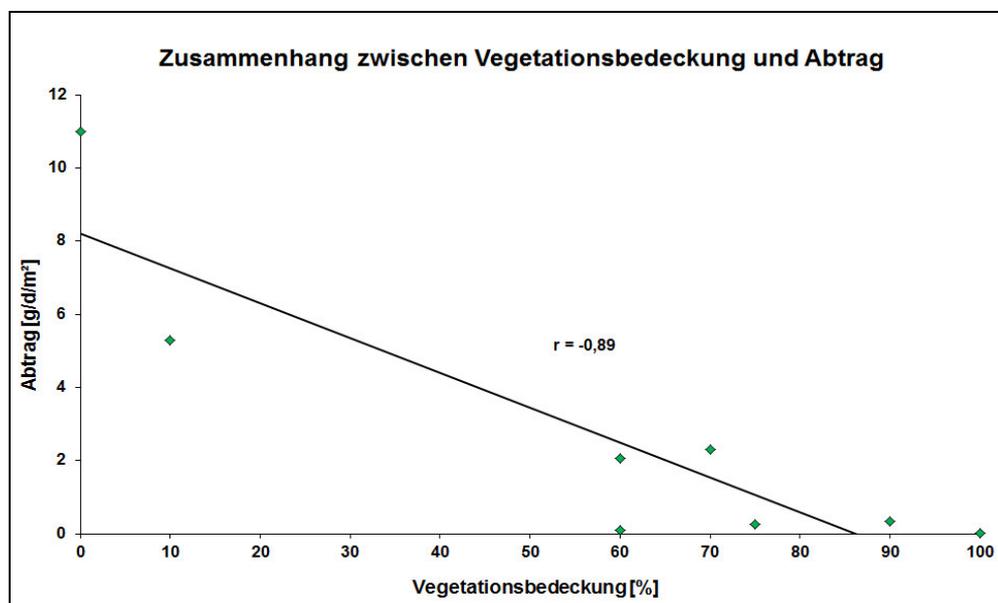


Abb.46: Zusammenhang zwischen Vegetationsbedeckung und Abtrag

Es konnte generell ein enger Zusammenhang in Form einer negativen Korrelation ($r = -0,89$) zwischen dem Grad der Vegetationsbedeckung in den jeweiligen Einzugsgebieten der Sedimentfallen und den ermittelten Erosionsdaten festgestellt werden (vgl. Abb.46). Zu bedenken ist dabei, dass die Abtragsdynamik auch davon abhängt, zu welchem Zeitpunkt der saisonalen Vegetationsentwicklung entsprechende Niederschläge stattfinden. Der Entwicklungsstand der Vegetation wird wiederum maßgeblich vom Witterungsgeschehen und insbesondere von der Dauer der Schneebedeckung im Frühjahr gesteuert. Eine lang anhaltende Schneedecke kann zwar zum einen den Boden länger vor Abtrag schützen, sorgt jedoch für einen verspäteten Bewuchs, so dass die Flächen den intensiven Schauerniederschlägen im Sommer fast ungeschützt ausgesetzt sind. LEISTNER (2011) stellte in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und -art einen im Vergleich zum Winterhalbjahr um den Faktor 2,6 erhöhten Abtrag im Sommer fest.

b) Umlagerungsprozesse im Bereich der Denudationspegel

Die schon im Rahmen der Behandlung der Sedimentfallen ersichtlich gewordenen kleinräumigen Unterschiede in der Abtragsdynamik zeigten sich auch bei den Denudationspegeln. Hier konnte sogar eine noch feinere Auflösung des morphodynamischen Prozessgeschehens in einzelnen Teilen der Brandfläche erreicht werden, das durch ein räumlich und zeitlich z. T. stark variierendes Wechselspiel von Erosions- und Ablagerungsvorgängen charakterisiert ist. Dies lässt sich bereits an den in Abb.47 verwendeten Mittelwerten der Denudationspegelfelder erkennen, die von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt in verschieden starker Ausprägung Schwankungen unterliegen und sich mitunter auch gegenläufig verhalten.

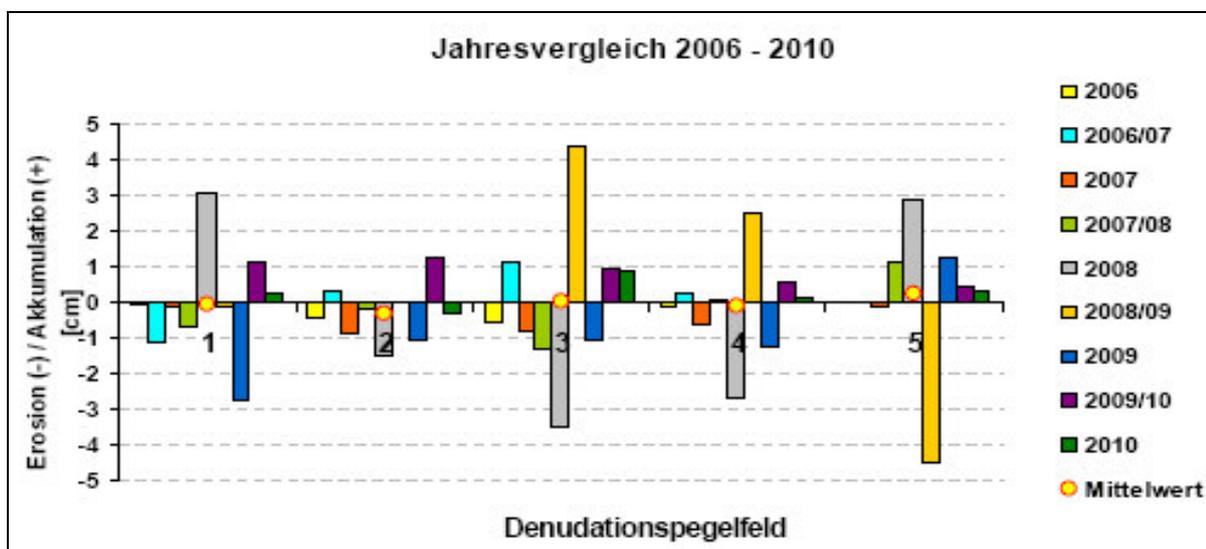


Abb.47: Dynamik von Erosion und Akkumulation 2006-2010 in den Denudationspegelfeldern 1-5 (nach LEISTNER 2011)

Bereits innerhalb der einzelnen Felder auf Distanzen von wenigen Dezimetern und/oder zwischen den einzelnen Messperioden wechseln sich Abtrag und Akkumulation ab. Einen Überblick zu den Größenordnungen der innerhalb der Pegelfelder im Untersuchungszeitraum 2006-2008 aufgetretenen Schwankungsbreiten gibt Tab.30.

Tab.30: Variabilität von Erosion und Akkumulation innerhalb einzelner Pegelfelder 2006-2008 (nach SCHIMMER 2009)

Denudationspegelfeld	1	2	3	4	5
Max. Akkumulation [cm]	6,5	4,1	2,9	2,7	4,9
Min. Akkumulation [cm]	0	0	0,5	0,2	0,1
Max. Erosion [cm]	4,1	6,9	2,7	5,3	3,9
Min. Erosion [cm]	0	0	0,2	0,1	0,1

c) Entwicklung der Morphodynamik auf dem gesamten Hang

Wie bereits die Ergebnisse bei den Sedimentfallen andeuten, scheinen Verlagerungsprozesse verbreitet einer Intensivierung zu unterliegen. Diese Annahme wird durch das Resultat wiederholter Kartierungen der Morphodynamik auf dem Brandhang von SCHIMMER (2009) und LEISTNER (2011) gestützt. Aus Abb.48.1 und 48.2. geht die sukzessive Ausweitung der Flächen mit mittlerer bzw. hoher Umlagerungsaktivität zu Gunsten jener mit geringerer Dynamik gut hervor. In Zahlen ausgedrückt hat sich der Anteil ersterer von 2006 bis 2010 von 23 auf 41%, derjenige zweiterer von 6 auf 19% erhöht, während der Anteil der gering betroffenen Bereiche von 69 auf 37% zurück gegangen ist. Die restlichen 2 bzw. 3% entfielen auf anstehenden Fels. Zu den Ursachen vgl. Punkt a).



Abb.48.1: Vergleich der Kartierungen zur Morphodynamik auf der Brandfläche Issanger 2006/2008 (nach SASS ET AL. 2012c)

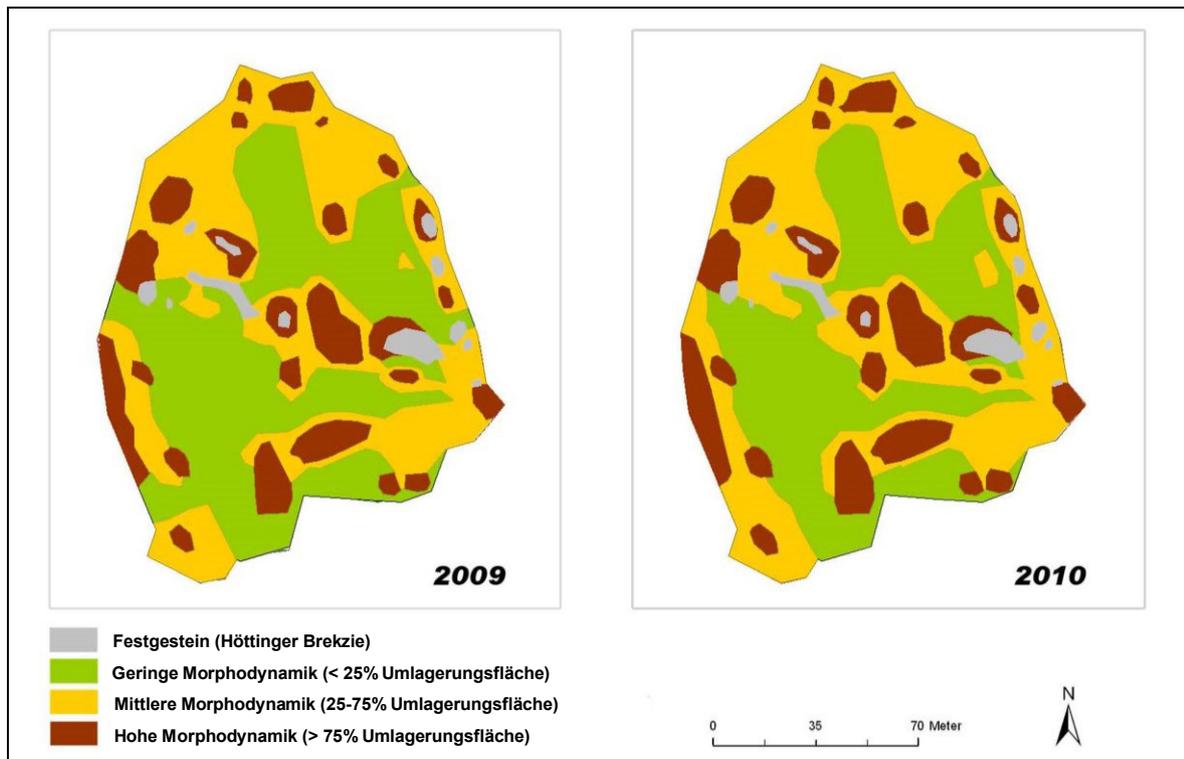


Abb.48.2: Vergleich der Kartierungen zur Morphodynamik auf der Brandfläche Issanger 2009/2010 (nach SASS ET AL. 2012c)

- Bodenverlagerung auf der Brandfläche Arnspitze Süd

Analog zur Brandfläche Issanger stehen auch hier Abtragsmessungen über einen längeren Zeitraum zur Verfügung (vgl. SCHIMMER 2009; SASS ET AL. 2012a). Die Ergebnisse, dargestellt in Abb.49, zeigen sowohl von Jahr zu Jahr als auch von Falle zu Falle bei weitem keine so ausgeprägten Unterschiede, wie sie am Issanger festzustellen waren. Dies ist zum einen wohl mit der geringeren Anzahl an Messeinrichtungen und somit dem Fehlen eines Querschnittes verschiedener Standortbedingungen in Verbindung zu bringen. Zum anderen sprechen die weniger deutlichen interannuellen Schwankungen für einen neuen Gleichgewichtszustand des morphodynamischen Systems, der sich während der letzten 65 Jahre nach dem Waldbrand einstellen konnte.

Der maximale Abtrag liegt im Einzugsgebiet von Falle 1 bei $8,6 \text{ g/m}^2/\text{d}$ und ist somit im Vergleich zum Referenzstandort an der Arnspitze ($0,03 \text{ g/m}^2/\text{d}$) um den Faktor 287 erhöht. Der niedrigste ermittelte Wert wird im Bereich von Falle 2 mit $2,7 \text{ g/m}^2/\text{d}$ erreicht, was immer noch dem Neunzigfachen bezogen auf ungestörte Verhältnisse entspricht. Dieser in Relation zur Brandfläche Issanger relativ große Minimalwert ist damit zu erklären, dass dort überwiegend gänzlich andere Ausgangsbedingungen vorherrschen als an der Arnspitze. Hier fehlt weitgehend eine Vegetationsbedeckung, verbreitet sind die organischen Komponenten des Bodens verbrannt bzw. abgetragen worden, das Bodenskelett bzw. die Verwitterungsdecke liegen entblößt an der Oberfläche und können ungehindert erodiert werden. Der Anteil von Korngrößen $> 2 \text{ mm}$ liegt daher beim aufgefangenen Sediment im Gegensatz zum

Issanger durchweg bei rund 95 % und mehr. Dort hingegen beschränkt sich die Erosion stellenweise noch auf den an organischem Material reichen Boden, so dass sich in Folge dessen geringerer Dichte auch geringere Abtragsraten ergeben, wie z. B. bei Sedimentfalle 3 oder 7. Wie die Gegenüberstellung der einzelnen Messergebnisse jedoch zudem zeigt, gibt es auf beiden Hängen durchaus auch vergleichbare Standorte.

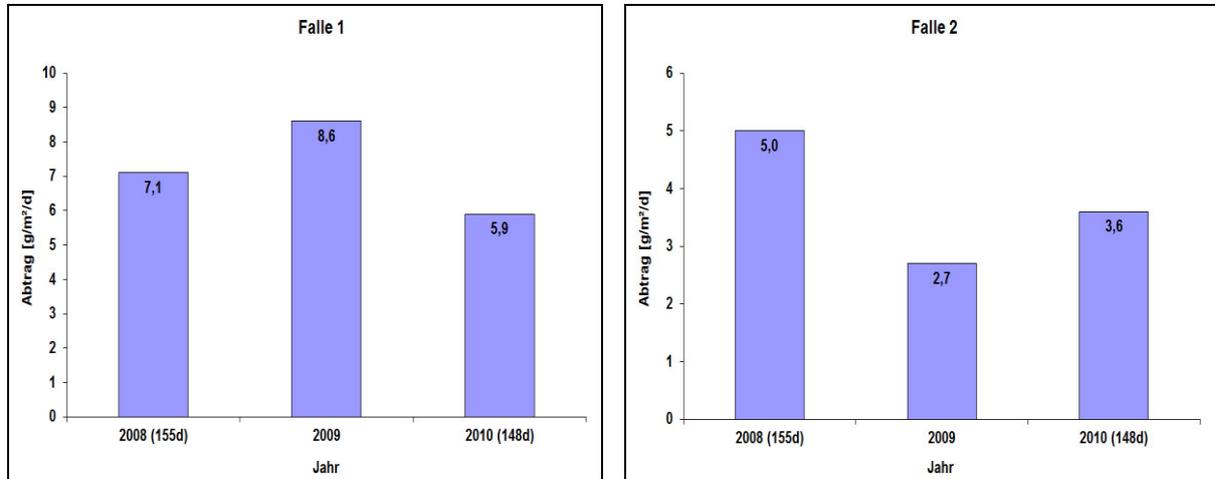


Abb.49: Abtragsvergleich 2008-2010 der Messstandorte Falle 1 und 2

Wie auf dem Issanger konnte ein Einfluss des Niederschlags auf die Menge des abgetragenen Materials nachgewiesen werden, der jedoch nicht für jede Messperiode gleichermaßen deutlich ausgeprägt und somit gültig ist. In Tab.31 ist dieser Sachverhalt beispielhaft für die aus dem Jahr 2009 vorliegenden Daten dargestellt.

Tab.31: Gegenüberstellung Niederschlag-Erosionsmaterialgewicht verschiedener Messperioden 2009

Messperiode	Niederschlag [mm]	Gewicht Erosionsmaterial Falle 1 [g]	Gewicht Erosionsmaterial Falle 2 [g]
1	358,1	*620,42	62,36
2	169,1	1170,63	9,71
3	50,5	327,18	10,49
4	168,7	757,54	32,22
5	184,5	1297,13	**445,29
Korrelation r gesamt		0,15	0,09
Korrelation r ohne * bzw. **		0,89	0,90

4.2.4 Anhaltende Schuttdynamik auf der Brandfläche Arnspitze Süd

Das in den Längsrinnen an der Arnspitze stattfindende Verlagerungsgeschehen konnte in einer mehrjährigen Messreihe mit vier Grobsedimentfallen zumindest ansatzweise erfasst werden (vgl. SCHIMMER 2009; SASS ET AL. 2012a). Einen Überblick hierzu gibt Tab.32, in der einige Eckdaten zusammengefasst sind. Die u.a. hier aufgeführte Durchtransportrate beschreibt jene Gesteinsmenge, die durch einen Querschnitt von einem Meter Breite pro Zeiteinheit transportiert wird.

Tab.32: Übersicht zur Verlagerungsdynamik im Bereich der Grobsedimentfallen (DTR: Durchtransportrate, EZG: Einzugsgebiet)

Jahr	Fallennr.	Eintrag [kg/a]	DTR [kg/m/a]	Eintrag [g/d]	DTR [g/m/d]	Abtrag EZG modell. [g/m ² /d]	Abtrag EZG hydrolog. [g/m ² /d]
2008	Falle 1_1	338,1	169,1	926,4	463,2	1,25	0,04
	Falle 1_2	432,8	206,1	1185,8	564,7	4,51	0,43
	Falle 1_3	186,5	62,2	511,1	170,4	0,76	0,15
	Falle 2	263,0	194,8	720,6	533,8	0,98	0,01
2009	Falle 1_1	94,2	47,1	258,0	129,0	0,35	0,01
	Falle 1_2	147,0	70,0	402,7	191,7	1,53	0,15
	Falle 1_3	92,7	30,9	253,9	84,6	0,38	0,07
	Falle 2	149,1	110,4	408,4	302,5	0,56	0,01
2010	Falle 1_1	79,0	39,5	216,4	108,2	0,29	0,01
	Falle 1_2	131,9	62,8	361,4	172,1	1,37	0,13
	Falle 1_3	29,2	9,7	79,9	26,6	0,12	0,02
	Falle 2	60,9	45,1	166,8	123,6	0,23	0,003

Wie aus Tab.32 zu entnehmen ist, sind die höchsten Materialeinträge alle Auffangvorrichtungen übergreifend für 2008 zu verzeichnen, wobei mit knapp 433 kg das Maximum bei Falle 1_2 und das Minimum (186,5 kg) bei Falle 1_3 aufgetreten ist. Insgesamt wurden 2008 über 1,2 Tonnen Gestein von den Grobsedimentfallen aufgenommen, so dass in den untersuchten Rinnen durchaus von einer hohen morphodynamischen Aktivität ausgegangen werden kann, die jedoch Schwankungen zu unterliegen scheint, wie der gut erkennbare Rückgang der Zahlen 2009 und 2010 zeigt; die Gesamtsumme des 2010 eingetragenen Materials beträgt lediglich noch 301 kg. Im Bereich von Falle 1_3 wird 2010 auch der absolut geringste Wert mit 29,2 kg erreicht und sogar der Maximalwert dieses Jahres mit rund 132 kg bleibt unter dem Minimalwert von 2008. Die Hauptursache für diese Variabilität ist vermutlich in der internen Dynamik im morphodynamischen Prozessgeschehen (z. B. Auffüllung von Zwischenspeichern, Bereitstellung von abtragsfähigem Material durch Verwitterungsprozesse) zu suchen.

Die Abtragsdaten in Tab.32 verhalten sich weitestgehend ähnlich wie die der absoluten Einträge. Unterschiede ergeben sich durch das große hydrologische Einzugsgebiet von Falle 2. Die Werte, die je nach zu Grunde gelegtem Einzugsgebiet zwischen 0,12 und 4,5 bzw. 0,43 und 0,003 g/m²/d schwanken, bewegen sich in einer vergleichbaren Größenordnung wie die Ergebnisse vom Issanger, wenn-

gleich die zugehörigen Prozesse und die dabei verlagerten Komponenten anderer Dimension sind. Dies wird beispielsweise am sehr hohen Anteil (75 bis 95%) von Korngrößen zwischen 6,3 und 20 cm beim verlagerten Material deutlich.

Der Materialtransport scheint teilweise vom Niederschlag gesteuert zu sein. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass beispielsweise bei den Grobsedimentfallen, 1_3 und 2 die während einzelner Messperioden sowohl 2008 als auch 2009 eingetragenen Gesteinsmassen bei Auslassung von Sonderfällen (hoher Anteil an Blöcken) recht gut mit dem im selben Zeitraum gefallenen Niederschlag korrelieren ($r > +0,7$). Daneben dürfte dem im Gelände des Öfteren beobachteten Steinschlag ebenfalls eine wichtige Rolle in der Verlagerungsdynamik zufallen. Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass Material im Zuge von kleineren und größeren Murgängen talwärts transportiert wird, worauf entsprechende Ablagerungen insbesondere am Hangfuß hinweisen.

In diesen Akkumulationen, zu welchen im Übrigen auch Lawinenabgänge aus dem Brandhang beitragen (vgl. 4.2.6), wurde im östlichen Bereich ein Holzkohle führender Horizont entdeckt, mit dessen Hilfe der Abtrag seit dem Brandereignis 1946 aus dem zugehörigen Einzugsgebiet näherungsweise auf 80 t/a bzw. 840 g/m²/a (2,3 g/m²/d) bestimmt werden konnte (vgl. SASS ET AL. 2012a).

4.2.5 Murgänge im Halltal 2008

Die in 4.2.3 erwähnten und in Abb.50 zu erkennenden Murbrüche Ende Juni 2008, die z.T. den Halltalbach erreichen, stehen zumindest teilweise in Verbindung mit dem Waldbrand, welchem 1946 über 100 Hektar Legföhrengbüsch am Südabfall des Bettelwurfes zum Opfer gefallen sind.



Abb.50: Murgänge im Halltal aus dem Jahr 2008 (Foto: BREMER 2008)

Förderlich für den Abgang war zum einen die durch das brandinduzierte Fehlen einer geschlossenen Pflanzendecke reduzierte Interzeption des Niederschlags in Verbindung mit einem erhöhten Oberflächenabfluss. Zum anderen führte das nach und nach aus der Waldbrandfläche zusätzlich auf den Schutthalden akkumulierte Material zu einer Störung des morphodynamischen Gleichgewichts. Die Verlagerungsvolumina, die durch eine kombinierte Auswertung von ALS- und TLS-Daten bestimmt werden konnten, lagen für die drei untersuchten Einzugsgebiete zwischen ca. 6000 und 12.000 m³, was unter Zugrundelegung einer Materialdichte von 1,8 t/m³ einem Gewicht von 10.800 bzw. 21.600 Tonnen entspricht (BREMER & SASS 2012, SASS ET AL. 2012b).

4.2.6 Lawinenaktivität

- Grundlawinen und deren Erosionswirkung an der Arnspitze

In Folge der Zerstörung des Hochwaldes durch den Waldbrand von 1946 kommt es an der Südseite der Arnspitze vermehrt im Frühjahr immer wieder zum Abgang von Grundlawinen, die in den zahlreichen den Hang in Falllinie durchziehenden Rinnen kanalisiert werden und schließlich auf den Schuttkegeln am Hangfuß zur Ablagerung kommen (Abb.51). Von ihnen geht an für sich keine Gefahr für Mensch oder Infrastruktur aus.



Abb.51: Lawinenablagerungen auf den Schutthalden unterhalb der Arnspitze (Foto: Heel)

Die Menge der von den Lawinen jährlich zu Tal geförderten Gesteinsmassen war bei einem Mittel von 94 t großen Schwankungen unterlegen und reichte von keinem Abtrag 2007 bis zu 215 t im Jahr 2009 (Abb.52). Bezogen auf die gesamte Einzugsgebietsfläche von rund 75 ha entsprechen die genannten Zahlen einer Erosionsrate von durchschnittlich 126 g/m²/a (0,35 g/m²/d) bzw. im Maximum von 289 g/m²/a (0,79 g/m²/d). Zu berücksichtigen ist hierbei, dass Felsflächen in diese Berechnungen mit ein-

fließen, welche von der Lawinenerosion eigentlich nicht betroffen sind, so dass sich für die tatsächlichen Prozessareale noch höhere Werte ergeben.

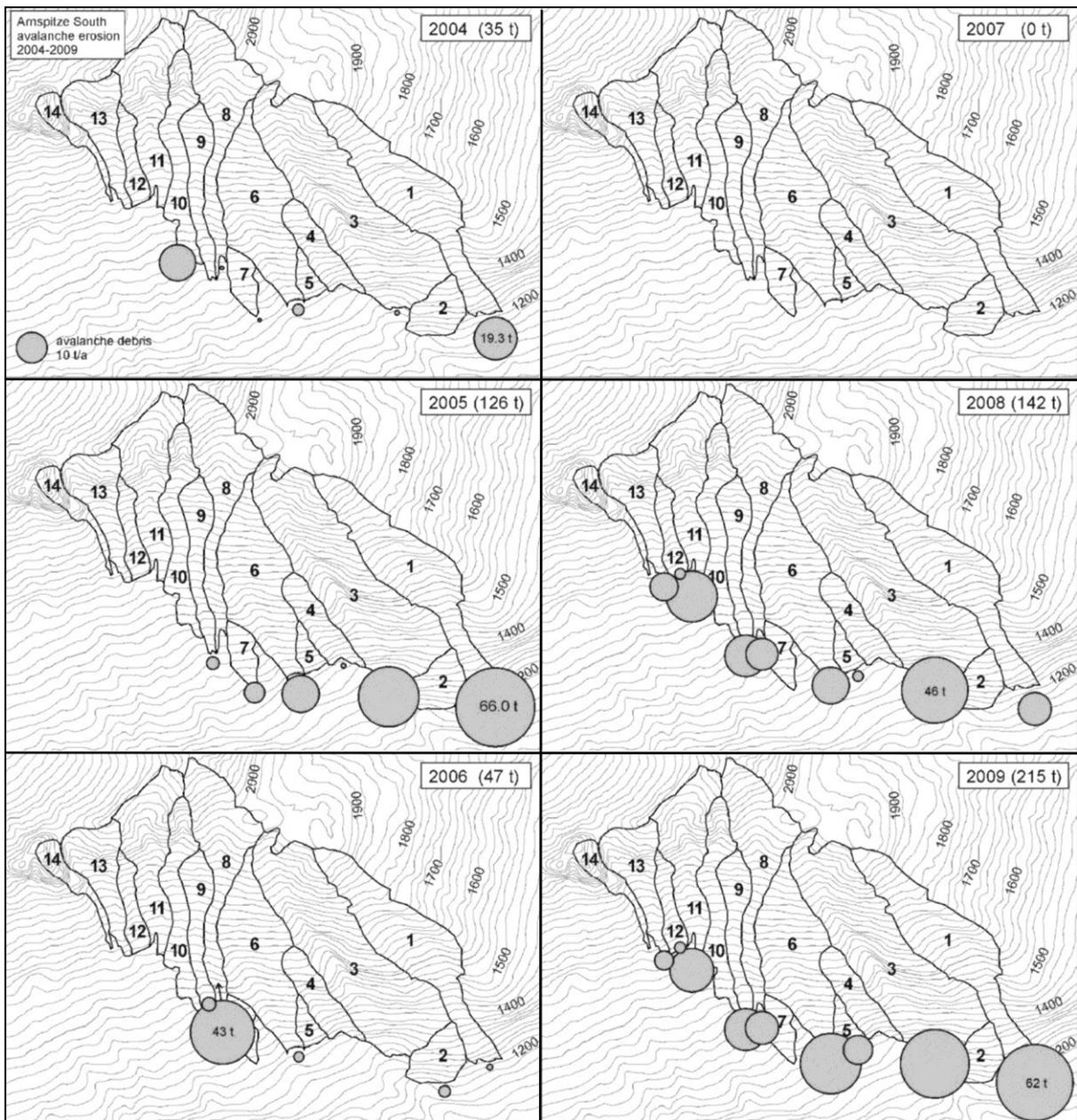


Abb.52: Verlauf des einzugsgebietspezifischen Abtrags durch Lawinen an der Arnspitze 2004-2009 (SASS ET AL. 2010)

Große Unterschiede bestanden auch in Bezug auf die Verteilung des erodierten Materials auf die einzelnen Einzugsgebiete. So erreichte beispielsweise 2005 in Einzugsgebiet 1 der Abtrag den höchsten überhaupt erfassten Wert (66 t), während ein Jahr später hier kaum Austrag stattgefunden hat. Dafür lieferte Einzugsgebiet 8, das 2004 und 2005 eine vernachlässigbare Rolle gespielt hatte, mit 43 t beinahe das ganze Erosionsmaterial in 2006. Im Fall von Einzugsgebiet 11 wiederum war über mehrere Jahre gar kein Gesteintransport festzustellen, ehe 2008 und 2009 auch hier nicht unwesentliche Men-

gen an Material am Hangfuß akkumuliert wurden. Die Erosionsraten im Bereich der einzelnen Einzugsgebiete lagen in einem Spektrum zwischen 0 bzw. 1,3 g/m²/a (0,004 g/m²/d; Ezg. 3 in 2004) und 1027,4 g/m²/a (2,8 g/m²/d; Ezg. 5 in 2009) bei Zugrundeliegen der bereits angesprochenen Problematik des Einbezuges auch nicht Sediment liefernder Areale.

An möglichen Ursachen für die zeitliche und räumliche Variabilität der Abtragsintensität sind hauptsächlich die Entwicklung der Schneedecke und Zufallsfaktoren wie etwa die lokale Verfügbarkeit von Erosionsmaterial oder der Zeitpunkt der Lawinenabgänge zu nennen.

Auf der Ostseite der Arnspitze, die mehrmals von Waldbränden heimgesucht wurde (vgl. Abb.41 in 4.1.6), kommt es nach eigenen Beobachtungen und Abb.53 zu Folge ebenso zu regelmäßiger Lawinentätigkeit, die aber nicht näher untersucht wurde.

- Weitere Beispiele von (erhöhtem) Lawinenaufkommen

Neben der Arnspitze gibt es noch weitere Fälle, in denen Waldbrände durch die nachhaltige Zerstörung von Baum- bzw. Latschenbeständen zu einem (erhöhten) Lawinenaufkommen geführt haben.

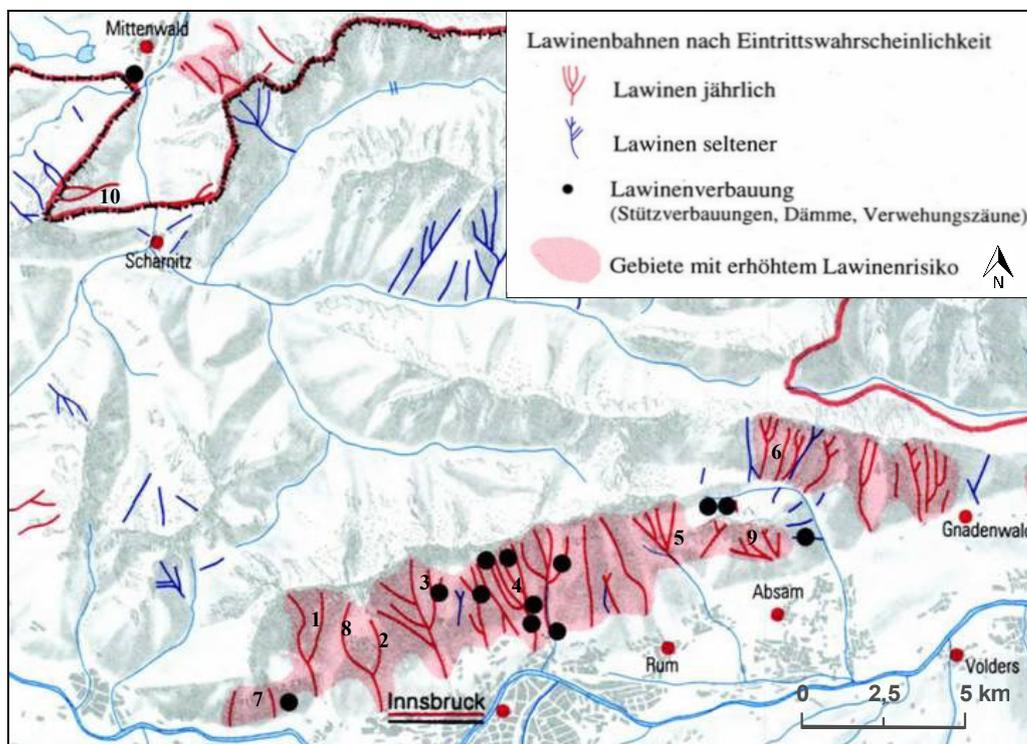


Abb.53: Lawinenpotential und -verbauungen im westlichen Karwendelgebirge (nach TROGER 1969)

GRABHERR (1936) nennt in diesem Zusammenhang das Einzugsgebiet der Kranebitterklamm (1), den Achselkopf (2), den Osthang des Gehrnschrofen (3), das Arzler Horn (4), die Gegend oberhalb Thaur (5) oder das Halltal (6). Wie Abb.53 entnommen werden kann, sind alle der beschriebenen Lokalitäten

im Tirol-Atlas von TROGER (1969) als Areale mit erhöhtem Lawinenrisiko erfasst. Darüber hinaus sind mit dem Hechenberg (7), dem Schneekar-Durrach-Gebiet (8) und den Hängen oberhalb von Absam (9) weitere Regionen mit einer regen Waldbrandtätigkeit in der Vergangenheit mit derselben Signatur gekennzeichnet.

Angedeutet ist in Abb.53 ferner die Lawinenproblematik an der Brunnsteinspitze direkt an der deutsch-österreichischen Grenze nordöstlich von Scharnitz. Dort kommt es immer wieder zur Sperrung der Bundes- bzw. Europastraße zwischen Mittenwald und Scharnitz und der parallel dazu verlaufenden Mittenwaldbahn, die Garmisch-Partenkirchen mit Innsbruck verbindet. Grund hierfür sind Lawinen, die insbesondere aus dem Einzugsgebiet der Marchklamm drohen bzw. abgehen, wo 1920 ein Waldbrand von über 10 ha Ausdehnung stattgefunden hatte. Doch auch in der unterhalb davon gelegenen Brandfläche aus dem Jahre 1949 sind nach Auskunft von H. BAIER (2011), Mitglied der Lawinenkommission Mittenwald, aufgrund der enormen Steilheit in diesem Bereich schon mehrmals Lawinenabbrüche - auch sekundär ausgelöst - zu verzeichnen gewesen (vgl. Abb.54).

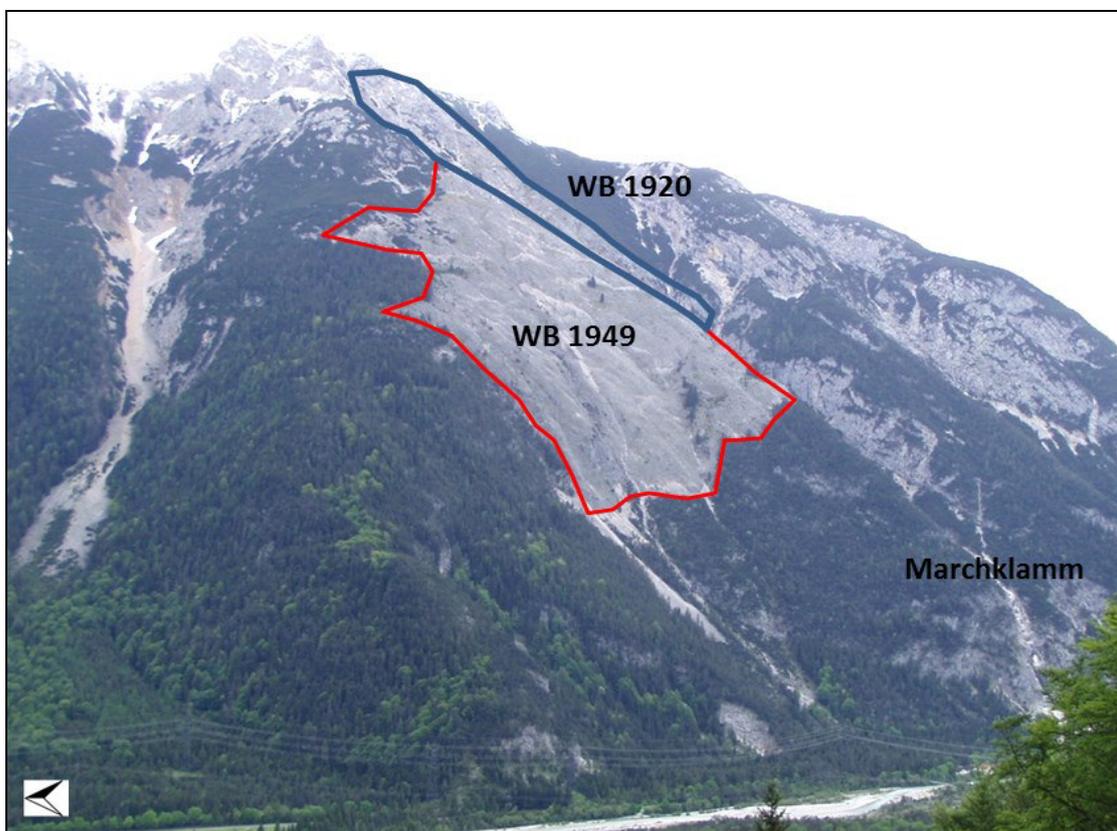


Abb.54: Lawinträchtigte Waldbrandflächen an der Brunnsteinspitze bei Scharnitz (Foto: Heel)

Ein Blick in die jüngste Lawinenchronik zeigt, dass es zwischen 2000 und 2009 zu sechs Abgängen aus der Marchklamm - anno 2000, 2003, 2004, 2005, 2006 und 2009 - gekommen ist (pers. Mitt. HARTL 2011), wobei allein im schneereichen Winter 2005/2006 der Grenzübergang Scharnitz auf Empfehlung der örtlichen Lawinenkommission an 20 Tagen wegen Lawinengefahr gesperrt werden

musste (MERKUR ONLINE 2007a). Die durchschnittliche Sperrungsdauer von Bundesstraße und Bahnstrecke lag im Zeitraum von 2000 bis einschließlich 2006 laut MERKUR ONLINE (2007b) bei 3,6 Tagen. Zuletzt kam es vom 6. bis zum 11. Januar 2012 zu massiven Behinderungen im Straßen- bzw. Bahnverkehr aufgrund drohender Lawinenabgänge aus der Marchklamm (RADIO OBERLAND 2012).

Beim Lawinenereignis 2003, das am 8. Februar stattfand, war aufgrund der in Folge einbrechender Dunkelheit ohne Hilfsmittel schwer einschätzbaren Lage der Verkehr allerdings nicht unterbrochen worden. Es war ein glücklicher Zufall, dass beim Abgang gewaltiger Schneemassen durch die Marchklamm um 20.30 Uhr, die in Form eines vier Meter hohen und 30 Meter breiten Lawinenkegels erst auf der Bundesstraße zum Stillstand kamen, nur ein Oberleitungsmast der Mittenwaldbahn zu Schaden kam. Ursächlich für die Lawine war ein starker Temperaturanstieg verbunden mit Neuschneefällen (MERKUR ONLINE 2003).

4.2.7 Notwendigkeit von Rekultivierungs- bzw. Hangsicherungsmaßnahmen

Wie die Ausführungen im Vorangehenden bereits gezeigt haben, sind mit den Waldbränden im Untersuchungsgebiet vielfältige Auswirkungen verbunden. In manchen Fällen sahen sich die Menschen gezwungen, entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um die verursachten Schäden soweit als möglich wieder zu beheben bzw. weitere zu verhindern. Auf einige bedeutendere Beispiele wird nachfolgend näher eingegangen.

- Vorkehrungen zum Lawinenschutz an der Brunnsteinspitze

Um die nötige Verkehrssicherheit auf der wichtigen Nord-Südverbindung unterhalb der Marchklamm noch besser gewährleisten zu können, wurde im Dezember 2004 den Lawinenkommissionen von Mittenwald und Scharnitz eine Entscheidungshilfe in Form einer automatischen Messstation zur Seite gestellt, die in 1600 m Höhe wichtige Daten zu Schneehöhe, Windstärke sowie Schnee- und Lufttemperatur aufzeichnet. Mit diesen Informationen der insgesamt 50.000 Euro teuren Anlage sollte eine bessere Gefahreinschätzung zu bewerkstelligen sein, sodass zukünftig die Sperrung von Straße und Eisenbahn immer rechtzeitig erfolgen können (MERKUR ONLINE 2003).

Zusätzlich zur messtechnischen Überwachung der Lawinenanrissgebiete sind weitere Maßnahmen mit einem geschätzten Gesamtvolumen von bis zu 8 Mio. Euro je nach Art der Verbauung geplant. Zur Diskussion stehen eine Lawinenstützverbauung aus Stahl im Latschengürtel des oberen Einzugsbereichs der Marchklamm und eine aufgrund der geringeren Eingriffe in die Natur favorisierte Galerieverbauung im Lawinenauslaufbereich (pers. Mitt. BAIER 2011).

- Das Großprojekt am Hochmahdkopf bei Absam

Bereits kurz nach dem verheerenden Waldbrand im Schutzwald am Hochmahdkopf oberhalb von Absam im Jahr 1923 wurden unter schwierigen Bedingungen im Steilgelände Rekultivierungsbemühungen zur Verhinderung von Bodenabtrag unternommen. Die zu extremen Standortbedingungen führten aber dazu, dass nur relativ wenige Bäumchen überlebten, sodass der Erosion nur noch das Wurzelwerk der brandgeschädigten Bäume entgegenwirkte. Mit dem allmählichen Absterben der Wurzeln setzte jedoch ein sich stetig steigernder Erosionsprozess ein, der schlussendlich zur Abschwemmung von erdigem Material und Schutt bis nach Absam hinab und zur Bildung von metertiefen Runsen führte. Die Gemeinde sah sich daraufhin veranlasst, ein umfassendes Aufforstungs- und Sanierungsprojekt auf den Weg zu bringen, das 1988 angelaufen ist und bis Februar 2012 Investitionen in Höhe von 635.887 Euro notwendig gemacht hatte. An wichtigen Maßnahmen sind zu nennen:



- Standortangepasste Pflanzung von über 10 verschiedenen Baum- und Straucharten, insgesamt 57.000 St.
- Schutz und Pflege von insgesamt 65.000 Jungpflanzen
- Hangstabilisierung durch Begrünungen, Einbringung von Weidenstecklingen, Hangvernetzungen im kombinierten Drahtseilgeflecht-Kokosmatten verfahren
- Errichtung von Holzschneebrücken zur Verhinderung des Abrutschens von Schnee
- Einbringung von 22.000 Verbügelungen in den Hang zur Stabilisierung der Schneedecke
- Verbauung von Runsen
- Installation von Steinschlagschutz- und Gleitschneenetzen

Abb.55: Holzschneebrücken und Verbügelungen am Hochmahdkopf (Foto: Heel)

Die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen haben sich trotz schwieriger Umstände und mancher Rückschläge (Hagelgewitter, Gams- und zum Teil Rehwilddruck, Föhnstürme, Frühjahrstrockenheit, Schädlingsbefall, hohe Schneelage) bis jetzt bewährt (LAND TIROL 2006).

Nach Auskunft von TARTAROTTI (2011), dem ehemaligen Leiter der Bezirksforstinspektion Hall, sind trotzdem auch heute noch insbesondere aufgrund von Beschädigungen der Vorrichtungen durch Steinschlag und Schneerutsche immer wieder Wartungsarbeiten notwendig. Darüber hinaus wurde laut Bezirksforstinspektor BRENNER (2012) ein zusätzlicher Verbisschutz für die Aufforstungen erforderlich.

- Weitere Maßnahmenbeispiele zur Behebung von Waldbrandschäden

Neben dem breit gefächerten Projekt am Hochmahdkopf gibt es eine Reihe von weiteren Beispielen an mitunter sehr aufwendigen und kostenintensiven Aufforstungsmaßnahmen, die in Folge von Waldbränden notwendig wurden.

An der Arnspitze etwa wurde nach dem Großbrand 1947 mit der großflächigen Aussaat von Lärchensamen versucht, die drohende Bodenerosion zu verhindern. Dies gelang laut GROSCHKE (2005) jedoch nur im Bereich von Felskankeln und Hangverebnungen, wo sich die Pflanzen aufgrund ausreichender Oberflächenrauigkeit und Bodenverfügbarkeit ungehindert entwickeln konnten.

Erwähnenswert ist ferner ein mit sehr vielen Mühen und Kosten verbundener Ansiedlungsversuch von *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* sowie *Alnus incana* in den 1920er Jahren nach einem ca. 25 ha großen Waldbrand westlich der Kranebitterklamm im Jahre 1920, welcher laut GRABHERR (1963a) ebenfalls nicht den erhofften Erfolg mit sich gebracht hatte. Die Waldbrandfläche zeigte sich dennoch etwa 80 Jahre nach dem Brandereignis beinahe vollständig erholt (s. 4.3.1).

Im Hechenberggebiet zeigte die Ausbringung von 300 kg einer speziellen Samenmischung u. a. aus Luzerne, Klee und Gräsern sowie einem Kilogramm Weißkiefern Samen zur raschen Wiederbegrünung und Festigung des während eines Waldbrandes Ende März 1972 stark geschädigten Bodens dagegen eine recht gute Wirkung. Dies konnte die Forstverwaltung Innsbruck bereits im selben Jahr noch vermelden. Die brandgeschädigten Bäume wurden nicht geschlagen, um so vorläufig weiter einen Schutz vor Lawinen- und Erosion gewährleisten zu können (TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK).

Ebenfalls erfolgreich war die Pflanzung von insgesamt 600.000 Exemplaren von *Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Larix decidua* auf der Nordwestseite des Tschirgant nach einem Waldbrand im Jahre 1945 zwischen 800 und 1300 Metern Seehöhe nach Information von Waldaufseher BAUER (2008).

Eine intensive, über drei bis vier Jahre dauernde Aufforstung begann 1963 nach der Abräumung der durch ein Feuer im April 1962 auf ca. 20 ha beschädigten Waldbestände im Vomper Forchat. Es wurden innerhalb einer Einzäunung ca. 230.000 Pflanzen aufgeforstet, wobei die Baumartenmischung in etwa 85% *Pinus sylvestris*, 10% *Larix decidua* und 5% *Picea abies*, *Alnus incana* und *Acer pseudoplatanus* betrug. Die mit der Südexposition des Hanges verbundene Trockenheit führte immer wieder zu Ausfällen, die aber im jeweils darauf folgenden Jahr nachgebessert wurden, so Bezirksförster KRIEGLSTEINER (2012).

Zu nennen sind an dieser Stelle außerdem eine Aufforstung mit *Pinus sylvestris* im Vomperloch nach einem Feuer 1909, die nach Beobachtung von GRABHERR (1936) Anfangs der 1930er Jahre ein gutes Erscheinungsbild gezeigt hatte, ferner eine Anpflanzung von Pappeln in der Zimmerbergklamm bei Telfs 1936 sowie die Aussaat von Weißkiefern Samen im Verein mit der Anlage von Schräggräben und Querfurchen am Arzberg nach einem Brandereignis 1948 (TLA: MIKROFILM 1806 FV TELFS; pers. Mitt. BRENNER 2012).

4.2.8 Übersicht zum Rahmen finanzieller Schäden

Im Hinblick auf den finanziellen Schaden, der durch die Waldbrände entstanden ist, können nur grobe Anhaltspunkte gegeben werden, da nur bei 61 der insgesamt 499 dokumentierten Waldbrände den Quellen entsprechende Informationen zu entnehmen waren. Ferner gestaltete es sich enorm schwierig, die verschiedenen alten Währungen (Gulden, Kronen, Schilling) unter Berücksichtigung ihrer Wertentwicklung in Euro umzurechnen. Bei den genannten Beträgen war zudem nicht immer klar, um welche Art von Kosten (Löschkosten, Bestandsschäden, Folgekosten, Gesamtkosten, etc.) es sich letztlich handelte.

Eine überblickshafte Auflistung von zehn Bränden und den daraus resultierenden Kosten zeigt Tab.33, wobei die in der jeweiligen Quelle aufgeführte Kostenart gesondert angeführt wird. Die Beträge entsprechen aus den genannten Gründen insbesondere bei den Nummern 6 bis 9 nur Näherungswerten.

Tab.33: Eckdaten und entstandene finanzielle Schäden ausgewählter Waldbrände

Nr.	Branddatum	Brandort	Fläche [ha]	Kosten [€]	Kostenart
1	10.-16.4. 2009	Kranebitter Klamm	25	226.618,80	Löschkosten
2	28.3.-1.4. 1972	Hechenberg	ca. 30	ca. 56.250	Löschkosten
3	14.4. 1966	Thaurer Mure	3	ca. 2.000	Schadkosten
4	18.4. 1962	Vomper Forchat	ca. 27	ca. 40.000	Sachschaden
5	1920, 1949	Brunnstein West	∑ 44	ca. 4.500 (1949), ca. 7-8 Mio.	Löschkosten, Lawinenschutz
6	1.-26.5. 1946	Halltal	ca. 110	*ca. 3.000	Löschkosten
7	12./15.8. 1923	Hochmahdkopf	ca. 30	*ca. 4.500 ca. 650.000	Schaden, Rekultivierung
8	17.-22.3. 1918	Bufo Kranebitten	19	*ca. 1.250 *ca. 9.500	Löschkosten, Schaden
9	19.6.1874	Parzelle Strad	1,7	*ca. 1.050	Gesamtschaden

Zusammenstellung aus: (1) WESTWIND 2009; (2) TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK; (3) TLA: MIKROFILM 2305 GP ABSAM; (4) TLA: MIKROFILM 2311 GP SCHWAZ; (5) BAIER (2011); (6) TLA: MIKROFILM 1804 FV HALL; (7) TLA: MIKROFILM 2305 GP ABSAM, TARTAROTTI (2011); (8) TLA: MIKROFILM 1805 FV IBK; (9) TLA: MIKROFILM 2291 GP IMST; * Umrechnung nach KOPP (1998)

Wie Tab.33 zu entnehmen ist, fand der in Bezug auf die Aufwendungen für die Löscharbeiten mit Abstand teuerste Waldbrand 2009 im Bereich der Kranebitter Klamm statt. Dies hängt sicherlich primär mit dem Einsatz von insgesamt 13 Hubschraubern zusammen, die 872 Löschkräfte über mehrere Tage beim Versuch dem Feuer Einhalt zu gebieten unterstützten (WESTWIND 2009).

Es bleibt aber nicht immer bei den Brandbekämpfungskosten allein, da bei Bränden im Wirtschafts- oder Schutzwald zusätzlicher finanzieller Schaden zum einen durch den Verlust von Nutzholz und zum anderen durch die Notwendigkeit aufwendiger Aufforstungsmaßnahmen bzw. Schutzbauten entstehen kann, wie etwa die Beispiele Nr. 5 oder Nr. 7 in Tab.33 zeigen.

Als Ergänzung hierzu sei noch auf einen Auszug aus der Waldbrandstatistik der Landesforstinspektion für Tirol hingewiesen, die für den Zeitraum 1953-1962 eine Schadenssumme von etwa 91.000 Euro unter Berücksichtigung von 200 Schadfällen mit einer Gesamtfläche von 222,7 ha angibt. Es wird jedoch extra darauf hingewiesen, dass in diesem Betrag indirekte Schäden durch erschwerte Aufforstung, Bodenverschlechterung oder -abtrag sowie vorzeitige Abholzung hiebsunreifer Bestände nicht enthalten sind, diese aber ein Vielfaches des in Geld ausdrückbaren Wertes darstellten und oft erst nach Jahrzehnten behoben werden könnten (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG - LANDESFORST-INSPEKTION 1963).

Ein konkretes Zahlenbeispiel findet sich u. a. im Jahresbericht für 1964 der Landesforstinspektion Tirol: bei 27 Waldbränden, die zusammen 44,1 ha vernichteten, ist ein Gesamtschaden von 21.800 Euro entstanden, wovon 15% als Löschkosten und die übrigen 85% als Bestandsschäden ausgewiesen wurden (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG - LANDESFORST-INSPEKTION 1965).

4.3 Beispiele unterschiedlicher Vegetationsentwicklung nach Waldbränden

Von den 499 dokumentierten neuzeitlichen Brandereignissen konnten 50 eindeutig durch eine entsprechende Modifizierung des Vegetationsbildes im Vergleich zur Umgebung bzw. durch Holzkohlenachweise in Verbindung mit einem einschlägigen Flurnamen lokalisiert werden. Die Spannweite der Brandflächengrößen reicht dabei von 0,3 bis über 100 ha, diejenige der Brandentstehung vom 17. Jahrhundert bis ins Jahr 2003.

Aus der Auswertung von historischen und aktuellen Luftaufnahmen im Hinblick auf die Vegetationsdynamik ergab sich für die momentanen Bewuchsverhältnisse von 48 dieser 50 Brandflächen eine Unterteilung in fünf verschiedene Kategorien. Auf diese soll im Anschluss jeweils etwas näher eingegangen werden, ehe in 4.3.6 eine eingehendere Betrachtung der zwei übrigen und mit Abstand jüngsten und genauer untersuchten Schadareale aus dem Jahre 2003 erfolgt. Bei der Beurteilung der derzeitigen Vegetationssituation wurde in 4.3.1 bis 4.3.5 z.T. auf Ergebnisse aus den Arbeiten von WEBER (2009), JURASCHEK (2011) und STOEGER (2011) zurückgegriffen.

4.3.1 Die geschlossene Bedeckung mit Gehölzformationen

Zehn der näher untersuchten Waldbrandgebiete weisen 2011 einen dichten Baum- bzw. Legföhrenbestand auf (vgl. Tab.34). Dieser Zustand wurde zum einen durch eine Neuverdichtung von Pflanzen nach lediglich kleinräumig auftretender starker Feuerschädigung erreicht, wie etwa bei den Brandereignissen mit den Nummern 3, 6, 8, 9 und 10. Im Falle letaler Auswirkungen in größerem Umfang (2, 4, 5, 7) fand darüber hinaus eine Regeneration in Form einer großflächigen Wiederbewaldung statt.

Tab.34: Eckdaten der Waldbrandflächen mit geschlossenem Gehölzbestand 2011

Nr. und Name	Brandzeitpunkt	Größe [ha]	Höhenlage [m ü.d.M.]	pot. Vegetation (LFD TIROL 2010)	akt. Vegetation (LFD TIROL 2008)
1 Solenbrunst	17. Jh.	18	1540-1960	Kr, (Lä-)Fi, Fi-Ta	Kr
2 Kranebitterklamm	1920	25	1040-1350	Lh-Ki, Ki, Ki-Fi-(Ta-)Bu, (Ei-)Ki	Fi-Ki, Fi-Ta
3 Kranebitten 2,3	1934	13	800-1100	Lh-Ki, (Ei-)Ki, Bu, (Ki-Li-)Ei	Fi-Ki
4 Tschirgant Nord	1945	45	800-1300	k.A.	Fi-Ki
5 Arzberg	1948	8,7	750-1050	Lh-Ki, Bu	Fi-Ki
6 Martinswand SO	1953	2,3	980-1120	Lh-Ki, (Ei-)Ki, Ki	Fi-Ki
7 Vomper Forchat	1962	20	610-790	k.A.	Fi-Ki
8 Gufl	1970	3,5	1000-1040	k.A.	Fi-Ki
9 Hechenberg 36c	1972	7,8	760-1100	Lh-Ki, (Ki-Li-)Ei, (Ei-)Ki, Bu	Fi-Ki, Bu-Ta
10 Meil/Hechenberg	1972	39	700-1340	Lh-Ki, (Ei-)Ki, Ki, (Ki-Li-)Ei, Bu	Fi-Ki, Bu-Ta

Kr: Krummholz, Lä: Lärche, Fi: Fichte, Ta: Tanne, Bu: Buche, Ei: Eiche, Ki: Kiefer, Lh: Laubholz

Geradezu beispielhaft vollzog sich dieser Prozess, dessen Fortgang Abb.56 a-c zeigt, östlich der Kranebitter Klamm, wo rund 80 Jahre nach dem Waldbrand die anno 1947 noch in weiten Teilen baumfreie Schadfläche kaum mehr von ihrer Umgebung zu unterscheiden ist. Verwiesen sei an dieser Stelle auf die in Kapitel 4.2.7 beschriebenen erfolglosen Aufforstungsbemühungen auf diesem Hang.

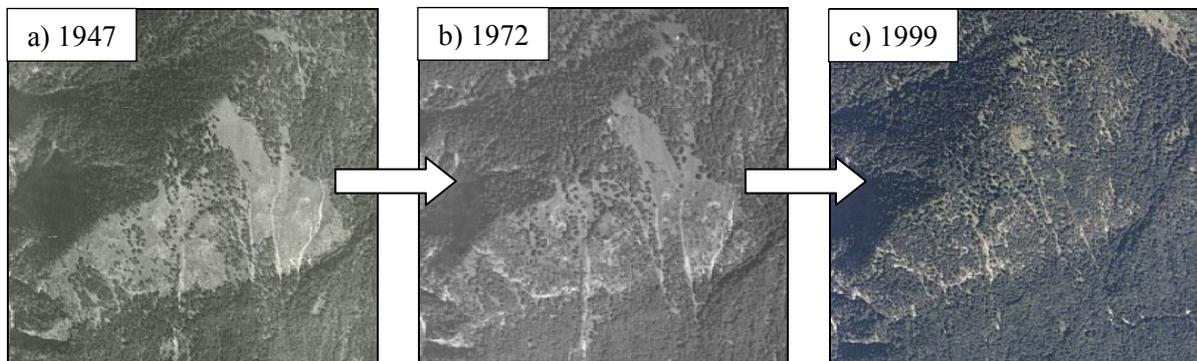


Abb.56a-c: Stadien der Wiederbewaldung der Brandfläche Kranebitterklamm 1920 (nach LAND TIROL, ABT. GEOINFORMATION 2011b,c,d)

Die Zeiträume bis zum erneuten Erreichen eines geschlossenen Kronendaches betragen bei den anderen drei größeren Schadflächen Tschirgant Nord 60, Arzberg 50 und Vomper Forchat 32 Jahre, wobei Aufforstungsmaßnahmen in Verbindung mit den Ereignissen am Tschirgant und im Vomper Forchat bekannt sind (vgl. 4.2.7). Am Arzberg fand nach Informationen von Bezirksforstinspektor BRENNER (2012) zu 80 % eine Naturverjüngung durch *Pinus sylvestris* statt. Die übrigen 20 % gehen auf die Aussaat von Samen derselben Art zurück.

Regenerationsfördernd dürfte in allen zehn Fällen außerdem die vergleichsweise geringe Höhenlage der Schadflächen gewesen sein. Dies trifft zwar nur mit Einschränkung auf die Solenbrunst zu, der dafür jedoch die längste Erholungszeit zur Verfügung stand.

Es ist davon auszugehen, dass der Zustand der völligen Wiederbewaldung auf den Brandflächen im Untersuchungsgebiet heute am weitesten verbreitet ist. Dieser Schluss liegt nahe, da, wie erwähnt, von den 499 im Untersuchungsraum nachgewiesenen Bränden nur von 50 zweifelsfrei Spuren im Landschaftsbild in Form lückiger bzw. gänzlich fehlender Gehölzbestände entdeckt werden konnten.

4.3.2 Die Dominanz fehlender bzw. sporadischer Vegetationsbedeckung

In gewisser Weise das Gegenmodell zur Komplettbewaldung stellt die äußerst schütterte Bedeckung von Waldbrandflächen mit Elementen alpiner Rasen und/oder Fels- und Schuttfluren dar, die ihnen ein besonders auffälliges Erscheinungsbild in der Landschaft verleiht (s. Abb.57).

Das Abgrenzungskriterium gegenüber den noch folgenden Kategorien besteht im hohen Anteil (> 50 % in Tab.35) an weitestgehend vegetationsfreien Flächen bei zudem verbreitetem Fehlen von Gehölzen ($\leq 10\%$). Dieses Phänomen zeigt sich bei verschiedenen alten Schadarealen Höhenstufen übergreifend,

wenngleich eine Bindung an ehemals schwerpunktmäßig mit Krummholz bestandenes Gelände gegeben zu sein scheint.



Abb.57: Blick vom Härmelekopf auf die Waldbrandfläche Arnspitze Süd (Foto: Heel)

Tab.35: Eckdaten der Waldbrandflächen mit sporadischer Vegetationsbedeckung 2010

Name	Brand jahr	Höhe [m ü.d.M.]	Fläche [ha]	Vegetation vor Waldbrand	akt. Vegetationsverhältnisse [%]		
					Fels/Schutt, leichte VB	Gehölz	lückige - dichte AR
Bettelwurf I	1909	1150-2150	37	Kr	74	4	22
Arnspitze Ost 11	1911	1460-1960	25,4	Kr	65	6	29
Altweiberbrand	1915	1260-2160	57	Kr	53	8	39
Brunnstein W. I	1920	1600-2100	15	Kr	74	9	17
Zunderkamm	1928	1440-1820	9,4	Kr	52	8	40
Arnspitze Ost 37	v. 1937	1540-1900	8	Kr	80	-	20
Bettelwurf II	1946	1260-2080	112	Kr, Lä	63	7	30
Arnspitze Süd	1946	1200-2000	106	Kr, Ki	92	3	5
Brandstatt II	1947	1440-2040	36	Kr	60	10	30
Brunnstein W. II	1949	1230-1820	29	Kr, Ki, Lä, Fi	74	9	17
Brunnsteingrat	1970	1610-1650	0,3	Kr	100	-	-

VB: Vegetationsbedeckung, AR: Alpine Rasen

Neben den oben aufgeführten Waldbrandflächen mit sporadischer Vegetationsbedeckung sollten noch jene erwähnt werden, die wohl auf die Großereignisse 1635 bzw. 1705 im Ostkarwendel zurückgehen (vgl. 4.1.6), aber aufgrund der fehlenden exakten Zuordenbarkeit nicht in die eingangs des Kapitels erwähnten Analysen einbezogen wurden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang Hänge im Einzugsgebiet des Stallentales nördlich von Vomp (Gamsgarten, Kircheng'wänd, Brentenkopf) sowie in unmittelbarer Umgebung des Achensees (Seekar- und Seebergspitze, Bärenkopf).

4.3.3 Das Nebeneinander von Gehölzen und alpinen Rasen

Diese Bewuchsklasse ist charakterisiert durch einen hohen Anteil an lückigen und hauptsächlich dichten alpinen Rasen, die in enger Verzahnung mit Legföhren bzw. Bäumen ausgebildet sind (Abb.58). Bereiche ohne bzw. mit sporadischem Bewuchs spielen nur eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu dieser Vegetationskombination, wie Tab.36 zeigt. Die Waldbrandflächen sind zwischen 52 und über 300 Jahre alt und ihre Lage beschränkt sich mit Ausnahme der Thaurer Alm überwiegend auf die montane Stufe. Die Entwicklung insbesondere des Gehölzbewuchses auf der Thaurer Alm ist vor dem Hintergrund des großen Regenerationszeitraumes zu sehen.

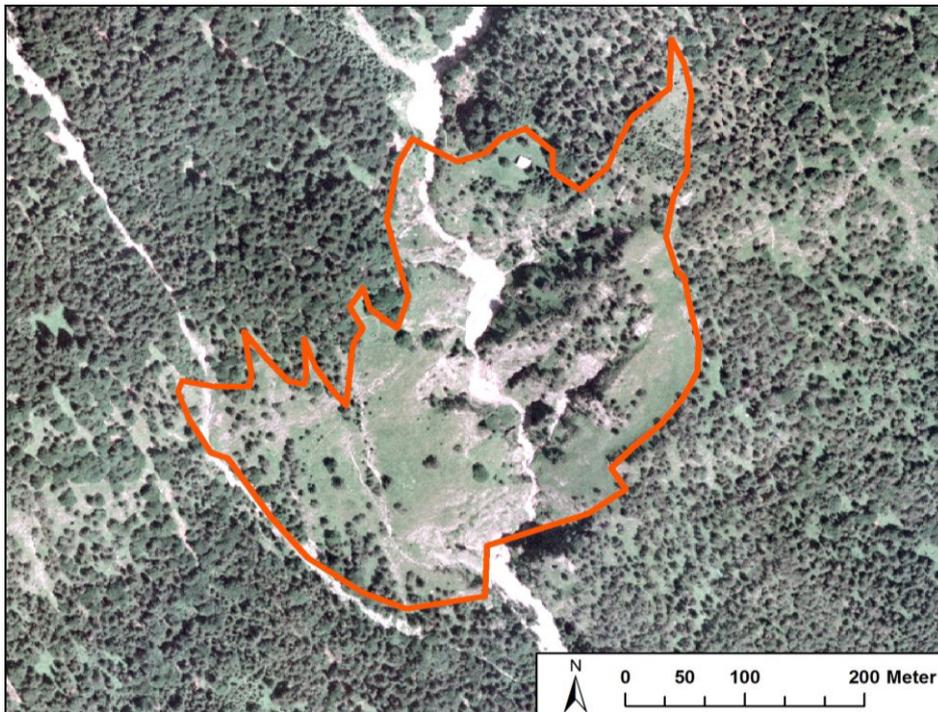


Abb.58: Orthofoto mit eingegrenzter Brandfläche Fallbachgraben (nach LAND TIROL-TIRIS 2007)

Tab.36: Eckdaten der Waldbrandflächen mit einer Kombination aus alpinen Rasen und Gehölzen

Name	Brand-jahr	Höhe [m ü.d.M.]	Fläche [ha]	Vegetation vor Waldbrand	akt. Vegetationsverhältnisse [%]		
					lückige - dichte AR	Gehölz	Fels/Schutt, leichte VB
Thaurer Alm	1810	1660-2060	41,5	Kr	41	24	35
Klammachtal	1892	1000-1240	6,3	Bu-Ta, Kr	30	45	25
Heuberg	1923	1020-1560	30	Kr, Ki	45	40	15
Ochsner	1929	1000-1050	1,7	Fi	60	30	10
Oberautal	1929	1080-1730	40	Fi-Ki, Kr	45	35	20
Herzwiese	1920er	1240-1660	30	Ki, Kr, Bu	47	33	20
Fallbachgraben	1942	940-1350	10,6	Kr, Ki	60	30	10
Obermieming	1949	1280-1580	2,7	Kr, Ki-Fi	60	20	20
Im Boasslig	1949	1500-1670	0,8	Kr, Ki (einzeln)	56	14	30
Hochmahdkopf	1950	1480-1600	1,5	Kr, Lä	40	40	20
Alphaus	1958	1440	0,1	Kr, Fi (einzeln)	45	55	-
Ladhüttenklamm	1960	940-1140	4,3	Kr, Ki	68	29	3

4.3.4 Die Etablierung (dichter) alpiner Rasen

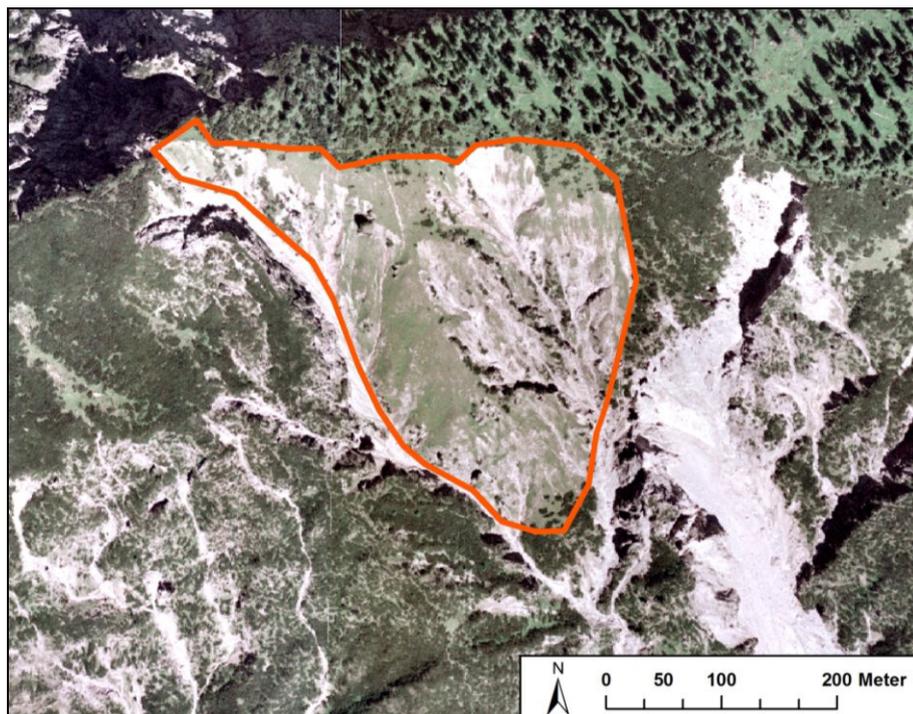


Abb.59: Orthofoto mit eingegrenzter Brandfläche Thaurer Zunterkopf (nach LAND TIROL-TIRIS 2007)

Obwohl dieser Kategorie, die durch die Dominanz überwiegend dichter alpiner Rasen (> 60 %) bei gleichzeitiger ausgesprochener Gehölzarmut (< 5 %) gekennzeichnet ist (vgl. Abb.59 und Abb.43a, S. 107), nur vier Waldbrandareale angehören, schien eine gesonderte Ausweisung aufgrund ihrer sehr prägnanten Alleinstellungsmerkmale gerechtfertigt. Als ein weiteres gemeinsames Spezifikum ist das Vorherrschen von Krummholz vor den Brandereignissen zu nennen. Die Höhenlagen aller Gebiete sind dagegen ebenso wie die Brandalter gänzlich unterschiedlich, wie Tab.37 zeigt.

Tab.37: Eckdaten gehölzärmer Waldbrandflächen mit sehr hohem Rasenanteil

Name	Brand-jahr	Höhe [m ü.d.M.]	Fläche [ha]	Vegetation vor Waldbrand	akt. Vegetationsverhältnisse [%]		
					(lückige -) dichte AR	Fels/Schutt, leichte VB	Gehölz
Th. Zunterkopf	1895	1600-1930	8,4	Kr	70	25	< 5
Raucheck	1911	1220-1400	2	Kr, Bu	90	5	< 5
Schützensteig	1960er	1940-2100	2,9	Kr	66	34	-
Schartlehner	1962	1690-2000	6	Kr	82	14	4

4.3.5 Die Dominanz von Fels und Schutt bei Gehölzanteilen von > 20 %

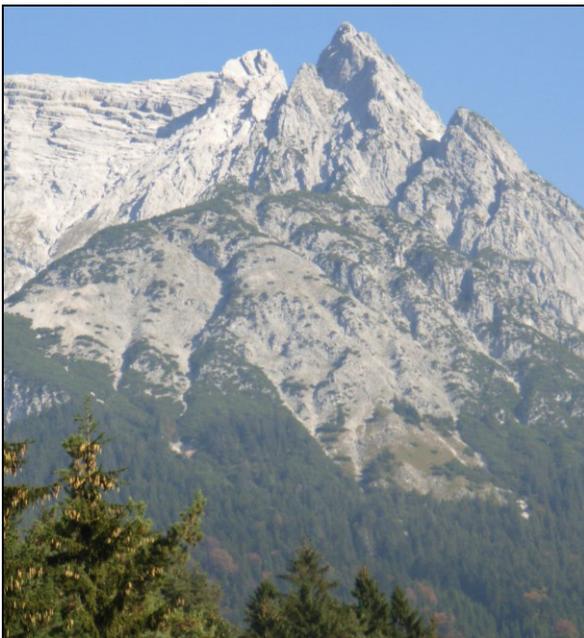


Abb.60: Hüttenspitze (Foto: Heel)



Abb.61: Boden-Sonnenseite (Foto: Heel)

Das gleichzeitig verbreitete Vorhandensein von weitgehend kahlen Fels- und Schuttpartien neben einer Gehölzbedeckung von über 20 % (vgl. Abb.60, 61) ist gemeinsames Charakteristikum einer weiteren Vegetationszustandskategorie, die sich im Untersuchungsraum auf elf Brandflächen eingestellt hat. Die Entstehung dieser liegt dabei z. T. über 100 Jahre auseinander, wobei die Bajazzbrunst mit dem

höchsten Brandalter aus dem Rest durch einen Gehölzanteil von 57 % deutlich hervorsteicht (Tab.38). Diesen Sachverhalt kann man auf deren vergleichsweise geringe Höhelage in Verbindung mit der größten zur Verfügung stehenden Regenerationszeit unter der (theoretischen) Annahme einer vergleichbaren Feuerheftigkeit bei allen Schadereignissen zurückführen. Die Vegetation vor den Bränden bestand interessanterweise überall mit Ausnahme des Sagkopfes hauptsächlich aus Krummholz, wie schon in 4.3.4 festzustellen war.

Tab.38: Eckdaten der Brandflächen mit verbreiteter Vegetationsarmut bei Gehölzanteilen > 20 %

Name	Brand-jahr	Höhe [m ü.d.M.]	Fläche [ha]	Vegetation vor Brand	akt. Vegetationsverhältnisse [%]		
					Fels/Schutt, leichte VB	Gehölz	lückige - dichte AR
Bajazzbrunst	1830er	1450-1800	10	Kr	32	57	11
Hinterhornalm	1865	1700-2140	26	Kr	65	25	10
Hüttenspitze	1866	1460-1840	10	Kr, Bu-Ta	51	25	24
Unterer Sagkopf	1922	1280-1640	9	Kr, Ki, Fi, Lä	48	45	7
Arntal 1923	1923	1480-1860	9	Kr, Fi	60	33	7
Boden-Sonnenseite	1924	1500-2120	14	Kr, Fi/Ki (einzeln)	50	45	5
Katzenkopf	1942	1320-1800	23	Kr, Ki, Lä	69	27	4
Brunnstein Ost	1942	1180-2080	102	Kr	71	23	6
Brandstatt I	1945	1420-1710	13	Kr, Lä	65	25	10
Arnspitze Ost 47	1947	950-2000	100	Kr, Fi	55	25	20
Hohe Munde	1947	1000-1860	43	Kr	50	25	25

4.3.6 Vergleichsstudie zweier Areale aus dem Jahr 2003

- Die Brandfläche Issanger

a) Übersicht

Die aktuelle Vegetation des gesamten ursprünglich von einem durch einzelne größere grasige Freiflächen in der südlichen und östlichen Mitte durchsetzten Latschenhanges setzt sich im Groben aus vier Untereinheiten unterschiedlicher Größe zusammen (Abb.62). Die größte Einheit wird dabei von einem kleinräumigen Mosaik aus Pionierarten (u.a. *Coronilla vaginalis*, *Hippocrepis comosa*, *Calamagrostis varia*, *Carex flacca*) und Arten des vormaligen Legföhrengbüsches (u.a. *Vaccinium vitis idaea*, *Sorbus chamaemespilus*, *Rosa pendulina*) gebildet. An zweiter Stelle, mit einem deutlich geringeren Anteil an der Gesamtfläche, sind jene Bereiche zu nennen, die von sich regenerierenden Spezies des vormaligen Latschengbüsches dominiert werden. Hinzu kommen schließlich noch die überwiegend von Pionierarten bestandenen Flächen und die nur äußerst sporadischen Vorkommen noch intakter

Legföhrenbestände. Dort, wo die Höttinger Breccie unmittelbar ansteht, herrscht Vegetationslosigkeit vor.

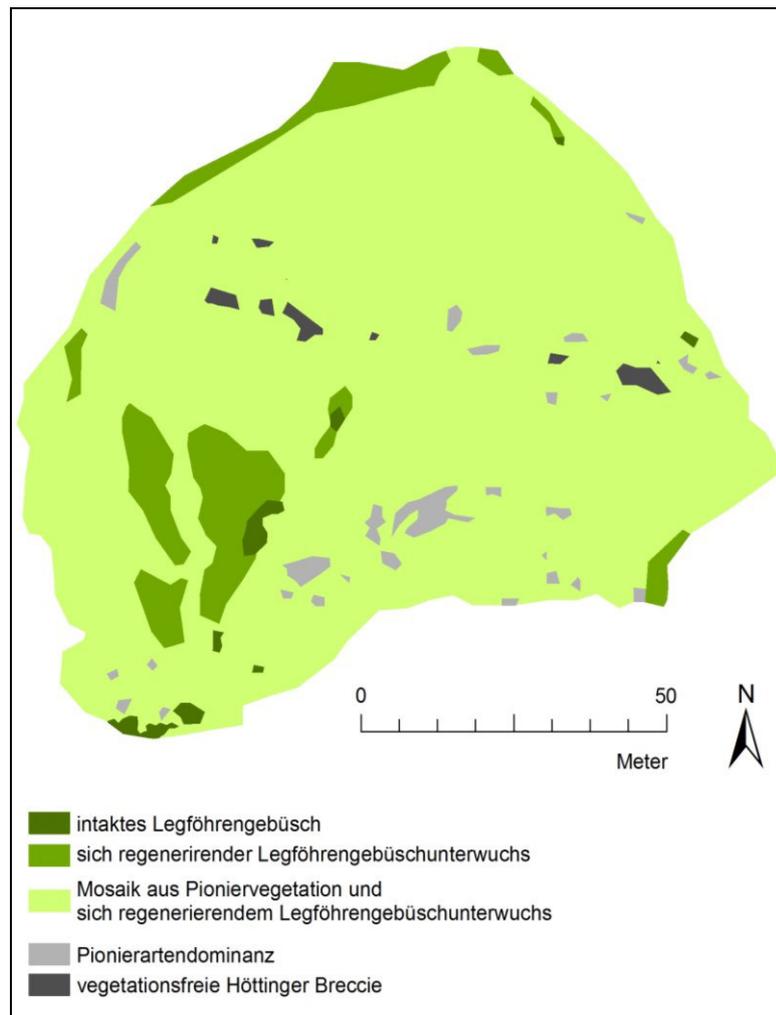


Abb.62: Vegetationsverteilung auf der Brandfläche Issanger 2009

b) Situation im Bereich der Monitoringflächen

Die verschiedenen Aufnahmefelder unterscheiden sich überwiegend deutlich in ihrem Artbestand (s. Artenlisten im Anhang), wie auch die Jaccard-Koeffizienten in Tab.39 erkennen lassen, die kaum Werte über 0,5 erreichen. Auffällig ist, dass die Werte im Vergleich zu dem in unmittelbarer Nähe der Brandfläche kartierten intakten Legföhrengebüsch (A5) allesamt relativ gering ausfallen und hier sogar das Minimum von 0,15 (A7 <-> A5) erreicht wird. Hieraus lässt sich ableiten, dass sich in Folge des Brandes wohl erhebliche Veränderungen im Pflanzenbestand vollzogen haben, wenngleich zwischen den im Vorfeld schon grasigen Bereichen - A1, A2 und A4 liegen z.T. darin - und dem eigentlichen Latschenfeld schon vorher große Unterschiede bestanden. Einschränkend kommt des Weiteren die Unkenntnis des exakten vormaligen Bewuchses des Latschenbereichs vor dem Brandereignis hinzu.

Tab.39: Ähnlichkeitskoeffizienten der Monitoringflächenvegetation nach JACCARD (1928)

	A3	*A5	A6	A7	A8	A9	A1	A2	A4
A3	1	0,33	0,33	0,3	0,37	0,31	0,35	0,45	0,32
A5		1	0,3	0,148	0,21	0,3	0,28	0,19	0,32
A6			1	0,458	0,27	0,25	0,42	0,46	0,48
A7				1	0,27	0,19	0,38	0,39	0,52
A8					1	0,28	0,21	0,31	0,38
A9						1	0,26	0,24	0,30
A1							1	0,41	0,51
A2								1	0,46
A4									1

*Referenzstandort

Beteiligung von Arealen mit Anteilen an Grasflächen bereits vor dem Brand

Die Artenzusammensetzung ist von mehreren Faktoren abhängig. Zu nennen sind in erster Linie der Pflanzenbestand vor dem Brand, die spezifischen lokalen Eigenschaften des Feuers und damit der Schädigungsgrad der ursprünglichen Bestockung und die Modifikation des Bodens und seiner Eigenschaften sowie die Intensität der Bodenverlagerung innerhalb der einzelnen Monitoringflächen. Diese Größen steuern im Wesentlichen neben dem gegenseitigen Konkurrenzkampf die Vegetationsverteilung auf der gesamten Brandfläche und haben ein entsprechendes Standortmosaik geschaffen, das das Aufkommen von Pflanzen mit unterschiedlichsten Ansprüchen unmittelbar nebeneinander ermöglicht (vgl.5.3.6). Hierauf weisen die Auswertungen der ökologischen Zeigerwerte der in den Aufnahmefeldern kartierten Arten hin. Eine Auswahl an Eckwerten aus dem Bereich A3 bietet Tab.40. Am auffälligsten ist hier wohl die große Bandbreite an Werten bei den Stickstoffzahlen (N), die von 1 (ausgesprochene Nährstoffarmut) bis 8 (übermäßig nährstoffreich) reicht. Dieser Standortfaktor dürfte in besonders enger Verbindung mit dem Brandgeschehen stehen.

Tab.40: Ausgewählte Zeigerwerte aus Monitoringfläche A3

Art	L	T	K	F	R	N
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	5	x	5	4~	2	1
<i>Carex flacca</i>	7	x	3	6	8	x
<i>Senecio vulgaris</i>	7	x	x	5	x	8
<i>Verbascum thapsus</i>	8	x	3	4	7	7
<i>Petasites paradoxus</i>	8	3	4	6	8	3
<i>Rosa pendulina</i>	6	4	2	5	7	6
<i>Coronilla vaginalis</i>	6	x	4	3	9	2
<i>Valeriana montana</i>	8	2	2	5	9	2
<i>Calamagrostis varia</i>	7	3	4	5~	8	3

L: Lichtzahl, T: Temperaturzahl, K: Kontinentalitätszahl, F: Feuchtezahl, R: Reaktionszahl, N: Stickstoffzahl

Bei der Betrachtung des jeweiligen Artenreichtums sind ebenso große Schwankungen festzustellen, die im Maximum zwischen zehn Spezies im Feld A9 und 35 in Areal A1 liegen, wobei die Vergleichsfläche (A5) 17 Arten aufweist (s. Tab.41).

Es ist anzunehmen, dass die Schaffung neuer Standorte durch das Feuer und dessen Auswirkungen zu einer Erweiterung des ursprünglich vorhandenen Artenspektrums geführt hat. Das zuweilen massierte Auftreten von für diese Höhenstufe absolut untypischen Spezies wie etwa *Verbascum thapsus* (Abb.63a) oder *Senecio vulgaris*, die durch ihre hohen N-Zahlen auf einen durch den Brand verursachten Düngeneffekt schließen lassen, sind ein klarer Hinweis darauf. Des Weiteren spricht für diese Annahme das verbreitete Vorkommen von Lichtpflanzen wie etwa *Valeriana montana* an Stellen, die vormalig von dichtem Legföhrengbüsch bestanden waren oder das Vorhandensein offen liegender Böden mit der Neuansiedlung von *Coronilla vaginalis* (Abb.63b) oder *Carex flacca*, einem ausgesprochenen Rohbodenpionier nach BRIEMLE (1997).

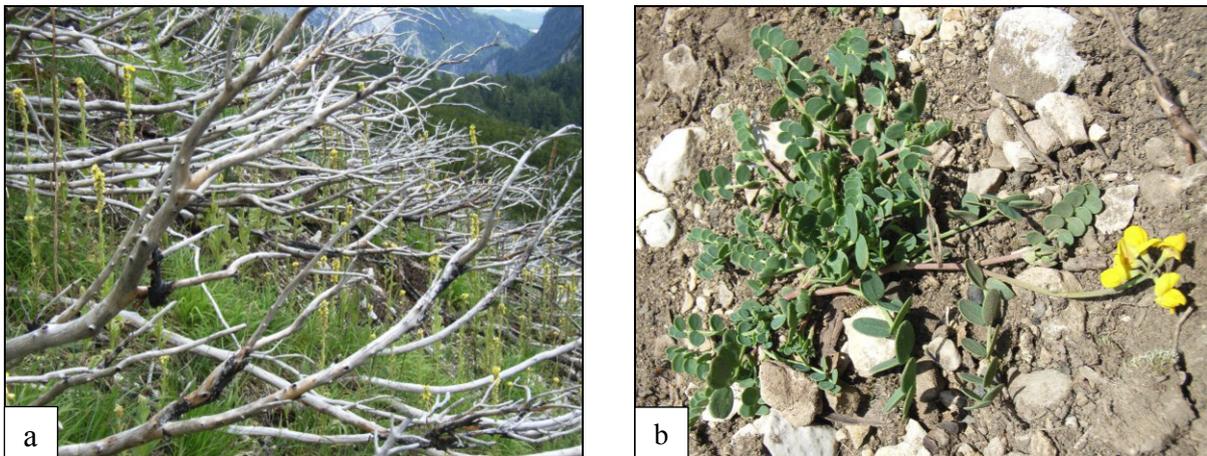


Abb.63: *Verbascum thapsus* (a) u. *Coronilla vaginalis* (b) auf der Brandfläche Issanger (Fotos: Heel)

Die bereits bei den Artenzahlen und beim Artbestand festgestellten Unterschiede zeigten sich auch in Zusammenhang mit dem Grad der Vegetationsbedeckung (s. Tab.41). Die aus allen Erhebungen zwischen 2007 und 2009 gebildeten Mittelwerte liegen beispielsweise im Falle von A1 und A9 nahe der 100 %, die ansonsten nur auf der Bezugsfläche A5 erreicht werden. Andere Flächen dagegen (A7, A8) sind zu weniger als einem Drittel mit Vegetation bedeckt.

c) Entwicklung der Brandflächenvegetation 2007 bis 2009

Zwischen 2007 und 2009 konnten auf den jeweiligen Monitoringstandorten überwiegend keine bedeutenden bzw. gerichteten Veränderungen von Artbestand und Artenzahl festgestellt werden (Tab.41). Ausnahmen hiervon sind die Flächen A3 und A4, die beide eine starke - im Fall von A4 auch kontinuierliche - Artenzunahme aufweisen. Hier sind offensichtlich noch Neubesiedlungsprozesse auf einem durch das Feuer sowie Erosions- und Ablagerungsvorgänge neu geschaffenen Standortmosaik im Gange. Ein Teil der in Tab.41 erkennbaren annualen Schwankungen ist aber wahrscheinlich auch der

Tatsache geschuldet, dass nicht immer alle Arten trotz mehrmaligen Geländeaufenthaltes während der Vegetationszeit zu erfassen waren. Die Hauptursache für die verbreitet geringeren Artenzahlen 2007 ist die Durchführung von nur einer Pflanzenaufnahme aufgrund des Untersuchungsschwerpunktes im Bereich der Geomorphodynamik zu Beginn der Geländearbeiten. Diese Punkte sind bei der aus der Tab.41 hervorgehenden über alle Aufnahmeflächen gemittelten Artenzunahme zu berücksichtigen.

Bei den Beobachtungen zur Entwicklung der Vegetationsbedeckung der einzelnen Monitoringareale konnten ebenso keine großen Unterschiede erkannt werden, wobei wiederum die Fläche A3 die Ausnahme bildet. Dies ist zum einen mit methodischen Schwierigkeiten verbunden, die im variierenden Deckungsgrad je nach Untersuchungstermin bzw. Witterungsverlauf liegen. Zum anderen ist davon auszugehen, dass die zunehmende Umlagerungsdynamik auf dem Hang (s. 4.2.3) lokal die weitere Ausbreitung der Pflanzen verhindert bzw. wie im Fall von A3 die Vegetation sogar merklich zurück drängt. Über alle Aufnahmestandorte hinweg zeichnet sich im Mittel eine leichte Abnahme der Vegetationsbedeckung ab.

Tab.41: Vegetationsbedeckungsgrade [%] und Artenzahlen auf den Monitoringflächen 2007-2009

	A1	A2	A3	A4	*A5	A6	A7	A8	A9	¹ A1-A9
Deckung 2007	95	50	95	55	100	67	34	30	100	66
Deckung 2008	90-95	50-55	55	55-60	100	55	25-30	20-25	100	58
Deckung 2009	90	55	65	65	100	55	33	15-20	90	59
Artenzahl 07	27	15	12	12	17	16	14	8	6	38
Artenzahl 08	35	22	26	16	17	21	14	13	7	51
Artenzahl 09	32	19	24	22	17	15	15	12	10	45

Areale mit Anteilen an Grasflächen bereits vor dem Brand; *Referenzstandort; ¹ohne A5

Bemerkenswert ist außerdem, dass in 2009 die in den Jahren zuvor eindrucksvoll ausgebildeten Individuen von *Verbascum thapsus* eindeutig kleiner ausgeprägt waren, was auf eine geringer werdende Nährstoffverfügbarkeit bzw. ein Nachlassen des feuerinduzierten Düngeeffektes hindeutet.

Ebenfalls ins Auge stach das allmähliche Verrotten von *Pinus mugo* über beinahe den gesamten Brandhang ohne eine gleichzeitig feststellbare Regeneration dieser Spezies (Abb.63a), während andere typische Legföhrengbüscharten wie z.B. *Vaccinium vitis-idaea*, *Sorbus chamaemespilus* oder *Rosa pendulina* scheinbar problemlos wieder von neuem aufkommen.

Auf längere Sicht kann davon ausgegangen werden, dass die Brandfläche frei von *Pinus mugo* bleiben und sich ein Mosaik aus von vor dem Brand existenten Arten, Spezies aus der Höhenstufe der alpinen Matten sowie gänzlich vegetationsfreien Hangpartien ausbilden wird. Vom Erscheinungsbild her (vgl. Abb.59 und Abb. 40 in 4.1.6) ist am ehesten eine Entwicklung zu der unter 4.3.4 beschriebenen Kategorie „Etablierung (dichter) alpiner Rasen“ zu erwarten.

- Die Brandfläche Im Ödkarl Brennten

Aus den Pflanzenaufnahmen oberhalb des Vomperlochs ergab sich verglichen mit den Aufnahmefeldern am Issanger fast durchwegs ein wesentlich kleineres, zwischen acht und elf Spezies umfassendes Artenspektrum, das im Einzelnen in Tab.42 aufgelistet ist.

Tab.42: Eckdaten der Vegetationskartierungen auf der Brandfläche Ödkarl 2008

Aufnahmefelder:	B1	B2	*B3 (Referenz)
Vegetationsdeckung:	33 %	80 %	100 %
Artenzahl:	8	11	10
Artenspektrum:	<i>Erica carnea</i>	<i>Erica carnea</i>	<i>Erica carnea</i>
	<i>Carex sp.</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Calamagrostis varia</i>
	<i>Lycopodium sp.</i>	<i>Lycopodium sp.</i>	<i>Juniperus communis</i>
	<i>Rosa pendulina</i>	<i>Melampyrum sylvaticum</i>	<i>Pinus mugo</i>
	<i>Spross, unbestimmbar</i>	<i>Rhododendron hirsutum</i>	<i>Rhododendron hirsutum</i>
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Rosa pendulina</i>	<i>Rubus saxatilis</i>
	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Rubus saxatilis</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>
	<i>Verbascum thapsus</i>	<i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Sorbus chamaemespilus</i>
		<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>
		<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
		<i>Verbascum thapsus</i>	

Zusätzlich zu den innerhalb der Kartierungsgebiete erfassten Arten wurden außerhalb dieser noch 13 weitere Spezies angetroffen: *Potentilla erecta*, *Fragaria vesca*, *Juniperus Communis*, *Lotus corniculatus*, *Daphne striata*, *Thymus praecox*, *Galium anisophyllum*, *Larix decidua*, *Pinus sylvestris*, *Pinus mugo*, *Taraxum sp.*, *Cirsium sp.* sowie ein nicht näher zu bestimmender Farn.

Es kann von einem Pflanzenbestand im Umfang von mindestens 27 Arten auf der gesamten Brandfläche ausgegangen werden, während am Issanger 2008 eine Zahl von minimal 51 erreicht wird. Bei Außerachtlassen der Pflanzen, die sich allein in den grasbeeinflussten Monitoringflächen A1, A2 und A4 nachweisen ließen, liegt der Wert mit 38 immer noch weit über demjenigen der Lokalität Ödkarl. Als Ursache für diese relative Artenarmut kann die geringere Schädigung der ursprünglichen Vegetation durch das Feuer, die auch gut anhand der weniger stark als am Issanger in Mitleidenschaft gezogenen Legföhren nach zu vollziehen ist (vgl. Abb.64), angeführt werden. In Folge dessen und wegen der kaum zu beobachtenden Verlagerungsdynamik von Boden entstand hier kein solch vielfältiges Standortmosaik, das einer Vielzahl an Spezies neue Lebensräume bietet. Vielmehr konnte überwiegend nur die Regeneration von sehr wahrscheinlich bereits vor dem Störungsereignis vorhandenen Arten beobachtet werden. Die wohl interessanteste Ausnahme stellt der Nährstoffzeiger *Verbascum thapsus* dar, der jedoch hier nicht in so auffällig in Erscheinung trat, wie im Issangergebiet.



Abb.64: Brandgeschädigte Legföhren und weitgehend intakter Unterwuchs auf der Brandfläche Ödkarl (Foto: Heel)

Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass die Brandfläche Issanger ausgehend von den beiden Referenzarealen A5 und B3 wahrscheinlich bereits vorher über ein größeres Pflanzenspektrum verfügt hat. Hinzu kommt, dass die Zuwanderungsmöglichkeiten von bestandsfremden Arten im Gebiet Ödkarl aufgrund seiner Isoliertheit verglichen mit der Situation im Halltal, wo beispielsweise in unmittelbarer Nähe die ehemalige Weidefläche des Issangers gelegen ist, doch eher begrenzt sind. Außerdem ist die unterschiedliche Größe der beiden Schadflächen zu berücksichtigen.

Auf der Brandfläche ist daher zukünftig mit der Dominanz von Arten zu rechnen, die typisch für Latschenbestände sind (u. a. *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Sorbus chamaemespilus*), jedoch nur inselhaft mit dem Vorhandensein von *Pinus mugo* selbst. Eine Zuordnung zu dem unter 4.3.3 erörterten Vegetationsbild „Nebeneinander von Gehölzen und alpinen Rasen“ dürfte wohl am besten zutreffen.

Wie eine Auswertung der Jaccard-Koeffizienten der drei Vegetationsaufnahmen ergab (Tab.43), ähneln sich B2 und B3 durchaus, wie auf den ersten Blick auch schon vermutet. Dagegen unterscheiden sich aber offensichtlich B1 und B3 doch maßgeblich von einander, was auf einen größeren Einfluss des Feuers auf die Vegetation in B1 hindeuten aber genauso Ergebnis eines bereits vorher bestehenden Unterschiedes sein könnte.

Stellt man zusätzlich die Kartierungen vom Issanger mit Ausnahme derer mit hohem Gräseranteil (A1, A2, A4) den Ergebnissen vom Ödkarl gegenüber, so ergibt sich die in Tab.43 dargestellte Matrix.

Daraus lässt sich erkennen, dass zwischen einzelnen Flächen durchaus Ähnlichkeiten bestehen, wie etwa im Fall B1 und A8 oder B2 und A8. Weitestgehend scheint es aber große bis sehr große Abweichungen zu geben. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass sich die Vegetation auf den beiden Brand-

hängen trotz scheinbar vergleichbarer topographischer und klimatischer Rahmenbedingungen in weiten Teilen verschieden entwickelt hat, wie bereits angedeutet wurde.

Tab.43: Vegetationsaufnahmenvergleich Issanger (A) - Ödtkarl (B) nach JACCARD (1928)

	B1	B2	*B3	A3	*A5	A6	A7	A8	A9
B1	1	0,46	0,21	0,19	0,25	0,08	0,05	0,31	0,2
B2		1	0,54	0,25	0,33	0,17	0,08	0,39	0,24
B3			1	0,17	0,35	0,15	0,09	0,21	0,43

*Referenzstandort

4.3.7 Fazit

- Die meisten aller entstandenen Waldbrandflächen befinden sich aktuell in einem Stadium, das intakt erscheinende Gehölzbestände aufweist, so dass sie im heutigen Vegetationsbild nicht mehr auffallen.

- Von den 50 näher untersuchten Schadarealen sind zehn als regeneriert zu betrachten, wobei fast 100 % davon in der Bergwaldstufe liegen. Bei den restlichen 40 der noch Brandfolgeerscheinungen aufweisenden Gebiete ist dagegen schwerpunktmäßig eine Lage in ehemals von Krummholz dominiertem Gelände gegeben. Es liegt daher der Schluss nahe, dass sich Krummholzvorkommen schwerer erholen als der Bergwald, was insbesondere mit artspezifischen Eigenschaften von *Pinus mugo* und topografischen Parametern wie Geländeneigung und/oder Höhenlage in Zusammenhang stehen dürfte. Die Regenerationszeiträume größerer Brandflächen bewegen sich dabei im Bergwald je nach Ausgangsbedingungen zwischen drei bis acht Jahrzehnten, während im Latschengürtel einige Jahrhunderte zu veranschlagen sind.

- Verschieden alte Brandflächen zeigen ein gleiches Erscheinungsbild, ebenso wie solche mit vergleichbarem Alter sich enorm von einander unterscheiden können. Daraus geht hervor, dass neben dem Brandalter noch weitere Faktoren die Vegetationsentwicklung beeinflussen.

- Neben den bisher genannten kommen an möglichen steuernden Elementen unter Zugrundelegung des bisher dargelegten außerdem in Frage:

- Oberflächenrauigkeit der Schadfläche u. a. in Abhängigkeit vom Schichtfallen
- Vormaliger, überlebender und benachbarter Pflanzenbestand
- Art, Heftigkeit und Intensität des Brandes
- Vorherrschende Morphodynamik
- Bodenverfügbarkeit und -eigenschaften

- Des Weiteren ist davon auszugehen, dass auch Verteilungsmuster und Artzusammensetzung der möglicherweise überlebenden Mikroorganismen auf der Brandfläche, deren Größe, Exposition und Mikroklima, das Ausgangsgestein, zoologische oder anthropogene Einflüsse, die verfügbare Samenbank im Boden sowie das lokale Feuerintervall von Bedeutung bei der Vegetationsentwicklung nach einem Waldbrand sind. Außerdem steht außer Frage, dass einige der aufgeführten Faktoren in enger Beziehung zueinander bzw. in direkter Abhängigkeit voneinander stehen.

Eine eingehendere Diskussion entsprechender Zusammenhänge erfolgt in 5.3.6.

- Waldbrände erhöhen in Abhängigkeit ihrer Eigenschaften (kurzfristig) die Artenvielfalt durch mitunter kleinräumige Modifizierung von Standortparametern

5. Diskussion der Ergebnisse

Anhand von einigen Beispielen aus dem Alpenraum (vgl. Abb.65) und aus bekannten Waldbrandgebieten der Erde sollen im Folgenden einzelne Aspekte des unter Punkt 4 erläuterten Waldbrandgeschehens und dessen Folgeerscheinungen in einen größeren Zusammenhang gebracht werden.

In Ermangelung ausreichend abgesicherter bzw. nicht vorhandener Vergleichsdaten kann bei der Betrachtung der jüngeren Waldbrandhistorie maximal auf die letzten 110, z.T. jedoch nur auf die vergangenen 30 bzw. 25 Jahre eingegangen werden. Zu berücksichtigen ist ferner, dass nicht in allen herangezogenen Statistiken von einer eindeutigen Unterscheidung zwischen Waldbränden und Brandereignissen in anderen Vegetationsformationen auszugehen ist. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Zahlen aus unterschiedlich großen Bezugsräumen zu gestatten, sind die entsprechenden Werte nach Möglichkeit auf eine Einheitsfläche von 100 km² - im Idealfall Wald - umgerechnet. Es werden aber auch absolute Werte aus einzelnen Regionen vorgestellt.

5.1 Das Waldbrandgeschehen in anderen Alpenregionen zum Vergleich

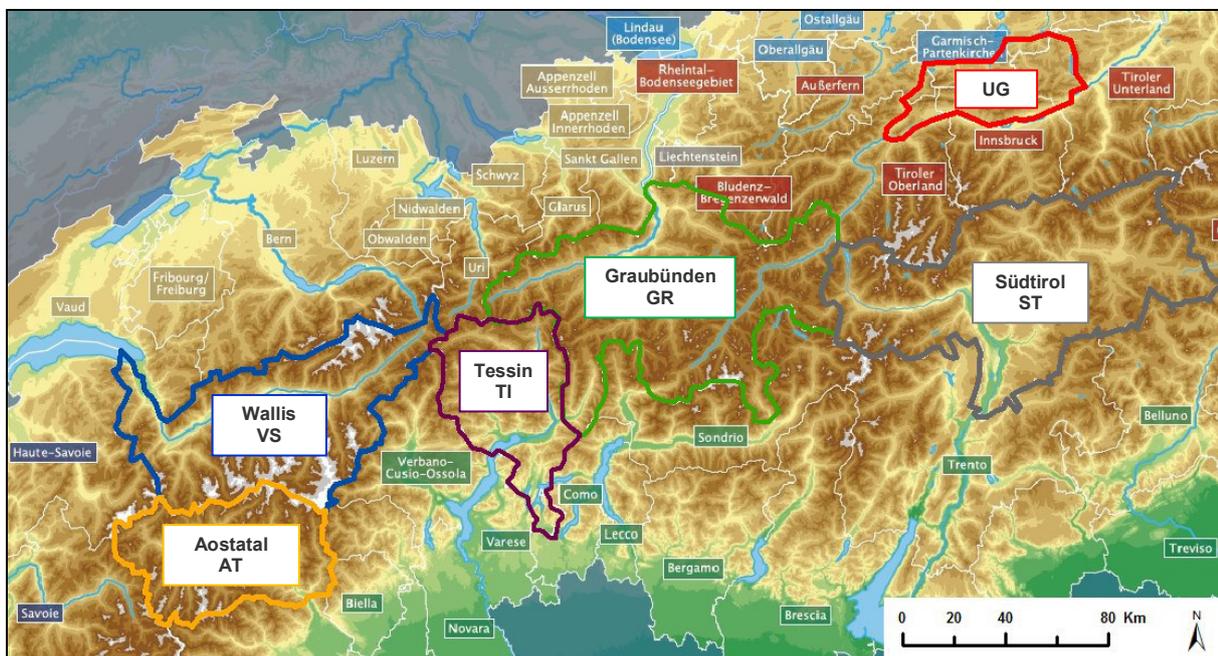


Abb.65: Lage der inneralpinen Vergleichsgebiete (nach TIROL ATLAS 2007)

5.1.1 Waldbrandhäufigkeiten in den Nord-, Zentral- und Südalpen 1900-2010

An verlässlichen, über 100 Jahre zurückreichenden Datenreihen zu Waldbränden im Alpenraum stehen zu Vergleichszwecken mit den eigenen Erhebungen in den Nördlichen Kalkalpen bisher nur Informationen für die schweizer Kantone Wallis (VS, Zentralalpen) und Tessin (TI, Südalpen) aus der nationalen Waldbranddatenbank Swissfire von PEZZATTI (2012) zur Verfügung. Nach ZUMBRUNNEN ET AL. (2011) stellen Waldbrände in beiden Regionen eine Gefahr für Mensch und Infrastruktur dar,

wenngleich das hauptsächliche Gefahrenpotential analog zu den Nördlichen Kalkalpen in den seltensten Fällen von den Bränden selbst ausgeht, sondern vielmehr von deren möglichen Auswirkungen etwa in Form von Steinschlag, Murgängen, Veränderungen in der Abflussdynamik oder Lawinen (vgl. CONEDERA 2009), worauf in Kapitel 5.3 noch näher eingegangen wird.

Abbildung 66 zeigt die Anzahl der Waldbrände pro 100 km² Waldfläche im Zeitraum zwischen 1900 und 2010 in den eben erwähnten Gebieten im Vergleich zum Untersuchungsraum. Es ist deutlich zu erkennen, dass Waldbrände im Tessin, dem nach CONEDERA (2009) feueranfälligen Landesteil der Schweiz, große Schwankungen in ihrem jährlichen Auftreten aufweisen und wesentlich häufiger sind als in den beiden anderen Teilräumen, was auch die absoluten Werte in Abb.67 andeuten.

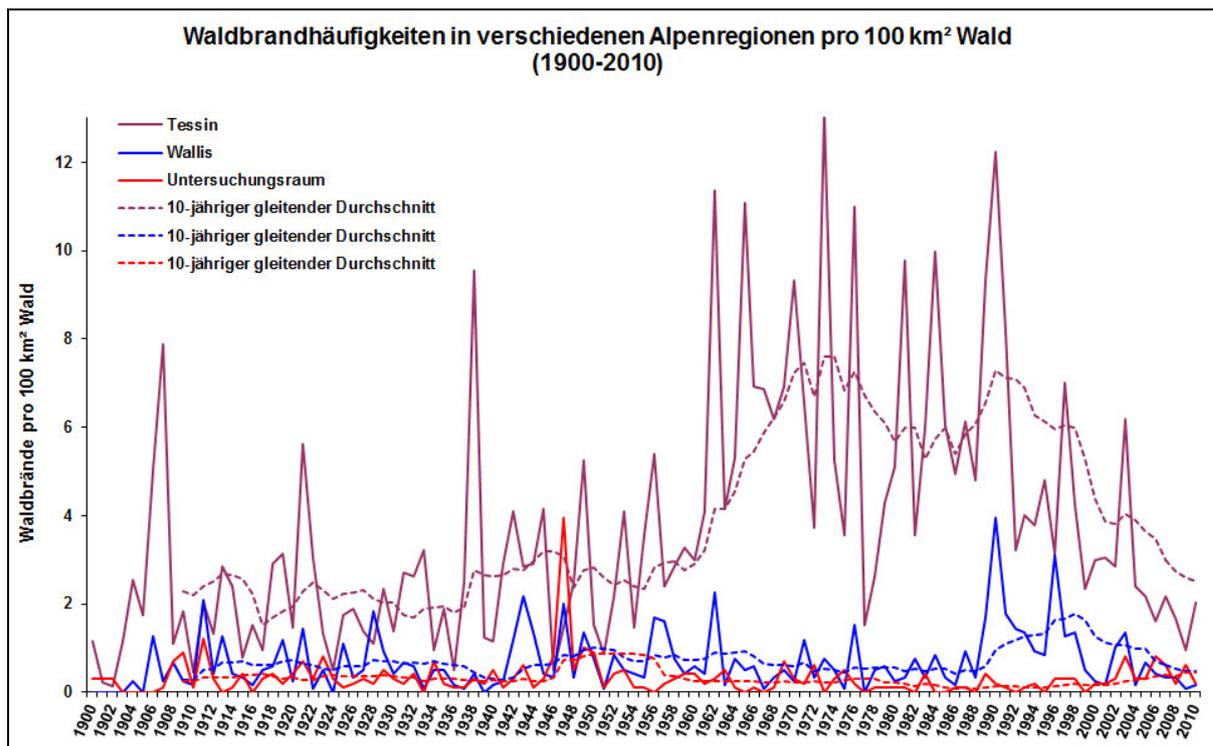


Abb.66: Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012))

Im Mittel lässt sich eine in Bezug auf das Untersuchungsgebiet über zehnmal höhere Waldbrandhäufigkeit für das Südalpenkanton konstatieren. Dies ist zum einen auf die Einflüsse des in den tieferen Lagen des südlichen und zentralen Tessins vorherrschenden, Brände begünstigenden, insubrischen Klimas zurück zu führen. Es zeichnet sich gemäß SPINEDI & ISOTTA (2005) durch trockene und milde Winter, durchschnittlich 40 Nordföhntage pro Jahr mit Luftfeuchtwerten z. T. um nur 20 % sowie lange niederschlagsfreie Phasen im Sommer, die mit Gewittern und kurzen, heftigen Niederschlagsperioden im Wechsel stehen, aus. Mitverantwortlich für die große Differenz ist aber auch eine kantonal von ca. 1960 bis 1990 andauernde Periode mit weit überdurchschnittlich vielen Ereignissen, in die auch das Maximum von 13 Ereignissen im Jahr 1973 fällt. Den raschen Anstieg der Waldbrandzahlen am Ende der 1950er Jahre führt CONEDERA (2009) dabei ausdrücklich auf sozioökonomische Entwick-

lungen zurück, die Veränderungen in der Landnutzung mit sich brachten und zur Anhäufung von (leicht) brennbarem Material auf Bracheflächen und in den Wäldern führten; klimatische Einflüsse schließt er weitestgehend aus. Erst etwa 50 Jahre später fiel die Waldbrandhäufigkeit insbesondere durch Verbesserungen in der Feuerprävention hauptsächlich durch die Schaffung entsprechender gesetzlicher Rahmenbedingungen auf das Level vor 1960 zurück. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit für die große Anzahl von Brandfällen im Tessin ist die nach PEZZATTI ET AL. (2009) offensichtlich besonders große Feueranfälligkeit der gerade in den Lagen unterhalb von 1000 Meter ü.d.M. verbreiteten Laubwaldbestände, die zu großen Teilen von der Edelkastanie (*Castanea sativa*) dominiert werden. Vor allem im Winter, wenn eine fehlende Schneedecke und Beschattung ein völliges Austrocknen der im Übermaß vorhandenen Bodenstreu nach sich ziehen, können hier von Menschenhand verursacht sehr leicht Waldbrände entstehen.

Lediglich zu Beginn des 20. Jahrhunderts (1901, 1902) und Mitte der 1940er Jahre (1946, 1947) übersteigen die Waldbrandzahlen im Untersuchungsgebiet jene im Tessin, wobei 1947 der Unterschied am deutlichsten ausfällt. Mit rund vier Ereignissen pro 100 km² Waldfläche wird in diesem für die Nördlichen Kalkalpen extremen Jahr auch das 110-jährige Mittel des südschweizerischen Kantons übertroffen (vgl. Tab.44). Das Auftreten dieser Ausnahmesituation im Untersuchungsraum ist auf das Zusammentreffen von zwei maßgebenden Faktoren zurück zu führen: Einerseits herrschte mehrere Monate eine äußerst waldbrandförderliche Witterung vor - in der Fachliteratur wird von einem Jahrhundert-, Steppen- bzw. Dürresommer mit wiederkehrenden Trockenperioden berichtet (s. u. a. GREBE 1948; GEIGER 1950; Z'GRAGGEN 2006). Andererseits lag 1947 bedingt durch den Krieg und einen der strengsten Winter des 20. Jahrhunderts nach NIKETTA (2003) ein besonders hoher Nutzungsdruck durch Nahrungsmittel- und Brennstoffbeschaffung, Wilderei und Weidewirtschaft auf dem Wald.

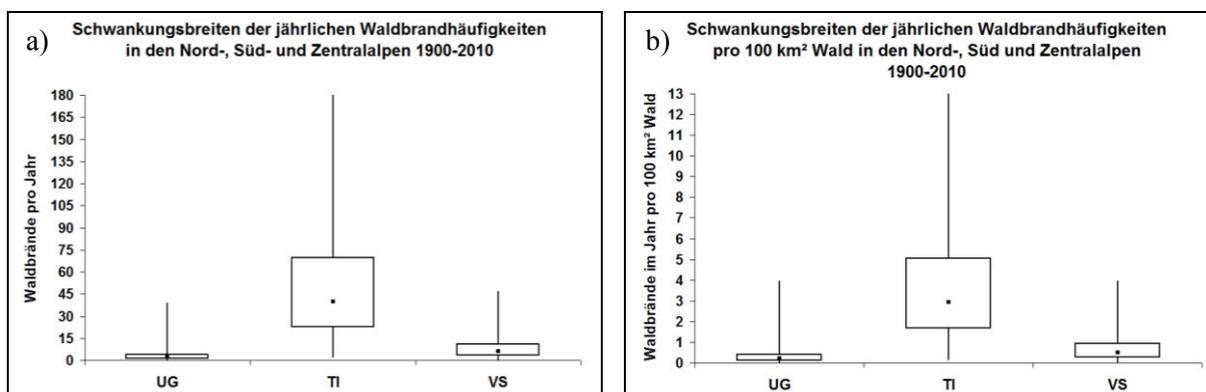


Abb.67: Schwankungsbreiten der absoluten (a) und relativen (b) jährlichen Waldbrandhäufigkeiten in den Nord-, Süd- und Zentralalpen (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012))

Im Kanton Wallis, dessen klimatische Rahmenbedingungen (kontinentales Klima, Föhn einfluss) und Siedlungsstrukturen (hohe Bevölkerungsdichte im Talraum) den trockeneren Teilen des Untersuchungsraums durchaus ähnlich sind, brennt es durchschnittlich gut doppelt so oft wie in den Nördlichen Kalkalpen (s. Tab.44). Generell fallen die Unterschiede wesentlich geringer aus als im Vergleich

zum Tessin, wie Abb.66 und Abb.67 zu entnehmen ist. Die Maximalwerte mit vier Ereignissen pro Jahr sind quasi identisch, wenngleich sie zu völlig verschiedenen Zeitpunkten auftreten (1947 bzw. 1990). Es lassen sich für das zentralalpine Kanton zudem im Unterschied mehrere markante Spitzen mit mehr als ein bzw. zwei Waldbränden pro Jahr feststellen, die 1990 und 1996 am ausgeprägtesten sind (s. Abb.66), obwohl gerade das Jahr 1990 laut GIMMI ET AL. (2004) als das feuchteste im Zeitraum 1902 bis 1999 in die Statistik der Klimastation der Meteo Schweiz in Sion eingegangen ist. Wie dieses Beispiel zeigt, muss ein vermehrtes Auftreten von Waldbränden nicht zwangsläufig an (auffällig) trockene Witterungsbedingungen gekoppelt sein. ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) stellten bei ihren Analysen der walliser Waldbrandhistorie zwischen 1904 und 2006 vielmehr fest, dass lediglich in der subalpinen Stufe eine gute Korrelation zwischen Feuerhäufigkeit und Niederschlag/Temperatur besteht (vgl. auch BAKER 2003), während in den klimatisch ohnehin feuerbegünstigteren Tallagen das große Potential an anthropogenen Zündquellen speziell seit den 1950er Jahren eine weitaus entscheidendere Rolle spielt. Zu einer ähnlichen Aussage kommen REINEKING ET AL. (2010), die in ihren Studien im Tessin den Witterungsbedingungen im Vorfeld von Blitzschlagbränden, die nach CONEDERA ET AL. (2006) in den Alpen hauptsächlich auf die Hochlagen beschränkt sind, eine wesentlich größere Bedeutung zuschreiben, als den Verhältnissen vor denjenigen Ereignissen, die von Menschen verursacht wurden. Weitere wesentliche, den Ausbruch von Waldbränden steuernde Faktoren, wie die Menge und Zusammensetzung des brennbaren Materials, die sowohl von natürlichen Gegebenheiten (Vegetationszusammensetzung, Topographie, etc.) als auch von der jeweiligen Waldnutzungsform abhängen, dürfen in diesem Zusammenhang allerdings nicht vernachlässigt werden (vgl. VEBLEN ET AL. 2000; HALL & BURKE 2006). So verweisen ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) beispielsweise in Bezug auf die vielen Brandereignisse im Jahr 1990 auf das Vorhandensein von außergewöhnlich viel Brandgut v. a. in unmittelbarer Bodennähe, das sich in Folge eines verheerenden Föhnsturmes im vorangegangenen Winter in den walliser Wäldern angehäuft hatte und durch eine intensivere Insolation mangels weiterer Beschattung schneller austrocknete und somit leichter entzündlich war. Eine Verbindung zwischen Sturmschäden und Waldbränden konnten auch KULAKOWSKI & VEBLEN (2007) in subalpinen Wäldern im Nordwesten Colorados herstellen. Neben Windwurfflächen begünstigen nach GRABHERR (1934a) auch ehemalige Waldbrandareale das Entstehen neuer Brände, da sie vor allem in Südexposition zeitig schneefrei sind, hohe Einstrahlung erhalten und Streuauflage und Bewuchs besonders leicht entflammbar sind, wie er in der Umgebung von Innsbruck wiederholt feststellen konnte. Einige der erwähnten Häufigkeitsspitzen in Graubünden spiegeln dennoch besonders trockene Jahre bzw. Perioden wieder, was speziell für 1906, 1911, 1921, die 1940er, 1962 oder 1996 gilt (ZUMBRUNNEN ET AL. 2009). In den Jahren 1911, 1921 sowie in den 1940ern kann man auch in den Nördlichen Kalkalpen ein mit Niederschlagsarmut und Hitzeperioden in Verbindung stehendes Ansteigen der Waldbrandzahlen feststellen, wenngleich insbesondere während und unmittelbar nach dem Zweiten Weltkrieg auch sozioökonomische Einflüsse berücksichtigt werden müssen (s. o.).

Betrachtet man in Abbildung 66 den Trend der Waldbrandhäufigkeiten in den drei Alpenregionen während der letzten zehn Jahre, so fällt auf, dass dieser in beiden schweizer Kantonen rückläufig ist. Im Untersuchungsraum hingegen ist nach ca. drei Jahrzehnten mit unterdurchschnittlich vielen Brandereignissen ein gut erkennbarer Anstieg zu verzeichnen und es findet eine Annäherung an walliser Verhältnisse statt, wie sie schon Ende der 40er, Anfang der Jahre 50er Jahre zu beobachten war. Als mögliche Ursache für diese gegenläufige Entwicklung ist der zunehmende Erfolg von Feuer verhindernden Maßnahmen in der Schweiz zu sehen, während der Waldbrandproblematik in den Nördlichen Kalkalpen von Forschungs- und Behördenseite erst nach und nach die notwendige Beachtung geschenkt wird und sich Steuerungsmechanismen sowie ein entsprechendes Bewusstsein bei der Bevölkerung erst etablieren müssen.

Tab.44: Ergänzende Eckdaten zu Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen

Gebiet	UG		TI		VS		GR	ST	AT
	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1980-2010	1980-2010	1986-2010
WB-Anzahl gesamt	349	72	5723	2013	911	326	421	698	479
WB pro Jahr (Ø)	3,2	2,3	51,6	64,9	8,2	10,5	13,6	22,5	19,2
WB Sommer 2003	7		47		10		38	32	21
WB pro Jahr (δ)	4,3	2,2	39,2	38,6	8,0	10,3	8,5	11,8	14,7
WB/100 km² Wald	35,5	7,3	417,1	146,7	76,5	24,5	22,2	18,8	45,2
WB/a/100 km² Wald (Ø)	0,3	0,2	3,8	4,7	0,7	0,9	0,7	0,6	1,8
WB/a/100 km² Wald (δ)	0,4	0,2	2,9	2,8	0,7	0,9	0,5	0,3	1,4

(eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2000-2009, 2007))

5.1.2 Waldbrandhäufigkeiten in diversen Alpenregionen zwischen 1980 und 2010

Für die letzten 30 bzw. 25 Jahre liegen über das Wallis und Tessin hinaus aus dem schweizer Kanton Graubünden und aus den italienischen Provinzen Bozen-Südtirol und Aostatal aussagekräftige Waldbrandstatistiken vor. Wesentliche Eckdaten daraus sind in Abb.68 und Tab.44 zusammengefasst.

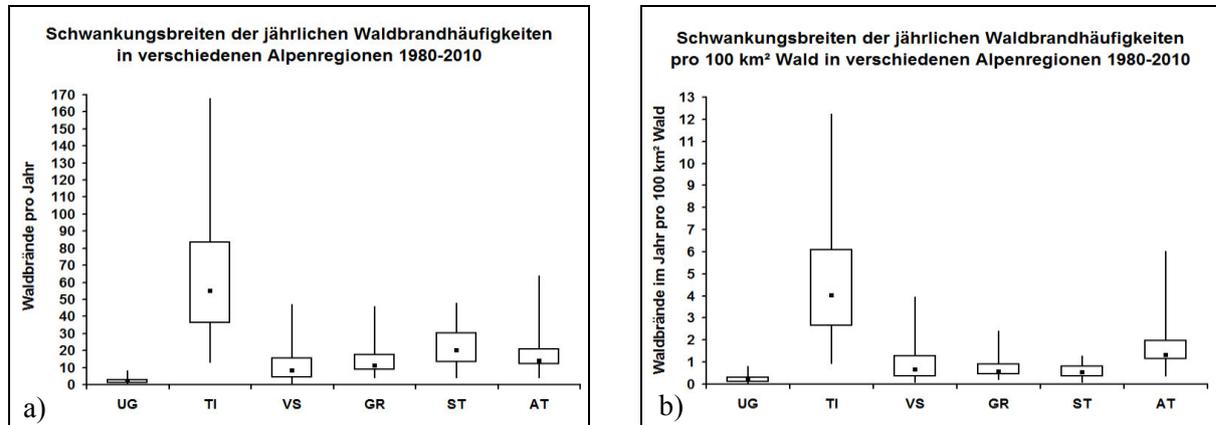


Abb.68: Schwankungsbreiten der absoluten (a) und relativen (b) jährlichen Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D' AOSTA (2000-2009, 2007))

Ein Vergleich der Waldbrandhäufigkeiten in besagten Regionen mit der untersuchten Situation in den Nördlichen Kalkalpen im Zeitraum 1980 bzw. 1986 bis 2010 ist in Abb.69 dargestellt, wobei die Zahlen aus dem Tessin aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht nochmals präsentiert werden.

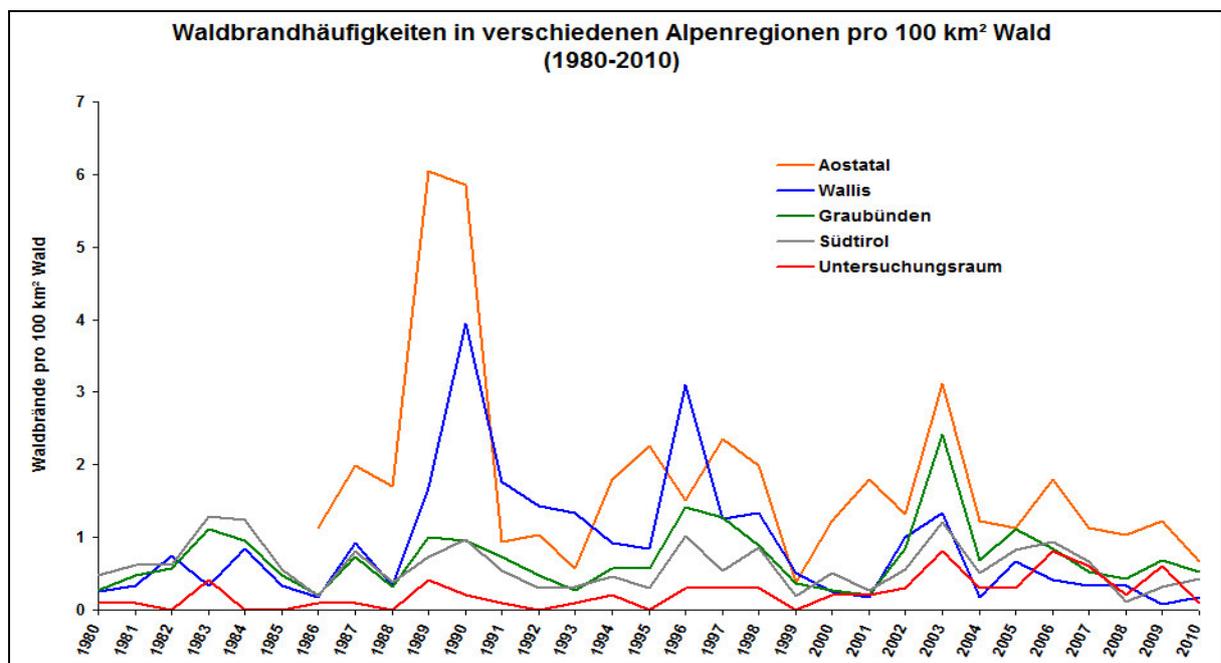


Abb.69: Waldbrandhäufigkeiten in verschiedenen Alpenregionen 1980-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2000-2009, 2007))

Wie zu sehen ist, fanden mit Ausnahme von 1983 die ersten 20 Beobachtungsjahre stets die wenigsten Waldbrände im Untersuchungsgebiet statt, wohingegen im letzten Jahrzehnt wiederholt die Werte aus anderen Gebieten übertroffen werden. Dies steht mit der bereits erwähnten tendenziellen Zunahme von Waldbränden im Untersuchungsraum zwischen 2000 und 2010 bei gleichzeitigem Rückgang in den anderen Ländern während dieser Periode in Zusammenhang. Datenerhebungsmethodische Ursachen für diesen Sachverhalt - Stichwort: bessere Informationszugänglichkeit via Internet - können an dieser Stelle ausgeschlossen werden.

Im 30jährigen Durchschnitt bleibt die Anzahl der Brandereignisse in den Nördlichen Kalkalpen doch klar unter denjenigen in den anderen Alpenregionen, wie Tab.44 zu entnehmen ist. Am ähnlichsten stellt sich die Lage in Südtirol und Graubünden dar, wo es in etwa zweieinhalb- bzw. dreimal häufiger brannte. Weitaus größere Unterschiede bestehen im Vergleich zu den südlich des Alpenhauptkammes gelegenen Landstrichen des Aostales und Tessins, wo Waldbrände im Mittel rund acht- bzw. zwanzigmal öfter zum Ausbruch kamen. Erwähnenswert ist ferner, dass sich die Höchstwerte, mit Ausnahme derer von Südtirol, überall merklich über jenen des Untersuchungsgebiets bewegen.

Trotz der z. T. merklichen Unterschiede in den Brandhäufigkeiten lassen sich doch in deren Entwicklung während der vergangenen drei Jahrzehnte Gemeinsamkeiten erkennen, die sich in einem annähernd parallelen Verlauf insbesondere der Graphen von Südtirol, Graubünden und des Untersuchungsraums beispielsweise zwischen 1988 und 1999 in Abb.69 niederschlagen. Interessanterweise zeichnen sich ab 2002 auch zwischen der Provinz Aostatal und dem Untersuchungsgebiet deutliche Parallelen im Gang der Brandhäufigkeiten ab, wenngleich 2003 in den Südalpen ein wesentlich ausgeprägteres Maximum auftrat. Selbiges Jahr sticht überhaupt in allen Kurven durch ein (weit) überdurchschnittliches Waldbrandaufkommen heraus, so dass davon auszugehen ist, dass 2003 ein Waldbrandjahr von überregionaler und besonderer Bedeutung gewesen ist. Dass die verbreitet außergewöhnlich heißen und trockenen Witterungsbedingungen vor allem während der Sommermonate (PFISTER 2004; Z'GRAGGEN 2006; KANTON GRAUBÜNDEN 2012a) in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung waren, zeigt die Tatsache, dass innerhalb aller Vergleichsregionen, mit Ausnahme des Tessins, gerade die sommerliche Anzahl der Waldbrände überdurchschnittlich hoch war (vgl. Tab.44). Darüber hinaus ereigneten sich in dieser Periode einzelne außergewöhnlich große Waldbrände. Die Sonderrolle des Südalpenkantons ist damit zu erklären, dass dort in der Regel im Winterhalbjahr (Dez. - Apr. nach PEZZATTI (2012) wesentlich mehr Brandereignisse stattfinden und deshalb der Sommerwert für 2003 nicht an den Jahresdurchschnitt heranreicht. Das Sommermittel für die Periode 1900 bis 2010 mit zwölf Waldbränden wird von 47 Vorfällen im Jahr 2003 dafür um fast das Vierfache übertroffen.

Dass 2003, trotz der Ähnlichkeiten der witterungsspezifischen Gegebenheiten zu 1947, nicht mehr Waldbrände im Untersuchungsraum zum Ausbruch kamen, ist dem Umstand zu verdanken, dass sich mittlerweile die sozioökonomischen Verhältnisse wesentlich verbessert haben und daher weniger Brände begünstigender Nutzungsdruck auf den Wäldern liegt.

5.1.3 Waldbrandflächen

Allein die Betrachtung der Waldbrandhäufigkeiten gibt noch keinen befriedigenden Aufschluss über die Waldbrandsituation in einer Region. Es gilt daher, ein weiteres, sehr wesentliches Element in Form der Brandflächengrößen ebenfalls einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

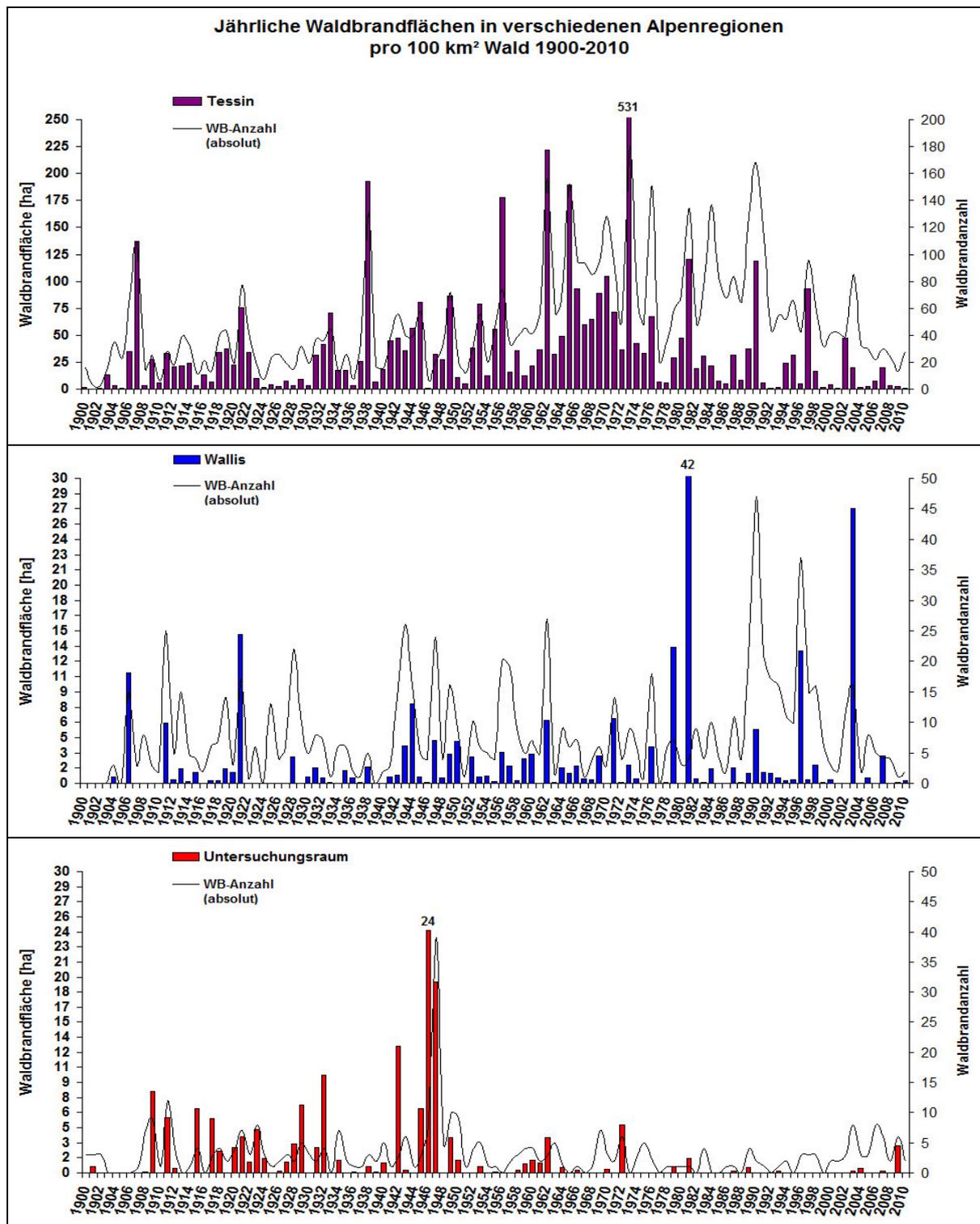


Abb.70: Jährliche Waldbrandflächen pro 100 km² Wald in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010; abweichende Skalierung für Tessin (eigene Erhebungen; PEZZATTI 2012)

Wie Abb.70 und Tab.45 zu entnehmen ist, weist die Gesamtbrandfläche in allen drei Teilräumen von Jahr zu Jahr große Schwankungen auf, wobei sich die Fehlwerte teils aus dem Nichtvorliegen von Flächeninformationen und teils aus dem Nichtauftreten von Brandereignissen erklären. Im Kanton Tessin bewegt sich, ähnlich wie bei den Waldbrandhäufigkeiten, die Jahressumme der Waldbrandfläche auf einem gänzlich anderen Niveau als im Untersuchungsraum oder im Wallis. Der Unterschied liegt bei Zugrundelegung des Mittelwertes im Hinblick auf 100 km² Wald für die Bezugsperiode 1900-2010 im Bereich des Faktors 16. Ursache hierfür ist an erster Stelle die weitaus höhere Anzahl an Brandereignissen im Jahr. Hinzu kommt, dass im Tessin die Ausdehnung der einzelnen Brandareale im Durchschnitt am größten ist (vgl. Tab.45), wobei die Gegensätze zu den beiden anderen Regionen im Langzeitvergleich jedoch wesentlich geringer ausfallen als bei den Waldbrandhäufigkeiten.

Tab.45: Waldbrandflächeninformationen aus diversen Alpenregionen, Angaben in Hektar

Gebiet	UG		TI		VS		GR	ST	AT
	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1980-2010	1980-2010	1986-2010
∑ WB-Fläche	1530	59	60354	10140	2719	1209	1127	886	3993
WB-Fläche (Ø)	8,3	2,5	13,3	6,9	5,1	5,6	2,9	1,3	8,3
WB-Fläche (Max.) (Jahr)	130 (1946)	25 (2009)	1600 (1973)	200 (2007)	300 (2003)		390 (1997)	60 (1990)	NV
WB-Fläche/a (Ø)	22,5	4,5	548,7	327,1	29,2	41,7	37,6	28,6	159,7
WB-Fläche/a (δ)	42,1	7,7	875,6	442,1	67,8	109,3	79,3	35,1	259,5
WB-Fläche/a (Max.) (Jahr)	237,5 (1946)	27 (2009)	7281 (1973)	1648 (1981)	500,6 (1981)		405,4 (1997)	118 (1991)	1214 (1990)
WB-Fläche/a/ 100 km² Wald (Ø)	2,3	0,4	40	23,8	2,5	3,5	2	0,8	15,1
WB-Fläche /a/100 km² Wald (δ)	4,3	0,8	63,8	32,2	5,7	9,2	4,2	0,9	24,5

(eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2000-2009, 2007))

Während also im Wallis die jährliche Waldbrandfläche im Mittel etwas größer ausfällt als im Untersuchungsgebiet, verhält es sich bezogen auf die durchschnittliche Größe der Einzelflächen andersherum (Tab.45). Daraus lässt sich folgern, dass am Gesamtaufkommen der Waldbrände der Anteil an kleineren Ereignissen im Wallis etwas höher sein muss. ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) gehen davon aus, dass beinahe 80 % der zwischen 1904 und 2006 stattgefundenen Ereignisse kleiner als ein Hektar waren. Bei Zugrundelegung derselben methodischen Vorgehensweise ergibt sich hier für den Untersuchungsraum ein Wert von 78 %, während aus dem Tessin vorliegende Studien von REINEKING ET AL. (2010)

einen Anteil von knapp 60 % für den Zeitraum 1969 bis 2005 ausweisen. In Südtirol erreichten in der Periode von 1977 bis 2010 87 % aller Waldbrände nur eine Ausdehnung von einem Hektar oder weniger, in den Nördlichen Kalkalpen 86 % bzw. 69 % bei Nichtberücksichtigung fehlender Angaben. Trotz dieser Ähnlichkeiten fällt in Südtirol die mittlere Brandflächengröße mit 1,3 ha doch nur etwa halb so groß wie im Untersuchungsraum aus und ist über sechsmal kleiner als in der Provinz Aostatal, wo mit 8,3 ha der größte Wert aller Vergleichsregionen zwischen 1980 und 2010 erreicht wird (Tab.45).

Auffallend ist, dass sich lediglich im Wallis eine Erhöhung der durchschnittlichen Brandflächenausdehnung während der jüngsten drei Jahrzehnte verglichen mit der kompletten Untersuchungsperiode 1900-2010 manifestiert. Ursache hierfür ist in erster Linie das Auftreten von Waldbränden außergewöhnlich großen Ausmaßes anno 1981, 1996 und 2003, die mit 200, 127 bzw. 300 Hektar laut GIMMI ET AL. (2004) zu den drei der vier bedeutendsten Ereignisse während des vergangenen Jahrhunderts zählen. Weitere Großfeuer von 120, 165 bzw. 63 Hektar Fläche (GIMMI ET AL. 2004) schlugen sich in den Säulen der Jahre 1906, 1921 und 1979 in Abb.70 nieder. Allein in den erwähnten sechs Jahren brannte im Wallis nach ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) über die Hälfte der gesamten Schadensfläche zwischen 1900 und 2010. Sehr ähnlich stellt sich die Situation in den Nördlichen Kalkalpen dar, wo binnen sechs Jahren 791 von insgesamt 1530 Hektar Wald vom Feuer geschädigt wurden. Im Tessin dagegen ist eine etwas gleichmäßigere Verteilung festzustellen. Hier wurde beispielsweise in den sechs flächenintensivsten Brandjahren zusammen nur knapp 1/3 des kantonalen Gesamtbrandareals ein Opfer der Flammen (PEZZATTI 2012).

Bei der Entwicklung der durchschnittlichen Waldbrandflächengröße von 1900 bis 2010, die Abb.71 wiedergibt, ist für das Tessin nach den 1940er Jahren eine deutliche Abnahmetendenz bis heute zu verzeichnen. Eine kleine Ausnahme bildet hierbei nur der Zeitraum 1970-1979, was mit dem extremen Waldbrandjahr 1973 in Verbindung zu bringen ist, in dem u. a. mit großem Abstand am meisten Waldfläche zwischen 1900 und 2010 von Bränden betroffen war.

Im Wallis indessen, wo sich mit Ausnahme der besonders waldbrandreichen 1990er der Einfluss von den im vorangegangenen Absatz beschriebenen Großereignissen auch in Abb.71 und Abb.72 offenbart, zeichnet sich nach eingangs starken Fluktuationen mit Beginn der 50er Jahre ein drei Jahrzehnte fortschreitender Anstieg der mittleren Waldbrandausdehnung ab. Beide Sachverhalte haben schließlich zur Folge, dass in der Dekade 1980-1989 die walliser die tessiner Werte übertreffen, wie letztmals eindrücklich in den 1920er Jahren geschehen. Allerdings liegen für die 1920er lediglich für sieben von 83 Waldbränden Daten vor.

Im Untersuchungsgebiet vollzieht sich nach dem Abfallen von anfänglich bis zu über elf auf ca. zwei Hektar zunächst eine dem Wallis vergleichbare Zunahme der Durchschnittsbrandgröße zwischen 1950 und 1979. Hier setzt jedoch früher ein Rückgang ein, der sich über die nächsten zwei Jahrzehnte hin fortsetzt, ehe sich, wie im Wallis, wenn auch weniger ausgeprägt, ein erneutes Anwachsen für die letzten zehn Jahre erkennen lässt.

Die aus Graubünden, Südtirol und der Region Aostatal vorliegenden, auf die jüngsten drei bzw. zweieinhalb Jahrzehnte beschränkten Daten, zeigen nach einem unwesentlichen Anwachsen der Waldbrandgrößen in den 1990ern einen sichtbaren Rückgang selbiger im darauf folgenden Jahrzehnt.

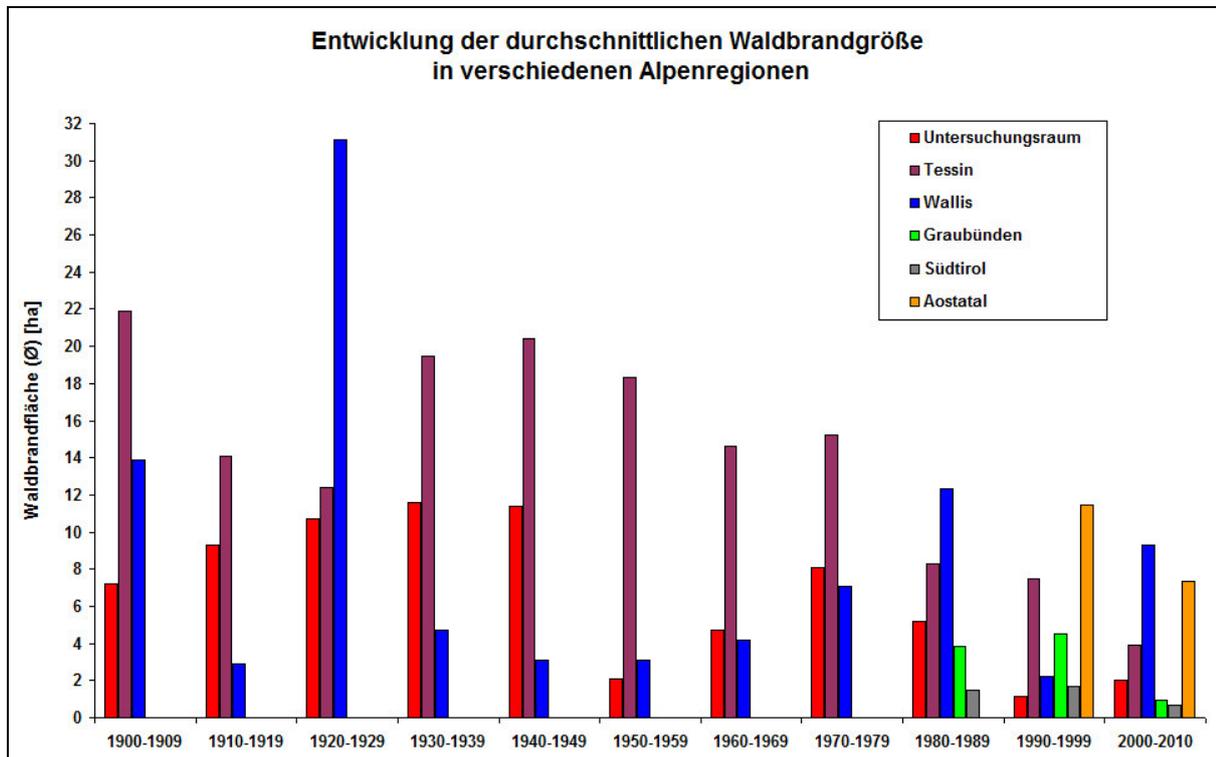


Abb.71: Entwicklung der durchschnittlichen Waldbrandgröße in verschiedenen Alpenregionen (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2000-2009, 2007))

Aufschluss über die Veränderungen der Durchschnittsbrandflächengröße in unterschiedlichen Regionen der Alpen während der letzten drei Jahrzehnte in jährlicher Auflösung gibt Abb.72. Bis auf Südtirol zeigen sich überall deutlich episodisch wiederkehrende Spitzen (vgl. ZUMBRUNNEN ET AL. 2009), die im Kanton Wallis 1981 mit dem absoluten Maximum von 167 Hektar und 2003 (26,8 ha) besonders markant zu Tage treten. Interessanterweise werden im Tessin und im Untersuchungsraum ebenfalls 1981 die Höchstwerte erreicht. Es lassen sich ferner gemeinsame Spitzen von Aostatal, Tessin und Südtirol 1990 sowie von Aostatal, Tessin und Graubünden 1997 feststellen. Aus diesen Ähnlichkeiten lässt sich ableiten, dass in den erwähnten Jahren wohl Regionen übergreifend günstige Rahmenbedingungen für die Ausbreitung von Waldbränden geherrscht haben.

An Entwicklungstendenzen lässt sich anhand von Abb.72 festhalten, dass ausgenommen der Provinz Aostatal in allen Gebieten die Ausreißer nach oben im Laufe der Jahre immer kleiner werden. Dies ist am Beispiel des Tessins am besten erkennbar, wogegen im Untersuchungsgebiet und im Wallis in den letzten fünf Beobachtungsjahren immerhin noch die zweit- bzw. dritthöchste mittlere Brandflächenausdehnung in den letzten 30 Jahren erreicht wurde.

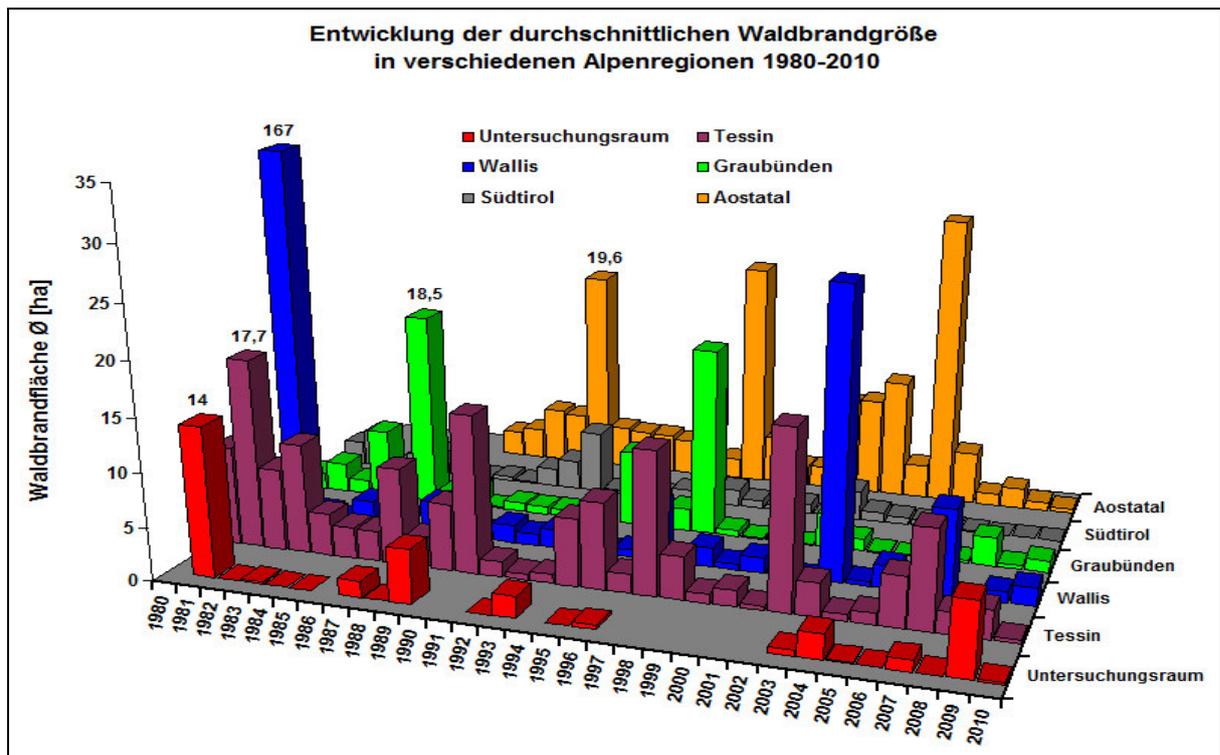


Abb.72: Entwicklung der Durchschnittsbrandflächengröße in diversen Alpenregionen 1980-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2000-2009, 2007))

ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) konnten im Wallis für die vergangenen rund 100 Jahre u. a. eine Beeinflussung der Waldbrandflächengröße durch die Witterungsbedingungen nachweisen. So korrespondierten Perioden mit großen Waldbrandflächen meist mit trockenen Phasen (vgl. auch GIMMI ET AL. 2004), doch neben den Feuchte- kam auch den Windverhältnissen große Bedeutung zu, was sich bei den Untersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen ebenfalls gezeigt hatte (vgl. 4.1.4).

Hier wie dort und ebenfalls im Tessin konnte ein die Ausdehnung von Bränden begünstigender Effekt speziell des Föhns belegt werden, der sowohl die Entstehung eines Feuers durch Austrocknung von Streu und Vegetation als auch dessen Ausbreitung fördert. Neben den genannten natürlichen Faktoren sind allerdings noch die Verbesserungen in der Feuerbekämpfung sowie die Veränderungen in der Wald- und Landnutzung im Laufe der Zeit zu nennen, die in entgegengesetzter Weise auf die Entwicklung der Brandflächengröße Auswirkungen zeigen: Fortschritte im Feuerlöschwesen, die u. a. mit einem schnelleren Erreichen von (entlegenen) Brandorten durch ein modernisiertes Brandmeldewesen und Hubschraubereinsatz in Verbindung stehen, führen in der Regel zu einer Verkleinerung der durchschnittlichen Brandfläche, während die Aufgabe traditioneller Wald- und Landnutzungsformen die Anhäufung von brennbarem Material und die Ausdehnung von Waldarealen nach sich ziehen und somit das Zustandekommen von größeren Waldbränden begünstigen. Zusätzlich negativen Einfluss auf die Brandgröße dürfte die zunehmende Genauigkeit bei der Bestimmung der Brandperimeter im Laufe der Zeit gehabt haben (ZUMBRUNNEN ET AL. 2009; CONEDERA 2009).

5.1.4 Waldbrandsaisonalität

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Saisonalität der Brandereignisse. Nach Möglichkeit werden nachfolgend Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede bei der jahreszeitlichen bzw. monatlichen Verteilung von Waldbränden in diversen Alpengebieten aufgezeigt. Die Abgrenzung von Sommer- (Mai-Nov.) und Winterhalbjahr (Dez.-Apr.) folgt dabei der in der Schweiz gängigen Praxis (vgl. u. a. PEZZATTI 2012). Dies gestattet einen Vergleich der in dieser Form vorliegenden schweizer Daten mit Informationen aus den anderen Regionen.

Tab.46: Saisonale Verteilung von Waldbränden in verschiedenen Alpenregionen

Gebiet	UG		TI		VS		GR	ST	AT
Zeitraum	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1900-2010	1980-2010	1980-2010	1980-2010	1986-2004
WB-Anzahl	289	72	5723	2013	911	326	421	646	405
Dez.-Apr. [%]	41	47	77	68	60	48	36	47	64
Mai-Nov. [%]	59	53	23	32	40	52	64	53	36

(eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2007))

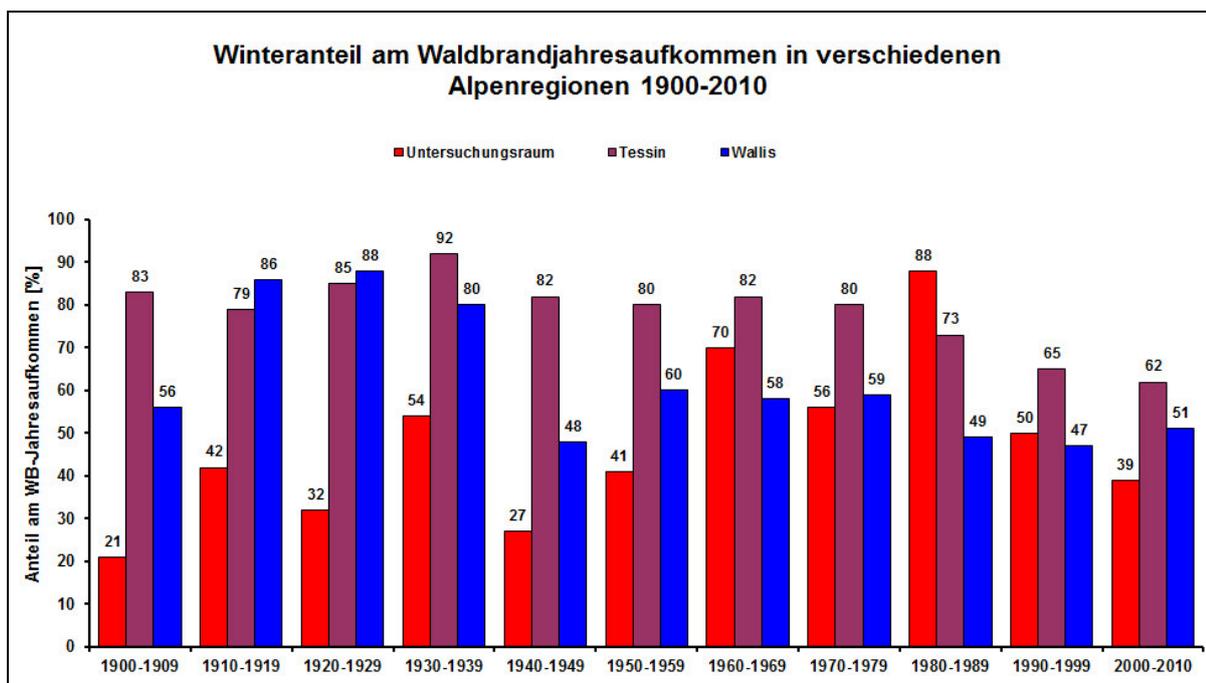


Abb.73: Waldbrandhäufigkeiten im Winterhalbjahr in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012))

Wie aus Tab.46 hervorgeht, tritt im Tessin und in der Provinz Aostatal die deutliche Mehrheit der Brandereignisse im Winterhalbjahr auf, was in Summe für die Bezugsperiode 1900-2010 auch für das Kanton Wallis gilt. Hier hat sich aber bemerkenswerterweise nach zunächst über 80 % Winteranteil am

jährlichen Waldbrandaufkommen gerade während der letzten drei Jahrzehnte nahezu eine Gleichverteilung über beide Saisonhälften eingestellt (vgl. Abb.73).

Auch im Tessin ist eine Bedeutungsminderung des Winters in den letzten drei Jahrzehnten festzustellen, wenn auch in geringerem Maße. Eine dem Wallis zwischen 1980 und 2010 ähnliche Situation, mit einem leichten Übergewicht der Waldbrandhäufigkeiten im Sommerhalbjahr, ist in Südtirol vorzufinden. Allein in Graubünden spielen die Monate Mai bis November, wo im Durchschnitt fast 2/3 aller Waldbrände auftreten, eine weitaus wichtigere Rolle als die Winterperiode in den Vergleichsgebieten. Im Untersuchungsraum zeigt sich ein sehr undifferenziertes Bild. Sowohl bei der jahrzehnteweisen (Abb.73) als auch bei der jährlichen Betrachtung (Abb.74) lassen sich große Schwankungen erkennen, wobei im langzeitlichen Mittel im klaren Unterschied zum Wallis und Tessin gemäß Tab.46 mehr Waldbrände im Sommer stattgefunden haben.

Als Ergänzung zu den oben diskutierten Mittelwerten über längere Zeiträume ist Abb.74 zu sehen, in der die jährlichen Schwankungsbreiten des winterlichen Anteils am Waldbrandjahresgeschehen zusammengefasst sind. Im Extremfall traten offensichtlich im Untersuchungsraum, in Südtirol und im Wallis entweder alle Brandereignisse oder keines im Winter auf, während in der Provinz Aostatal stets in beiden Halbjahren Waldbrände stattfanden. Das Tessin fällt dadurch auf, dass es in der Winterperiode nie zu keinem Waldbrandausbruch gekommen ist. Den Gegenpart hierzu bildet das Kanton Graubünden, wo sich bisher im Sommerhalbjahr zwischen 1980 und 2010 durchgehend Waldbrände ereignet haben.

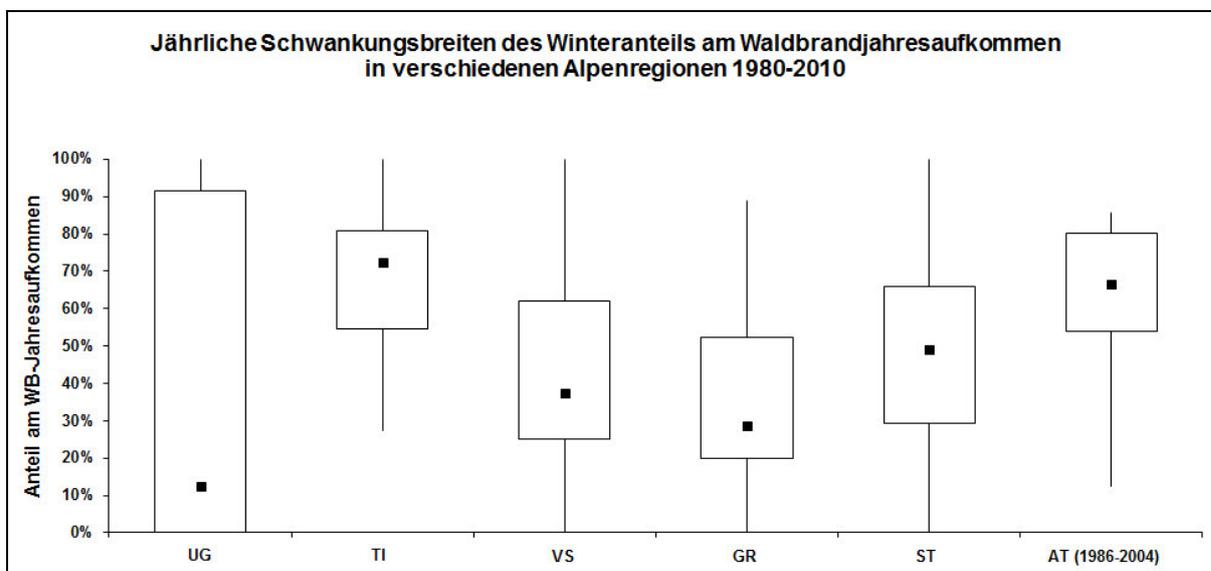


Abb.74: Jährliche Schwankungsbreiten des Winteranteils am Waldbrandjahresaufkommen in verschiedenen Alpenregionen 1980-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2007))

Einen Vergleich der monatlichen Waldbrandverteilung zwischen 1986 und 2004 im Untersuchungsraum und in den Provinzen Südtirol und Aostatal gibt Abb.75 wieder. Informationen aus den schweizer Kantonen Tessin, Wallis und Graubünden konnten darin nicht einfließen, da die Daten nur in halbjährlicher Auflösung vorliegen. Aufgrund der geringen Datendichte (n=39) wurden aus dem Untersuchungsgebiet zusätzlich die Resultate für den Zeitraum 1900-2010 berücksichtigt.

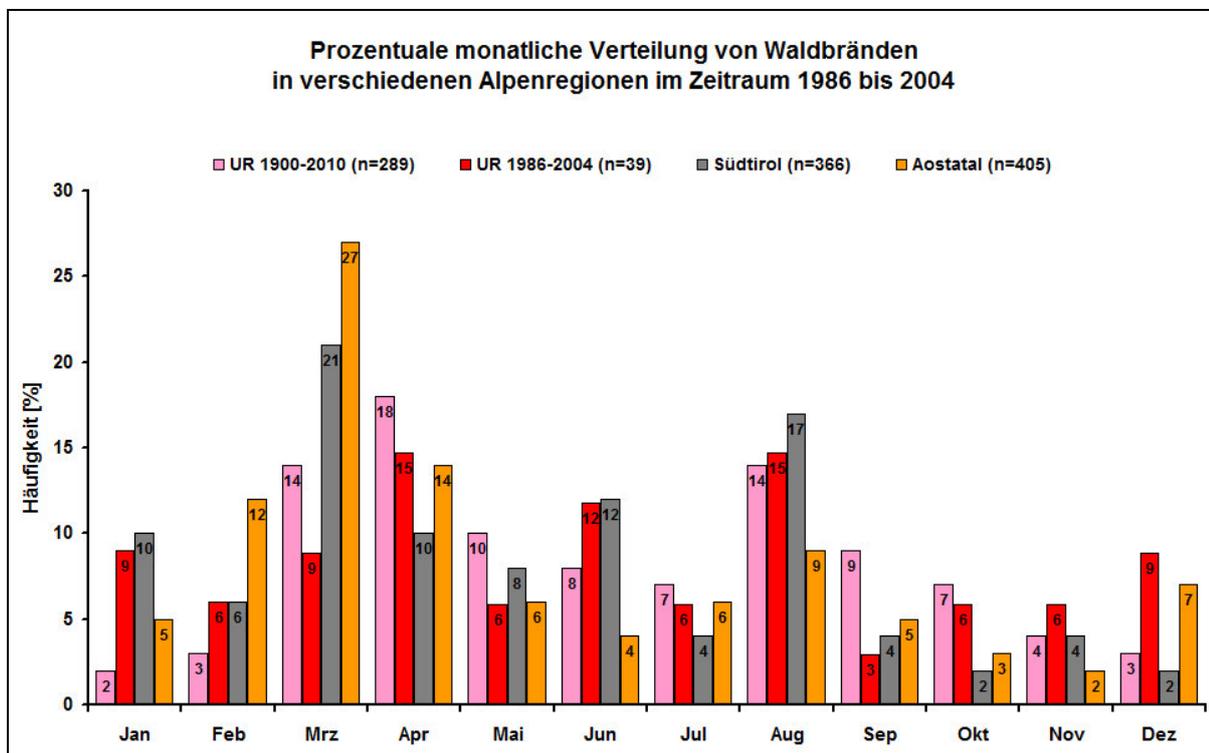


Abb.75: Prozentuale monatliche Waldbrandverteilung in verschiedenen Alpenregionen 1986 bis 2004 (eigene Erhebungen; AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012); REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA (2007))

Die Region Aostatal weist im März ein stark ausgeprägtes Waldbrandmaximum auf. In diesem Monat finden dort mit 27 % fast doppelt so viele Ereignisse wie im April statt, in dem es am zweithäufigsten brennt (14 %). An dritter Stelle rangiert der Februar noch vor dem ersten Sommermonat, dem August. In Südtirol treten ebenso die meisten Brände im März auf (21 %), gefolgt jedoch von den Sommermonaten August (17 %) und Juni (12 %). An weiteren bedeutenderen Monaten sind der April und Januar zu nennen.

Ähnliche Verhältnisse scheinen im Untersuchungsraum zu herrschen, wo in der Periode 1986 bis 2004 im April und August die Höchstzahl an Waldbränden zu verzeichnen ist und dem Juni ebenfalls eine wichtige Bedeutung zukommt. Dieser Monat spielt bei den langjährigen Beobachtungen dagegen eine eher untergeordnete Rolle. An seinen Platz tritt hier der März.

Zusammenfassend kann also in Südtirol und im Untersuchungsgebiet von einer frühjährlichen (März bzw. April) und sommerlichen (August) Doppelspitze gesprochen werden, wohingegen in der Provinz Aostatal ein klares, auf den März beschränktes Maximum vorzufinden ist.

Aus dem Wallis ist eine gleichartige Doppelspitze mit gehäuftem Auftreten von Bränden in den Monaten März, April und Juli, August bekannt. Diese Verteilung resultiert aus einer erhöhten Feueraktivität im März und April in niederen Lagen und einer Konzentration der Waldbrände im August in der subalpinen Stufe, wo nur zur Sommerszeit brandförderliche Witterungsbedingungen vorherrschen. Als wesentliche Gunstfaktoren im Frühjahr gelten das übermäßige Vorhandensein von schnell trockenendem Brennmaterial in Form von abgestorbenen Pflanzenresten aus dem Vorjahr, die hohe Sonneneinstrahlung am Boden in blattlosen Laubwaldbeständen sowie im Besonderen das gehäufte Auftreten des Föhns gerade in dieser Phase (ZUMBRUNNEN ET AL. 2009).

Auch im Kanton Tessin weist die monatliche Waldbrandverteilung zwei große Spitzen in den Zeitfenstern März -April und Juli -August auf, die in der Periode 1991-2006 besser zum Tragen kommen, als noch zwischen 1975 und 1990, wo auch im Januar und Dezember noch eine beträchtliche Anzahl von Ereignissen auftrat (Abb.76). Ähnlich wie im Wallis resultiert diese markante Verteilung aus der Kombination von zwei Hauptbrandphasen in verschiedenen Höhenstufen bzw. Vegetationsformationen: während im März/April - einer nach MARXER (2003) in Folge von Niederschlagsarmut, Sonnenschein und Wind (Nordföhn) häufig von großer Trockenheit geprägten Zeit - gehäuft anthropogen verursachte Oberflächenfeuer in den Laubwäldern der niederen Lagen ausbrechen, kommt es im Juli/August vermehrt zu Bränden in den Nadelwäldern (CONEDERA 2009).

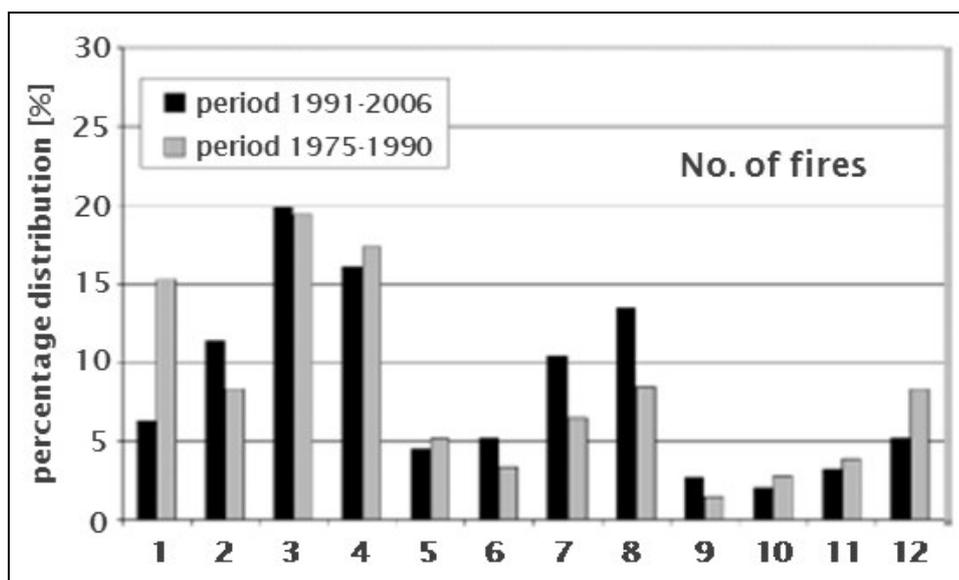


Abb.76: Monatliche Waldbrandverteilung im Kanton Tessin 1975-1990 und 1991-2006 (nach CONEDERA 2009)

MINERBI (2000) sieht in Südtirol eine enge Bindung der Gefahr und des Auftretens von Waldbränden an den jährlichen Witterungsverlauf, wobei die niederschlagsarmen Wintermonate allgemein als kritische Periode anzusehen sind, da tiefe Temperaturen die Löschkaktionen zusätzlich erschweren. Er stellte allerdings während der letzten Jahrzehnte eine Verteilung gefährlicher Phasen über das ganze Jahr hin fest, die in wiederkehrenden Trockenperioden und der Zunahme Erholungssuchender in den Berg-

und Waldgebieten begründet liegt, was mit Sicherheit auch für das Untersuchungsgebiet angenommen werden kann. Hier konnten außerdem, zumindest lokal, ebenso wie in den schweizer Kantonen Waldbrandhäufungen in den föhnreichen Monaten März und April nachgewiesen werden.

In Graubünden ist nach VIEGAS ET AL. (2003) ebenfalls von zwei Waldbrandschwerpunkten im Zeitraum März - April und Juli - August auszugehen. An Einflussfaktoren werden von GRANAT (o.J.) zum einen die im Frühjahr verbreiteten Schönwetterperioden, die abgestorbene, dürre Vegetation aus dem Vorjahr sowie die bei den meisten Menschen noch fehlende Achtsamkeit beim Umgang mit Feuer nach den Wintermonaten genannt. Zum anderen finden in den Sommermonaten vor allem in den Bündner Südtälern regelmäßig Gewitter statt, die Ursache für viele Waldbrände sind (vgl. 5.1.5).

5.1.5 Waldbrandursachen

Ohne eine entsprechende Zündquelle ist der Ausbruch eines Feuers unmöglich. Aus diesem Grund ist es lohnend, die verbreitetsten Ursachen für Waldbrände im Alpenraum samt ihrer regional unterschiedlichen Bedeutung einer eingehenderen Betrachtung zu unterziehen.

Wie Abb.77 zeigt, blieb im Untersuchungsraum binnen 1980 und 2010 fast die Hälfte aller Waldbrandursachen unbekannt, was im inneralpinen Vergleich mit Abstand dem höchsten Wert entspricht. Demgegenüber steht ein Anteil von nur 12 % im Kanton Graubünden, während in den anderen Regionen zwischen 31 % (Südtirol) und 37 % (Wallis) erreicht werden. Die in allen Vergleichsgebieten häufigste Art der Waldbrandauslösung ist Fahrlässigkeit, deren Anteil zwischen 22 % im Untersuchungsgebiet und 48 % in Graubünden liegt. Nach Unachtsamkeit rangiert Brandstiftung im Tessin und in Südtirol an zweiter Stelle der anthropogenen Brandursachen. Diesen Rang nimmt im Unterschied dazu in Graubünden das Militär und im Untersuchungsgebiet die Eisenbahn ein. Blitzschlag spielt insbesondere in Graubünden, wo über $\frac{1}{4}$ aller Waldbrände darauf zurück zu führen sind, eine wichtige Rolle, ebenso in Südtirol und im Untersuchungsraum. Im Wallis und Tessin dagegen sind natürliche Ursachen in Summe von geringerer Bedeutung, obgleich sie in der Sommerzeit einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf das Waldbrandgeschehen haben, wie bereits andiskutiert wurde. Das Hauptvorkommen von Blitzschlagbränden fällt Regionen übergreifend in die Monate Juli und August (CONEDERA ET AL. 2006; AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT 2012).

Informationen zu den Brandursachen zwischen 1991 und 2007 in der Region Aostatal bietet eine Kurzzusammenfassung zur Waldbrandsituation in den italienischen Alpen von VALESE (2009). Darin wird der regionale Anteil der ebenfalls überwiegend im Juli und August auftretenden Blitzschlagbrände auf vergleichsweise niedrige 5 % und die Aufklärungsquote der Ursachen auf mäßige 50 % beziffert.

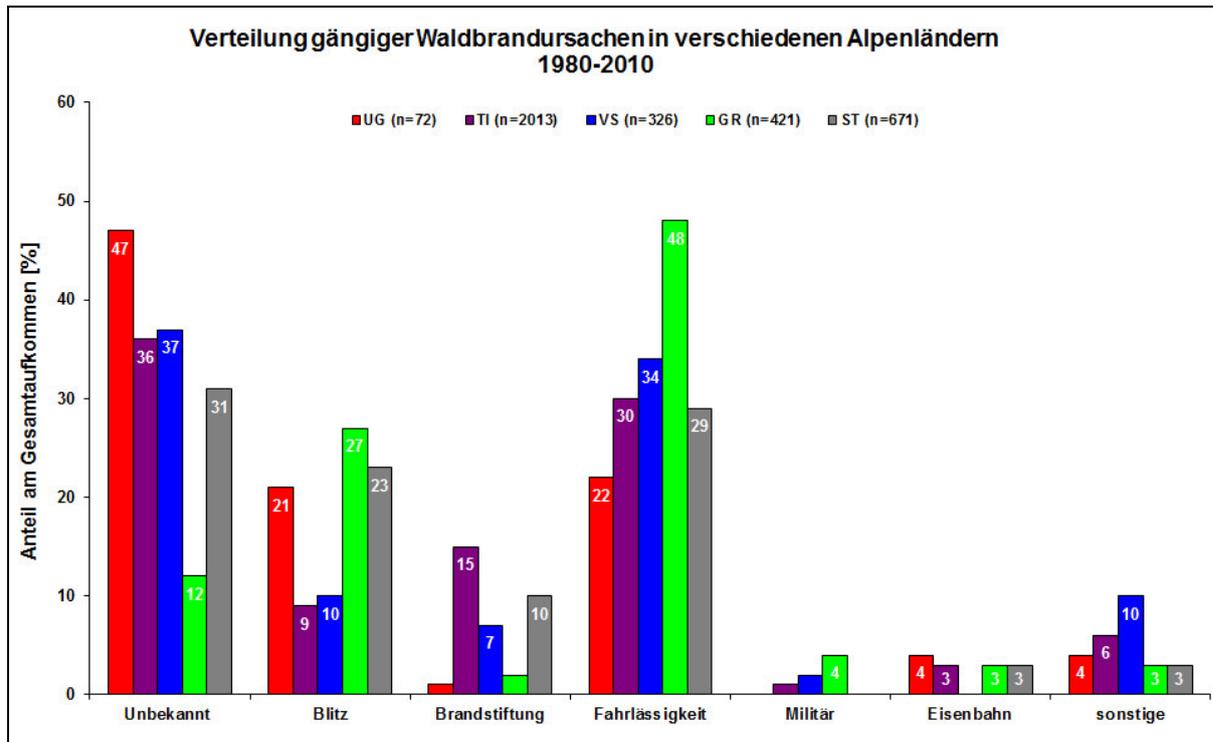


Abb.77: Verteilung gängiger Waldbrandursachen in verschiedenen Alpenländern 1980-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012); AUTONOME PROVINZ BOZEN - ABTEILUNG FORSTWIRTSCHAFT (2012))

In Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen, der Aufklärungsrate der Brandursachen, der Qualität der Waldbrandinformationen sowie der Wirksamkeit von Verhinderungsmaßnahmen unterliegen die Anteile der einzelnen Ursachen einer gewissen Dynamik. CONEDERA ET AL. (2006) konnten beispielsweise bei den durch Blitzschlag ausgelösten Waldbränden in den schweizer Alpen und im Aostatal große annuelle Unterschiede zwischen und innerhalb der verschiedenen Regionen dokumentieren. So berichten sie etwa von einer signifikant erhöhten Blitzschlagfeuerfrequenz im trocken-heißen Sommer 2003 im Tessin und Aostatal sowie in Graubünden, wo laut GRANAT (o. J.) rund 50 % der Waldbrände durch Blitzeinschlag verursacht worden sind, während im Wallis nur sehr wenige solcher Ereignisse auftraten. Ein noch höherer Wert wurde 2006 im Untersuchungsraum erreicht, wo gar 75 % der Waldbrände auf Blitzschlag zurückzuführen waren, wohingegen 2003 lediglich ein leicht überdurchschnittlicher Anteil von 25 % (1980-2010: 21 %) feststellbar war. Im 110-jährigen Mittel indes ist der Anteil von Blitzschlagbränden hier lediglich mit 7 % zu beziffern, allerdings bei einer Quote von 62 % bei den unbekanntem Ursachen. Im Tessin (6 %) und im Wallis (4 %) liegen die Vergleichswerte auf einem sehr ähnlichen Niveau, bei Aufklärungsraten von jeweils um die 50 %.

Ein weiteres Beispiel für Veränderungen in der Ursachengewichtung zeigt CONEDERA (2009) anhand der Absenkung des Anteils der durch die Eisenbahn oder das Militär hervorgerufenen Waldbrände im Tessin durch entsprechende Präventionsmaßnahmen auf.

Wie sich in den letzten 110 Jahren die Anteile von natürlichen und menschlichen Waldbrandursachen im Untersuchungsraum, Wallis und Tessin über die Jahrzehnte entwickelt haben, gibt Abb.78 wieder.

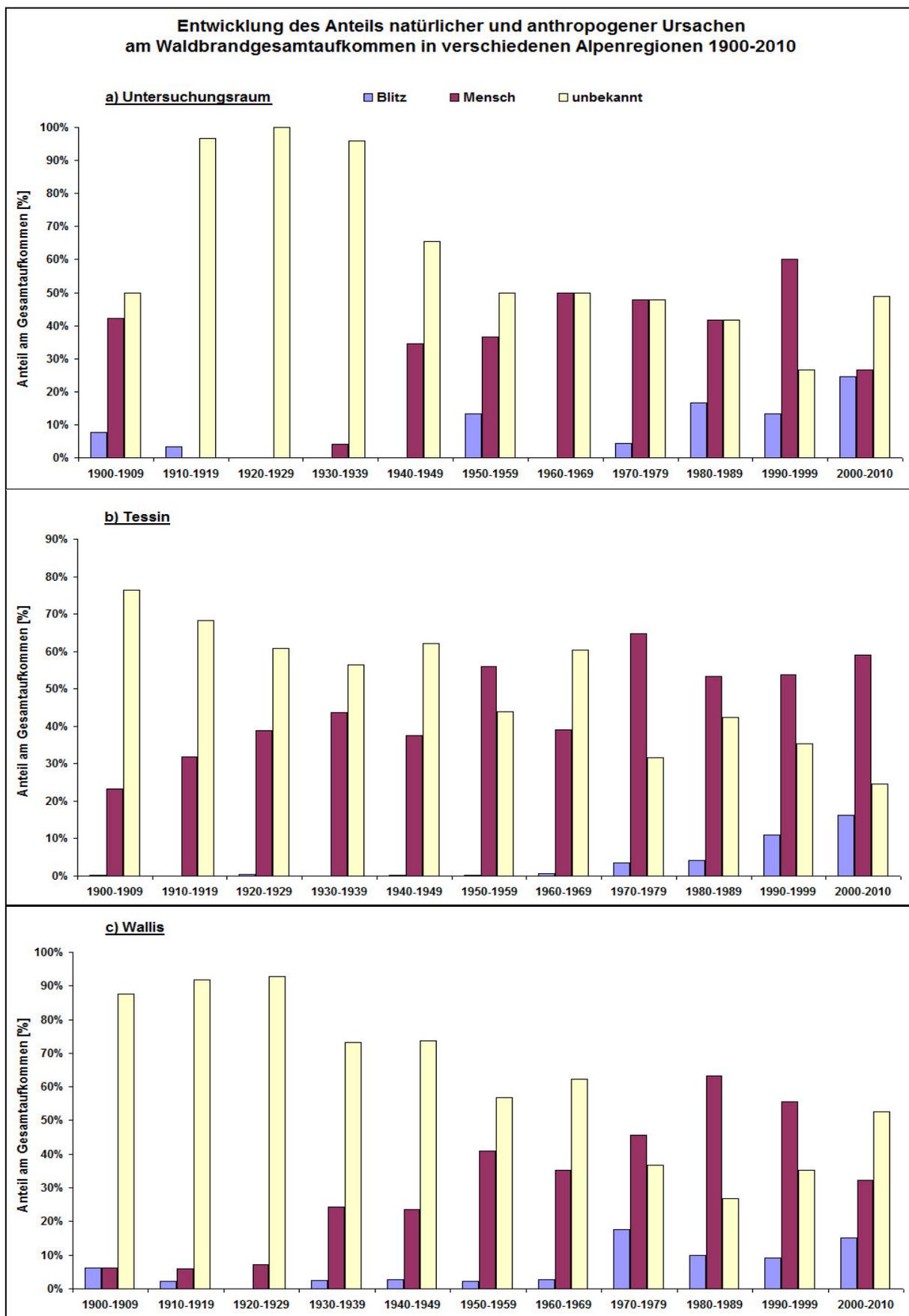


Abb.78: Entwicklung des Anteils natürlicher und anthropogener Ursachen am Waldbrandgesamtaufkommen in verschiedenen Alpenregionen 1900-2010 (eigene Erhebungen; PEZZATTI (2012))

Darin ist zur besseren Beurteilung der Ergebnisse zusätzlich jeweils die Rate der auf unbekannte Auslöser zurückgehenden Ereignisse angegeben. Auffällig ist, dass sich in allen drei Regionen durchweg die Anteile von auf natürliche Weise entstandenen Waldbränden während der letzten drei Jahrzehnte auf einem höheren Niveau als zuvor eingestellt haben. Im Tessin, wo sich eine klar erkennbare stetige Zunahme seit 1970 abzeichnet, und im Untersuchungsraum treten die Maxima dabei jeweils in den 2000er Jahren auf. Dies deckt sich mit der Feststellung von CONEDERA ET AL. (2006), dass die Bedeutung von Blitzschlagbränden in den Alpen in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat. Besonders interessant ist die Entwicklung im Tessin, da hier durch Blitzeinschlag hervorgerufene Waldbrände über lange Zeit ein sehr selten dokumentiertes Phänomen waren, während etwa im Wallis stets ein gewisses gleich bleibendes Grundquantum an Blitzschlagbränden aufgetreten ist und im Untersuchungsraum die Verhältnisse von größeren Schwankungen gekennzeichnet waren. Eine weitere Erklärung für die Zunahme des Blitzschlagfeueranteils ist in der Verbesserung der Ursachenaufklärung und im Rückgang der anthropogenen Brände in Folge von Präventionsmaßnahmen zu vermuten.

Was die Bedeutung der anthropogenen Brandverursachung angeht, so ist diese überall bei entsprechend hoher Aufklärungsquote eindeutig größer als die der natürlichen, außer zwischen 2000 und 2010 im Untersuchungsgebiet, wo nahezu eine Gleichstellung beider zu erkennen ist. Dies mag zum einen an einer außergewöhnlichen großen Anzahl an Blitzschlagbränden in dieser Zeit liegen, kann aber auch mit dem Ansteigen des Anteils der ungeklärten Ursachen in Verbindung stehen.

Die Aufklärungsraten liegen generell seit den 1950ern beinahe durchgehend konstant über 50 % und höher, was mit einer wesentlich höheren Aussagekraft der Ergebnisse verknüpft ist als noch zuvor, wo v. a. im Untersuchungsraum und im Wallis sehr hohe Quoten (> 80 % bis 100 % im Maximum) in der Kategorie „unbekannte Ursachen“ keine Seltenheit waren.

Nicht nur der Anteil der von Menschenhand verursachten Brandereignisse ist verbreitet um einiges höher als derjenige von durch Blitzschlag hervorgerufenen Vorkommnissen, sondern auch die jeweils entstanden durchschnittlichen Schadflächengrößen unterscheiden sich mitunter wesentlich voneinander. Aus den für den Untersuchungsraum eher spärlich vorliegenden Informationen geht hervor, dass die mittlere Größe von Blitzschlagbränden bei 0,4, jene von durch Menschenhand hervorgerufenen Vorkommnissen bei 5,4 ha liegt. Nach ZUMBRUNNEN ET AL. (2009) beträgt im Wallis die durchschnittliche Brandfläche nach Blitzschlag 0,2 ha, im anderen Fall 5 ha. In Südtirol ist der Unterschied nach Auswertung der Daten der Abteilung Forstwirtschaft der autonomen Provinz Bozen mit Werten von 0,44 ha bzw. 1,35 ha nicht ganz so auffällig, wobei hier wie im Untersuchungsgebiet weniger als 10 % der natürlichen Waldbrände eine Ausdehnung von mehr als einem Hektar erreichten.

CONEDERA ET AL. (2006) gehen davon aus, dass Blitzschlagfeuer in den Alpen im Zeitraum 1991-2004 nur für 4,1 % der Gesamtbrandfläche verantwortlich waren, was mit den Ergebnissen aus dem Untersuchungsraum für denselben Zeitraum gut übereinstimmt ($\approx 3\%$). In Ausnahmefällen, wie etwa

1976, 1983 -84, 1990 - 91 und 2003 im Tessin, 1983 -84 und 2003 in Graubünden oder 2003 in der Provinz Valle d'Aosta können Blitzschlagbrände aber auch großflächig und/oder in großer Anzahl in Erscheinung treten. Des Weiteren konnten CONEDERA ET AL. (2006) nachweisen, dass Blitzeinschläge vor allem in höheren Steillagen zu Waldbränden führten, was sich bei den Untersuchungen in den Nördlichen Kalkalpen in gleicher Weise gezeigt hatte. Wie zu erwarten war, konzentrierten sich demgegenüber anthropogen verursachte Feuer in Siedlungsnähe und in der Umgebung von Verkehrs- bzw. Tourismusinfrastruktur.

5.2 Bedeutung des regionalen Waldbrandgeschehens im globalen Kontext

Nachdem die Feuerregimekomponenten *Häufigkeit*, *Fläche*, *Ursache* und *Saisonalität* im Untersuchungsgebiet unter 5.1 einer inneralpinen Gegenüberstellung unterzogen wurden, sollen diese nachfolgend mit den Gegebenheiten in Deutschland (BRD), Spanien (ESP), Italien (ITA), Chile (CL), Kalifornien (CA), Alaska (AK), Alberta (AB) und Australien verglichen werden. Für die angeführten Regionen stehen neben aktuellen auch sich über längere Zeiträume erstreckende Vergleichsdaten zur Verfügung, wobei meist keine saubere Trennung zwischen Brandereignissen im Wald oder in anderen Vegetationseinheiten gegeben war. Dennoch bietet diese regionale Auswahl gute Einblicke in das Brandgeschehen in typischen Waldbrandländern sowie einen Informationsquerschnitt über das Waldbrandverhalten in verschiedenen Ökozonen.

Anzumerken ist, dass sich gerade für Australien die Beschaffung von zusammenhängenden Zeitreihen schwierig gestaltete, was nur eine eingeschränkte Darstellung der dortigen Verhältnisse anhand von verschiedenen Daten aus dem Bundesstaat Victoria ermöglichte.

5.2.1 Waldbrandhäufigkeiten

Wie Tab.47 und Abb.79 verdeutlichen, sind Waldbrände in den überwiegend subtropisch geprägten Regionen (ESP, ITA, CA) bezogen auf 100 km² Landfläche um ein Vielfaches häufiger als in den Mittelbreiten (UG, BRD) oder in der borealen Zone (AB). Kalifornien weist dabei für den Zeitraum 1970 bis 2010 mit durchschnittlich rund fünf Ereignissen auf 100 Quadratkilometern pro Jahr den höchsten Wert auf, gefolgt von Italien (3,1) und Spanien (2,5). In Chile und in der BRD brannte es dagegen nur 0,6 bzw. 0,5 Mal. Die von DAVIES (1997) aus Victoria für die Periode 1976-1996 vorliegenden Daten (Jahresmittel 0,66 Schadereignisse pro 100 km² Bundesfläche, Minimum 0,27, Maximum 0,99) bewegen sich in etwa in derselben Größenordnung. Die Waldbrandhäufigkeiten in Alberta und im Untersuchungsraum liegen mit 0,2 bzw. 0,1 noch eine weitere Kategorie darunter.

Tab.47: Absolute und relative Eckdaten ausgewählter regionaler Waldbrandhäufigkeiten 1970-2010

	UG 1700 km ²		BRD ¹⁾ 348.610 km ²		ESP ²⁾ 498.800 km ²		ITA ³⁾ 294.140 km ²		CA ⁴⁾ 125.500 km ²		AB ⁵⁾ 640.082 km ²		CL ⁶⁾ 743.532 km ²	
	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.	Abs.	Rel.
Ø	2,32	0,14	1862	0,53	12409	2,48	9003	3,06	6224	5,33	1072	0,17	4620	0,62
Min	0	0	496	0,14	1665	0,33	2358	0,80	517	2,36	374	0,06	551	0,07
Max	8	0,47	7913	2,27	25557	5,12	18664	6,35	10038	8,0	1954	0,30	7572	1,02
Med	2	0,12	1467	0,42	11722	2,35	8878	3,02	6835	5,45	989	0,15	5202	0,70
σ	2,12	0,12	1369	0,39	7058	1,41	3505	1,19	1468	1,17	409	0,06	1845	0,29

(eigene Erhebungen; ¹⁾BLE (2013), KÖNIG (2007); ²⁾MAGRAMA (2012a,b); ³⁾CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); ⁴⁾STATE OF CALIFORNIA (2012); ⁵⁾GOVERNMENT OF ALBERTA (2012); ⁶⁾CONAF (o.J.); * DESTATIS (2013a); ** GOVERNMENT OF CANADA (2013)

Verantwortlich für diesen Sachverhalt sind in erster Linie die besonders Feuer förderlichen Vegetations- und Klimaverhältnisse in den mediterranen Ökosystemen Kaliforniens, Italiens und Spaniens im Verbund mit speziellen sozioökonomischen Strukturen und Prozessen. Konkret sind hier v. a. der Wechsel zwischen einem mild-feuchten, wachstumsfördernden und einem von z. T. sehr starker Trockenheit geprägtem Halbjahr zu nennen, in dem ein winziger Funke genügt, um die verbreitet an Harz und ätherischen Ölen reiche Pflanzendecke bzw. deren angehäuften Streu zu entflammen. Abwanderung aus dem ländlichen Raum und der Zuzug in den Grenzbereich zwischen Natur- und Kulturräum tragen zu einer zusätzlichen Verschärfung der Waldbrandgefahr in diesen Regionen bei (FAO 2007; LEONE ET AL. 2009; USTIN ET AL. 2009).

Kalifornien verdankt seine Führungsposition zudem dem relativ kleinen Zuständigkeitsgebiet der u. a. für die Waldbrandproblematik auf Privatland verantwortlichen bundesstaatlichen Einrichtung *CAL FIRE*, von der sämtliche kalifornische Waldbranddaten in 5.2 stammen.

Ebenfalls erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang einige absolute Zahlen. So beläuft sich beispielsweise das mittlere jährliche Waldbrandaufkommen in Spanien zwischen 1970 und 2010 auf über 12400 Ereignisse, dasjenige in Italien auf mehr als 9000. In extremen Jahren, wo es auch in der BRD zu beinahe 8000 Bränden kommen kann, erhöhen sich diese Werte noch auf mehr als das Doppelte.

Was die Entwicklung der Waldbrandzahlen in den besonders waldbrandreichen Gebieten anbelangt (vgl. Abb.79), so ist jeweils seit dem Auftreten von Maximalständen (Kalifornien 1979, Italien 1985, Spanien 1995) ein deutlicher Abnahmetrend bis ins Jahr 2010 zu verzeichnen. Ursächlich für den Rückgang in Kalifornien dürfte in erster Linie ein Strategiewechsel in den USA von der bloßen Waldbrandkontrolle hin zu einem umfassenderen Problemmanagement Ende der 1970er Jahre sein, das auch Maßnahmen zur Verhinderung von Ausbrüchen beinhaltet. Hierzu zählen beispielsweise Aufklärungskampagnen in der Bevölkerung oder die Beseitigung von potentiell brennbarem Material in den Wäldern (ARNO & ALLISON-BUNNELL 2002; WESTERLING & SWETNAM 2003).

In Italien ist ein enger Zusammenhang der rückläufigen Waldbrandzahlen mit Gesetzesänderungen und der Gründung des nationalen Zivilschutzes Anfang der 1990er anzunehmen (SCIPIONI ET AL. 1999).

Vergleichbares gilt für Spanien, wo 1995 der staatliche Waldbrand-Zivilschutzplan verabschiedet wurde (MAGRAMA 2012b), mit welchem u. a. dem Hauptproblem, der mit der Landaufgabe im ländlichen Raum in Verbindung stehenden Anhäufung von Unmengen an Brandgut (VÉLEZ 1995, 1996), begegnet werden sollte. 2003 und 2005 folgten weitere wichtige Gesetzesvorlagen (MAGRAMA 2012b). Die Waldbrandhäufigkeit bewegt sich allerdings 2010 in Spanien, im Gegensatz zu Italien und insbesondere Kalifornien, weiterhin klar über demjenigen Niveau von zu Beginn der 1970er Jahre, als die Verhältnisse jenen im Untersuchungsgebiet kurzzeitig sehr nahe kamen.

In allen drei Subtropenregionen kommt es trotz aller Verhinderungsbemühungen in Folge von Witterungsextremen aber immer wieder zu einer markanten Häufung von Ereignissen in einzelnen Jahren, wie etwa 2005 oder 2007 (JRC 2006, 2008; CAMIA & AMATULLI 2009).

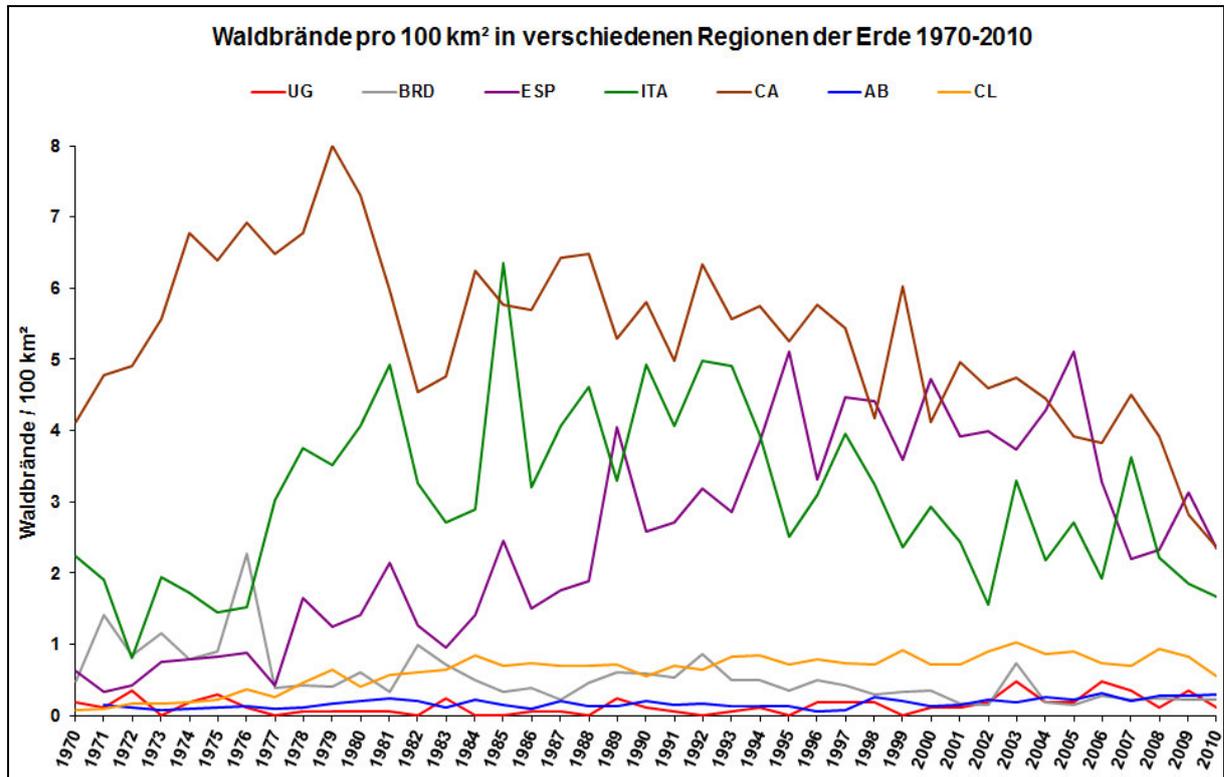


Abb.79: Anzahl an Waldbränden pro 100 km² in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010 (eigene Erhebungen; BLE (2013); KÖNIG (2007); MAGRAMA (2012a,b); CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); STATE OF CALIFORNIA (2012); GOVERNMENT OF ALBERTA (2012); CONAF (o.J))

Eine ebenfalls rückläufige Tendenz bei den Waldbrandhäufigkeiten ist in der BRD über den gesamten in Abb.79 erfassten Zeitraum festzustellen, wobei der Kurvenverlauf 1976, 1982, 1992 und 2003 markante Häufigkeitsspitzen zeigt, die nach ANTO RAJA (2011) auf witterungsklimatische Besonderheiten zurück zu führen sind. Auffällig waldbrandreiche Jahre aufgrund derselben Ursache waren in Deutschland im 20. Jahrhundert außerdem 1946, 1947, 1954 und 1959 (KÖNIG 2007). Parallelen zum Untersuchungsraum bestehen insofern, als dass in den Jahren 1946, 1947 und 2003 hier ebenso überdurchschnittlich viele Ereignisse hauptsächlich in Folge außergewöhnlicher Witterungsverhältnisse stattfanden. Insgesamt lassen sich jedoch trotz der räumlichen Nähe zueinander keine weiteren offensichtlichen Gemeinsamkeiten erkennen, was sich auch im über weite Strecken sehr unterschiedlichen Verlauf der Graphen der beiden Regionen in Abb.79 zeigt. Bemerkenswert ist ferner, dass es 2002 erstmalig und in Folge wiederholt im Untersuchungsgebiet - relativ betrachtet - öfter zu Walbrandausbrüchen gekommen ist als in der BRD. Für den sukzessiven Rückgang der Waldbrandzahlen in Deutschland nach 1990 macht KÖNIG (2007) u. a. den Abzug des russischen Militärs verantwortlich, das zu den maßgeblichen Waldbrandverursachern in der sowjetischen Besatzungszone gezählt werden musste.

Neben den auf gleichem Niveau liegenden Waldbrandfrequenzen weisen Alberta und der Untersuchungsraum mit dem tendenziellen Anstieg der jährlichen Waldbrandzahlen ab Ende der 1990er eine weitere Gemeinsamkeit auf. An denkbaren Ursachen für diese Entwicklung in der kanadischen Provinz ist zum einen die zunehmende Ansiedlung von Menschen an der Grenze zwischen Kultur- und Naturraum (wildland-urban interface) zu nennen, denen oftmals das nötige Wissen um die Waldbrandgefahr und entsprechende Verhaltensweisen in ihrem neuen Umfeld fehlt (FAO 2007, PETER ET AL. 2006). Einen weiteren Faktor stellt die anormale Anhäufung von leicht entzündbarer Biomasse durch Feuersuppression insbesondere in Siedlungsnähe und das schadhafte Auftreten des Borkenkäfers *Dendroctonus ponderosae* dar (CHRISTIANSON ET AL. 2011). Erschwerend kommt hinzu, dass der Klimawandel u. a. gemäß FLANNIGAN ET AL. (2005) offensichtlich eine Zunahme von Feuer fördernden (Witterungs-) Bedingungen in der Region nach sich zieht, was WESTERLING ET AL. (2006) ebenfalls im Westen der USA feststellen konnten. Selbiges gilt für den Alpenraum, für den ebenso von einer Verschärfung und Ausbreitung des Waldbrandphänomens ausgegangen wird (SCHUMACHER & BUGMANN 2006; PARRY ET AL. 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2008; ZUMBRUNNEN ET AL. 2011).

5.2.2 Waldbrandflächen

Wie Tab.48 zu entnehmen ist, übertrifft die durchschnittliche mittlere Waldbrandausdehnung im Untersuchungsgebiet mit 3,4 Hektar jene in Deutschland im Zeitraum 1970-2010 um mehr als das Vierfache. Eine weitere Größenordnung darüber liegen die aus Kalifornien (≈ 8 ha), Italien (12 ha) Chile (≈ 13 ha) und Spanien (≈ 18 ha) zur Verfügung stehenden Zahlen, die jedoch von den Werten aus Alberta und Alaska noch bei weitem übertroffen werden. In den letzten beiden genannten Regionen liegt die mittlere Brandflächengröße im Schnitt mit rund 206 bzw. 666 Hektar etwa um den Faktor 60 bzw. 200 über dem Niveau im Untersuchungsraum.

Tab.48: Eckdaten zur mittleren Brandflächengröße [ha] in verschiedenen Regionen 1970-2010

	UG	BRD ¹⁾	ESP ²⁾	ITA ³⁾	CA ⁴⁾	CL ⁵⁾	AB ⁶⁾	AK ⁷⁾
Ø	3,4	0,8	18,4	12,0	8,2	12,9	206,4	666,4
Min	0	0,2	3,6	6,0	0,5	2,0	1,9	9,7
Max	15,7	3,4	51,9	26,7	30,5	69,6	2.203,7	3.793
Med	1,5	0,7	16,7	11,0	7,1	9,6	46,4	351,0
σ	4,7	0,5	12,9	4,3	6,7	11,6	438,6	819,7
Bev. [Ew/km ²]	ca. 115	234,7*	92,6*	206,4*	92,3**	23,2*	5,7***	0,5**

(eigene Erhebungen; ¹⁾BLE (2013), KÖNIG (2007); ²⁾MAGRAMA (2012a,b); ³⁾CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); ⁴⁾STATE OF CALIFORNIA (2012); ⁵⁾CONAF (o. J.); ⁶⁾GOVERNMENT OF ALBERTA (2012); ⁷⁾TODD & JEWKES (2006), AICC (2006-2010);

*DESTATIS (2013b); ** U.S. CENSUS BUREAU (2012A); *** GOVERNMENT OF CANADA (2013)

Ausschlaggebend dafür, dass die Waldbrände in den Nördlichen Kalkalpen im Mittel eine vergleichsweise große Ausdehnung erreichen, ist in erster Linie die weitestgehend problematische Erreich- und Bekämpfbarkeit der Ereignisse dort, da im alpinen Gelände Löschpersonal und -mittel oft nur unter großem Aufwand mit Hubschraubern an den Brandherd zu befördern sind und Absturz- und Steinschlaggefahr den Löschfortschritt behindern können (vgl. 4.2).

Eine weitere Erklärung verbirgt sich hinter der relativ geringen Anzahl an Ereignissen im Untersuchungsraum, die mit Flächeninformationen verbunden sind, so dass sich bereits ein bedeutenderes Ereignis merklich auf den Gesamtdurchschnitt auswirkt. Um diesem Problem ein Stück weit zu begegnen, sind in Tab.48 zusätzlich die Mediane angegeben, bei denen der Wert aus dem Untersuchungsgebiet verglichen mit der BRD schlussendlich noch etwas mehr als doppelt so groß ausfällt.

In bevölkerungsarmen Gebieten, wie beispielsweise Alaska oder Alberta, kommt zur erschwerten Erreichbarkeit der Brandherde durch den geringen Erschließungsgrad der Landschaft noch deren späte Entdeckung hinzu (KASISCHKE 2000; STOCKS ET AL. 2010). Auch in den bisweilen menschenleeren Tälern im Alpenraum ist es durchaus möglich, dass ein Waldbrand erst mit einiger Verzögerung nach dessen Ausbruch gemeldet wird.

Dünne Besiedlung führt in den borealen Wäldern nicht nur zu einer verzögerten Branderkennung, sondern auch zu einer natürlichen Anhäufung von brennbarer Substanz, die durch Käfer- oder Krankheitsbefall noch verstärkt werden kann (KASISCHKE 2000; STOCKS ET AL. 2010). Weitere Faktoren, die in diesen Regionen eine schnelle und großräumige Ausbreitung von Feuer fördern, stellen nach KASISCHKE (2000) das verbreitet kontinentale Klima (Jahresniederschlag < 300 mm, Sommertagestemperaturen > 20 bis 30 °C), die Vegetationszusammensetzung (Vorherrschen leicht entzündlicher, feuerangepasster Arten in Unterwuchs und Baumschicht) und der Reichtum an Böden mit hohem Gehalt an organischem Material dar.

Weiterhin spielen entsprechend vorhandene Windverhältnisse eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Großbränden (FAURIA & JOHNSON 2008; ALEXANDER 2010; STOCKS ET AL. 2010).

Zu den bisher genannten Einflussgrößen kommt laut STOCKS ET AL. (2010) hinzu, dass weit abseits von Siedlungen, wo die Feuer keine unmittelbare Gefahr bedeuten oder ökonomischen Schaden verursachen, diese in Nordamerika ohne Bekämpfung sich schlicht selbst überlassen werden und somit immense Dimensionen erreichen können. Hat sich ein Waldbrand erst einmal in Form eines Kronenfeuers - der u. a. nach JOHNSON (1992) häufigsten Waldbrandart in den Nördlichen Wäldern - entwickelt, so ist er aufgrund der hohen Feuerintensität von Menschenhand allein ohnehin kaum mehr zu kontrollieren (BOURGEAU-CHAVEZ ET AL. 2000; KASISCHKE ET AL. 2010).

In den überwiegend mediterran geprägten Ökosystemen Spaniens, Italiens, Kaliforniens und Chiles nehmen neben den bereits genannten klimatischen und vegetationsgeographischen Parametern wiederum spezielle Windbedingungen bedeutenden Einfluss auf die Brandflächengröße (FAO 2007). So

stehen beispielsweise nach USTIN ET AL. (2009) in Südkalifornien warme, trockene Fallwinde (*Santa Ana Winds*) regelmäßig in Verbindung mit extremen und äußerst zerstörerischen Ereignissen. Vergleichbares gilt für die Mittelmeerregion, wo trockene Inlandswinde im Sommer zunächst die Vegetation austrocknen und mit ihrer hohen Geschwindigkeit massiv die Feuerausbreitung vorantreiben (FAO 2007).

Ferner ist in allen vier Regionen in Folge der jeweiligen topographischen Gegebenheiten von Problemen bei der Feuerbekämpfung in unzugänglichem Gelände auszugehen.

Wie sich die durchschnittliche Brandflächengröße in verschiedenen Subtropenregionen, in der BRD und im Untersuchungsraum zwischen 1970 und 2010 entwickelt hat, zeigt Abb.80. Darin wird deutlich, dass sich v. a. in Spanien die Situation seit 1978 (51,9 ha) sehr deutlich verbessert hat und lediglich in Ausnahmejahren zunächst Höchstwerte von um die 20 Hektar und nach 1994 von nur noch knapp unter zehn Hektar aufgetreten sind. An Ursachen für diesen Rückgang sind laut MAGRAMA (2012b) hauptsächlich eine Effektivitätssteigerung bei der Branddetektion und -bekämpfung sowie eine Förderung der Brandgutbeseitigung zu nennen.

In Italien dagegen ist in der Tendenz nur eine leichte Abnahme zu verzeichnen. Hier umfasste die einzelne Waldbrandfläche im statistischen Mittel zwischen 1970 und 1985 mit einer Ausnahme stets über zehn Hektar, wobei fünfmal Werte von über 20 ha erreicht wurden. In den folgenden Jahren wurde die 10-Hektar-Marke sukzessive immer häufiger und regelmäßiger unterschritten und Extremwerte von über 15 Hektar traten nur mehr sehr vereinzelt (1998, 2007) auf. Es ist anzunehmen, dass in Italien ebenfalls Fortschritte auf dem Feld der Waldbrandentdeckung und -bekämpfung für die rückläufigen Zahlen verantwortlich sind.

Ein komplett gegenläufiger Trend zeichnet sich in Kalifornien ab, wo seit Beginn der 1990er die durchschnittliche Brandflächenausdehnung anwächst. Hierfür sind in erster Linie Auswirkungen des Klimawandels (u. a. Verringerung der Schneebedeckung, Häufung bzw. Intensivierung von Trockenperioden), sowie Folgen der Landnutzungshistorie einschließlich einer rückblickend verfehlten Feuerverhinderungspolitik verantwortlich. Die Zunahme extremer El-Niño- bzw. La-Niña-Ereignisse, die maßgeblichen Einfluss auf die jährlichen Niederschlagsmengen haben, scheinen an dieser Entwicklung gleichermaßen beteiligt zu sein, wie eine knappe Verdoppelung der Bevölkerungsdichte in den vergangenen 30 Jahren (WESTERLING 2006; USTIN ET AL. 2009).

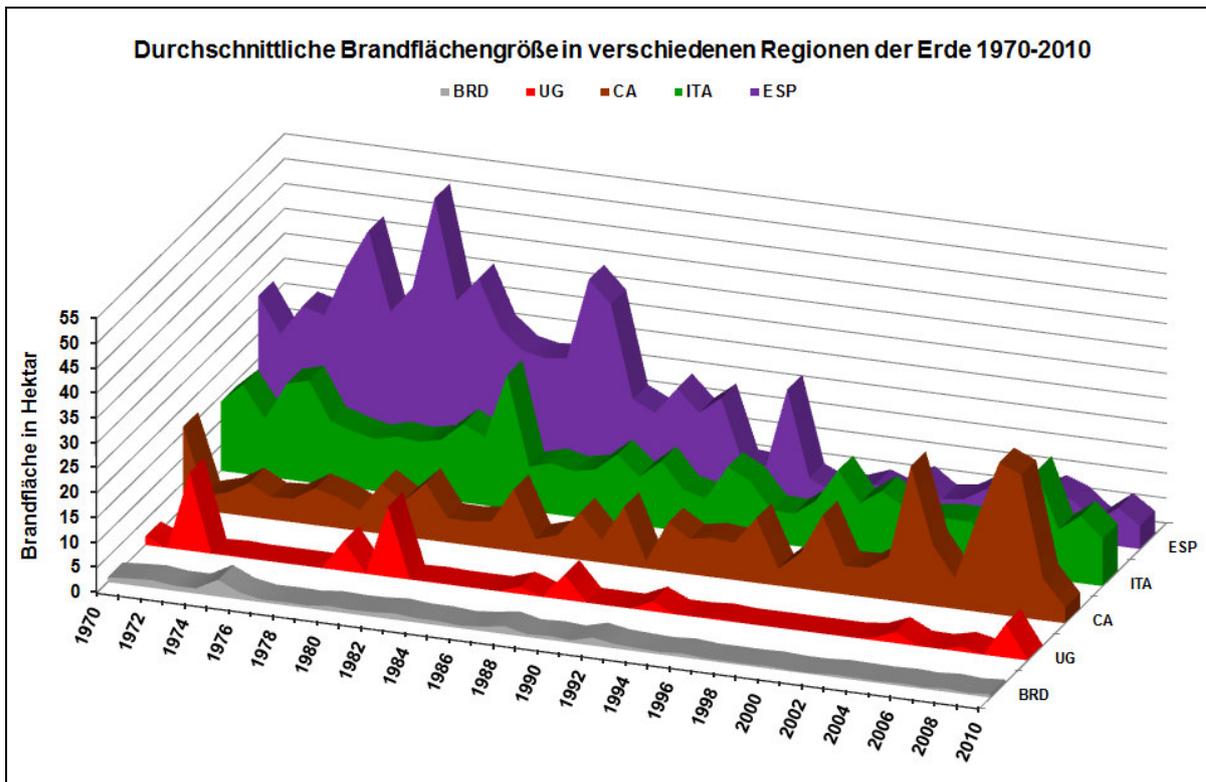


Abb.80: Durchschnittliche Brandflächengröße in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010 (eigene Erhebungen; BLE (2013); KÖNIG (2007); CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); STATE OF CALIFORNIA (2012); MAGRAMA (2012a,b))

Für Deutschland, wo in der unmittelbaren Nachkriegszeit in Folge stark eingeschränkter technischer Möglichkeiten der Waldbrandbekämpfung viele Brände noch Dimensionen von über zehn Hektar erreichten, lässt sich sagen, dass im Laufe der Zeit große Fortschritte im Waldbrandschutz durch die Erhöhung der Schnelligkeit von Informations- und Befehlsübermittlung, Alarmierung und praktischer Bekämpfungshandlungen erzielt wurden (KÖNIG 2007). Dies zeigt sich sehr deutlich daran, dass im Ausnahmejahr 2003 bei gleicher Anzahl von Ereignissen wie 1983 die geschädigte Fläche gemäß ANTO RAJA (2011) um 58 % kleiner war. Die Wiedervereinigung hatte laut KÖNIG (2007) durch den Beginn des Einsatzes modernster Früherkennungstechnik und die Modernisierung der mobilen Feuerwehrtechnik besonders positive Auswirkungen auf die Waldbrandgrößen in den neuen Bundesländern, wo mit Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Sachsen ohnehin die waldbrandreichsten Regionen Deutschlands zwischen 1993-2009 zu finden waren (ANTO RAJA 2011). Herauszustellen ist in der BRD das Jahr 1975, in dem in Folge von Witterungsextremen Waldbrände von mehreren Tausend Hektar Fläche wüteten (s. 5.2.3) und für einen merklichen Anstieg der durchschnittlichen Brandflächengröße sorgten (vgl. Abb.80).

Ebenso auf außergewöhnliche Witterungsverhältnisse (starke Trockenheit und Wind) zurückzuführen sind jene markanten Spitzen in der Verlaufskurve des Untersuchungsgebiets 1972, 1981 und 2009. In diesen Jahren traten in Folge der „günstigen“ Rahmenbedingungen einzelne über zehn Hektar umfas-

sende Ereignisse auf und ließen die mittlere Waldbrandausdehnung auf italienische Ausmaße anwachsen.

Aus Gründen der Darstellbarkeit musste auf Daten aus Alaska und Alberta in Abb.80 verzichtet werden, da die Waldbranddimensionen dort ganz andere Größenordnungen erreichen. Dennoch soll kurz auf einige Auffälligkeiten in der Entwicklung der mittleren Brandflächenausdehnung in diesen beiden Regionen zwischen 1970 und 2010 eingegangen werden.

In der kanadischen Provinz beträgt über den genannten Zeitraum betrachtet die Fläche eines Waldbrandes in der Regel zwischen rund zwei und ca. 180 Hektar. Eine Phase von 1979 bis 1982 mit Werten zwischen 500 und 2204 Hektar, sowie die Jahre 1995, 1998 und 2002 (420 ha, 430 ha, 343 ha) bilden hiervon die Ausnahmen.

Im nördlichsten US-Bundesstaat zeigen sich in der Zeitreihe außer den enormen annualen Schwankungen nahezu keine Gemeinsamkeiten mit Alberta. Besonders fällt ins Auge, dass in der Periode 2001-2010 in Alaska allein vier von den insgesamt fünf über 1500 Hektar liegenden Höchstwerten vorkommen, während in Alberta die absoluten Maxima zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt auftreten. Jahre mit weit überdurchschnittlichen Flächengrößen von 1000 bis knapp 1500 Hektar außerhalb der Dekade 2001-2010 waren 1977, 1988, 1990 und 1997.

STOCKS ET AL. (2003) machen für diese Extreme, die ebenso wie die großen jährlichen Unterschiede in der Waldbrandfläche ein Charakteristikum der Waldbrandregime in den borealen Wäldern sind (STOCKS ET AL. 2010), das Auftreten außerordentlich feuerförderlicher Witterungsbedingungen verantwortlich. Deren Zustandekommen steht in engem Zusammenhang mit der Präsenz eines über zehn Tage anhaltenden mittel-troposphärischen Hochs über der jeweiligen Subregion, das für warmes und trockenes Wetter sorgt. Der Zusammenbruch des Hochs geht schließlich mit starkem Wind und Blitzschlag einher, die in Verbindung mit der ausgetrockneten Vegetation optimale Voraussetzungen für die Genese eines Großbrandes darstellen. Die Häufigkeit und Persistenz solcher Hochdruckgebiete wird wiederum von der Dynamik überregionaler Zirkulationssysteme wie der Arktischen Oszillation und/oder der Pacific Decadal Oscillation in Zusammenspiel mit der El Niño Southern Oscillation gesteuert (MACIAS FAURIA & JOHNSON 2008; KASISCHKE ET AL. 2010).

Die jüngste Entwicklung in Alaska führen KASISCHKE ET AL. (2010) auf den Klimawandel zurück, der hier zu einer immer kürzeren Aufeinanderfolge von Jahren mit extrem großen Waldbränden führt. Erwähnenswert ist weiterhin, dass in diesem Zusammenhang eine steigende Zahl von Mit- und Spätsommerereignissen zu verzeichnen ist, die tendenziell größer ausfallen, da zu dieser Jahreszeit durch Niederschlagsdefizite trockene, an organischem Material reiche Böden in Kombination mit saisonal aufgetautem Permafrost für ein zusätzliches Angebot an Brennmaterial sorgen (STOCKS ET AL. 2010).

Einen überblickshaften Vergleich der Flächen, die zwischen 1970 und 2010 in unterschiedlichen Regionen jährlich von Waldbränden betroffen waren, bieten Tab.49 und Abb.81. Gut zu erkennen ist in Tab.49 die bereits erwähnte sehr große Schwankungsbreite in den borealen Gebieten. So übertrifft beispielsweise in Alberta die größte Jahresschadensfläche ($\approx 3,3$ Mio. ha) die kleinste (831 ha) um das 4000-fache. In den Mittelmeerländern (ITA, ESP) liegen die Unterschiede lediglich im Bereich des acht- bis 14-fachen, wohingegen in Deutschland ein Faktor von 87 erreicht wird.

Tab.49: Eckdaten zur jährlichen Waldbrandfläche [ha] in verschiedenen Regionen 1970-2010

	UG	BRD ¹⁾	ESP ²⁾	ITA ³⁾	CA ⁴⁾	CL ⁵⁾	AB ⁶⁾	AK ⁷⁾
	1700 km ²	348.610 km ²	498.800 km ²	294.140 km ²	125.500 km ²	743.532 km ²	640.082 km ²	*1.477.953 km ²
Ø	6,8	1.914	164.776	107.625	53.403	47.884	268.069	395.599
Min	0	122	34.312	27.303	4.196	9.604	831	3.139
Max	47	10.703	484.475	229.850	172.094	101.691	3.353.971	2.639.932
Med	2	964	137.272	99.860	49.049	43.384	50.375	193.226
σ	12	2431	108.637	54.280	38.476	26.006	629.524	541.412
(Ø/km²) [%]	0,004	0,005	0,330	0,366	0,426	0,064	0,418	0,268

(eigene Erhebungen; ¹⁾BLE (2013), KÖNIG (2007); ²⁾MAGRAMA (2012a,b); ³⁾CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); ⁴⁾STATE OF CALIFORNIA (2012); ⁵⁾CONAF (o. J.); ⁶⁾GOVERNMENT OF ALBERTA (2012); ⁷⁾TODD & JEWKES (2006), AICC (2006-2010); *U.S. CENSUS BUREAU (2012b)

Im Hinblick auf die durchschnittlichen Jahressummen, die abhängig sind von der Anzahl bzw. Größe der Einzelereignisse - also denselben in den vorangehenden Abschnitten diskutierten Ursachenzusammenhängen unterliegen - werden in Tab.49 mit rund 270.000 bzw. 400.000 Hektar in Alberta und Alaska die höchsten Werte erzielt, gefolgt von Spanien und Italien (≈ 160.000 bzw. 110.000 ha). Hinter Kalifornien (≈ 53.000 ha) und Chile rangiert mit sehr deutlichem Abstand die BRD (≈ 1900 ha) vor dem Untersuchungsraum (< 10 ha). Aus den für Victoria von DAVIES (1997) für die Phase 1976-1996 zusammengestellten Daten geht hervor, dass hier im Mittel ca. 460.000 Hektar pro Jahr gebrannt haben.

Um eine bessere Vergleichbarkeit dieser in hohem Maße von der jeweils zu Grunde liegenden Beobachtungsfläche abhängigen Zahlen zu gestatten, ist in Tab.49 zusätzlich der Quotient aus der durchschnittlichen Jahresschadensfläche und dem zugehörigen Beobachtungsareal enthalten. Hier zeigt sich eine große Ähnlichkeit zwischen der BRD und dem Untersuchungsgebiet, wo Jahr für Jahr mit 0,005 bzw. 0,004 % jeweils nur ein sehr kleiner Flächenbruchteil von Waldbränden betroffen ist. Wesentlich höhere Anteile (0,33 bis 0,37 %) sind im Mittelmeerraum die Regel. Die höchsten Werte liegen aus Alberta und Kalifornien vor ($> 0,4$ %), wobei hinsichtlich Kalifornien das relativ kleine Bezugsgebiet zu berücksichtigen ist. Für Victoria beträgt der Anteil zum Vergleich nur 0,06 % (DAVIES 1997).

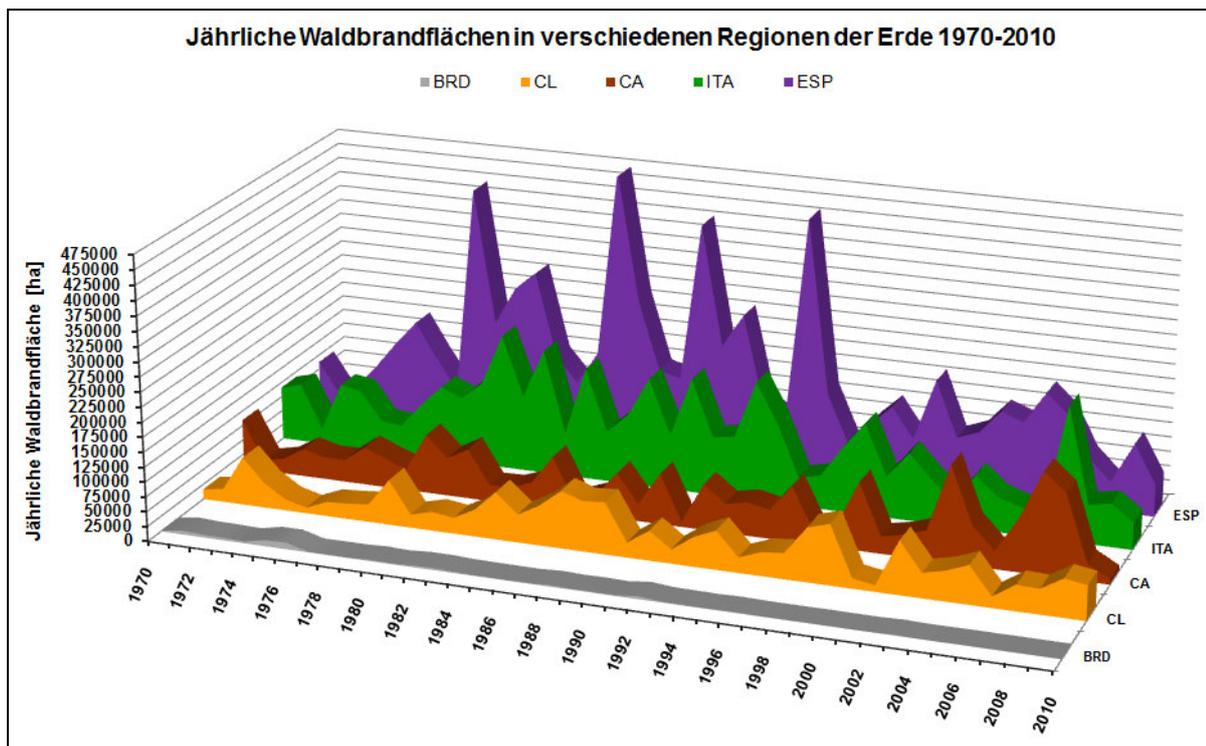


Abb.81: Jährliche Waldbrandflächen in verschiedenen Regionen der Erde 1970-2010
 BLE (2013); KÖNIG (2007); CONAF (o.J.); STATE OF CALIFORNIA (2012); CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); MAGRAMA (2012a,b)

Bemerkenswert in Bezug auf die Entwicklung der jährlichen Waldbrandflächen (Abb.81) ist zum einen die deutlich wahrnehmbare Kappung der Extrema in Spanien seit 1995 auf unter 190.000 Hektar, nachdem zuvor noch in regelmäßigen Abständen markante Ausreißer von über 400.000 Hektar das Waldbrandgeschehen geprägt hatten.

In Italien ist seit 1981 ebenfalls eine tendenzielle Abnahme bei den Spitzenwerten festzustellen, die lediglich durch das Ausnahmejahr 2007 kurz unterbrochen wurde.

Für Kalifornien zeigt sich beinahe exakt das gleiche Bild wie in Abb.80: seit Anfang der 1990er ist im Mittel eine stetige Zunahme der pro Jahr abgebrannten Fläche zu konstatieren, während sich in Chile über den gesamten Zeitraum 1970-2010 keine Tendenzen abzeichnen, was in gleicher Weise für das Untersuchungsgebiet gilt.

Im Unterschied dazu ist in Deutschland seit 1971 deutlich ein rückläufiger Trend festzustellen, der in den Extremjahren 1975, 1976 und 1992, die durch außergewöhnlich viele und große Ereignisse gekennzeichnet waren, eine Abschwächung findet. Parallelen zu Entwicklungen im Untersuchungsraum lassen sich keine ausmachen.

In Bezug auf Alaska und Alberta sind dieselben Aussagen zu treffen, wie bereits in Zusammenhang mit den durchschnittlichen Brandflächengrößen. Erwähnenswert ist jedoch, dass in Alberta eine stärkere Steuerung der Jahresbrandfläche über die Anzahl der Ereignisse stattfindet als in Alaska.

Wie die vorausgegangenen Ausführungen deutlich machen, wird die Auftrittshäufigkeit und die Ausdehnung von Waldbränden von einer Reihe verschiedenster Faktoren beeinflusst, was sich auch schon

im alpeninternen Vergleich unter 5.1 gezeigt hatte. Die Bedeutung der einzelnen Parameter ist dabei - selbst in benachbarten Räumen - regional bzw. lokal durchaus sehr unterschiedlich.

Neben den natürlichen und sozioökonomischen Einflussgrößen sind bei der Betrachtung der Zeitreihen außerdem stetige Verbesserungen bei der Erfassung von Waldbrandinformationen insbesondere durch fernerkundliche und digitale Methoden zu berücksichtigen (u. a. KASISCHKE ET AL. 2002; JRC 2006; SAN-MIGUEL-AYANZ ET AL. 2009; STOCKS ET AL. 2010).

5.2.3 Waldbrandextreme

In den Tabellen 50 und 51 sind einige der größten deutschland- bzw. weltweiten Brandereignisse aus dem Zeitraum 1900 bis 2011 aufgeführt. Es handelt sich dabei überwiegend um reine Waldbrände, wobei speziell in Tab.51 größere Anteile von Busch- und Grasland an der der Gesamtbrandfläche nicht auszuschließen sind. Ferner ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass mehrere Einzelfeuer zur selben Zeit in derselben Region unter einem gemeinsamen Namen zu einem Großereignis zusammengefasst wurden.

Tab.50: Bedeutende Waldbrandereignisse in Deutschland zwischen 1910 und 2010

Zeitraum	Lokalität	Bundesland	Fläche [ha]	Anmerkungen
3./4.9. 1911 ¹⁾	Schwerin	Mecklenburg-Vorpommern	1700	Laufzeit 9 Std.
23.7. 1925 ¹⁾	Schollene	Sachsen-Anhalt	2050	Laufzeit 8 Std.
7.7. 1934 ¹⁾	Speck	Mecklenburg-Vorpommern	1500	Kiefernbestand
14./15.-18.8. 1947 ²⁾	Nürnberg	Bayern	900	Reichswald
1962 ³⁾	Revier Herrmannsdorf	Sachsen	ca. 2000	Dauer: >3 Wochen
August 1975 ⁴⁾	Lüneburger Heide	Niedersachsen	$\Sigma \approx 8000$	5 größere WB
22.5.-10.6. 1992 ³⁾	Weißwasser	Sachsen	≈ 1000	trocken-warmes Frühjahr
2003, 2008, 2010 ⁵⁾	Jüterbog	Brandenburg	275, 200, 245	WGT-Übungsplatz

¹⁾MISSBACH (1982); ²⁾GEIGER (1950); ³⁾STUCKA (2009); ⁴⁾DER SPIEGEL (1975); ⁵⁾LAND BRANDENBURG (2003, 2008, 2010)

Bei der Betrachtung von Tab.50 fällt ins Auge, dass die Ausmaße der extremen Waldbrände in Deutschland in den 2000er Jahren mit weniger als 300 Hektar wesentlich geringer waren, als in den vorangegangenen Jahrzehnten (> 900 ha), was Resultat der bereits angesprochenen Fortschritte in der Waldbrandfrüherkennung und -bekämpfung ist. Im Vergleich dazu erreichten die Waldbrände im Untersuchungsgebiet während der letzten 100 Jahre eine maximale Größe von ca. 120 Hektar. Des Weiteren

ren tritt in Tab.50 zu Tage, dass es in den neuen Bundesländern häufiger zu weit überdurchschnittlich großen Bränden kommt, als in den übrigen Landesteilen.

Neben den in Tab.51 aufgeführten Großereignissen, die Flächen zwischen ca. 27.000 (Einzelbrand) und 2,8 Mio. Hektar (Brandkomplex) betrafen, seien noch einige andere Extremfälle kurz erwähnt, die über längere, nicht genauer erfasste Zeiträume andauerten: während des ENSO-Ereignisses 1997-1998 kam es beispielsweise in Indonesien hervorgerufen durch lang anhaltende Trockenheit, starken Wind sowie unzureichende Brandbekämpfungskapazitäten nach GOLDAMMER & HOFFMANN (2002) zu einer großflächigen Zerstörung von insgesamt rund 5,7 Mio. Hektar Wald-, Busch- und Grasland. Laut GFMC (2011) war es bereits 1982/83 in der Provinz Borneo zu katastrophalen Bränden gekommen. Ebenfalls 1997 verbrannten in der Mongolei 12,4 Mio. Hektar Wald und Steppe, wohingegen es in Sibirien während der Dürreperiode 2003 sogar mehr als 23 Mio. Hektar waren (GFMC 2011). Im europäischen Russland fanden auch in Folge abnormer Witterungsbedingungen 2010 die folgenreichsten Waldbrände seit Beginn der Aufzeichnungen statt. Russlandweit zerstörten 32.300 Feuer etwa 2,3 Mio. Hektar Wald- und Moorfläche und forderten 62 Menschenleben (WILLIAMS ET AL. 2011).

Tab.51: Größere Brandereignisse zwischen 1910 und 2011 weltweit

Zeitraum	Lokalität, Name	Staat	Fläche [ha]	Anmerkungen
Aug. 1910 ¹⁾	Idaho u. Montana, Great Idaho Fire	USA	1,2 Mio.	85 Tote
Mai 1919 ²⁾	Saskatchewan/Alberta	Kanada	≈ 2,8 Mio.	Brandkomplex
13.1.-15.1. 1939 ³⁾	Victoria, Black Friday Fires	Australien	≈ 1,3 Mio.	Einzelbrände bereits im Dez. 1938, 71 Tote
Mai - Jun. 1987 ⁴⁾	Daxinganling Region, Great Black Dragon F.	China	1,3 Mio.	innerhalb 32 Std. 400.000 ha verbrannt
14.6. - Ende Sept. 1988 ⁵⁾	Yellowstone NP, Yellowstone Fire	USA	≈ 570.000	7 Brände machen 95 % der Schadfläche aus
4.7.-12.7. 1994 ⁶⁾	Requena-Buñol (Nähe Valencia)	Spanien	26.695	größtes Feuer in Europa 1980-2006
Anfang 1998 ⁷⁾	Roraima	Brasilien	≈ 1,3 Mio.	Regenwald
Jan.-30.4. 2003 ³⁾	Victoria, Eastern Victorian Alpine Fires	Australien	1,1 Mio.	Park- u. Waldfläche, viele Blitzschlagbrände
Ende Aug. 2007 ⁸⁾	Halbinsel Peloponnes	Griechenland	≈ 150.000	5 Großbrände, 68 Tote
Februar 2009 ³⁾	Victoria, Black Saturday Fires	Australien	≈ 430.000	mehrere Einzelbrände, 173 Tote
10.5.-15.8. 2011 ⁹⁾	Alberta, Richardson Fire	Kanada	≈ 710.000	Brandkomplex

¹⁾NIFC (o. J. a); ²⁾ALEXANDER (2010); ³⁾STATE OF VICTORIA (1996-2012); ⁴⁾GOLDAMMER & STOCKS (2000); ⁵⁾SCHULLERY (1989); ⁶⁾CAMIA & AMATULLI (2009); ⁷⁾HIRSCHBERGER (2011); ⁸⁾JRC (2008); ⁹⁾GOVERNMENT OF ALBERTA (2012)

Wie Tab.51 und darüber hinaus der Blick in die längerfristige Waldbrandhistorie zeigen, sind solche Extreme auch in der früheren Vergangenheit verbreitet und ein wesentliches Element regionaler Waldbrandregime gewesen. Allerdings vollzieht sich im Zuge des Klimawandels und des Bevölkerungswachstums bereits eine Zunahme solch katastrophaler Ereignisse mit hohen personellen und infrastrukturellen Schäden (VIEGAS ET AL. 2009; GFMC 2011; WILLIAMS ET AL. 2011).

5.2.4 Waldbrandsaisonalität

Wie bereits unter 4.1.1 erläutert wurde, zeichnet sich die Waldbrandsaison im Untersuchungsgebiet durch zwei Phasen erhöhter Feueraktivität in den Zeiträumen März/April und August aus. Eine ähnliche Zweiteilung ist unter den Vergleichsregionen ebenfalls in der BRD, in Spanien sowie in abgeschwächter Form in Alaska vorzufinden, wobei in Deutschland die Perioden April-Mai und Juli-August hervorzuheben sind (LEX & GOLDAMMER 2001; HIRSCHBERGER 2011). Nach ANTO RAJA (2011) übertraf dabei im Zeitraum 1992-2009 speziell in den häufiger betroffenen Bundesländern die Anzahl der Brände im Frühjahr jene im Sommer leicht. KÖNIG (2007) schreibt in seiner Studie über weiter zurückreichende Zahlen einer ersten kritischen Periode von Anfang März bis in die zweite Maidekade hinein etwa 40-60 % der jährlichen Waldbrandereignisse zu. Er verweist auf eine zu diesem Zeitpunkt des Jahres ausgetrocknete Bodenoberfläche, die noch nicht von frischem Kräuter- und Grasbestand geschützt und folglich leicht entzündbar sind. Die zweite kritische Periode dauert von der dritten Junidekade über Juli und August mitunter bis in den September hinein, wo 30-50 % der Waldbrände gefördert durch anhaltende kontinentale Ostluft-Hochdruckgebiete mit hohen Temperaturen sowie geringer relativer Luftfeuchte und Niederschlagsneigung stattfinden. In diese Phase fallen nach seinen Analysen rund 60 % aller Ereignisse mit einer Fläche von mehr als zehn Hektar - im Untersuchungsraum dagegen sind es nur ca. 21 %. Bezogen auf die jahreszeitliche bzw. monatliche Summe der Waldbrandflächen nennen sowohl LEX & GOLDAMMER (2001) als auch ANTO RAJA (2011) das Frühjahr bzw. den April als den mit Abstand bedeutendsten Jahresabschnitt in der BRD. Während im Untersuchungsgebiet ebenso insgesamt im Frühjahr die größte Fläche von Waldbränden betroffen ist, treten hier an die Stelle des Aprils jedoch der Oktober knapp gefolgt vom Mai.

Im Gegensatz zu den beiden eben beschriebenen Regionen finden in Spanien eindeutig im August die meisten Ereignisse statt und die Gesamtschadensfläche ist in diesem Monat gleichermaßen maximal, wie Abb.82 und Abb.83 veranschaulichen. Neben dem Juli und September kommt allerdings auch dem März eine große Bedeutung im saisonalen Waldbrandgeschehen zu.

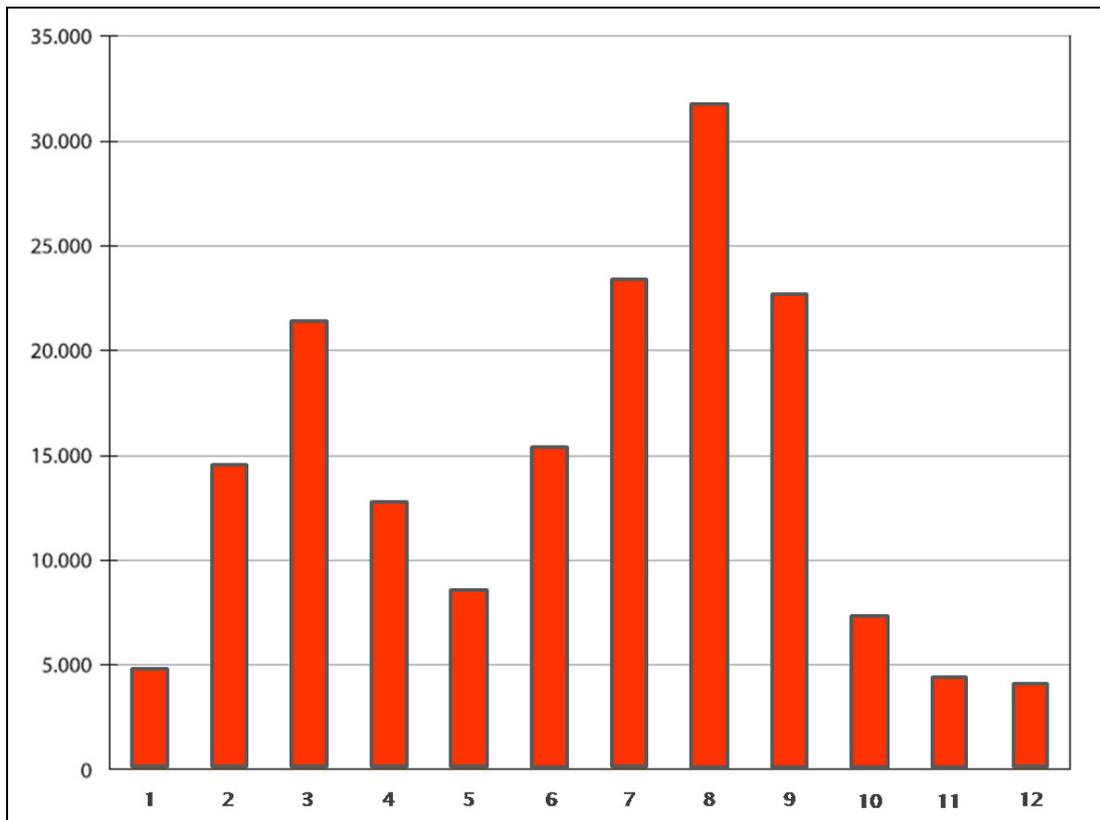


Abb.82: Monatliche Brandhäufigkeiten in Spanien 2001-2010 (nach MAGRAMA 2012b)

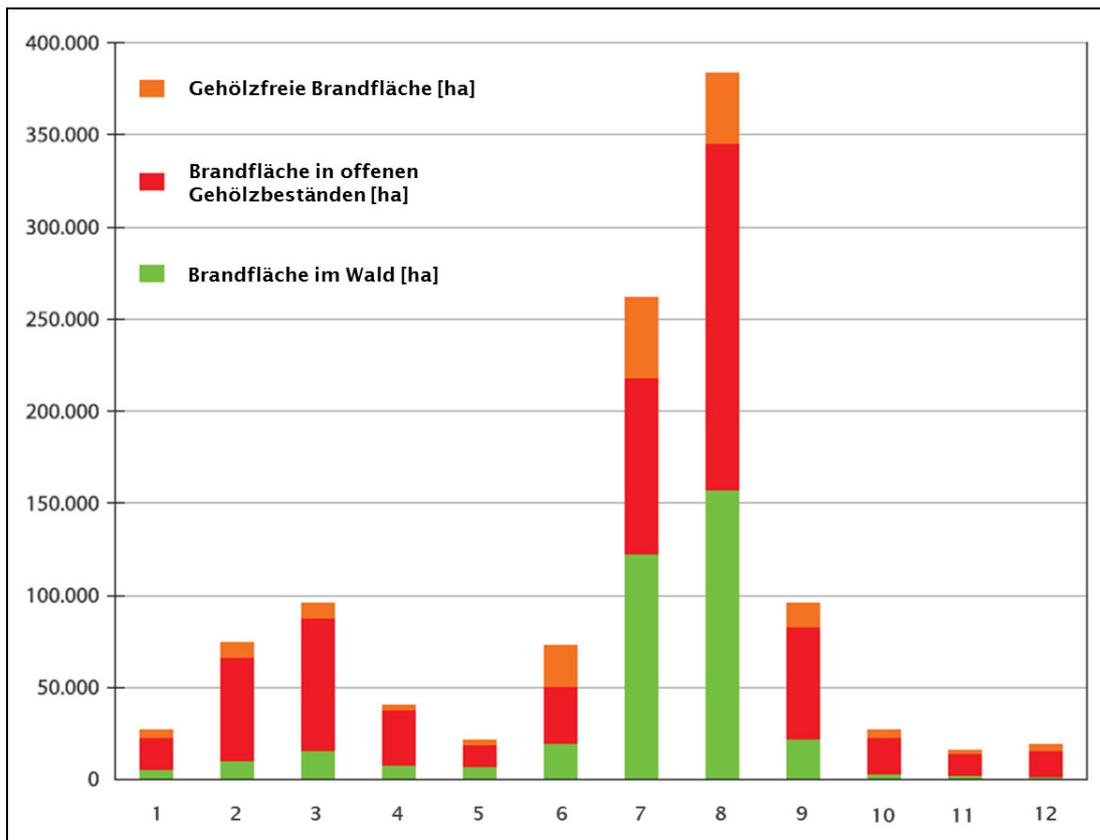


Abb.83: Monatlich von Bränden betroffene Vegetationsflächen in Spanien 2001-2010 (nach MAGRAMA 2012b)

Der Höhepunkt der zweigegliederten Waldbrandsaison in Alaska beginnt nach KASISCHKE ET AL. (2006) typischerweise Mitte Juni, wenn die Landoberflächen warm genug sind, um Wärmegewitter zu generieren. In der Zeit von Anfang Juni bis Mitte Juli fanden 76 % der Waldbrände im Inneren Alaskas in den Jahren 1995-2001 statt (KASISCHKE ET AL. 2002). Darüber hinaus existiert allerdings landesweit eine Art Vorsaison, die in Verbindung mit außerordentlich trockenen Verhältnissen im Hinblick auf Witterung und Streuaufgabe unmittelbar nach der Schneeschmelze Mitte/Ende Mai steht. Während dieser Phase werden die Waldbrände hauptsächlich durch menschliche Aktivitäten verursacht (KASISCHKE ET AL. 2006). Wie in der übrigen Borealis, so ist auch in Alaska die Ausprägung der Waldbrandsaison jedoch in höchstem Maße variabel, so dass sich selbige in Ausnahmefällen fast ausschließlich auf einen Monat, wie beispielsweise 2006, beschränken, oder sich auch von Mai bis in den September hinein erstrecken kann, wie 2004 und 2005 geschehen (CRONAN ET AL. 201X). Dieser Variabilität unterliegt nicht nur die Dauer der Waldbrandsaison, sondern auch der zeitliche Schwerpunkt der maximalen Schadflächengröße, der in unterdurchschnittlichen Jahren vor dem Juli, in überdurchschnittlichen Waldbrandjahren im Juli liegt (KASISCHKE ET AL. 2002).

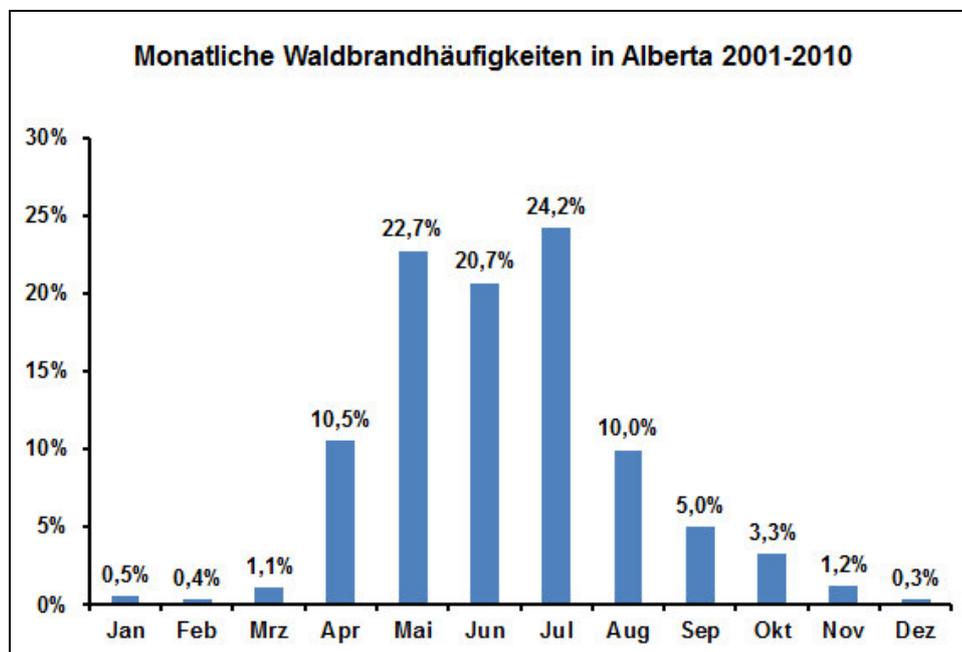


Abb.84: Monatliche Waldbrandhäufigkeiten [%] in Alberta 2001-2010
(GOVERNMENT OF ALBERTA (2012))

In Alberta fiel zwischen 2001 und 2010 die Hauptwaldbrandzeit nach Auswertung entsprechender Daten (GOVERNMENT OF ALBERTA 2012) in die drei Monate Mai (22,7 %), Juni (20,7 %) und Juli (24,2 %). April und August mit jeweils rund 10 % an Ereignissen spielten ebenfalls eine gewisse Rolle (s. Abb.84). Ähnlich wie in Alaska und nicht zu vergessen im Untersuchungsgebiet, kommt auch in Alberta natürlichen und anthropogenen Waldbränden eine unterschiedliche saisonale Bedeutung zu, was STOCKS ET AL. (2002) für das gesamte Kanada (vgl. Abb.85) und STELFOX ET AL. (1999) für

Nordwestalberta aufzeigen konnten. Letztere wiesen zudem darauf hin, dass in Zitterpappelwäldern das Waldbrandmaximum früherer Auftritt (Mai) als in Nadelwäldern (Juni-Juli).

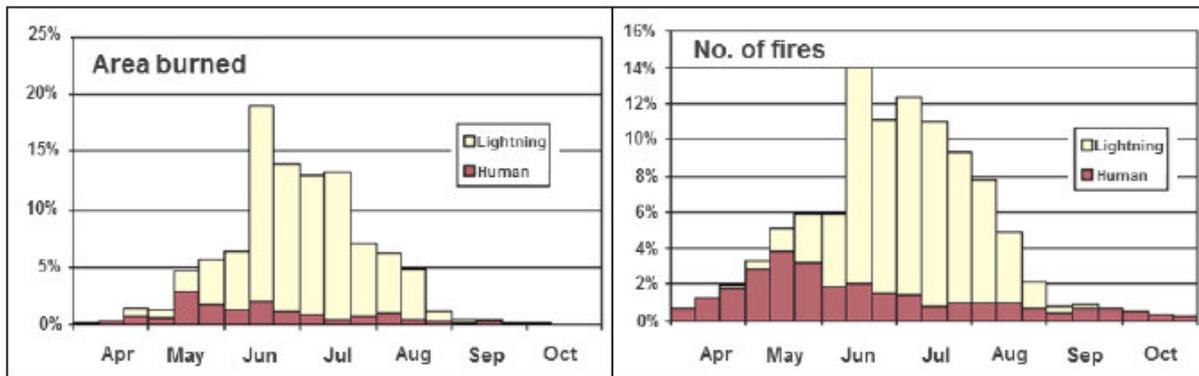


Abb.85: Monatliche Waldbrandflächen und -häufigkeiten in Kanada [%] (nach STOCKS ET AL. 2002)

Nach Daten des CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010) ereignen sich in Italien ebenso wie in Spanien die meisten Waldbrände im August, wo in der Regel auch die höchste Gesamtschadensfläche erreicht wird. Vergleichbar ist die Gewichtung der Monate Juli und September. Anders als beim westlichen Nachbarn ist das Frühjahr, insbesondere der März, dagegen in Italien nur von untergeordnetem Belang.

Das Gros der Vegetationsbrände in Kalifornien findet in den Monaten Juni, Juli, August und September statt, wobei der Schwerpunkt im Juli und August zu finden ist. In diesen beiden Monaten, die in aller Regel die wärmsten des Jahres sind, ergeben sich auch die größten von Feuer heimgesuchten Flächen. Neben dem Jahrgang der Temperatur beeinflusst des Weiteren die Zusammensetzung des potentiellen Brennmaterials die jahreszeitliche Verteilung der Vegetationsbrände, sowie deren Ausmaß: in Regionen mit Gras- und Buschbewuchs kommt es früher im Jahr zu häufigeren Ausbrüchen und größeren Ereignissen als in Wäldern. Die Vegetationszusammensetzung hängt dabei in erster Linie von der Höhenlage und menschlichen Einflüssen ab (WESTERLING ET AL. 2003).

5.2.5 Waldbrandursachen

Wie unterschiedlich sich die Waldbrandursachen in verschiedenen Regionen der Erde zusammensetzen, zeigen die Beispiele aus Tab.52. Bei den darin verwendeten Angaben handelt es sich um über den jeweils angegebenen Zeitraum gemittelte Werte, die von Jahr zu Jahr merklichen Schwankungen unterliegen können.

Der Anteil an natürlichen, also durch Blitzschlag hervorgerufenen Ereignissen, reicht in Tab.52 von einem Prozent in Italien bis zu 48 % in der kanadischen Provinz Alberta. Vergleichbare Zahlen liegen aus entlegenen und dünn besiedelten Gebieten in den borealen Nadelwäldern Alaskas (38,5 %) und

Russlands (50-70 %) sowie aus der Balkanregion (41 %) vor (KASISCHKE ET AL. 2006; DAVIDENKO & KOVALEV 2004; FAO 2007). Dem Wert Italiens kommen jene aus Deutschland, Spanien und Kalifornien am nächsten. Sie bewegen sich mit 4 % alle ebenfalls in dem an sich für den Mittelmeerraum typischen Anteilsbereich zwischen einem und 5 % (ALEXANDRIAN ET AL. 1999; FAO 2007). Dem Prozentsatz an Blitzschlagbränden im Untersuchungsraum (21 %) ist jener aus dem australischen Bundesstaat Victoria (26 %) am ähnlichsten. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass global betrachtet der weitaus überwiegende Teil an Vegetationsbränden auf menschliche Einflüsse zurückzuführen ist (FAO 2007), deren stetige Zunahme die Bedeutung von Blitzschlagfeuern in den Hintergrund gedrängt hat, wie beispielsweise laut GOLDAMMER (1997) eindrucksvoll in den Tropen geschehen.

Tab.52: Waldbrandursachenverteilung in verschiedenen Regionen der Erde (Angaben in %)

Ursache	UG 1980-2010	TI ¹⁾ 1980-2010	BRD ²⁾ 1991-2010	ITA ³⁾ 1998-2010	ESP ⁴⁾ 1991-2010	VIC ⁵⁾ 1976-1996	CA ⁶⁾ 1991-2010	AB ⁷⁾ 1990-2011
natürlich	21	9	4	1	4	26	4	48
∑ anthropogen	31	55	55	79	78	68	79	50
Fahrlässigkeit	22	30	24	18	18	39	54	44
Brandstiftung	1	15	22	61	57	25	8	4
andere	8	10	9	-	3	5	17	2
unbekannt	47	36	41	20	18	6	17	2

(eigene Erhebungen; ¹⁾PEZZATTI (2012); ²⁾BLE (2013), KÖNIG (2007); ³⁾CORPO FORESTALE DELLO STATO (2010); ⁴⁾MAGRAMA (2012a,b); ⁵⁾DAVIES (1997); ⁶⁾STATE OF CALIFORNIA (2012); ⁷⁾GOVERNMENT OF ALBERTA (2012)

Der Prozentsatz an unbekanntem Auslösern ist vor allem im Untersuchungsgebiet, aber auch in der BRD (vgl. LEX & GOLDAMMER 2001) und im Tessin relativ hoch, gerade im Vergleich zu Victoria oder Alberta, wo die Quote deutlich unter 10 % bleibt. Auf dem Sektor der Ursachenermittlung besteht also noch einiger Nachholbedarf, insbesondere deshalb, weil die Ursachenkenntnis einen wichtigen Faktor für die Verhinderung von zukünftigen Waldbrandereignissen darstellt (LEONE ET AL. 2009; HIRSCHBERGER 2011). Der Einsatz von qualifiziertem Personal und eine enge Vernetzung zuständiger Behörden versprechen hier nach KÖNIG (2007) eine Verbesserung der Situation.

Des Weiteren ist es unbedingt notwendig, das Bewusstsein innerhalb der Bevölkerung im Hinblick auf die vielfältigen mit Waldbränden verbundenen Auswirkungen zu schärfen, wie in einem von der FAO (2007) erstellten Gutachten zur globalen Waldbrandsituation mehrfach betont und anhand der hohen Anteile an durch Fahrlässigkeit bzw. Unvorsichtigkeit ausgelösten Waldbränden in Tab.52 deutlich wird.

Was die Relevanz von Brandstiftung angeht, so nehmen Italien und Spanien unter den aufgeführten Regionen eine Sonderrolle ein. In diesen beiden Ländern ist das absichtliche Legen von Feuer mit sehr großem Abstand Hauptursache für die Entstehung von Waldbränden. Nach GANTEAUME ET AL. (2012)

spielen hierbei, wie auch im übrigen südlichen Europa, sozioökonomische Faktoren, wie z. B. hohe Arbeitslosigkeit, eine sehr wesentliche Rolle.

Ein ebenso differenziertes Bild ergibt sich in Bezug auf die unterschiedliche Bedeutung anthropogener und natürlicher Waldbrandverursachung im Hinblick auf die Ausdehnung der entstandenen Schadflächen. Während beispielsweise im Alpenraum oder auf der iberischen Halbinsel Blitzeinschlag in der Regel kleinflächige Brände von wenigen Hektaren hervorruft (vgl. 4.1.3, VASQUEZ & MORENO 1998), führen solche Ereignisse gerade in dünn besiedelten Gebieten im Bereich des borealen Nadelwaldes aus den bereits genannten Gründen häufig zu Waldbränden weit größeren Ausmaßes. STOCKS ET AL. (2010) gehen ferner davon aus, dass in Kanada z. B. 85 % der gesamten Waldbrandfläche auf natürliche Brandauslösung zurückgehen, was gut mit den von TODD & JEWKES (2006) aus Alaska vorliegenden Zahlen (89 %) übereinstimmt. In starkem Kontrast dazu stehen die Verhältnisse in der europäischen Alpenregion, wo nach eigenen Untersuchungen und CONEDERA ET AL. (2006) ein Anteil von weniger als 5 % anzunehmen ist. In Deutschland tragen durch Blitzschlag entstandene Feuer zur Gesamtschadfläche ebenfalls nur einen unwesentlichen Teil bei. Eine Auswertung von Daten aus dem Zeitraum 1991 bis 2010 (LEX & GOLDAMMER 2001, BLE 2013) ergab einen Durchschnittswert von 5,5 %, wobei in großen Ausnahmefällen, wie im Extremjahr 1992, auch Anteile bis zu 30 % möglich sind. In Kalifornien liegt die angesprochene Quote gemäß SYPHARD ET AL. (2007) im Mittel ebenso bei rund 5 %.

5.3 Bewertung der lokalen Waldbrandfolgen im Vergleich zu anderen Regionen

Nachdem vorangehend das Waldbrandgeschehen in den Nördlichen Kalkalpen einem inneralpinen und globalen Vergleich unterzogen wurde, sollen an dieser Stelle noch einige Waldbrandfolgen auf internationaler Ebene diskutiert werden. Die Ausführungen hierzu sind aufgrund des Schwerpunktes dieser Arbeit im Bereich der Waldbrandhistorie entsprechend kurz gehalten.

5.3.1 Personen- und Infrastrukturschäden

Während bei Waldbränden in den Nördlichen Kalkalpen, wie auch im übrigen Alpenraum und in Mitteleuropa, Menschen und Infrastruktur nur in geringem Maße durch das Feuer zu Schaden kommen (vgl. 4.2.1), fallen andernorts immer wieder und z.T. in großem Umfang Bauwerke (Abb.86) und auch Menschenleben den Flammen zum Opfer. Eine Auswahl diesbezüglich außerordentlich schadensträchtiger Ereignisse zeigt Tab.53, in der ebenfalls mit Waldbränden in Verbindung stehende gesundheitliche Probleme wie Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen keine Berücksichtigung finden. Zu den aufgeführten Bränden ist anzumerken, dass es sich um Komplexe handelt, die sich aus einzelnen Feuern zusammensetzen. Selbiges gilt mit Ausnahme der Ereignisse auf Schweizer Boden ebenfalls für Tab.54. Erwähnenswert ist ferner, dass solche Katastrophen keineswegs Erscheinungen längst vergangener Zeiten sind, sondern dass sie gerade durch die immer weiter wachsende Verzahnung von Natur- und Kulturraum ein in seiner Häufigkeit zunehmendes Phänomen sind (WILLIAMS ET AL. 2011).

Tab.53: Besonders schadensträchtige Vegetationsbrände hinsichtlich Personen-/Infrastrukturschäden

Jahr	Region	Feuername	Todesopfer	Infrastrukturschäden	Anmerkungen
1918 ¹⁾	Minnesota	Cloquet-Moose Lake	450	38 Siedlungen zerstört	
1939 ²⁾	Victoria	Black Friday	71	3700 Liegenschaften	
1967 ²⁾	Tasmanien	Black Tuesday	61	u.a. 1700 Häuser	
1983 ²⁾	Victoria	Ash Wednesday	47	u.a. 2080 Häuser	Nutztierverlust 27.000 St.
1987 ³⁾	NO-China	Great Black Dragon	221	Gebäude, Brücken, Bahnlinie, Leitungen	56.000 Obdachlose
1991 ⁴⁾	Kalifornien	Oaklandhills	25	u.a. 2777 Häuser	nur 615 ha
1998 ⁵⁾	N-Brasilien	Great Fire	700		Flugverkehr beeinträchtigt
2003 ⁶⁾	Kalifornien	Cedar	15	u.a. > 2200 Häuser	
2007 ⁶⁾	Griechenland	Paleochori-Sekoulas	36	> 100 Wohn- und Wirtschaftsgebäude	Nutztierverlust 6.500 St.
2009 ⁷⁾	Victoria	Black Saturday	173	u.a. 2133 Häuser	
2010 ⁸⁾	W-Russland	-	> 50 Tote	u.a. ≈ 2500 Häuser	1500 Verletzte

¹⁾NIFC (o. J. a); ²⁾ABS (2004); ³⁾GOLDAMMER & STOCKS (2000), GFMC (2011); ⁴⁾ABS (1995); ⁵⁾HIRSCHBERGER (2011); ⁶⁾WILLIAMS ET AL. (2011); ⁷⁾2009 VICTORIAN BUSHFIRE ROYAL COMMISSION (2010); ⁸⁾GFMC (2010)

In Ergänzung zu Tab.53 seien an dieser Stelle noch einige Zahlen aus Italien (CORPO FORESTALE DELLO STATO 2010) und Spanien (MAGRAMA 2012b) präsentiert. In diesen beiden Ländern gab es bei Waldbränden zwischen 2001 und 2010 insgesamt 330 bzw. 566 Verletzte und 52 bzw. 68 Todesopfer. Zum Vergleich hierzu kam es in Kalifornien im selben Zeitraum bei Vegetationsbränden zu 65 Verletzten und 45 Toten unter den Löschkräften, während sich in Alaska in derselben Periode lediglich fünf Feuerwehrleute Verletzungen zuzogen (NIFC o.J.b).

Die Personenschäden im eigenen Untersuchungsgebiet erreichten dagegen bei weitem nicht vergleichbare Ausmaße. Es ist von drei Todesopfern und weniger als 100 Verletzten in einem Zeitraum von gut 125 Jahren auszugehen. An Infrastruktur kamen nur wenige Klostergebäude, eine Jagdhütte und Stein-schlagwände zu Schaden. Für Siedlungen direkt bestand in drei Fällen lediglich die Gefahr eines Übergreifens von Flammen aus nahe gelegenen Waldbränden.



Abb.86: Foto aus dem 2009 von Waldbränden zerstörten russischen Dorf Mokhovoe (GFMC 2010)

5.3.2 Finanzielle Schäden und Aufwendungen für Feuerprävention

Waldbrände ziehen i. d. R. auch einen finanziellen Schaden nach sich, der sich aus Ausgaben für die Brandbekämpfung und die Schadensbegleichung (Nutzholzverlust, Infrastrukturbeeinträchtigungen, Regenerationsmaßnahmen, usw.) zusammensetzt. In der Literatur wird allerdings oft keine saubere Unterscheidung diesbezüglich getroffen, was eine aussagekräftige Gegenüberstellung von Daten er-

schwert. Zudem existieren laut FAO 2007 noch keine überregional abgestimmten Standards zur Erfassung von Waldbrandschäden, da speziell die monetäre Fassung ökologischer Negativfolgen problematisch ist und daher verbreitet unterbleibt. Um dennoch einen Einblick in die mit Waldbränden verbundenen Kosten zu geben, sind in Tab.54 einige Ereignisse mit beträchtlicher Schadwirkung aufgelistet. Im Vergleich zu den hier dargestellten Zahlen, gerade zu jenen aus Australien, fallen die im Untersuchungsraum maximal aufgetretenen Unkosten (Brandbekämpfung: $\approx 0,23$ Mio. €; Regeneration: $\approx 0,7$ Mio. €) mit Ausnahme der Ausgaben für eine Lawinenverbauung in Höhe von 7-8 Mio. Euro verhältnismäßig niedrig aus. Dies liegt hauptsächlich an der relativ geringen Größe und Dauer der dortigen Ereignisse sowie am sehr häufigen Ausbleiben von Infrastrukturschäden.

Tab.54: Finanziell besonders schadensträchtige Vegetationsbrände in verschiedenen Regionen

Jahr	Region	Feuername	Löschkosten [€*]	Schadenskosten [€*]
1975 ¹⁾	Lüneburger Heide	-		> 18 Mio.
1983 ²⁾	Victoria und S-Australien	Ash Wednesday		jeweils > 140 Mio.
1988 ³⁾	Wyoming	Yellowstone	≈ 90 Mio.	
1990 ⁴⁾	SW-Alaska	-	3,7 Mio.	
1994 ⁵⁾	New South Wales	January		≈ 70 Mio.
1997 ⁶⁾	Graubünden	Misox, Calancatal	≈ 4 Mio.	1,6 Mio. Zwangsnutzung, 1,8 Mio. Regeneration
2003 ⁷⁾	Kalifornien	Cedar	23,5 Mio.	
2003 ⁸⁾	Graubünden	Sta. Maria, Calancatal	> 1,6 Mio.	
2003 ⁹⁾	Wallis	Leuk	$\approx 1,6$ Mio.	≈ 2 Mio. Regeneration u. Absicherung
2003 ¹⁰⁾	Canberra	January 2003		≈ 210 Mio.
2007 ⁷⁾	Griechenland	Paleochori-Sekoulas	3,7 Mio.	
2009 ¹¹⁾	Victoria	2009 Black Saturday		$\approx 2,8$ Bio.

¹⁾HIRSCHBERGER (2011); ²⁾ABS (2004); ³⁾SCHULLERY (1989); ⁴⁾KASISCHKE (2000); ⁵⁾RAMSAY ET AL. (1996); ⁶⁾KANTON GRAUBÜNDEN (2012b); ⁷⁾WILLIAMS ET AL. (2011); ⁸⁾KANTON GRAUBÜNDEN (2012a); ⁹⁾WOHLGEMUTH ET AL. (2010); ¹⁰⁾MCLEOD (2003); ¹¹⁾2009 VICTORIAN BUSHFIRE ROYAL COMMISSION (2010)

*Umrechnung aus Quelle mit Kurs vom 3.11.2013 via WIRTSCHAFTSWOCHE (2013)

Neben der Betrachtung einzelner Ereignisse ist der kurze Blick auf längerfristige Schadensbilanzen ebenfalls lohnend, da auch hier große regionale Unterschiede zu Tage treten, wie nachfolgend anhand einiger Beispiele an Löschkosten (a), wirtschaftlichen Schäden (b) und Investitionen in die Waldbrandprävention (c) gezeigt wird.

a) In der autonomen Provinz Bozen-Südtirol summierten sich die Aufwendungen für die von der Forstbehörde durchgeführten Arbeiten im Bereich Waldbrandbekämpfung 2008 bis 2010 auf einen Jahresdurchschnitt von rund 77.900 Euro (AUTONOME PROVINZ BOZEN-SÜDTIROL 2009, 2010, 2011). Dies entspricht Kosten von umgerechnet 7.300 Euro pro Waldbrand.

In Spanien dagegen lag das Budget zur Extinktion von Waldbränden beispielsweise 2009 bei 67 Mio. Euro (JRC 2010). Es wurden also pro Ereignis im Mittel rund 4.300 Euro zur Verfügung gestellt.

Demgegenüber stehen in Kalifornien jährliche Ausgaben zur Waldbrandunterdrückung zwischen 1991 und 2006 in Höhe von rund 80 Mio. Euro aus dem Katastrophenfonds des Departments für Forst und Brandschutz (STATE OF CALIFORNIA 2012c). Pro Brand ergibt dies knapp 12.700 Euro an Löschkosten. In den gesamten Vereinigten Staaten beläuft sich der jährliche Aufwand zur Suppression von Vegetationsbränden auf etwa 620 Mio. Euro, in Kanada im Normalfall auf ca. 350 Millionen und bis zu rund 710 Mio. Euro in extremen Jahren (NIFC o.J.b; STOCKS ET AL. 2010).

b) An wirtschaftlichen Schäden meldet das spanische Umweltministerium für die Zeitspanne 1991-2005 einen Jahresdurchschnitt von 330 Mio. Euro, wobei im Ausnahmejahr 1994 über 1,3 Mrd. anfielen (MAGRAMA 2013). In Deutschland wird der Schaden von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 2013) zwischen 1991 und 2010 auf 2,2 Mio. Euro im jährlichen Mittel taxiert, bei einem Maximum von 12,8 Millionen 1992. In einer ähnlichen Größenordnung bewegen sich mit 2,2 Mio. Euro die Zahlen aus Finnland für 2009, das als normales Waldbrandjahr einzuschätzen ist (JRC 2010). Die aus Kalifornien vorliegenden Daten weisen einen Schadensdurchschnitt pro Jahr von rund 97 Mio. Euro für den Zeitraum 1991-2010 aus (STATE OF CALIFORNIA 2012b). Über eine wesentlich längere Phase (1926-2003) gehen die Berechnungen von MCANENEY (2005) zu den von Vegetationsbränden verursachten Gebäudeschäden in Australien, die er auf 23,6 Mio. Euro im Jahr ansetzt. Legt man diese Angaben jeweils auf die Anzahl der Waldbrände um, so ergeben sich in Spanien pro Ereignis im Mittel Schadenskosten in Höhe von 16.500 Euro, in Deutschland von rund 1.730 Euro, in Finnland von etwa 775 Euro und in Kalifornien von ebenfalls rund 16.500 Euro.

c) Waldbrände verursachen allerdings nicht nur durch ihr Auftreten Kosten. Vielmehr sind mit der Prävention solcher Ereignisse ebenfalls z. T. immense Aufwendungen verbunden. In Deutschland beliefen sich beispielsweise die Ausgaben für Waldbrandvorbeugung und -kontrolle im Zeitraum 2001-2010 jährlich auf ca. sechs Millionen Euro im Durchschnitt, wobei 2006 rund zehn Mio. ausgegeben wurden. Zu den präventiven Maßnahmen gehören u. a. der Aufbau moderner, automatischer Wald-

brandüberwachungssysteme, der Umbau Brand fördernden Kiefernmonokulturen in reich strukturierte Mischbestände (HIRSCHBERGER 2011) sowie Öffentlichkeitsarbeit oder Waldwegebau (KÖNIG 2007). In Spanien wurden zum Vergleich zwischen 2001 und 2010 durchschnittlich 17,3 Mio. Euro im Jahr an Krediten vom Staat an die 17 autonomen Regionen für Aufgaben wie Öffentlichkeitsarbeit, Brennmaterialmanagement, Feuerwehrausbildung, Verbesserung der Ausrüstung, etc. vergeben. Die Beträge schwankten dabei laut MAGRAMA (2012b) zwischen 10,2 Mio. (2002) und 25,1 Mio. Euro (2009).

Nochmals wesentlich höher fallen die Ausgaben in den USA aus, wo sich die Waldbrandpräventionskosten des Departments of the Interior (DOI) nach einem rapiden Anstieg von ca. 96 Mio. Euro 2000 auf 282 Mio. Euro 2001 bei etwa 225 Mio. Euro seit 2006 eingependelt haben (DOI 2012).

Intensive Bemühungen wurden in der Schweiz unternommen, um u. a. die Löschinfrastruktur zu verbessern. Wesentliche Schritte waren dabei die Anlage künstlicher Wasserrückhaltebecken und die dezentrale Zurverfügungstellung von mobilem, leistungsfähigem Feuerbekämpfungsmaterial in 18 regionalen Depots (Abb.87). Darüber hinaus wurde Kartenmaterial erarbeitet, das Löschwasserentnahmestellen sowie geeignete Zufahrtswege für unterschiedlich schwere und geländegängige Fahrzeuge ausweist. Zusammen mit einem 2005 komplett überarbeiteten Waldbrandprognosesystem sollen so in Zukunft größere Waldbrände verhindert werden (KALTENBRUNNER 2010).

Im Untersuchungsraum sollen insbesondere mit Hilfe mehrerer Flughelferstützpunkte, an denen für den hubschraubergestützten Einsatz im alpinen Gelände entwickeltes Gerät und dafür geschultes Personal bereit stehen, Bergwaldbrände künftig noch effizienter bekämpft werden. Zudem werden regelmäßig gemeindeübergreifende Waldbrandübungen abgehalten, um die Abläufe für den Ernstfall zu proben und gegebenenfalls zu optimieren.



Abb.87: Mobiles Feuerbekämpfungsmaterial aus der Schweiz (KALTEN BRUNNER 2010)

Während in sehr vielen Studien von einem Rückgang der Abtragsraten auf ein normales Niveau bereits nach einem Jahr oder spätestens nach etwas mehr als einer Dekade nach dem Brandereignis berichtet wird (vgl. u. a. DEBANO ET AL. 1996; INBAR ET AL 1998; ROBICHAUD & BROWN 1999; MARXER 2003; CERDÁ & LASANTA 2005), hält auf dem Issanger auch nach sieben Jahren die Intensivierung der Oberflächenerosion in Verbindung mit dem Absterben der den Untergrund stabilisierenden Pinus-mugo-Bestände weiter ohne nachweisbare Niederschlagsveränderungen an. Selbst an der Arnspitze sind nach über 60 Jahren noch unverkennbar erhöhte Abtragswerte nachweisbar. Dieser Sachverhalt ist damit zu erklären, dass wesentliche erosionslimitierende Faktoren wie Vegetationsbedeckung, Streuauflage und Verfügbarkeit von erodierbarem Material auf beiden Brandflächen noch nicht ihren ursprünglichen Stellenwert zurückgewonnen haben (vgl. Abb.88).

Insbesondere an der Arnspitze ist aufgrund der dortigen Gegebenheiten (hangparalleles Einfallen der Gesteinsschichten, Hangneigung überwiegend $> 40^\circ$, großflächig erodierter Boden, Offenliegen der Verwitterungsdecke, regelmäßiges Auftreten von Lawinen, Murgängen und Steinschlag) nicht mit einer baldigen Regeneration der Vegetation und somit einer „Normalisierung“ der Erosionsraten zu rechnen. Eine negative Korrelation zwischen dem Vegetationsbedeckungsgrad und der Abtragsintensität trat bei BENAVIDES-SOLORIO & MACDONALD (2005) bei ihren Untersuchungen in der Colorado Front Range ebenfalls deutlich zu Tage.

Auf dem wesentlich kleineren Issanger dagegen, wo lediglich kleinräumige Materialumlagerungen innerhalb der Brandfläche das morphodynamische Prozessgeschehen dominieren (vgl. PROSSER & WILLIAMS 1998; DEBANO ET AL. 1998; MOODY & MARTIN 2001; PETTICREW ET AL. 2006; SHAKESBY ET AL. 2007) wird sich eine Regeneration weiter Teile der Brandfläche auch in Folge der unmittelbaren Nähe intakter Pflanzenbestände wesentlich rascher binnen weniger Jahrzehnte vollziehen. Ausgenommen werden jene Bereiche bleiben, in denen aufgrund hoher Brand- bzw. Erosionsintensitäten der Boden bzw. die Verwitterungsdecke ungeschützt an der Oberfläche liegen (vgl. BENAVIDES-SOLORIO & MAC-DONALD 2005).

Diese Ergebnisse, die in Teilen in SASS ET AL. (2012c) bereits publiziert worden sind, und die über Issanger und Arnspitze hinaus auf anderen Waldbrandflächen im Untersuchungsraum stattfindenden Umlagerungsprozesse untermauern ebenso wie die Ausführungen in 5.3.4 den von ROERING & GERBER (2005) aufgezeigten signifikanten geomorphologischen Einfluss von Vegetationsbränden in Gebirgslandschaften.

5.3.4 Murgänge

Murabgänge in Folge der Vegetationszerstörung durch Brände sind ein durchaus verbreitetes Phänomen. Dies belegen zahlreiche Arbeiten aus verschiedenen montanen Regionen Europas (CONEDERA ET AL. 2003; CONEDERA 2005; GARCÍA-RUIZ ET AL. 2013; MALOWERSCHNIG & SASS 2014), den USA (MEYER & WELLS 1997; WONDZELL & KING 2003; USGS 2005; GIRAUD & McDONALD 2007; SANTI ET AL. 2008) sowie aus Australien (NYMAN ET AL. 2011). Als Hauptursachen für die Entstehung solcher Muren gelten in erster Linie durch erhöhten oberflächlichen Regenwasserabfluss verursachte Erosion und in verminderter Häufigkeit durch Infiltration in Gang gesetzte Rutschungsvorgänge (CANNON ET AL. 2001). Zudem förderlich ist das Überangebot an abtragsfähigem Material, das im Zuge der brandinduzierten Freilegung von Boden und Verwitterungsdecke zur Verfügung steht (vgl. MEYER & WELLS 1997; WONDZELL & KING 2003).

Eben diese Voraussetzung führte im Verein mit einer Intensivierung des Oberflächenabflusses zu den Murgängen im Untersuchungsgebiet an der Arnspitze und im Halltal (s. 4.2.4, 4.2.5; vgl. SASS ET AL. 2012a).

Eine Zusammenstellung der Volumina des Ablagerungsmaterials einiger Ereignisse zeigt Tab.55. Zuerst aufgeführt sind darin Vergleichswerte aus dem Halltal, die sich in einer ähnlichen Dimension bewegen wie die übrigen Daten.

Tab.55: Ablagerungsvolumina waldbrandinduzierter Murgänge in verschiedenen Regionen

Region	Bezeichnung Murgang	Ablagerungsvolumen [m ³]	Datum Murgang	Datum Waldbrand
Victoria ¹⁾	Germantown; Yarrarabula	2.300±220 5.990±970	Oktober 2007 1.10.2007	2003, 2007 2003, 2007
Tessin ²⁾	Riale Buffaga	4.000 - 5.000	28.7.1997	März 1997
N-Utah ³⁾	Dry Mountain 3	115	26.7.2004	2001
N-Utah ³⁾	Dry Mountain 4	15.290	12.9.2002	2001
Kalifornien ⁴⁾	El Capitan I	442	2004/2005	2003 (Cedar)
Kalifornien ⁴⁾	Sawpit	59.281	2004/2005	2003
Colorado ⁴⁾	Haflin	23.967	2004/2005	2002
Wyoming/ Montana ⁵⁾	Twelve Kilometer	10.200±1700	9.7.1989	1988 (Yellowstone)
N-Spanien ⁶⁾	Najerilla Valley	800 - 5.900*	11.9.1986	August 1986
Nordtirol ⁷⁾	Halltal	5.000 - 12.000*	29.6.2008	1946

¹⁾NYMAN ET AL. (2011); ²⁾CONEDERA ET AL. (2003); ³⁾GIRAUD & McDONALD (2007); ⁴⁾SANTI ET AL. (2008); ⁵⁾MEYER & WELLS (1997); ⁶⁾GARCÍA-RUIZ ET AL. (2013); ⁷⁾BREMER & SASS (2012)

* Minimal- und Maximalvolumen der Murablagerungen

Von Muren kann v. a. in dichter besiedelten Gebieten eine enorme Gefahr für Mensch und Infrastruktur ausgehen. In vielen Fällen ist es nur glücklichen Umständen zu verdanken, dass es zu keinen Personenschäden kommt, wie beispielsweise im Tessin 1997, wo nach CONEDERA ET AL. (2003) zahlreiche Behausungen und Autos in Ronco sopra Ascona mit bis zu drei Meter mächtigen Murablagerungen überdeckt worden sind (Abb.89a). Es gibt allerdings auch Murereignisse mit weniger glimpflichem Ausgang, wie Beispiele aus Kalifornien zeigen, wo Natur- und Kulturraum besonders stark ineinandergreifen. So kam es laut BUSTILLO (2003) am 2.1.1934 zu insgesamt 94 Todesopfern in den Städten La Crescenta und Montrose, als sich ein bis zu sechs Meter hoher Murgang seinen Weg durch beide Orte bahnte. SANTI ET AL. (2011) berichten von 16 Menschen, die im Großraum San Bernardino bei zwei der 68 Murabgänge ihr Leben verloren, die binnen zwei Wochen im Dezember 2003 nach den großen Waldbränden im Herbst stattgefunden haben (Abb.89b). Auch in Australien sind Muren nach Waldbränden keine Seltenheit. Sie führen dort insbesondere zu Problemen mit der Wasserversorgung und -qualität sowie zur Beschädigung von Infrastruktur (NYMAN ET AL. 2011).

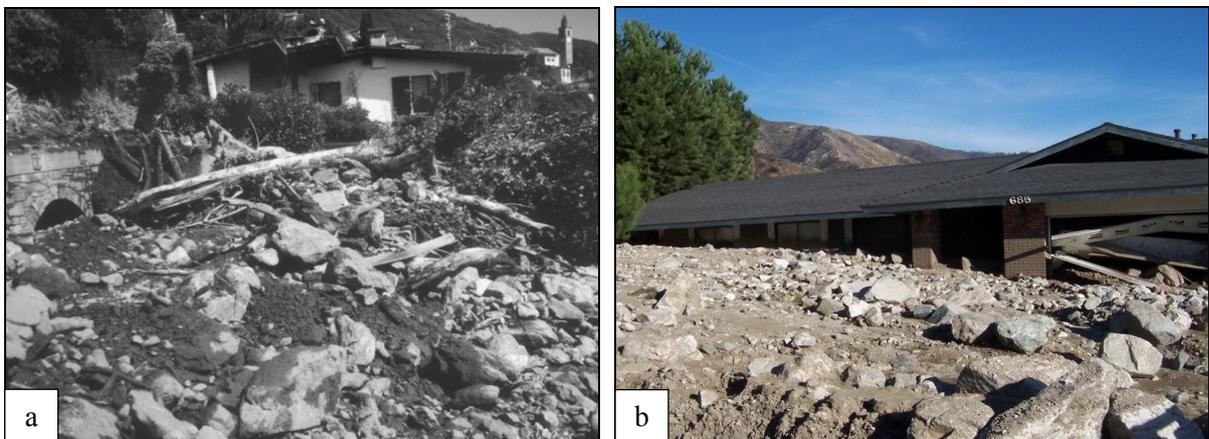


Abb.89: Vermurungen in Ronco sopra Ascona 1997 (a) und nahe San Bernardino 2003 (b) (CONEDERA ET AL. 2003; CANNON ET AL. 2010)

Entgegen den vorangehenden Beispielen ging von den im Untersuchungsraum aufgetretenen Murgängen an der Arnspitze und im Halltal aufgrund ihrer Abgelegenheit keine Bedrohung für Menschen oder Infrastruktur aus. Interessant wird jedoch zu beobachten sein, wie sich die nun gegebene Koppelung des Mureinzugsgebiets an das Bachsystem im Halltal auf lange Sicht auswirken wird.

Die stetig zunehmende Verlagerung von Erd- und Schuttmaterial aus den Hängen des Absamer Vorbergs in den Siedlungsbereich von Absam barg hingegen durchaus Gefahrenpotential, dem mit aufwendigen Hangsanierungsmaßnahmen begegnet werden musste (vgl. 4.2.7).

Da Murgänge wie vorangehend beschrieben schwerwiegende Folgen nach sich ziehen können, werden sowohl in den USA als auch in Australien umfangreiche Forschungsprojekte auf diesem Gebiet im Zusammenhang mit Wald- bzw. Buschbränden vorangetrieben (USGS 2005; NYMAN ET AL. 2011). Ein zentrales Ergebnis dieser Studien stellen Gefahrenkarten dar, die potentielle Vermurungsgebiete in Abhängigkeit von bestimmten Niederschlagsereignissen ausweisen (Abb.90).

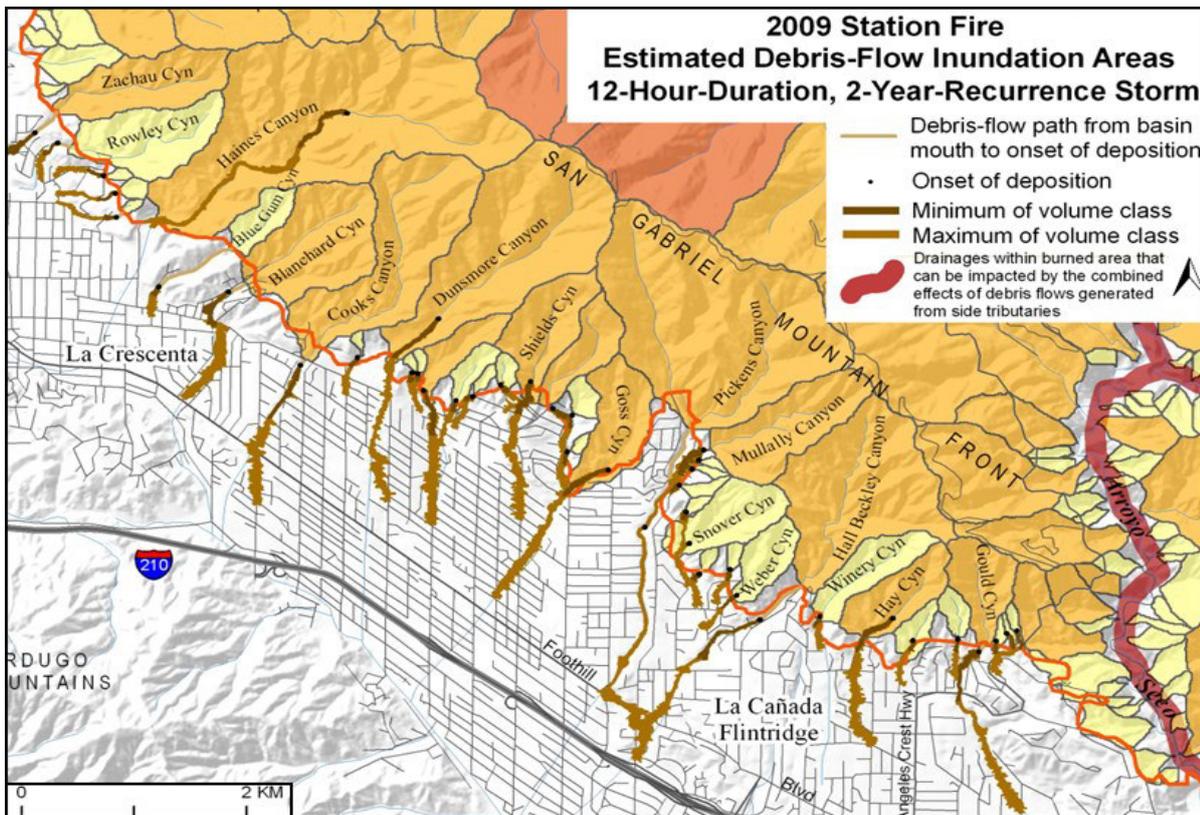


Abb.90: Gefahrenkarte für Murgänge im nördlichen Los Angeles (nach CANNON ET AL. 2010)

5.3.5 Lawinen

In Gebieten mit häufigen Waldbränden sind, im Gegensatz zum Untersuchungsraum, in den wenigsten Fällen die entsprechenden Gegebenheiten für Lawinen, insbesondere solche, die Infrastruktur beschädigen oder Menschenleben kosten können, vorhanden. Lawinen in Folge von Waldbränden sind daher in der Fachliteratur äußerst selten thematisiert - die eigenen Untersuchungen weisen also ein entsprechendes Alleinstellungsmerkmal auf. Wenige weitere Beispiele gibt es u. a. aus der Schweiz, wo auf zukünftig mögliche Lawinenabgänge in Folge der Schutzwaldzerstörung verwiesen (WEBER & SCHÖNEBERGER 1991; BLOETZER 1996; WOHLGEMUTH 2010) bzw. konkret von Ereignissen berichtet wird (BLOETZER 1996). Auch aus Gebirgsregionen Nordamerikas liegen einzelne Untersuchungen zu dieser Thematik vor (MUNGER 1911; WINTERBOTTOM 1974; HEMSTROM 1979; SWANSON 1981, GERMAIN ET AL. 2005). In seinen Ausführungen nennt MUNGER (1911) mehrere schwere Lawinenabgänge über eine Bahnstrecke im Winter 1910 im US Bundesstaat Washington. Einer davon riss besetzte Waggons mit sich und forderte 100 Menschenleben (Abb.91). SWANSON (1981) hebt u. a. auf den Zusammenhang zwischen regelmäßiger Lawinenaktivität und der Behinderung der Vegetationsregeneration der Brandfläche und somit der Stabilisierung des Lawineneinzugsgebiets ab - ein Problem, das auch im Untersuchungsraum zu Tage tritt. Dort konnte sich beispielsweise weder an der Arnspitze noch am Brunnstein nach über 60 bzw. 90 Jahren seit dem Brandereignis höhere Vegetation etablieren. Am direkt oberhalb einer wichtigen Verkehrsachse gelegenen Brunnstein waren daher entsprechende Ver-

bauungsmaßnahmen zur dauerhaften Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit unumgänglich (s. 4.2.7). Bei ihren Untersuchungen in der kanadischen Provinz Quebec stellten GERMAIN ET AL. (2005) fest, dass die von einem Waldbrand vernichtete Gehölzvegetation lediglich einen Zeitraum von 15-20 Jahren benötigte, um wieder eine Höhe zu erreichen, die Schneeverlagerungen unterbindet. Es ist davon auszugehen, dass in diesem Fall die Schädigung von Boden und Vegetation nicht so extrem war wie auf den Untersuchungsflächen an der Arnspitze oder am Brunstein.



Abb.91: Von Lawinenmassen begrabener Bahnwaggon im Winter 1910 (MUNGER 1911)

5.3.6 Die Regeneration von Waldbrandflächen

Wie die vorangehenden Ausführungen gezeigt haben, stellen Brände in vielen Regionen der Welt ein wesentliches Störungsereignis in Natur- und Kulturlandschaft dar (vgl. u. a. BOND & VAN WILGEN 1996; DEBANO ET AL. 1998; CHUVIECO 2009; STOCKS ET AL. 2010).

Im Anschluss soll nun näher auf die Regeneration von Brandflächen eingegangen werden. Zunächst erfolgt dabei die Darstellung einiger Beispiele technischer und waldbaulicher Maßnahmen zur Regenerationsunterstützung, ehe im Anschluss die natürliche Vegetationsentwicklung auf Waldbrandflächen im Hinblick auf wesentliche steuernde Faktoren, Artenvielfalt und Geschwindigkeit diskutiert wird.

- Technische und waldbauliche Maßnahmen

Anthropogene Eingriffe in den Regenerationsprozess nach einem Waldbrand sind besonders in besiedelten Gebirgsräumen häufig notwendig, um für eine möglichst weitgehende Aufrechterhaltung bzw. rasche Wiederherstellung der Schutzfunktionen des Waldes zu sorgen (vgl. 4.2.7).

Ein Beispiel hierfür beschreiben WOHLGEMUTH ET AL. (2010) aus den Westalpen, wo 2003 im Wallis u. a. 70 Hektar prioritärer Schutzwald bei einem Brand zerstört wurden und so die Abschirmung für die viel befahrene Kantonsstrasse, sowie die Siedlungen Leuk-Stadt, Thel und Brentjong vor Steinschlag, Erosion, Rutschungen und Lawinen nicht mehr ausreichend gegeben war. Folgende technische und phytosanitäre Maßnahmen mit Kosten in Höhe von rund 2,1 Mio. Euro wurden durchgeführt:



- Installation v. Steinschlagnetzen (198 m)
- Errichtung v. drei Steinschlagdämmen
- Sicherung und Entfernung v. Gesteinsblöcken
- Ableitung v. Niederschlagswasser
- Anlage v. Querbauten (Erosionsschutz)
- Aufstellung v. Holzschneerechen (406 m)
- Aufforstung mit Bäumen u. Sträuchern
- Bewässerung talnaher Aufforstungen
- Instandsetzung v. Forst- u. Wanderwegen

Abb.92: 3m-hoher Schutzdamm oberhalb von Leuk (WOHLGEMUTH ET AL. 2010)

Bereits in den 1970er Jahren hatten Brände in den Schutzwäldern der walliser Gemeinden Raron (Tälwald, 1971) und Außerberg (Strahlwald, 1979) umfangreiche Wiederherstellungsprojekte notwendig gemacht, die in erster Linie drohenden Lawinenabgängen entgegenwirken sollten. Die erforderli-

chen Ausgaben für Geländeerschließung, Verbauung und Aufforstung wurden auf Beträge zwischen 10 und 11 Mio. Euro taxiert (BLOETZER 1996).

Vergleichbare Vorkehrungen wie im Wallis wurden im Untersuchungsraum nur am Hochmahdkopf bei Absam aufgrund der unmittelbaren Gefährdung von Siedlungsraum getroffen. Ansonsten beschränkten sich die Eingriffe auf Aufforstungs- und Wiederbegrünungsmaßnahmen zur Rekultivierung der Baumbestände und Stabilisierung des Bodens. In Abhängigkeit von den Geländegegebenheiten und der Brandschädigung zeigten die Maßnahmen unterschiedlichen Erfolg: während sich etwa an der Arnspitze während rund 60 Jahren nur im Bereich von Verebnungen Bäume ansiedeln konnten, weisen andere Brandflächen nach vergleichbaren oder kürzeren Regenerationszeiträumen einen wesentlich besseren Baumbewuchs auf (s. 4.2.7).

Weitere Fallbeispiele aus dem Alpenraum, bei denen Aufforstungsbemühungen im Vordergrund standen, sind u. a. bei JAHN ET AL. (1970), SCHÖNENBERGER & WASEM (1997) sowie BEGHIN ET AL. (2010) dargestellt.

Ein etwas anderes Methodenspektrum als in der Schweiz oder am Hochmahdkopf bei Absam kam nach Waldbränden in Kiefernbeständen im Jahr 2000 in der Colorado Front Range in Lagen zwischen 2100 und 2500 Metern zum Einsatz. Neben dem ebenfalls praktizierten Querlegen von Schadh Holz (Abb.93a) wurde großflächig Grassamen und in besonders stark verbrannten Arealen Strohmulch ausgebracht (Abb.93b), um die Erosionsraten zu vermindern. Die besten Erfolge wurden dabei durch Mulchen erzielt (WAGENBRENNER ET AL. 2006).

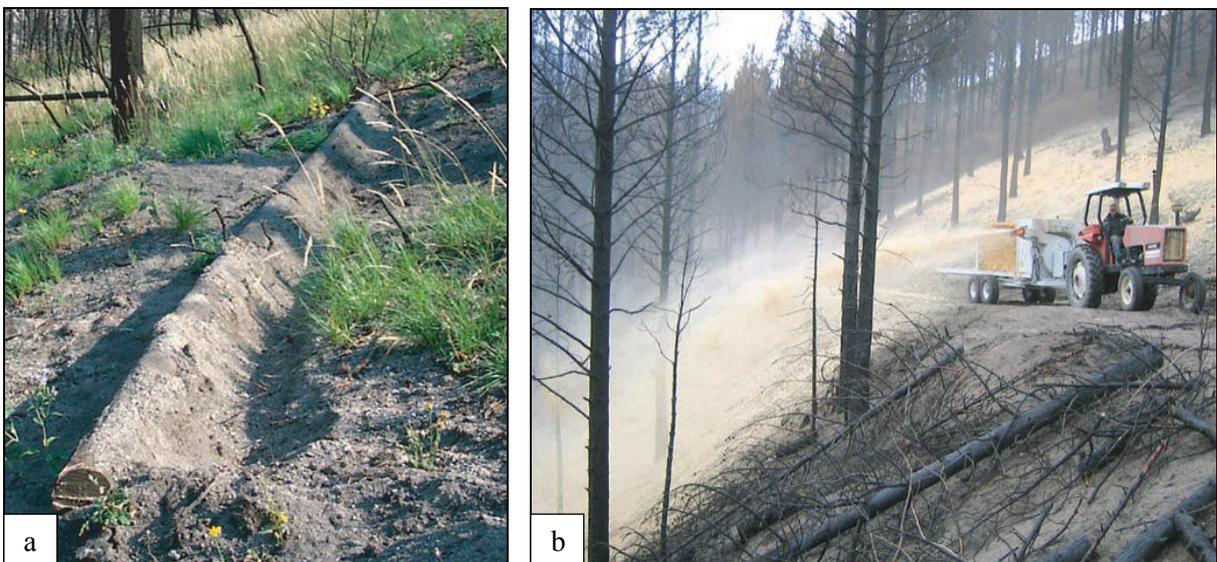


Abb.93: Erosionsschutz durch Querlegen von Baumstämmen (a) und Mulchen (b) (ROBICHAUD ET AL. 2010)

Die Aussaat von Grassamen ist dennoch nach wie vor die beliebteste Maßnahme in den USA, wenn es um die zeitnahe Stabilisierung von Brandhängen geht, da sie am kostengünstigsten und mit Hilfe von Luftfahrzeugen gut über große Gebiete anwendbar ist. Immer mehr findet jedoch auch das ursprünglich lediglich auf schwer geschädigten Flächen betriebene Mulchen Verwendung, das mehrere Vorteile mit sich bringt. Zum einen bedeutet bereits unmittelbar das Aufbringen des Materials eine effektive Bedeckung des Bodens und somit einen Erosionsschutz. Zum anderen werden u. a. Bodenwasserhaushalt und -temperatur positiv beeinflusst, was insbesondere in Verbindung mit Samenausbringung einen beschleunigten Wiederbewuchs der Schadfläche zur Folge hat. Die Errichtung von Erosionsbarrieren etwa in Form von Baumstämmen oder Strohballen verlor dagegen seit 2000 an Bedeutung, da sie keine großflächige Bodendeckung bieten und bei Starkniederschlägen vergleichsweise ineffektiv sind. Eine weitere Alternative stellt die chemische Oberflächenbehandlung zur Steigerung der Bodenkohäsion dar, die jedoch noch wenig erprobt ist. Welche Methode schlussendlich in welchem Maße zur Anwendung kommt, bestimmen zunächst die Gegebenheiten vor Ort (zu schützende Güter, Feuerintensität, Klima, Boden, Vegetation, Topographie) sowie in zweiter Linie die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel (WAGENBRENNER ET AL. 2006; ROBICHAUD ET AL. 2010).

Gemäß dem USDA Forest Service (2000) beliefen sich beispielsweise die Ausgaben für die Brandflächensanierung nach dem 42 km² großen Bobcat-Feuer in Colorado im Jahr 2000 auf rund 580.000 Euro, wobei die Kosten für die Samenausbringung ca. 160 Euro pro Hektar und für das Mulchen und die Installierung von Erosionsbarrieren etwa 735 Euro pro Hektar betragen.

Neben der möglichen Schutzfunktionenbeeinträchtigung spielen gerade bei großen Brandereignissen ökologische und ökonomische Faktoren ebenfalls eine wichtige Rolle. So sind beispielsweise im Mittelmeerraum die für die montane Stufe typischen *Pinus-nigra*-Wälder, anders als die vorrangig brandgefährdeten *Pinus-sylvestris*-Bestände im Untersuchungsraum, von großem Belang für die Holzindustrie und auf lange Sicht durch stark eingeschränkte Selbstregeneration nach intensiver Feuerschädigung in ihrem Fortbestehen bedroht.

Umso wichtiger ist es auch hier, mit entsprechenden Vorkehrungen eine nachhaltige Erholung der Wälder zu bewerkstelligen. Während bis in die Mitte der 70er Jahre die Aussaat von Samen die gängigste Vorgehensweise zur Wiederansiedlung von *Pinus nigra* war, wird mit den verbesserten Möglichkeiten in der Bodenbearbeitung und Setzlingsproduktion zunehmend auf Pflanzungen zurückgegriffen, die entweder in den aufgebrochenen Boden oder in vorgefertigte Löcher erfolgen. Als vorbereitende Maßnahme wird nach wie vor - nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen - sehr häufig das Schadholz entfernt, obwohl dessen Belass im Gelände aus ökologischer Sicht die zu präferierende Variante wäre. Es entfielen so nicht nur die durch die großmaschinelle Bringung entstehenden Schäden an Boden und sich bereits auf natürlichem Wege erholenden Pflanzen, sondern Sämlinge würden im Schatten der ursprünglichen Vegetation vor schädlicher Einstrahlung und Wasserstress geschützt (ESPALTA ET AL. 2003; RETANA ET AL. 2012).

- Natürliche Vegetationsentwicklung

Die Reaktion der Vegetation auf Feuereinfluss kann, wie sich auch im Untersuchungsgebiet erwiesen hat (vgl. 4.3), äußerst vielgestaltig ausfallen (BOND & VAN WILGEN 1996; DEBANO ET AL. 1998; PÉREZ-CABELLO ET AL 2009). Es hat sich ebenso gezeigt, dass der Wiederbesiedlungsprozess auf den Brandflächen mit einem Komplex an verschiedenen Faktoren rückgekoppelt ist, die z.T. wiederum in gegenseitiger Wechselwirkung stehen (Abb.94).

Nachfolgend sollen einige Zusammenhänge und Aspekte aufgrund ihrer übergeordneten bzw. zukünftigen Bedeutung im Untersuchungsraum einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

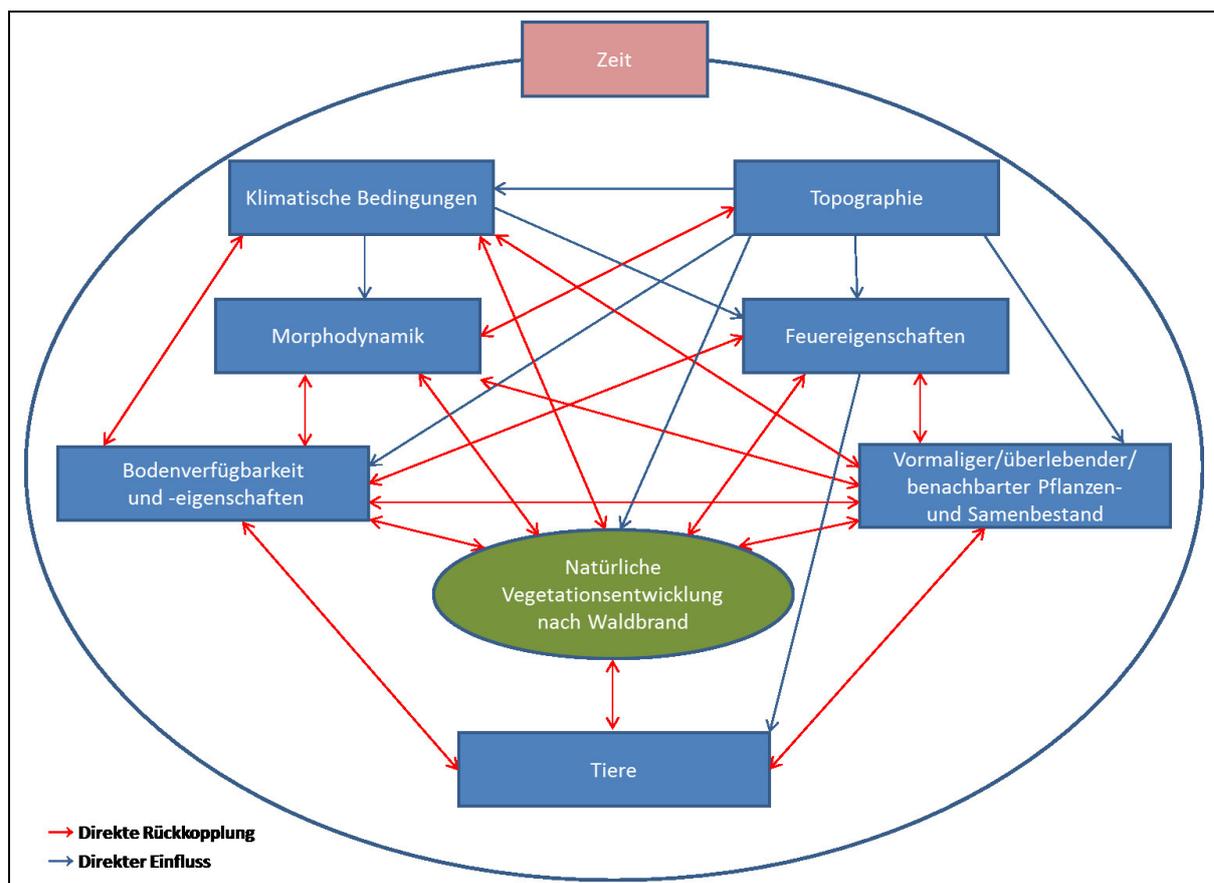


Abb.94: Vereinfacht dargestellter Wirkungskomplex diverser Einflussfaktoren bei der natürlichen Vegetationsentwicklung nach Waldbrand (eigener Entwurf)

a) Auswirkungen der Feuereigenschaften auf *Pinus*-Regeneration und Artenvielfalt

Eine zentrale Bedeutung bei der Vegetationsentwicklung auf Waldbrandflächen kommen der lokalen Brandintensität bzw. -heftigkeit zu. Sie entscheiden über den Schädigungsgrad der Pflanzendecke sowie des Bodens und der darin enthaltenen Samen, Überdauerungsorgane und Mikroorganismen. Damit verbunden ist ein unmittelbarer Einfluss auf das Ausgangsniveau und wesentliche Rahmenbedingungen (pedogene Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit) des Wiederbesiedlungsprozesses sowie auf dessen Verlauf im Hinblick auf Artenzusammensetzung und Geschwindigkeit. Nicht zu vernachlässi-

gen ist in diesem Zusammenhang zudem die Ausdehnung der jeweiligen Brandbeeinflussung (vgl. BOND & VAN WILGEN 1996; DEBANO ET AL. 1998; KOCH 2003; PÉREZ-CABELLO ET AL. 2010; WOHLGEMUTH ET AL. 2010).

Gerade bei der auf den Südhängen im Untersuchungsgebiet weit verbreiteten *Pinus sylvestris* hängt die Regenerationsfähigkeit ganz unmittelbar von den Feuereigenschaften ab: während diese Art weniger heiße Oberflächenfeuer durch ihre dicke Rinde z.B. im Gegensatz zu *Picea abies* gut übersteht und eine feuerbedingte Freilegung des Mineralbodens günstige Verjüngungsbedingungen bereithält (AGEE 2000; ELLENBERG & LEUSCHNER 2010), zeigt sie nach intensiven, bestandsvernichtenden Bränden äußerst niedrige Erholungsraten (PÉREZ-CABELLO ET AL. 2010; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Dies ist auf eine fehlende Resistenz der Samen gegenüber hohen Feuertemperaturen (HABROUK ET AL. 1999), deren geringe Überlebensdauer von nur ca. vier Jahren (TAPIAS & GIL 2000) sowie die effektiveren Verbreitungsstrategien von Kräutern und anderen Konkurrenten, die sich beispielsweise vegetativ fortpflanzen, zurück zu führen (PÉREZ-CABELLO ET AL. 2010; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Eine umso größere Bedeutung kommt daher potentiellen Samenbäumen in der unmittelbaren Umgebung der Brandfläche zu, die für eine rasche Ansamung und somit frühzeitige Aufnahme des Konkurrenzkampfes um das zu besiedelnde Substrat sorgen. Selbiges gilt für überlebende Baumindividuen innerhalb des Schadareals (TRETER 1994; KOCH 2003; GUTSELL & JOHNSON 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2010).

Andere *Pinus*-Arten wie *P. halepensis*, *P. banksiana* oder *P. contorta* hingegen sind bei ihrer Verjüngung gar auf intensive Brände angewiesen, da sich ihre harzreichen Zapfen erst bei starker Hitze öffnen und die Samen freigeben (TRETER 1994; BOND & VAN WILGEN 1996; DEBANO ET AL. 1998). Als Besonderheit bildet *Pinus palustris* in ihrer Anpassung an sehr häufige Ereignisse geringer Intensität zunächst ein 3-5-jähriges nahezu feuerresistentes „Grasstadium“ aus, ehe ein schnellwüchsiges Stammwachstum erfolgt (AGEE 2000).

Ebenfalls eine bedeutende Rolle für die erfolgreiche Etablierung von *Pinus*-Keimlingen spielt nach READ (1998) das Vorhandensein von Mykorrhizen, die v. a. für eine verbesserte Wasserversorgung verantwortlich zeichnen (GARBAYE 2000), die gerade für die im Untersuchungsraum heimischen *Pinus sylvestris* und *Pinus mugo* überlebensnotwendig ist. Anzahl und Zusammensetzung dieser Symbionten sind im Wesentlichen genauso vom Grad der Hitzeeinwirkung während des Brandes auf den Boden abhängig, wie das Überleben von unterirdischen pflanzlichen Überdauerungsorganen (PEAY ET AL. 2009; KIPFER ET AL. 2010). Deren letale Schädigung führt in Verbindung mit geringer Wasserspeicherfähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit durch k(l)eine Humusaufgabe zu einer langsameren und artenärmeren Wiederbesiedlung in den Teilbereichen von Brandflächen mit besonders hoher Brandintensität/-heftigkeit (KOCH 2003; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Derartiges zeigte sich auch deutlich auf der näher untersuchten Brandfläche Issanger.

Die Tatsache, dass im Untersuchungsgebiet weniger als 10 % aller Brandereignisse eindeutig im heutigen Landschaftsbild zu erkennen sind, wobei ein Großteil davon im Krummholzgürtel gelegen ist, spricht für im Allgemeinen günstige Regenerationsbedingungen für *Pinus sylvestris*: Eine nicht flächendeckend letale Brandeinwirkung, die beispielhaft beim Brand im Bereich der Kranebitter Klamm 2009 beobachtet werden konnte, geht mit dem Überleben von ausreichend Samenbäumen sowie Mykorrhizen auch innerhalb der Brandfläche einher. Hiermit sind die wesentlichen Grundlagen für eine erfolgreiche Erholung der Bestände gegeben, wie sie sich z. B. nach dem Waldbrand 1920 in der Kranebitter Klamm vollzogen hat (4.3.1). Im Falle einer zu langsamen oder nur lückenhaften Ansamung führt die Etablierung von Gräsern und Kräutern zur Verhinderung des Aufkommens von *Pinus sylvestris* und es kommt zur Ausbildung eines Mosaiks aus Gehölzen und alpinen Rasen wie unter 4.3.3 beschrieben. Im Extremfall bei großflächigem Verlust besiedelbaren Substrats zusätzlich zur schwerwiegenden Schädigung der Bäume reichen wie an der Arnspitze oder am Brunnstein auch die Pioniereigenschaften von *P. sylvestris* für eine Wiederbesiedlung der Brandflächen über Jahrhunderte hinweg nicht aus.

In Folge der bereits angesprochenen heterogenen Verteilung der Brandeinwirkung über eine Schadfläche in erster Linie aufgrund räumlich variierender Eigenschaften von Topographie, Vegetationsdecke und Boden entsteht ein vielgestaltiges Standortmosaik (NEARY ET AL. 1999). Dieses bietet einem breiten Pflanzenspektrum mit verschiedensten Ansprüchen beispielsweise hinsichtlich Licht, Nährstoffangebot oder pH-Wert die Möglichkeit zur Ansiedlung, was in einer größeren Artenvielfalt auf der Brandfläche in den ersten Jahren nach dem Störungsereignis im Vergleich zu davor resultiert (JAHN ET AL. 1970; FISCHER 1992; BOND & VAN WILGEN 1996; KOCH 2003; MARXER 2003; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Als besonders förderlich für dieses Phänomen, das auch auf den näher untersuchten Brandflächen Ödkarl und Issanger zu Tage getreten ist, gilt ein vom ursprünglichen Bewuchs abweichender Artenpool in der näheren Umgebung des neu zu besiedelnden Gebiets. Im Gebirgsraum kann dieser zum Beispiel in alpinen Rasen oder Steinschuttfuren vorzufinden sein, wie WOHLGEMUTH & MOSER (2009) nachweisen konnten. Vergleichbares zeigte sich beim artenreichen Wiederbewuchs der Beobachtungsfläche Issanger, der u. a. von einer nicht weit entfernten aufgegeben Weide beeinflusst zu sein scheint. Zudem traten wie bei WOHLGEMUTH ET AL. (2010) oder KOCH (2003) beschrieben typische Ruderal- und Pionierpflanzen auf und es kam zu einer auffälligen Dominanz einzelner Arten. Diese kann auf deren Spezialisierung auf Sonderstandorte (Nährstoffreichtum, Trockenheit, etc.) und/oder deren bessere Ausbreitungsstrategie im Vergleich zu anderen Arten zurückgeführt werden (BOND & VAN WILGEN 1996). Daraus ergibt sich eine mögliche Erklärung für das häufig beobachtete Phänomen der schnelleren Ausbreitung von Laubhölzern auf Kosten der ursprünglich bestandbildenden Nadelhölzer auf Brandflächen in den Alpen (vgl. RÖHLE & MÜLLER 2009; WASEM ET AL. 2010; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Diese Dynamik konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen allerdings nicht beobachtet werden. Das Zeitfenster für das verbreitete Vorkommen einiger ausgesproche-

ner Spezialisten ist jedoch begrenzt, da Brandeffekte wie der Nährstoffschub oder die pH-Werterhöhung nur wenige Monate bis Jahre wirksam sind (NEARY ET AL. 1999; GUTSELL & JOHNSON 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Die nur mehr kümmerlichen Vorkommen des Nährstoffzeigers *Verbascum thapsus* im Bereich Issanger im sechsten Nachwaldbrandjahr lassen sich hierauf zurückführen.

b) Einfluss von Morphodynamik und Tieren auf die Vegetationsentwicklung

Das morphodynamische Prozessgeschehen auf den Brandflächen im Untersuchungsgebiet wird abgesehen von entsprechenden Niederschlägen und der überlebenden Vegetation wesentlich von den Faktoren Geländeneigung und Oberflächenrauigkeit gesteuert, die wiederum stark an die lokalen geologischen Strukturen (Schichteinfallen) gebunden sind.

Wie von der Brandheftigkeit, so hängt die Verteilung und Zusammensetzung des für die Ansiedlung von Pflanzen notwendigen Substrats auch von der auf einer Brandfläche vorherrschenden Verlagerungsdynamik ab, die auf diese Weise Einfluss auf die Artenzusammensetzung und Geschwindigkeit der Vegetationsentwicklung nimmt. So etablieren sich beispielsweise in sehr aktiven Erosions- oder Akkumulationsbereichen keine Arten oder gänzlich andere als auf unbeeinflussten Standorten. Selbige werden zudem rascher wieder von Pflanzen eingenommen als jene, die wiederholten Störungen in Form von Steinschlag, Sedimentüberdeckung oder Lawinen unterliegen. Dies wiederum ermöglicht das Fortschreiten der genannten Prozesse, womit in Konsequenz der Wiederbewuchs weiter verhindert wird.

Mit Hilfe des eben dargelegten lassen sich die unter 4.3.2 und 4.3.5 präsentierten Regenerationsmuster, die sich durch verbreitete Vegetationsfreiheit bzw. -armut und somit eine (stark) verlangsamte Wiederbesiedlung auszeichnen, gut erklären.

Ebenfalls eine nur zögerlich voranschreitende Erholung des ursprünglichen Pflanzenbestandes beschreiben sowohl MALOWERSCHNIG & SASS (2014) als auch WEIGAND (2009) aus anderen Regionen der Nördlichen Kalkalpen. Sie gehen jeweils davon aus, dass insbesondere in Folge starker Bodenerosion mit einer Regenerationszeit für die von ihnen untersuchten Brandflächen „Innerzwain“ bzw. „Hagler“ von über 120 bzw. mehreren 100 Jahren zu rechnen ist. KÖNIG (2007) nennt zum Vergleich für die Wiederherstellung des ursprünglichen ökosystemaren Zustands einer durchschnittlichen von Vollbrand oder Totalfeuer betroffenen Kiefernreinbestandsfläche eine Dauer von 60 bis 70 Jahren. Im Untersuchungsraum lag der Zeitraum für erfolgreiche Wiederbewaldungen, die allerdings mit anthropogenen Maßnahmen unterstützt wurden, zwischen rund 30 und 80 Jahren. Im Bereich des Latschengürtels ist mit noch deutlich längeren Erholungszeiträumen zu rechnen (s. u.). MALOWERSCHNIG & SASS (2014) weisen darauf hin, dass zu spät erfolgte und unsachgemäße Aufforstungsbemühungen sowie extremer Wildverbiss weitere Ursachen für eine (sehr) langsame Rekolonisation sein können. Auf die Verbissproblematik, die im Untersuchungsraum ebenfalls von Belang ist, weisen zudem

WENDELBERGER & HARTL (1969), KOCH (2003), RÖHLE & MÜLLER (2009) sowie WASEM ET AL. (2010) hin. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass Tiere eine schnelle sowie artenreiche Wiederbesiedlung durch Samenverbreitung, deren Einarbeitung in den Boden sowie die Durchmischung des Bodens mit den gegebenenfalls durch das Feuer freigesetzten Nährstoffen ebenso begünstigen können (FITES-KAUFMANN ET AL. 1992; BOND & VAN WILGEN 1996; GUTSELL & JOHNSON 2007).

c) Standortabhängigkeit der *Pinus-mugo*-Regeneration

Pinus mugo besitzt die Eigenschaft sich sowohl vegetativ durch die Bewurzelung von Ablegerästen als auch generativ durch Samen zu verjüngen. Welche Form der Ausbreitung schlussendlich zum Tragen kommt, hängt von den standörtlichen Gegebenheiten ab: geschlossene, astreiche Bestände niederliegender Individuen, moos- und zwergstrauchreicher Bodenbewuchs, ausgeglichene Bodenfeuchte, mächtige Humusauflage und hohe Schneelage im Winter fördern einerseits die vegetative Verbreitung. Hinreichend feuchte Initialstandorte mit skelettreichen, gering entwickelten, unbeschatteten Humuskarbonatböden, gering deckender bis fehlender Streuauflage und geringer Konkurrenz durch Zwergsträucher sowie konsolidierter Schutt begünstigen dagegen eine hohe Ansamlungsquote. Besonders im Bereich von Schuttreißen und Lawinenbahnen, die durch regelmäßige Störungen gekennzeichnet sind, lassen sich beide Typen, die hier unterschiedlichen Entwicklungsstadien zuzuordnen sind, vorfinden: in einer sog. *Initialphase* entstehen generativ verschieden große, locker bestockte Erstbesiedlungsinselfen, die sich mit zunehmender Boden- und Vegetationsentwicklung (*Übergangsphase*) zusehends vegetativ weiter ausbreiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Ablegerbildung fast ausschließlich hangabwärts erfolgt. Der Besiedlungszeitraum bis zur Bodendeckung wird für Lawinenschuttkegel mit unter 50 und für stabilisierten Schutt mit mindestens 150 Jahren angegeben. Für eine lückige Bestandsbildung auf Almflächen in der subalpinen Stufe ist mit über 100 Jahren zu rechnen (HAFENSCHERER & MAYER 1986; MAYER & OTT 1991).

Die Bedeutung ausreichender Feuchtigkeit für die Entwicklung von *Pinus mugo* wird im vorangehenden Absatz nochmals betont. Es ist davon auszugehen, dass diese Voraussetzung auf den überwiegend südexponierten Brandflächen im Untersuchungsraum, die teilweise durch eine ausgeprägte Morphodynamik, anstehenden Fels, unkonsolidierten Schutt oder Brandböden geringer Wasserkapazität (GRABHERR 1936) charakterisiert sind, nur in sehr geringem Maß erfüllt und so die ohnehin lange dauernde Verjüngung von *Pinus mugo* zusätzlich verzögert wird. Förderlich für die Neuansiedlung sowohl von *Pinus mugo* als auch von anderen ehemals etablierten Nadelhölzern sind Gunststandorte in Form kleiner Hangverflachungen, die sich v. a. aus den lokalen geologischen Strukturen ergeben. Als zusätzlichen verjüngungsbehindernden Faktor führt GRABHERR (1936) das Fehlen einer dauerhaften Schneebedeckung während des Winters auf den Brandflächen im Untersuchungsraum an, was durch schnelles Ausapern oder Abrutschen des Schnees verursacht wird. Zudem verweist er auf die von ihm beobachtete hemmende Wirkung einer Rasendecke auf die Ansiedlung von *Pinus mugo*. Dies steht in Übereinstimmung mit deren langwierigem Aufkommen auf Almflächen nach HAFENSCHERER & MA-

YER (1986) und liefert eine mögliche Erklärung für das Zustandekommen der gehölzarmen Waldbrandflächen mit sehr hohem Rasenanteil vorwiegend in der subalpinen Stufe im Untersuchungsgebiet (vgl. 4.3.4). Mit Hilfe der Ausführungen von HAFENSCHERER & MAYER (1986) und MAYER & OTT (1991) lassen sich ferner die unter 4.3.3 und 4.3.5 erläuterten Regenerationsmuster des Nebeneinanders von Gehölzen und alpinen Rasen bzw. der Dominanz von Fels und Schutt bei Gehölzanteilen von > 20 % nachvollziehbar interpretieren. Demnach befindet sich die Verjüngung von *Pinus mugo* auf den Brandhängen in 4.3.3 wohl überwiegend in der oben beschriebenen Initialphase, während sie auf den Flächen in 4.3.5 bereits mehrheitlich in der Übergangsphase stecken dürfte. In Abhängigkeit von der Größe der Schadfläche, der Intensität der Boden- und Vegetationsschädigung sowie der morphodynamischen Aktivität ist von einer Entwicklung zu Vorwaldbrand-Verhältnissen in einem Zeitfenster zwischen 50 und 500 Jahren auszugehen. Im Mittelmeerraum liegt der Regenerationszeitraum zum Vergleich aufgrund besser an Brandereignisse angepasster Vegetation in der Regel im Bereich weniger Jahre (WITTENBERG ET AL. 2007; PÉREZ-CABELLO ET AL. 2010). In den borealen Nadelwäldern findet zumindest die Ansiedlung von Baumschösslingen u. a. nach GUTSELL & JOHNSON (2007) bereits nach vier bis zehn Jahren statt. Ähnliche Beobachtungen liegen von DELARZE ET AL. (1992) und MARXER (2003) aus dem Tessin auf der Alpensüdseite vor.

Anzumerken ist an dieser Stelle, dass die vorliegende Arbeit zu einer der wenigen in der Forschungsliteratur zählen dürfte, in der auch die Beobachtung der langfristigen Vegetationsentwicklung nach einem Brandereignis thematisiert wird (vgl. PÉREZ-CABELLO ET AL. 2010).

d) Vegetationsentwicklung in den Alpen vor dem Hintergrund des Klimawandels

MOSER ET AL. (2010) gehen davon aus, dass in den Zentralalpen eine Abnahme der Sommerniederschläge und somit eine Verschärfung der Wasserknappheit im Zuge des Klimawandels dazu führt, dass die vor einem Waldbrand etablierten Baumarten, insbesondere *Pinus sylvestris* nach intensivem Störungsereignis, in Zukunft weitestgehend durch andere, trockenheitsresistentere Spezies oder gänzlich baumfreie Vegetation in den Tieflagen ersetzt werden. Erste Anzeichen davon deuten sich bereits im Wallis auf mehreren Brandflächen an. So ließ sich beispielsweise nach dem Waldbrand 2003 in Leuk beobachten, dass in der feuchteren subalpinen Stufe in den Folgejahren deutlich mehr Jungbäume kartiert werden konnten, als in der bereits während dem Frühsommer unter einem Wasserdefizit leidenden Montanstufe (WOHLGEMUTH ET AL. 2010). Dieser Sachverhalt stimmt gut mit der Annahme von RIGLING ET AL. (2004) überein, dass mit der prognostizierten Zunahme der Trockenheit das Pflanzenwachstum auf Trockenstandorten künftig zusätzlich wesentlich erschwert werden dürfte. Zu einem ähnlichen Schluss kommt WEIGAND (2009), der eine eingeschränkte Etablierung von Gehölzen auf flachgründigem und besonders auf verkarstungsfähigem Untergrund unter dem Einfluss der globalen Erwärmung erwartet.

Unter Berücksichtigung des eben Dargelegten ist anzunehmen, dass die ohnehin schon zögerliche Wiederausbreitung von *Pinus mugo* im Untersuchungsraum eine weitere Verlangsamung erfahren

wird. Mit einer negativen Beeinflussung der Regeneration von Baumbeständen, insbesondere mit Beteiligung von *Pinus sylvestris* nach schwerer Schadeinwirkung, ist ebenfalls zu rechnen. Eine entscheidende positive Auswirkung der Temperaturzunahme auf die Verjüngungsgeschwindigkeit von *Pinus mugo* ist unwahrscheinlich, wenn man sich vor Augen hält, dass sie im Bereich vieler Brandflächen im Untersuchungsgebiet weit unterhalb ihrer klimatischen Verbreitungsgrenze vorkommt (vgl. SASS ET AL. 2012c). Vielmehr kann mit dem Temperaturanstieg ein Rückgang der Schneebedeckungsdauer verbunden sein, was sich nach GRABHERR (1936) negativ auf das Aufkommen von *Pinus mugo* auswirken würde.

Bei Eintreten der prognostizierten Waldbrandzunahme (SCHUMACHER & BUGMANN 2006; PARRY ET AL. 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2008; ZUMBRUNNEN ET AL. 2011) und der damit einhergehenden Verkürzung der Feuerrekurrenzintervalle kann zudem davon ausgegangen werden, dass in den Schwerpunktbrandgebieten bereits vor einer kompletten Erholung des Pflanzenbestandes das nächste Waldbrandereignis stattfindet. Dies würde im Untersuchungsraum längerfristig zu einer weitreichenden Umgestaltung der regionalen Vegetationszusammensetzung führen. Es ist damit zu rechnen, dass sich die Ersatzgesellschaften in Teilen aus allochtonen, thermophilen Arten zusammensetzen werden. Das vorübergehende massenhafte Auftreten von wärmeliebenden bzw. trockenheitstoleranten Neophyten wie *Conyza canadensis* (Kanadisches Berufskraut), *Phytolacca americana* (Kermesbeere) oder *Ailanthus altissima* (Götterbaum) nach Waldbränden in der Schweiz kann darauf ein Hinweis sein (WOHLGEMUTH & MOSER 2009).

Im Untersuchungsgebiet wurden diesbezüglich im Zuge der wenigen auf Artebene durchgeführten Vegetationskartierungen keine Auffälligkeiten beobachtet. Es ist aber durchaus wahrscheinlich, dass sich auf nicht detailliert untersuchten Brandflächen bereits ortsfremde, thermophile Pflanzen eingefunden haben, deren ursprüngliches Areal bisher z.B. auf das Innsbrucker Föhndelta beschränkt gewesen ist (vgl. PITSCHMANN ET AL. 1970).

5.3.7 Klimawirksame und gesundheitsgefährdende Emissionen

In Folge der laut GFMC (2011) weltweit jährlich mehrere hundert Millionen Hektar umfassenden Wald- und Vegetationsbrände kommt es u. a. zur Produktion von Gasen und Feststoffen, die vielfältige Auswirkungen auf das Ökosystem (Abb.95), aber auch auf die Gesundheit von Menschen haben.

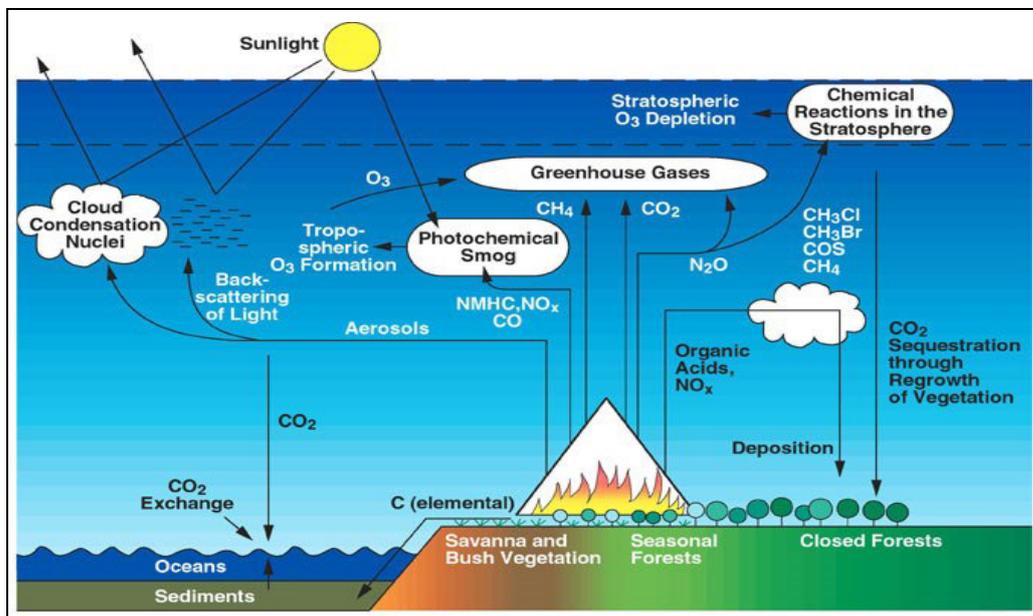


Abb.95: Auswirkungen von Emissionen aus Vegetationsbränden auf das Ökosystem (GFMC 2011)

An klimawirksamen Emissionen sind beispielsweise CO_2 , CH_4 , N_2O sowie Aerosole zu nennen, die allesamt in erster Linie den Strahlungshaushalt beeinflussen. Zur Bildung von gesundheitsschädlichem troposphärischem Ozon führen v. a. CO , Stickoxide (NO_x), Nichtmethankohlenwasserstoffe (NMHC) und CH_4 . Die Ozonkonzentration im Zuge von Vegetationsbränden kann durchaus Werte erreichen, die mit jenen in Industrieregionen vergleichbar sind. CO , NMHC und NO_x stehen über dies in Verbindung mit der Entstehung von photochemischem Smog, von welchem ebenso wie von CO und den während des Feuers entstandenen Rauchpartikeln eine ernsthafte Gesundheitsgefährdung ausgeht. Zur Zerstörung stratosphärischen Ozons tragen Methylchlorid (CH_3Cl), Methylbromid (CH_3Br), CH_4 und N_2O bei (LEVINE & COFER III; ANDREAE 2004).

Aus dem Untersuchungsgebiet sind bisher keine größeren Gesundheitsbeschwerden in Folge von Waldbränden bekannt. Anzuführen sind lediglich Atemwegsbeeinträchtigungen bei Feuerwehrleuten, die in unmittelbarem Kontakt mit den Rauchgasen bei der Brandbekämpfung im Gelände gekommen sind. Eine potentielle Gefahr für die Bevölkerung ist bei emissionsreichen Bränden in Siedlungsnähe während Inversionswetterlagen gegeben, wenn die Schadstoffe nicht frei nach oben hin entweichen können. Es ist davon auszugehen, dass während des Großbrandes im Ostkarwendel 1705 solch eine Situation gegeben war. Nach GRABHERR (1963b) gab sich die Sonne u. a. im mittleren Inntal wochenlang nur mehr als eine glutrote, verschwommene Scheibe hinter den Rauchschwaden zu erkennen.

Ein Quantifizierungsversuch der jährlichen regionalen Kohlenstoffemissionen im Zuge von Vegetationsbränden im Zeitraum 1997-2009 ist in Abb.96 dargestellt. Die Werte schwanken global betrachtet zwischen 1524 (2009) und 2775 Megatonnen (1998) und liegen im Mittel bei rund 2000 Mt. Den weitaus größten Beitrag liefert dabei Afrika vor Südamerika, während die boreale Zone und Australien erst an vierter und fünfter Stelle folgen. Ursache hierfür ist, dass der Großteil des freigesetzten Kohlenstoffs aus Feuern in Grasländern und Savannen stammt (44 %) und nur 15 % auf Waldbrände zurückzuführen sind. Ebenfalls bedeutende Mengen an C (23 %) werden in den Tropen bei Feuern in Zusammenhang mit der Landkultivierung oder in Mooren ausgestoßen (VAN DER WERF ET AL. 2010).

Region	Year													Mean	Contribution (%)
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		
BONA	19	116	36	14	5	69	60	139	66	50	40	49	44	54	2.7
TENA	2	8	11	12	6	10	9	4	6	11	20	13	8	9	0.5
CEAM	14	60	14	27	9	13	28	8	27	20	14	14	19	20	1.0
NHSA	20	51	14	19	17	9	54	26	13	11	25	13	13	22	1.1
SHSA	201	412	298	137	143	231	214	327	459	241	572	194	91	271	13.4
EURO	4	6	3	9	5	2	5	3	5	4	7	2	2	4	0.2
MIDE	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	3	1	2	2	0.1
NHAF	581	586	511	532	428	479	506	407	532	442	441	445	362	481	23.9
SHAF	514	682	534	514	514	483	597	579	621	548	533	578	544	557	27.7
BOAS	42	338	85	141	103	191	333	16	48	96	46	165	66	128	6.4
TEAS	57	31	18	37	33	49	43	25	27	35	35	40	31	36	1.8
CEAS	65	187	160	56	40	91	69	166	87	83	165	64	106	103	5.1
EQAS	1069	184	33	21	70	285	71	109	123	368	21	25	101	191	9.5
AUST	118	112	182	146	186	153	128	155	89	147	122	78	136	135	6.7
Global	2705	2775	1901	1665	1561	2066	2118	1966	2105	2059	2043	1681	1524	2013	100.0

BONA	Boreal North America	EURO	Europe	BOAS	Boreal Asia
TENA	Temperate North America	MIDE	Middle East	CEAS	Central Asia
CEAM	Central America	NHAF	Northern Hemisphere Africa	SEAS	Southeast Asia
NHSA	Northern Hemisphere South America	SHAF	Southern Hemisphere Africa	EQAS	Equatorial Asia
SHSA	Southern Hemisphere South America			AUST	Australia and New Zealand

Abb.96: Abschätzung der jährlichen regionalen Kohlenstoffemissionen im Zuge von Vegetationsbränden 1997-2009 in Megatonnen (nach VAN DER WERF ET AL. 2010)

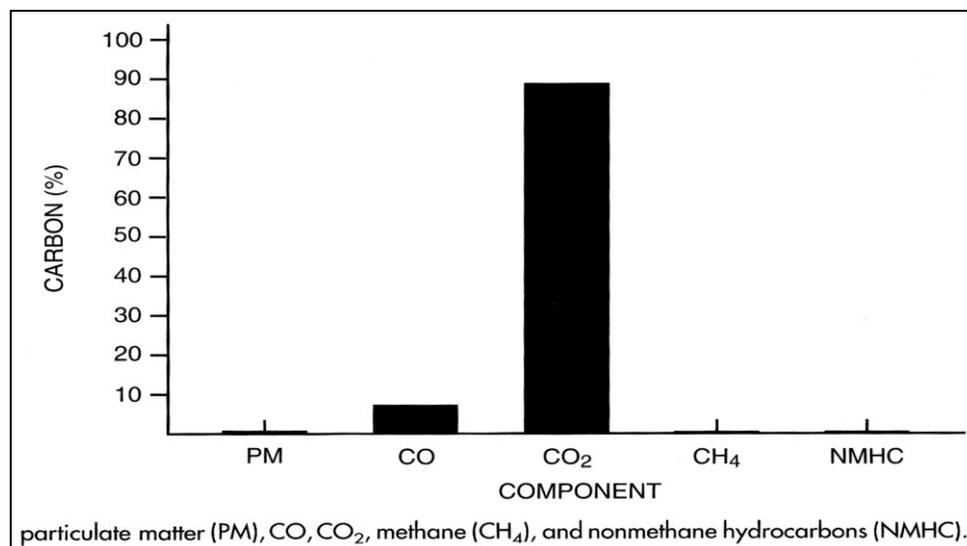


Abb.97: Zusammensetzung des bei Vegetationsbränden freigesetzten Kohlenstoffs (nach DEBANO ET AL. 1998)

Die einzelnen Bestandteile des bei Vegetationsfeuern freiwerdenden Kohlenstoffs mit ihren prozentualen Anteilen am Gesamtausstoß zeigt Abb.97. Nach DEBANO ET AL. (1998) macht CO₂ in der Regel 80-90 % der feuerinduzierten Kohlenstofffreisetzung aus. Bei intensiven, bestandsvernichtenden Ereignissen kann dieser Wert bis zu 99 % erreichen, bei Schwelbränden nur 50 %. Ebenfalls von der Verbrennungseffektivität abhängig ist die Konzentration der zweitgrößten C-Komponente, dem CO (≈ 10 %). Je effektiver die Verbrennung, desto weniger CO entsteht. Feinstaub (PM), CH₄ und NMHC spielen hier eine vergleichsweise unbedeutende Rolle.

In feueradaptierten Ökosystemen verbleibt jedoch in der Regel nur ein Bruchteil des emittierten Kohlenstoffs in der Atmosphäre. Der Großteil in Form von CO₂ wird bei der Pflanzenregeneration wieder in Biomasse überführt, so dass Brände in diesen Regionen keine den Treibhauseffekt verstärkende Auswirkung haben (FAO 2007).

Es bestehen hierbei jedoch einige Einschränkungen. Zunächst dürfen die nach dem Feuer in Gang gesetzten bzw. beschleunigten Prozesse in der Pedosphäre, die zusätzlich Emissionen hervorrufen, nicht außer Acht gelassen werden (AMIRO ET AL. 2001; KASHIAN ET AL. 2006). Beispielsweise gehen RICHTER ET AL. (2000) davon aus, dass allein durch die gesteigerte mikrobielle Atmung im ersten Jahrzehnt nach einem Brandereignis genauso viel Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt, wie unmittelbar im Zuge eines Waldbrandes selbst. Zusätzlich ist nach LEVINE & COFER III (2000) eine gesteigerte NO- und N₂O-Produktion in der Folgezeit festzustellen. Diese Gase werden, wie weitere andere, nicht wie CO₂ wieder in Biomasse transformiert. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass Brände in organischen Böden, die über Jahrhunderte bis Jahrtausende entstanden sind, unweigerlich zu einem enormen und auch längerfristigen Verlust von C an die Atmosphäre führen (KASISCHKE ET AL. 2000). Ein Beispiel hierfür ist der außerordentlich große Ausstoß von Kohlenstoff im Rahmen großflächiger Feuer in den bewaldeten Mooren Indonesiens 1997 während des ENSO-Ereignisses 1997/1998, der sich auch deutlich in Abb.96 niederschlägt. Diesen Bränden wird ein ganz wesentlicher Beitrag zum größten festgestellten jährlichen Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration seit Beginn der Aufzeichnungen 1957 zugeschrieben (PAGE ET AL. 2002). Ein Beispiel aus dem Untersuchungsraum - wenn auch in wesentlich kleinerem Maßstab - stellt die komplette Vernichtung mächtiger Tangelrendzinen etwa bei den Bränden an der Arnspitze 1946 oder am Bettelwurf 1909 dar (vgl. 4.2.2).

Des Weiteren kommt hinzu, dass ehemals von Bäumen bestandene Flächen nach der Feuereinwirkung von Natur aus oder anthropogen bedingt baumlos bleiben, sodass eine Bilanz ausgleichende Rückführung von C in Biomasse nicht stattfindet (KASHIAN ET AL. 2006; VAN DER WERF ET AL. 2010). Entsprechende Verhältnisse lassen sich im Untersuchungsgebiet beispielsweise wiederum an der Arnspitze und am Bettelwurf, aber auch nördlich von Vomp im Einzugsgebiet des Stallentals vorfinden, wo über Jahrhunderte von keiner Gehölzregeneration auszugehen ist (vgl. 4.3.2).

Vergleichbare Auswirkungen zeigt eine Verkürzung der Brandintervalle, die mit dem Klimawandel in vielen Regionen einhergehen und eine vollständige Erholung der Baumbestände bis zum nächsten

Feuer verhindern wird. Auch hiermit ist auf längere Sicht eine Nettofreisetzung von Kohlenstoff verbunden (STOCKS 2004; KASHIAN ET AL. 2006). In den kanadischen Wäldern konnten KURZ & APPS (1999) bereits einen Übergang von der Senken- zur Quellenfunktion seit den 1980er Jahren ausmachen, den sie auf die Zunahme von Waldbränden und Insektenkalamitäten zurückführen.

Eine entgegengesetzte Wirkung wird dagegen der bei Waldbränden entstandenen Holzkohle zugeschrieben, die nach ihrer Einarbeitung in den Boden als C-Langzeitsenke fungiert (HARDEN ET AL. 2000; LEHMANN 2007). Im Untersuchungsraum fanden sich derartige Verbrennungsrückstände bis zu 6000 Jahre alter Brandereignisse teils nahezu schichtartig, teils nestartig im Boden konserviert. Laut WARDLE ET AL. (2008) wirkt Holzkohle jedoch offensichtlich auch als Katalysator bei Abbauprozessen von organischer Substanz im Boden und trägt so auf der anderen Seite zur Freisetzung von Kohlenstoff bei.

Wie aus den voranstehenden Ausführungen hervorgeht, sind bei der Emissionsbilanzierung in Zusammenhang mit Vegetationsfeuern viele verschiedene Komponenten auf unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Skala zu berücksichtigen. Die Komplexität der Zusammenhänge ist allerdings mit den derzeitigen Modellen noch nicht zufriedenstellend erfassbar (u. a. FRENCH ET AL. 2004; ANDREAE 2004; VAN DER WERF ET AL. 2010). Eine Fortführung intensiver Forschungstätigkeit in diesem Sektor ist aufgrund der vielfältigen mit Emissionen in Verbindung stehenden Folgen für das Ökosystem und den Menschen von großer Bedeutung.

6. Zusammenfassende Abschlussbetrachtung / Summary

Anhand von Archivadokumenten, Feuerwehroniken, forstlichen Aufzeichnungen, Zeitzeugenberichten, historischem Bildmaterial, Flurnamen und Holzkohledatierungen wurde im Rahmen eines DFG-geförderten Projektes zwischen März 2007 und März 2010 für ein rund 1700 km² großes Untersuchungsgebiet in den Nördlichen Kalkalpen (Karwendel-, Mieminger- und Wetterstein-Gebirge) die regionale Waldbrandhistorie rekonstruiert. Darauf aufbauend erfolgten weiterführende Untersuchungen in den Bereichen Geomorphodynamik und Vegetationsentwicklung, um die Auswirkungen der Brandereignisse genauer erfassen zu können.

Als ein wesentliches Ergebnis ist festzuhalten, dass Waldbrände im Untersuchungsgebiet ein durchaus verbreitetes Phänomen sind. Für den Zeitraum 1534-2010 konnten 499 Waldbrände dokumentiert werden, was im statistischen Mittel 1,05 Ereignissen pro Jahr entspricht. Darüber hinaus wurden weitere 14 Einzelereignisse mittels ¹⁴C-Datierung nachgewiesen, welche alle (z. T. weit) vor 1500 stattgefunden haben. Die Auswertung für die Periode 1900-2010, für welche ausreichend verlässliche Daten zur Verfügung stehen, ergibt eine jährliche Feuerfrequenz von 3,1. Umgerechnet auf eine Bezugsfläche von 100 km² Wald ist die Waldbrandhäufigkeit im Wallis im Vergleich zum Untersuchungsraum rund doppelt und im Tessin über zehnmal so hoch. In besonders waldbrandreichen Regionen wie Italien oder Kalifornien liegt die Anzahl der Ereignisse um den Faktor 20 bzw. 38 über derjenigen in den Nördlichen Kalkalpen.

Bei der Betrachtung der 110-jährigen regionalen Chronologie fällt das Jahr 1947 durch eine weit überdurchschnittliche Waldbrandhäufigkeit (39) auf. Dies liegt zum einen in einem sehr außergewöhnlich trockenen und heißen Sommer bzw. Herbst und zum anderen in einem hohen Nutzungsdruck auf dem Wald kurz nach dem 2. Weltkrieg begründet. Der enge Zusammenhang zwischen Witterungsbedingungen bzw. sozioökonomischen Gegebenheiten und der Waldbrandaktivität zeigt sich hier besonders deutlich - sowohl eine räumliche als auch eine jahreszeitliche Verschiebung der Waldbrandschwerpunkte konnte eindeutig festgestellt werden. Neben weiteren Jahren mit einem Vielfachen des mittleren Waldbrandaufkommens kamen auch waldbrandfreie Jahre vor.

Räumlich konzentriert sich das Auftreten der Waldbrände im Untersuchungsgebiet mehrheitlich in Südexposition, unterhalb von 1300 Metern Seehöhe und in relativer Nähe zum Siedlungsraum, wobei Schwerpunktorkommen auf den Südabfällen zum Inntal hin, im Raum Scharnitz sowie im Einzugsgebiet des Mieminger Plateaus zu verzeichnen sind. Die größte Waldbranddichte weist dabei das Gebiet rund um den sog. Hechenberg westlich von Innsbruck auf, wo sich auf einer Fläche von lediglich ca. 13 km² zwischen 1689 und 2010 71 Brände ereigneten, was einem Rekurrenzintervall von 5,9 Jahren pro 10 km² entspricht. In weiter abgelegenen und weniger gut erschlossenen Regionen liegt die Wiederkehrtrate für Waldbrände im Bereich von 182 bis 491 Jahren pro 10 km².

Zur Ausdehnung der Waldbrände ist zu sagen, dass diese in 50 % aller bekannten Fälle weniger als 0,5 Hektar erreicht. Nur 18 % der Brandflächen sind größer als 10 ha, wobei 4 % davon mehr als 50 ha

umfassen. Die Durchschnittsgröße liegt unter Ausklammerung der Extremereignisse (1705: mehrere 1000 ha; 1635 und 1888: mehrere 100 ha) bei rund 8,5 Hektar. Bringt man die Waldbrandflächen mit der Höhenlage in Verbindung, so fällt auf, dass Ereignisse mit mehr als 10 Hektar hauptsächlich oberhalb von 1300 Metern vorkommen, während jene, die kleiner als 0,5 Hektar sind, ihren Schwerpunkt unterhalb von 1300 Metern haben. Zu erklären ist dies mit der wesentlich einfacheren Erreich- und Bekämpfbarkeit des Feuers in den niedrigeren Lagen des Untersuchungsraumes. Zur Wiederkehrzeit verschieden großer Ereignisse ist anzumerken, dass für die weniger als ein Hektar umfassenden Brände von einem Intervall von knapp 2,1 Jahren auszugehen ist, für jene > 10 ha von 7,1 Jahren und für jene > 50 ha von 30,5 Jahren.

Im räumlichen Verteilungsmuster der Brandereignisse findet auch die Ursachenzusammensetzung für die Brandereignisse ihren Ausdruck: rund 90 % aller Waldbrände sind auf anthropogenen Einfluss zurückzuführen, während etwa 10 % durch Blitzschlag entstehen. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass die Quote der unbekannteren Ursachen im Mittel über 50 % beträgt.

Die saisonale Verteilung der Waldbrände zeigt ein Maximum im Frühjahr (39 %). Im Sommer finden 30 % und im Herbst 23 % der Brände statt. Während des Winters ist die Anzahl der Ausbrüche gering (8 %). Erwähnenswert ist, dass die Großereignisse mit mehr als 100 Hektar Ausdehnung ausschließlich im Frühjahr und im Herbst auftreten, wobei dem Frühjahr generell bei Waldbränden ab einer Größenordnung von 3 Hektar eine gesonderte Bedeutung zukommt. Als Ursache für die hohe Zahl an (flächenintensiven) Ereignissen im Frühling ist das verbreitete Vorhandensein leicht entzündlichen Brennmaterials sowie das verstärkte Auftreten des Föhns zu dieser Jahreszeit anzunehmen. Zudem ist in dieser Phase des Jahres das Bewusstsein bei der Bevölkerung für das Gefahrenpotential einer Waldbrandauslösung noch nicht sonderlich ausgeprägt. Aufgeschlossen nach Monaten weist der April mit 13 % die höchste Brandhäufigkeit auf, gefolgt von März und August mit jeweils 9 %. Mit Ausnahme des Novembers und der Wintermonate (3 bzw. 2 %) sind die Waldbrände über den Rest des Jahres relativ gleichmäßig verteilt (6-8 %).

Über die Feuereigenschaften bei den Waldbränden sind nur bedingt Aussagen möglich, da in den verfügbaren Quellen diesbezüglich nur wenige Informationen vorhanden waren. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Ereignisse Mischformen aus Boden-, Oberflächen- und Kronenfeuern darstellten und dass reine Kronenfeuer so gut wie ausgeschlossen werden können. Zumindest bei jenen Waldbränden, von denen bei entsprechenden Luftbildauswertungen deutliche Spuren im Landschaftsbild in Form einer auffälligen Gehölzarmut zu erkennen gewesen sind, dürfte es sich um bestandsvernichtende Feuer entsprechend hoher Intensität und Heftigkeit gehandelt haben. Es kann angenommen werden, dass im Untersuchungsgebiet mindestens 50 derartige Ereignisse aufgetreten sind.

Anzumerken ist, dass sich das Waldbrandgeschehen in den einzelnen Abschnitten des Untersuchungsgebiets durchaus unterschiedlich darstellt, was sich bei der räumlichen Verteilung der Brände und insbesondere bei den Rekurrenzintervallen bereits angedeutet hat. Besonders auffällige Unterschiede bestehen ferner im Bereich des saisonalen und monatlichen Auftrittsmaximums der Brandereignisse:

die Höchstwerte werden je nach Subregion im Frühjahr, Sommer oder Herbst bzw. im April, Mai, August oder September erreicht.

Bezüglich der längerfristigen regionalen Waldbrandhistorie ist festzuhalten, dass diese überwiegend auf ¹⁴C-Datierungen basiert und im Maximum bis ca. 7900-8300 cal. BC (2 Sigma) zurück reicht. Die Auswertung eines Moorbohrkerns aus dem Nordostkarwendel lässt vom Ende des Präboreals bis zum späten Subatlantikum auf ein natürliches Waldbrandregime in diesem Gebiet schließen. Ab dem Mittelalter ist von einer deutlichen Einflussnahme des Menschen und einer damit verbundenen Zunahme von Waldbränden auszugehen. Dies deckt sich sehr gut mit den Resultaten einer Seebohrkernuntersuchung vom Seefelder Plateau, wo ebenfalls ab dem Mittelalter ein massiver Anstieg der Holzkohlenkonzentration in den Sedimenten nachzuweisen ist. In der Folgezeit ist von mindestens drei größeren Brandereignissen auszugehen, die in Intervallen zwischen ca. 150 und 500 Jahren in der Umgebung von Seefeld höchstwahrscheinlich in enger Verbindung mit anthropogenen Aktivitäten auftraten.

Die aus dem Raum Scharnitz vorliegenden Holzkohleanalysen deuten auf eine merklich höhere Waldbrandaktivität als im Nordostkarwendel bereits vor dem Mittelalter hin. Unter Einbeziehung schriftlicher Dokumente ereigneten sich zwischen ca. 4400 cal. BC (2 Sigma) und 2010 in der Scharnitzer Umgebung mindestens 16 Brände, woraus sich ein Brandrekurrenzintervall von ca. 400 Jahren ergibt. Anthropogene und natürliche Ursachen dürften sich in diesem Fall die Waage halten.

Eine weitere, auf fünf Ereignisse während der letzten rund 1000 Jahre beruhende Chronologie liegt von der südexponierten Lokalität „Im Ödkarl Brennten“ vor. Die durchschnittliche Wiederkehrrate für Waldbrände beträgt hier 200 Jahre.

An Waldbrandauswirkungen ist im Untersuchungsraum an erster Stelle die feuerbedingte Beeinträchtigung von Boden und Vegetation zu nennen, die von Ereignis zu Ereignis, aber auch innerhalb eines Brandes stark variieren kann. Infrastrukturschäden sind im Gegensatz zu Ländern wie Spanien oder Australien eine absolute Seltenheit, ebenso wie Personenschäden, insbesondere in jüngerer Vergangenheit. Auch in finanzieller Hinsicht sind die Waldbrandfolgen in den Nördlichen Kalkalpen in der Regel nicht mit jenen in ausgesprochenen Waldbrandregionen vergleichbar. Nur in Ausnahmefällen, wenn mehrtägiger Hubschraubereinsatz (Kranebitter Klamm 2009) oder aufwendige Brandflächenrekultivierungs- bzw. Infrastruktursicherungsmaßnahmen notwendig sind (Hochmahdkopf bzw. Brunnenstein), werden Kosten von über 200.000 bzw. mehreren Millionen Euro erreicht.

Als Folgeerscheinungen besonders schadhafter Waldbrände sind lokal Bodenerosion, Muren, Lawinenaktivität und Steinschlag zu beobachten. Im Allgemeinen geht von diesen sekundären Auswirkungen eine größere Gefahr für Mensch und Infrastruktur aus, als von den Waldbränden selbst, wenngleich sich eine unmittelbare Bedrohung auf wenige Einzelfälle beschränkt (s.o.).

Die starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfenen Erosionsraten auf den zwei dahingehend untersuchten Brandflächen Issanger (Brandjahr 2003) und Arnspitze (1947) liegen im Mit-

tel bei $13,8 \text{ tha}^{-1}$ und 20 tha^{-1} und damit um das 100- bzw. 185-fache über dem Wert vor dem Brandereignis. Dabei ist bemerkenswert, dass die Abtragsraten auf der wesentlich jüngeren Schadfläche im Maximum höher und im Durchschnitt immer noch ansteigend sind. Eine Normalisierung der Erosionsdynamik ist jeweils auf längere Sicht nicht zu erwarten, da eine großflächige Regeneration der Vegetation in Ermangelung besiedelbaren Substrats und/oder aufgrund der hohen morphodynamischen Aktivität über Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte auszuschließen ist. In diesem Zusammenhang ist auf die episodischen Murschübe und v. a. auf die frühjährlichen Grundlawinen an der Arnspitze hinzuweisen, die maßgeblich für den Transport von Gesteinsschutt aus der Brandfläche verantwortlich sind. Mit den Lawinen werden pro Jahr durchschnittlich 94 t Erosionsmaterial an den Hangfuß verlagert, was einer Abtragsrate von $1,26 \text{ tha}^{-1}$ entspricht. Die Abtragsmengen variieren dabei stark von Jahr zu Jahr und von Einzugsgebiet zu Einzugsgebiet. Ebenfalls zu erwähnen sind an dieser Stelle die Murgänge im Halltal 2008, die Verlagerungsvolumina zwischen ca. 6000 und 12.000 m^3 aufweisen, was einer Masse von etwa 10.800 bzw. 21.600 t gleichzusetzen ist.

Die Vegetation zeigt nach der Brandschädigung auf den 50 untersuchten Flächen eine vielgestaltige Entwicklung, welche in fünf verschiedenen Kategorien zusammengefasst werden kann:

- 1) Die geschlossene Bedeckung mit Gehölzformationen
- 2) Die Dominanz fehlender bzw. sporadischer Vegetationsbedeckung
- 3) Das Nebeneinander von Gehölzen und alpinen Rasen
- 4) Die Etablierung (dichter) alpiner Rasen
- 5) Die Dominanz von Fels und Schutt bei Gehölzanteilen von $> 20 \%$

Am verbreitetsten ist das Nebeneinander von alpinen Rasen und Gehölzen (3), das auf ca. 25 % aller Brandflächen vorzufinden ist. Jeweils rund 20 % der Brandhänge weisen die Kategorien 1), 2) oder 5) auf, während sich dichte alpine Rasen (4) nur in 10 % der Fälle etablieren.

Generell erholen sich Baumbestände nach Waldbrand schneller als *Pinus-mugo*-bestände, was in erster Linie mit der artspezifischen Regenerationsdauer von *Pinus mugo* verbunden ist, die Zeiträume von idealerweise 50, im Regelfall aber von über 100-150 Jahren benötigt. Auf Ungunststandorten mit erhöhter Lawinen- und Schuttdynamik oder im ungestuften Steilgelände ist mit Wiederbesiedlungsspannen von bis zu 500 Jahren, wenn nicht gar mit dem Ausbleiben einer Reetablierung von *Pinus mugo* zu rechnen. Dies gilt ebenso für Baumbestände, die im Normalfall mit anthropogener Unterstützung nach 30-80 Jahren als regeneriert zu betrachten sind. Neben den genannten Ursachen übt die Etablierung einer Gras- und Krautschicht ebenso eine hemmende Wirkung auf die Wiederansiedlung von Gehölzen aus, wie eine unzureichende Wasserversorgung oder Wildverbiss. Insgesamt kann jedoch von allgemein günstigen Voraussetzungen für die Erholung von brandgeschädigten Wäldern im Untersuchungsgebiet gesprochen werden, da im heutigen Landschaftsbild nur noch weniger als 10 % aller Brandereignisse eindeutig zu erkennen sind, wobei ein Großteil davon im Krummholzgürtel gelegen ist.

Die natürliche Entwicklung der Vegetation nach einem Brandereignis wird, wie sich bereits im voranstehenden Absatz angedeutet hat, von einem Komplex an Faktoren und Rückkopplungen bestimmt. Den größten Einfluss üben dabei die Feuereigenschaften Brandheftigkeit, -art und -größe aus. Von ihnen hängen maßgeblich das Ausgangsniveau, wesentliche Rahmenbedingungen sowie der Verlauf des Wiederbesiedlungsprozesses im Hinblick auf Artenzusammensetzung und Geschwindigkeit ab. An wichtigen Parametern sind hier der Schädigungsgrad des Pflanzenbestandes und der Mykorrhizen, die Verfügbarkeit und Eigenschaften des Bodens sowie die Nähe von potentiellen Samenquellen zu nennen. Eine weitere zentrale Einflussgröße stellt die Geländetopographie dar, von der u. a. die standortklimatischen Gegebenheiten und die Ausprägung geomorphodynamischer Prozesse abhängig sind.

In den ersten Jahren nach einem Waldbrand kann es kurzfristig zu einem erhöhten Artenreichtum im Vergleich zu den Vorwaldbrandverhältnissen kommen, welcher auf eine gesteigerte Nischenvielfalt insbesondere in Folge heterogener Brandeinwirkung zurückgeführt werden kann. Förderlich ist zudem ein vom ursprünglichen Bewuchs der Brandfläche abweichender Artenpool in deren Umgebung. Bei der initialen Wiederbesiedelung kann es zu einer Dominanz einzelner Arten kommen, die entweder besonders konkurrenzstark oder Spezialisten für Sonderstandorte sind. Auf der Detailuntersuchungsfläche Issanger ist beispielsweise *Verbascum thapsus*, ein ausgesprochener Nährstoffzeiger, bis zum fünften Nachwaldbrandjahr in großer Artmächtigkeit aufgetreten.

Abschließend ist festzuhalten, dass die vorliegende Arbeit im Sinne von TINNER ET AL. (2005a) und CONEDERA ET AL. (2009) neue, grundlegende Erkenntnisse über die längerfristige regionale Störungsdynamik durch Waldbrände in den Nördlichen Kalkalpen bereit hält. Sie bildet somit eine solide Grundlage sowohl für die Einschätzung der aktuellen als auch für die Abschätzung der zukünftigen Gegebenheiten in Bezug auf das Waldbrandgeschehen und dessen Auswirkungen im Nordalpenraum. Zu begründen ist dies in erster Linie mit der großen zeitlichen Reichweite der Untersuchungsergebnisse verglichen mit ähnlichen Forschungsvorhaben. Insbesondere das neu gewonnene Wissen um das Ausnahmewaldbrandjahr 1947 gibt Aufschluss über das mögliche künftige Waldbrandpotential unter dem fortschreitenden Klimawandel.

Überdies hinaus liefern die Untersuchungsergebnisse einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der regionalen Landschaftsgeschichte insbesondere vor dem Hintergrund menschlicher Einflussnahme. Dem Menschen fällt verbreitet spätestens ab dem Mittelalter durch die Verursachung von Waldbränden eine nachhaltige Rolle bei der Gestaltung des Vegetationsbildes auf den Berghängen im Untersuchungsgebiet zu.

In diesem Zusammenhang sei des Weiteren auf die Herausarbeitung der steuernden Faktoren im komplexen Wirkungsgefüge der Sukzessionsdynamik nach Waldbränden im alpinen Gelände hingewiesen, der ebenfalls eine weitaus umfangreichere Zeitreihe im Vergleich zu ähnlichen Studien zu Grunde liegt.

Summary

The regional forest fire history of a study area in the Northern Limestone Alps with an expanse of approximately 1700 km² (Karwendel, Mieminger and Wetterstein Mountains) has been reconstructed by using documents from archives, forestry and fire brigade records, interviews with local people and experts, historical pictures, local names pertaining to wildfire as well as radiocarbon dating of charcoal. Funding has been provided by the DFG during the period March 2007 till March 2010. Further investigations have been made in the fields of geomorphodynamics and vegetation recovery for a better understanding of the consequences of forest fires.

One central result of the investigations is that forest fires are a rather common phenomenon. 499 forest fires for the period 1534-2010 were documented which equals to an average of 1.05 events per year. Moreover, 14 other events were detected by radiocarbon dating, each of them dating to prior to 1500 AD. The period 1900-2010, which is well documented, shows an annual fire frequency of 3.1. If we consider a reference of 100 km², forest fire frequency in the Canton of Wallis is about two times higher than in the study area, in the Canton of Tessin it is even more than ten times higher. In regions like Italy or California, where wildfires happen frequently, the number of events exceeds that one of the Northern Limestone Alps by the factor of 20 respectively 38.

Considering the 110 years-long regional chronology, 1947 stands out due to a very high number of forest fires (39). On the one hand this can be explained by an outstanding hot and dry summer and on the other hand by many people looking for food or firewood in the forests briefly after World War II. The coherence between weather conditions respectively the socio-economic situation of the people and forest fire activity becomes clearly apparent in this case. Several more years with a surpassing number of forest fires appeared as well, but there were also years with no fire at all.

The occurrence of forest fires in the study area is concentrated mainly in southern expositions, in heights below 1.300 meters a. s. l., and in the surrounding of settlements. A special concentration is given on the northern slopes of the Inn Valley, around Scharnitz, and in the commuting area of Mieminger Plateau. The highest density of fires can be found at the location "Hechenberg" west of Innsbruck with an incidence of 71 events between 1689 and 2010 within an area of only about 13 km². This equals to a recurrence interval of 5.9 years per 10 km². In more remote and less developed regions the recurrence interval amounts to 182 to 491 years per 10 km².

In 50% of the cases, the extent of the forest fires is below 0.5 ha. Only 18% are larger than 10 ha, with 4% reaching an expansion of more than 50 ha. Without considering extreme events (1705: several 1000 ha; 1888: several 100 ha) the average size of a forest fire in the study area amounts to almost 8.5 ha. Correlating fire size with height of occurrence, it becomes apparent that events of more than 10 ha of extension mainly emerge above 1300 meters a. s. l. In comparison, forest fires smaller than 0.5 ha occur predominantly below 1300 meters a. s. l. This phenomenon can be explained by the far better accessibility of fires for fire fighters in the lower parts of the study area. Regarding to recurrence in-

tervals of fires of different size, you can expect an interval of about two years for events smaller than one hectare and an interval of roughly seven years for events larger than 10 ha. Forest fires larger than 50 ha are likely to occur statistically every 30.5 years.

The composition of fire causes is also reflected by the spatial distribution of the forest fires: approx. 90 % of the fire events are of human origin, whereas 10 % are induced by lightning. It has to be taken into account, that on average 50 % of the causes remain unknown.

Maximum appearance of forest fire is in spring (39 %). During summer occur 30 % and in autumn 23 % of the events. The number of outbreaks during the winter months is negligible (8 %). It is worth mentioning, that fires with more than 100 ha of extension only emerge in spring and autumn. Spring generally plays an important role for the occurrence of events larger than 3 ha. The high number of vast forest fires in spring can be explained by the high availability of readily inflammable material and the enhanced appearance of Föhn winds at this time of the year. Furthermore at this stage the awareness of the public of fire danger is usually not yet developed very well. Regarding the monthly distribution of forest fire occurrence, April shows the highest frequency of events with 13 %, followed by March and August with 9 % each. November and the winter months excluded, forest fires are distributed evenly over the rest of the year (6-8 %).

Only speculative statements can be made about type, severity and intensity of fire, because of lacking information in the literature. It can be assumed that most events were a mixture of ground, surface, and crown fires and that pure crown fires did not occur at all. It is possible that at least those forest fires, which could be detected by a vast destruction of wood on aerial photographs, were stand replacing fires of high intensity and severity. It can be hypothesized that at last 50 comparable forest fires took place in the study area.

The results of the long-term fire history mainly depend on radiocarbon dating and reach back to a maximum of roughly 7900-8300 cal. BC (2 Sigma). A natural fire regime from the end of the Pre-boreal till the late Subatlantic can be assumed for the Northeastkarwendel due to the analyses of a peat core. Since the Middle Ages human influence is obviously rising in connection with an increase of forest fires. This is in good accordance with the results of a sediment core analysis from Seefelder Plateau, where also a massive increase of charcoal concentration has been detected at a comparable time. In the following phase probably three important fire events occurred quite likely in close association with human activities within intervals of about 150 and 500 years in the surrounding of Seefelder See.

Charcoal interpretations from the area around Scharnitz indicate a noticeable higher fire activity in this region in relation to Northeastkarwendel already previous to the Middle Ages. Taking into account historical documents, from 4400 cal. BC (2 Sigma) until the year 2010 at least 16 forest fires took place in the surrounding of Scharnitz. The resulting fire recurrence interval amounts to circa 400 years. In this case human and natural fire causes should balance each other.

Another, five fire events during the last 1000 years including chronology was reconstructed at the southerly exposed location "Im Ödkarl Brennten". Here the fire recurrence interval accounts for 200 years.

In the study area damages on soil and vegetation are the most important consequences of fire, varying distinctly from event to event but also within every single forest fire. Damages on infrastructure absolutely rare are in contrast to Spain or Australia, as are personal injuries, especially in the recent past. The financial consequences of fire in the Northern Limestone Alps neither are comparable to those in highly fire prone regions. Costs of more than 200.000 or even more than a million euros are exceptions related to elaborate measurements of re-cultivation resp. infrastructure protection (Hochmahdkopf resp. Brunnstein), or to helicopter operations (Kranebitter Klamm 2009).

Locally erosion, debris flows, avalanches, and rock fall can be observed following extraordinary damaging forest fires. In general these secondary consequences are more dangerous for humans and infrastructure than the forest fires themselves, although a direct threat is limited to a few exceptions (s.a).

The spatially and temporally varying erosion rates at the study sites Issanger and Arnspitze amount to a mean of 13.8 tha^{-1} and 20 tha^{-1} . Thus, the fire caused a roughly 100- resp. 185-fold increased erosion rate compared to pre-fire conditions. It is remarkable, that at the younger site maximum erosion rate is higher and erosion is still increasing. A normalization of the erosive dynamics will not take place on both slopes in the longer term because widespread regeneration of vegetation is impossible for the next decades, perhaps centuries, due to lacking substrate for plant regrowth and due to high morphodynamic activities. In this connection the episodic debris flows and the spring avalanches at Arnspitze have to be discussed, that are significantly responsible for the transportation of debris out of the wildfire slope. Per year an average of 94 t of erosion material is translocated to the base of the slope by the avalanches, which is equivalent to an erosion rate of 1.26 tha^{-1} . The volumes of the transported material vary greatly from year to year and from catchment area to catchment area. Debris flows occurring 2008 in the Halltal have also to be mentioned. Their volumes accounted for ca. 6000 and 12.000 m^3 , which equals to a mass of roughly 10.800 resp. 21.600 t.

Vegetation after fire disturbance shows various forms of regeneration on the 50 study sites. Five main categories of regeneration can be distinguished:

- 1) Dense coverage with forest or shrub
- 2) Dominance of missing resp. sporadic vegetation cover
- 3) Mixture of wood and alpine grasslands
- 4) Establishment of dense alpine grasslands
- 5) Dominance of rock and debris with a portion of wood > 20 %

The mixture of wood and alpine grasslands (3) is the most widespread category that can be found on about 25 % of all slopes disturbed by fire. The categories 1), 2), and 5) are represented on 20 % of the study sites each, whereas dense alpine grasslands could only establish on 10 % of the studied slopes.

In general tree populations regenerate faster than *Pinus mugo*-populations, first of all because of the specific regeneration time of *Pinus mugo*, which can last in the ideal case 50 years, in a normal case, however, more than 100-150 years. Under unfavourable conditions (increased avalanche and debris activity, progressively steep terrain) regrowth may take up to 500 years or even fail. This is also true for tree populations that regenerate with human support under normal conditions within 30-80 years. Beside the mentioned factors, the establishment of a herbaceous layer also impedes the recolonization of wood, like lacking water supply or game browsing does. All in all the conditions for the re-establishment of forest after fire disturbance can be described as favourable in the study area: only 10 % of all forest fires can be detected due to lacking or abnormal vegetation cover - mostly situated in the subalpine belt - on aerial photographs today.

Natural development of vegetation after fire disturbance is controlled by a set of factors and feedbacks like already stated in the upper paragraph. The most important factors are fire intensity, type, and extent, controlling base level, crucial preconditions, and progress of the regeneration process regarding species composition and velocity. Relevant parameters are here the degree of damage on vegetation and mycorrhizae, the availability and characteristics of soil, as well as the proximity of potential seed sources. Another central factor is the topography of the terrain on which microclimatic conditions and characteristics of geomorphodynamic processes depend among others.

In the first years after a forest fire a short-term increase of plant species can be observed in relation to pre-fire conditions, because of increasing ecological niches especially due to heterogeneous fire impacts. A different pool of species in the neighbourhood of the fire disturbed slope is another conducive factor. During the initial phase of recolonization, the dominance of certain species is possible as they are particularly competitive or specialists for extreme conditions. For example on the detailed studied site Issanger *Verbascum thapsus*, a typical indicator for nutrients, was dominant until the fifth year after fire incidence.

7. Ausblick

Auch im Untersuchungsraum ist aufgrund der sich vollziehenden globalen Erwärmung künftig mit einer Zunahme von waldbrandförderlichen Trockenphasen längerer Dauer zu rechnen (vgl. SCHUMACHER & BUGMANN 2006; PARRY ET AL. 2007; WOHLGEMUTH ET AL. 2008; ZUMBRUNNEN ET AL. 2011; GOBIET ET AL. 2014). Hiermit wird in erster Linie wohl ein häufigeres Auftreten von Waldbränden verbunden sein, da auch außerhalb der ohnehin waldbrandreichen Gebiete unter entsprechenden Witterungsbedingungen die Entstehung leichtentzündlichen Brandgutes gefördert und somit günstige Voraussetzungen für die Entfachung eines Feuers geschaffen werden. Je nach saisonalem Auftreten der Trockenperioden kann sich zudem der Schwerpunkt der Waldbrandaktivitäten im Jahresverlauf verschieben (vgl. jew. 1947). Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass die Waldbrandzahlen jene von 1947 erreichen, da damals ganz andere sozioökonomische Rahmenbedingungen vorherrschten.

In wieweit sich zukünftig Veränderungen in der Brandflächengröße ergeben, hängt zu aller erst von der Entwicklung der Windverhältnisse ab. Einen ersten möglichen Hinweis auf ein Anwachsen der Waldbrandflächen gibt die kurze Aufeinanderfolge von außergewöhnlich großen Ereignissen trotz stark verbesserter Brandbekämpfungstechnik in den Jahren 2009 und 2014.

Mit einer zunehmenden Waldbrandaktivität in Verbindung mit großflächiger Vegetationszerstörung steigt auch das Potential für die Entstehung von Lawinen und Muren. Negative Auswirkungen auf die Trinkwasserversorgung sind in diesem Zusammenhang ebenfalls denkbar.

Unterschreitet die Feuerfrequenz schließlich den für die Gehölzregeneration notwendigen Zeitraum, ist längerfristig von einer merklichen Umgestaltung der Vegetationszusammensetzung in der Bergwald- und Latschenstufe auszugehen. Dies ist gleichbedeutend mit dem Verlust wesentlicher Schutzfunktionen für die darunter liegenden Siedlungs- und Wirtschaftsräume. Das Unterbleiben des vollständigen Wiederaufwachsens von Gehölzen resultiert zudem in einer Nettofreisetzung von Kohlenstoff.

Aus den genannten Gründen ist es daher von enormer Wichtigkeit, das Ausbrechen von Waldbränden von vornherein so weit als möglich zu verhindern. Da der Mensch für den weitaus größten Teil der Brandereignisse verantwortlich ist, gilt es an dieser Stelle anzusetzen. Vorrangiges Ziel muss es sein, sowohl bei der regionalen Bevölkerung als auch bei den Touristen ein entsprechendes Gefahren- und Verantwortungsbewusstsein zu schaffen. Erreichbar ist dies beispielsweise durch Aufklärungskampagnen in Bildungseinrichtungen und Zeitungen sowie durch das Aufstellen von Informationstafeln etwa an Wanderparkplätzen, Aussichtspunkten oder am Rande von alten Waldbrandflächen. Zudem wären Hinweise auf die aktuelle Waldbrandgefahrenstufe an geeigneten Stellen mit Sicherheit ebenfalls zielführend. Vergleichbares wurde im Untersuchungsraum in der Auseinandersetzung mit der Thematik „Lawinengefahr“ bereits in die Praxis umgesetzt. Weitere wesentliche Elemente einer an die sich ändernden Voraussetzungen angepassten Waldbrandbekämpfung stellen die Optimierung der Feuereindämmung sowie der Waldbrandgefareneinschätzung - etwa unter der Verwendung von Fer-

nerkundungsmethoden - dar. Maßnahmen zur Reduzierung leichtentzündlichen Brandgutes, wie z. B. das in anderen Waldbrandregionen praktizierte „prescribed burning“ (kontrolliertes Abbrennen) sind im Untersuchungsgebiet aufgrund des verbreitet schwer zugänglichen Geländes und komplexer Windverhältnisse nur unter äußerst großem Aufwand (theoretisch) denkbar.

Aus denselben Gründen ist es wohl ebenso nicht möglich, in siedlungsfernen Gebieten natürlich entstandene Waldbrände in Einzelfällen unter Beobachtung sich selbst zu überlassen. Dies wäre allerdings durchaus wünschenswert, da solche Ereignisse seit Jahrtausenden ein fester Bestandteil der regionalen natürlichen Dynamik sind, die es in einem Schutzgebiet wie dem Alpenpark Karwendel zu erhalten gilt.

Auf weiterführende Fragestellungen und damit in Verbindung stehende Forschungsvorhaben wurde unter 1.2.1 bereits hingewiesen. Es empfiehlt sich in jedem Fall beim Blick in die Zukunft, den Blick in die Vergangenheit nicht zu vernachlässigen, denn nur mit einem fundierten Hintergrundwissen um das vorrezente Waldbrandgeschehen und dessen Auswirkungen können die aktuellen und zukünftigen Verhältnisse richtig beurteilt und in Folge adäquate Maßnahmen getroffen werden.

Quellenverzeichnis

Literatur

- Abakerli, S. (2001): A critique of development and conservation policies in environmentally sensitive regions in Brazil. - In: *Geoforum* 32 (4), S. 551-565.
- ABS (1995): Australian Bureau of Statistics - 1301.0 - Year Book Australia, 1995. Canberra, Australian Capital Territory, 836 S.
- ABS (2004): Australian Bureau of Statistics - 1301.0 - Year Book Australia, 2004. Canberra, Australian Capital Territory, 872 S.
- Agee, J.K. (2000): Fire and pine ecosystems. - In: Richardson, D.M. [Hrsg.]: *Ecology and Biogeography of Pinus*. Cambridge, S. 193-218.
- Albano, G. (2003): Mozambique country paper. - In: FAO 2003. *Proceedings of Workshop on Tropical Secondary Forest Management in Africa: Reality and Perspectives*. December 9-13, 2002, Nairobi et al., o.S.
- Alexander, M.E. (2010): 'Lest we forget': Canada's major wildland fire disasters of the past, 1825-1938. - In: *Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels Conference*, October 25-29, 2010, Spokane, Washington, USA, 21 S.
- Alexandrian, D., Esnault, F., Calabri, G. (1999): Forest fires in the Mediterranean area. - In: *Unasylva* 197 (50), S. 35-41.
- Ali, A.A., Roiron, P., Guendon, J.-L., Poirier, P., Terral, J.-F. (2005): Holocene vegetation responses to fire events in the inner French Alps (Queyras Massif): data from charcoal and geomorphological analysis of travertine sequences. - In: *The Holocene* 15, S. 149-155.
- Amiro, B.D., Todd, J.B., Wotton, B.M., Logan, K.A., Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Mason, J.A., Martell, D.L., Hirsch, K.G. (2001): Direct carbon emissions from Canadian forest fires, 1959-1999. - In: *Canadian Journal of Forest Research* 31, S. 512-525.
- Amt der Tiroler Landesregierung - Landesforstinspektion [Hrsg.] (1964): *Landesforstinspektion für Tirol 1963. Jahresbericht*. Innsbruck, 123 S.
- Amt der Tiroler Landesregierung - Landesforstinspektion [Hrsg.] (1965): *Landesforstinspektion für Tirol 1964. Jahresbericht*. Innsbruck, 94 S.
- Andreae, M.O. (2004): Assessment of Global Emissions from Vegetation Fires. - In: *IFFN No. 31* - July-December 2004, S. 112-121.
- Anto Raja, D.R. (2011): Evaluation of meteorological forest fire risk indices and projection of fire risk for German federal states. Master Thesis an der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, 89 S.
- Apps, W.A. & Apps, M.J. (1999): A 70-year retrospective analysis of carbon fluxes in the Canadian Forest Sector. - In: *Ecological Applications* 9 (2), S. 526-547.
- Arno, S.F. & Allison-Bunnell, S. (2002): *Flames in Our Forest*. Washington D.C., 227 S.
- Asselin, H. & Payette, S. (2005): Detecting local-scale fire episodes on pollen slides. - In: *Review of Palaeobotany and Palynology* 137, S. 31-40.

- Autonome Provinz Bozen-Südtirol [Hrsg.] (2009): Agrar- und Forstbericht 2008, Bozen, 167 S.
- Autonome Provinz Bozen-Südtirol [Hrsg.] (2010): Agrar- und Forstbericht 2009, Bozen, 178 S.
- Autonome Provinz Bozen-Südtirol [Hrsg.] (2011): Agrar- und Forstbericht 2010, Bozen, 179 S.
- Baader, J. (1880): Chronik des Marktes Mittenwald, seiner Kirchen, Stiftungen und Umgegend. Nördlingen, Beck, 405 S.
- Baker, P.J. & Bunyavejchewin, S. (2009): Fire behavior and fire effects across the forest landscape mosaic of continental Southeast Asia. - In: Cochrane, M.A. [Hrsg.]: Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics. Chichester, S. 311-334.
- Balch, J.K., Nepstad, D.C., Curran, L.M. (2009): Pattern and process: Fire-initiated grass invasion at Amazon transitional forest edges. - In: Cochrane, M.A. [Hrsg.]: Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics. Chichester, S. 481-502.
- Barbosa, R.I. & Fearnside, P.M. (1999): Incendios na Amazonia Brasileira: estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento El Niño (1997/98). - In: Acta Amazônica 29, S. 513-534.
- Bayerisches Staatsministerium des Inneren [Hrsg.] (1947): Das Jahr der Waldbrände. - In: Brandwacht. Mitteilungsblatt des Landesamtes für Feuerschutz Nr. 11/12. o.S.
- Becke, M. (1983): Zur Geologie des Mieminger Gebirges. - In: Geologisch-Paläontologische Mitteilungen Innsbruck Band 12, S. 317-340.
- Beghin, R., Lingua, E., Garbarino, M., Lonati, M., Bovio, G., Motta, R., Marzano, R. (2010): Pinus sylvestris forest regeneration under different post-fire restoration practices in the northwestern Italian Alps. - In: Ecological Engineering 36, S. 1365-1372.
- Beimrohr, W. (2002): Das Tiroler Landesarchiv und seine Bestände. - In: Tiroler Geschichtsquellen 47, 430 S.
- Benavides-Solorio, J., MacDonald, L.H. (2005): Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range. - In: International Journal of Wildland Fire 14, S. 457-474.
- Bendel, M., Tinner, W., Ammann, B. (2006): Forest dynamics in the Pfyn forest in recent centuries (Valais, Switzerland, Central Alps): interaction of pine (*Pinus sylvestris*) and oak (*Quercus* sp.) under changing landuse and fire frequency. - In: The Holocene 16 (1), S. 81- 89.
- Berger, R. (1927): Das Halltal. Eine pflanzensoziologische Studie als Beitrag zur Pflanzengeographie des südlichen Karwendel. - In: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft Band 77, S. 119-155.
- Berli, S., Cherubini, P., Schoch, W. (1994): Rekonstruktion von Bestandesfluktuationen, Bodenmächtigkeit und Feuergeschichte über 7000 Jahre BP mittels Holzkohle-Analysen. - In: Botanica Helvetica 104, S. 17-30.
- Berufsfeuerwehrverband Innsbruck Stadt [Hrsg.] (1958): Festschrift der Feuerwehr der Landeshauptstadt Innsbruck. 100 Jahre Freiwillige Feuerwehr und 60 Jahre Berufsfeuerwehr. Innsbruck, 63 S.
- Beug, H.-J. (2004): Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. München, 542 S.

- Bielowski, W. & Haas, J.N. (2010): Midterm Report (2009). Kiös Fire-History Karwendel Project O. Sass / W. Bielowski / J.N. Haas 2009-2010. Unpublished Report University of Innsbruck. 4 S.
- Bielowski, W. & Haas, J.N. (2011): Final Report for the Palaeoecological Project Part. Kiös Fire-History Karwendel Project O. Sass / W. Bielowski / J.N. Haas 2009-2010. Unpublished Report University of Innsbruck. 4 S.
- Bigio, E., Swetnam, T.W., Baisan, C.H. (2010): A comparison and integration of tree-ring and alluvial records of fire history at the Missionary Ridge Fire, Durango, Colorado, USA. - In: *The Holocene* 20 (7), S. 1047-1061.
- Bloetzer, G. (1996): Die Bedeutung des Schutzwaldes am Beispiel der Lötschberg-Südrampe. Folgen und Ersatzkosten nach einer Zerstörung durch Waldbrand. - In: Europäische Akademie Bozen [Hrsg.]: *Das Bergwaldprotokoll: Forderungen an den Wald - Forderungen an die Gesellschaft*. Berlin et al., S. 69-75.
- Blume, H.-P., Brümmer, G.W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M. (2010): *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Auflage, Heidelberg, 570 S.
- Böhm, S. (2011): *Holozäne Vegetationsgeschichte des Halslkopfmoores (Karwendel, Österreich)*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg. 57 S.
- Bojko, H. (1931): Der Wald im Langental, Val Lungo. - In: *Englers botanisches Jahrbuch* 64, S. 117-162.
- Bond, W.J. & van Wilgen, B. (1996): Fire and plants. - In: *Population and community biology series* 14, 263 S.
- Bourgeau-Chavez, L.L., Alexander, M.E., Stocks, B.J., Kasischke, E.S. (2000): Distribution of Forest Ecosystems and the Role of Fire in the North American Boreal Region. - In: Kasischke, E.J. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: *Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest*. New York, S.111-131.
- Braun-Blanquet, J. (1964): *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. 3. Auflage, Wien, 865 S.
- Bremer, M. & Sass, O. (2012): Combining airborne and terrestrial laser scanning for quantifying erosion and deposition by a debris flow event. - In: *Geomorphology* 138 (1), S. 49-60.
- Briemle, G. (1997): *Farbatlas Kräuter und Gräser in Feld und Wald*. Stuttgart, 288 S.
- Buresti, E. & Sulli, M. (1983): Andamento degli incendi boschivi in relazione al tempo atmosferico dal 1963 al 1981 nel Varesotto: prova di un metodo di previsione del rischio. - In: *Annali ISS* 14, S. 329-351.
- Bustillo, M. (2003): Slide threat will persist, experts warn. - In: *Los Angeles Times*, 27.12.2003.
- Camia, A. & Amatulli, G. (2009): Weather Factors and Fire Danger in the Mediterranean. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: *Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems*. Berlin, S.71-82.
- Cannon, S.H., Gartner, J.E., Rupert, M.G., Michael, J.A., Staley, D.M., Worstell, B.B. (2010): Emergency assessment of postfire debris-flow hazards for the 2009 Station fire, San Gabriel Mountains, southern California - In: *U.S. Geological Survey Open-File Report 2009-1227*, 27 S.
- Cannon, S.H., Kirkham, R.M., Parise, M. (2001): Wildfire-related debris flow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado. - In: *Geomorphology* 39, S. 171-188.

- Carcaillet, C. (1998): A spatially precise study of Holocene fire history, climate and human impact in the Maurienne valley, North French Alps. - In: *Journal of Ecology* 86, S. 384-396.
- Carcaillet, C., Perroux, A.-S., Genries, A., Perrette, Y. (2007): Sedimentary charcoal pattern in a karstic underground lake, Vercors massif, French Alps: implications for palaeo-fire history. - In: *The Holocene* 17 (6), S. 845-850.
- Cerdà, A. & Lasanta, T. (2005): Long-term erosional responses after fire in the Central Spanish Pyrenees: 1. Water and sediment yield. - In: *Catena* 60, S. 59-80.
- Cesti, G., & Cerise, A. (1992): Aspetti degli incendi boschivi. *Quart*, 295 S.
- Christianson, A., McGee, T., Jardine, C. (2011): Canadian wildfire communication strategies. - In: *The Australian Journal of Emergency Management* 26 (3), S. 40-51.
- Chuvieco, E. [Hrsg.] (2009): *Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems*. Berlin, 257 S.
- Chuvieco, E. (2009): Global Impacts of Fire. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: *Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems*. Berlin, S. 1-10.
- Clark, J.S., Merkt, J., Müller, H. (1989): Post-glacial fire, vegetation, and human history on the northern alpine forelands, southwestern Germany. - In: *Journal of Ecology* 77, S. 897-925.
- Cochrane, M.A. (2001): Synergistic interaction between habitat fragmentation and fire in evergreen tropical forests. - In: *Conservation Biology* 15, S. 1515-1521.
- Cochrane, M.A. (2003): Fire science for rainforests. - In: *Nature* 421, S. 913-919.
- Cochrane, M.A. [Hrsg.] (2009a): *Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*. Chichester, 626 S.
- Cochrane, M.A. (2009b): Fire in the tropics. - In: Cochrane, M.A. [Hrsg.]: *Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*. Chichester, S. 1-24.
- Conedera, M. (2005): Erosion und Oberflächenabfluss nach Bränden. - In: *Bündnerwald* 58 (6), S. 75-76.
- Conedera, M. (2009): Implementing fire history and fire ecology in fire risk assessment: the study case of Canton Ticino (southern Switzerland). Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 82 S.
- Conedera, M., Cesti, G., Pezzatti, G.B., Zumbrunnen, T., Spinedi, F. (2006): Lightning induced fires in the Alpine region: an increasing problem. - In: Viegas, D.X. [Hrsg.]: *5th International Conference on Forest Fire Research, Figueira da Foz, Portugal*. Coimbra: University of Coimbra [CD-ROM].
- Conedera, M., Marcozzi, M., Jud, B., Mandallaz, D., Chatelain, F., Frank, C., Kienast, F., Ambrosetti, P., Corti, G. (1996): *Incendi boschivi al Sud delle Alpi: passato, presente e possibili sviluppi future*. Zürich, 143 S.
- Conedera, M., Peter, L., Marxer, P., Forster, F., Rickenmann, D., Re, L. (2003): Consequences of forest fires on the hydrogeological response of mountain catchments: a case study of the Riale Buffaga, Ticino, Switzerland. - In: *Earth Surface Processes and Landforms* 29, S. 117-129.
- Conedera, M., & Tinner, W. (2010): Langzeitfeuerökologie der Schweiz. - In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161 (11), S. 424-432.

- Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A.F., Krebs, P. (2009): Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. - In: Quaternary Science Reviews 28, S. 435-456.
- Corpo Forestale dello Stato (2010): Incendi Boschivi 2010. Rom, 121 S.
- Cronan, J., McKenzie, D., Olson, D. (201X): Fire regimes of the Alaskan boreal forest. - In: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station [Hrsg.]: General Technical Report PNW-GTR-XXX. Portland, 124 S.
- Davidenko, E.P., Furyaev, V.V., Sukhinin, A.I., Goldammer, J.G. (2003): Fire Management Needs in Russia's Boreal Forest Zone. Paper presented at the 3rd International Wildland Fire Conference, Sydney, Australia, 3-6 October 2003.
- Davidenko, E.P. & Kovalev, N.A. (2004): Forest Fire Management in Russia, 2003. Paper presented at the Conference on Forest Fire Management and International Cooperation in Fire Emergencies in the Eastern Mediterranean, Balkans and adjoining Regions of the Near East and Central Asia, Antalya, Turkey, 30 March - 3 April 2004.
- Davies, C. (1997): Fire Causes on Public Land in Victoria, 1976-1996. - In: Department of Natural Resources and Environment. Fire Management Branch [Hrsg.]: Research Report No. 49, 34 S.
- DeBano, L.F., Ffolliott, P.F., Baker, M.B., Jr. (1996): Fire severity effects on water resources. - In: Ffolliott, P.F., DeBano, L.F., Baker, M.B., Jr., Gottfried, G.J., Solis-Garza, G., Edminster, C.B., Neary, D.G., Allen, L.S., Hamre, R.H. [Hrsg.]: Effects of fire on Madrean province ecosystems: A symposium proceedings. USDA Forest Service, Gen. Tech. Rep. RM-289, S. 77-84.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F. (1998): Fire's effects on ecosystems. New York, 333 S.
- DeLarze, R., Caldelari, D., Hainard, P. (1992): Effects of fire on forest dynamics in southern Switzerland. - In: Journal of Vegetation Science 3, S. 55-60.
- Der Spiegel (1975): Unser Feuer machen wir selber aus. - In: Der Spiegel Nr.34/1975, S. 17-26.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X. (2003): Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. - In: International Journal of Remote Sensing 24, S. 1751-1763.
- Dickmann, D.I. & Cleland, D.T. (2002): Fire return intervals and fire cycles for historic fire regimes in the Great Lakes Region: a synthesis of the literature. - In: Draft 8/02, Report of the Great Lakes Ecological Assessment, 21 S.
- Doben, K. (1996): 7.4.7 Nördliche Kalkalpen (Oberostalpin). - In: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, 4. Auflage, München, S. 275-277.
- Doben, K. & Risch, H. (1996): 5.8 Nördliche Kalkalpen (Oberostalpin). - In: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, 4. Auflage, München, S. 220-231.
- DOI (2012): U.S. Department of the Interior: Wildland Fire Management Program Benefit-Cost Analysis - A Review of Relevant Literature. Washington, DC, 70 S.
- Dorn, R.I. (2003): Boulder weathering and erosion associated with a wildfire, Sierra Ancha Mountains, Arizona. - In: Geomorphology 55, S. 155-171.
- Egger, F. (1949): Aus Halls vergangenen Zeiten. Hall, 886 S.

- Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. 6. Auflage. Stuttgart, 1333 S.
- Erdtmann, G. (1954): *An introduction to pollen analysis*. Waltham, 239 S.
- Espalta, J.M., Retana, J., Habrouk, A. (2003): An economic and ecological multi-criteria evaluation of reforestation methods to recover burned *Pinus nigra* forests in NE Spain. - In: *Forest Ecology and Management* 180, S. 185-198.
- FAO (2006a): *Global Forest Resources Assessment 2005 - Report on fires in the Baltic Region and adjacent countries*. Fire Management Working Paper 7. Rom, 29 S.
- FAO (2006b): *Global Forest Resources Assessment 2005 - Report on fires in the North American Region*. Fire Management Working Paper 15. Rom, 37 S.
- FAO [Hrsg.] 2007: *Fire management - global assessment 2006*. - In: *FAO Forestry Paper* 151, Rom, 134 S.
- FAO [Hrsg.] 2010: *Global Forest Resources Assessment 2010. Main report*. - In: *FAO Forestry Paper* 163, Rom, 343 S.
- FAO [Hrsg.] 2013: *FAO Yearbook of Forest Products 2011*. In: *FAO Forestry Series No. 46*, Rom, 358 S.
- Fernández, S., Marquínez, J., Menéndez Duarte, R. (2005): A susceptibility model for post wildfire soil erosion in a temperate oceanic mountain area of Spain. In: *Catena* 61, S. 256-272.
- Finsterwalder, K. (1990): *Tiroler Ortsnamenkunde - gesammelte Aufsätze und Arbeiten*. Band 2. In: *Ölberg, H.M. & Grass, N. [Hrsg.]: Forschungen zur Rechts- und Kulturgeschichte* 16, S. 452-925.
- Fischer, R. (1992): Blütenwunder als Folge eines Brandes im Schwarzföhrenwald. - In: *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt* 57, S. 131-174.
- Fites-Kaufmann, J., Bradley, A.F., Merrill, A.G. (2006): *Fire and Plant Interactions*. - In: Sugihara, N.G., van Wagendonk, J.W., Shaffer, K.E., Fites-Kaufmann, J., Thode, A.E. [Hrsg.]: *Fire in California's ecosystems*. Berkeley et al., S. 94-117.
- Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K.A., Stocks, B.J., Wotton, B.M. (2005): *Forest Fires and Climate Change in the 21st Century*. - In: *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (2005) 11, S. 847-859.
- Fliri, F. (1975): *Das Klima der Alpen im Raume Tirols*. - In: *Monographien zur Landeskunde Tirols* 1, Innsbruck, 448 S.
- Fliri, F. (1998): *Naturchronik von Tirol. Tirol, Oberpinzgau, Vorarlberg, Trentino. Beiträge zur Klimatographie von Tirol*. Innsbruck, 370 S.
- Forsyth, G.G. & Van Wilgen, B.W. (2008): *The recent fire history of the Table Mountain National Park, and implications for fire management*. - In: *Koedoe* 50, S. 3-9.
- Freiwillige Feuerwehr Arzl [Hrsg.] (1989): *100 Jahre Freiwillige Feuerwehr Innsbruck Arzl*. Innsbruck, 162 S.
- Friedmann, A. & Korch, O. (2010): *Die Vegetation des Zugspitzplatts (Wettersteingebirge, Bayerische Alpen): Aktueller Zustand und Dynamik*. -In: *Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges.* 22, S. 114-128.

- Gams, H. (1951): Baumgrenzen im Karwendel bei Schwaz. - In: Schlernschriften 85, S. 67-74.
- Ganteaume, A., Camia, A., Jappiot, M., San-Miguel-Ayanz, J., Long-Fournel, M., Lampin, C. (2012): A Review of the Main Driving Factors of Forest Fire Ignition Over Europe. - In: Environmental Management October 2012, DOI 10.1007/s00267-012-9961-z, 12 S.
- Gapp, I. (1988): Ein Beitrag zur aktuellen Vegetation von Telfs. - In: Telfs - Porträt einer Tiroler Marktgemeinde in Texten und Bildern Band II, Telfs, S. 706-712.
- Garbaye, J. (2000): The role of ectomycorrhizal symbiosis in the resistance of forests to water stress. - In: Outlook on Agriculture 29 (1), S.63-69.
- García-Ruiz, J.M., Arnáez, J., Gómez-Villar, A., Ortigosa, L., Lana-Renault, N. (2013): Fire-related debris flows in the Iberian Range, Spain. - In: Geomorphology 196, S. 221-230.
- Geiger, R. (1950): Die Waldgefährdung durch den Dürresommer 1947. - In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 70 (6), S. 349-355.
- Germain, D., Filion, L., Héту, B. (2005): Snow avalanche activity after fire and logging disturbances, northern Gaspé Peninsula, Quebec, Canada. - In: Canadian Journal of Earth Sciences 42 (12), S. 2103-2116.
- Gimmi, U., Bürgi, M., Wohlgemuth, T. (2004): Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert?. - In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 15 (10), S. 437-440.
- Giraud, R.E. & McDonald, G.N. (2007): The 2000-2004 fire-related debris flows in northern Utah. - In: Schaefer, V.R., Schuster, R.L., Turner, A.K. [Hrsg.]: AEG Special Publication 23, S. 1522-1531.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. (1998): Black carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. - In: Organic Geochemistry 29, S. 811-819.
- Gobet, E., Tinner, W., Hochuli, P.A., van Leeuwen, J.F.N., Ammann, B. (2003) Middle to Late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps): the role of man and fire. - In: Vegetation History and Archaeobotany 12, S. 143-163.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M. (2014): 21st century climate change in the European Alps - A review. - In: Science of the Total Environment 493, S. 1138-1151.
- Göttle, A. & Sène, E.-H. (1997): Forest functions related to protection and environmental conservation. - In: Unasylva 190/191, XI. World Forestry Congress, 98 S.
- Goldammer, J.G. [Hrsg.] (1990): Fire in the tropical biota. Ecosystem processes and global challenges. - In: Ecological Studies 84, 497 S.
- Goldammer, J.G. (1993): Feuer in Waldökosystemen der Tropen und Subtropen. Basel-Boston, 251 S.
- Goldammer, J.G. (1997): Overview of fire and smoke management issues and options in tropical vegetation. - In: Abu Hasan, H., Taha, D., Dahalan, M.P., Mahmud, A. [Hrsg.]: Transboundary Pollution and the Sustainability of Tropical Forests: Towards Wise Forest Fire Management - The Proceedings of the AIFM International Conference, Kuala Lumpur, S. 189-217.
- Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. [Hrsg.] (1996): Fire in ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht et al., 528 S.

- Goldammer, J.G. & Hoffmann, A.A. (2002): Fire Situation in Indonesia. - In: IFFN No. 26 - January 2002, S. 37-45.
- Goldammer, J.G. & Stocks, B.J. (2000): Eurasian Perspective of Fire: Dimension, Management, Policies, and Scientific Requirements. - In: Kasischcke, E.S. & Stocks, B.J [Hrsg.]: Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest. New York, S. 49-65.
- Goldammer, J.G., Sukhinin, A. Davidenko, E.P. (2008): Advance Publication of Wildland Fire Statistics for Russia 1992-2007. - In: IFFN No. 37 - June-December 2007, S. 1.
- González, D.G. & Rios, R.C. (2009): Fire Danger, Fire Detection, Quantification of Burned Areas and Description of Post-Fire Vegetation in the Central Area of Chile. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. Berlin, S. 55-70.
- Gossow, H., Hafellner, R., Vacik, H., Huber, T. (2009): Major Fire Issues in the Euro-Alpine Region - the Austrian Alps. - In: IFFN No. 38 - January-December 2009, S. 101-110.
- Grabherr, W. (1934a): Der Einfluß des Feuers auf die Wälder Tirols. - In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen Jg. 60, Heft 11, S. 259-273.
- Grabherr, W. (1934b): Der Einfluß des Feuers auf die Wälder Tirols. - In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen Jg. 60, Heft 12, S. 289-302.
- Grabherr, W. (1936): Die Dynamik der Brandflächenvegetation auf Kalk- und Dolomitböden im Karwendelgebirge. - In: Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Band LV, Abteilung B, Heft 1/2, 97 S.
- Grabherr, W. (1946/1949): Die Legföhrenwälder am Bettelwurf bei Hall in Tirol. - In: Veröffentlichungen des Tiroler Landesmuseums Ferdinandeum 26-29, S. 107-116.
- Grabherr, W. (1963a): Die Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold) als Waldbaum in Tirol. - In: Tiroler Heimatblätter 38, Heft 1/3, S. 14-22.
- Grabherr, W. (1963b): Der größte Waldbrand Nordtirols von Georgenberg bis zum Hähnerbach im hinteren Achenal im Spätherbst 1705. - In: Tiroler Heimatblätter 38, Heft 7/9, S. 25-27.
- Grebe, H. (1948): Die heißesten Sommer Mitteleuropas, vor allem 1911 und 1947. - In: Wetter und Klima 7/8, S. 224-238.
- Gremblich, J. (1893): Der Legföhrenwald. - In: Programm des K.K. Ober-Gymnasiums der Franciscaner zu Hall. Hall in Tirol, 35 S.
- Gröbel, A. (1898): Ein winterlicher Waldbrand im Hochgebirge. - In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 20 (8), S. 434-439.
- Groschke, N. (2005): Vegetationskundliche Untersuchungen an Brandhängen der Arnspitze (Nördliche Kalkalpen). Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 72 S.
- Gutsell, S.L. & Johnson, E.A. (2007): Wildfire and Tree Population Processes. - In: Johnson, E.A. & Miyanishi, K. [Hrsg.]: Plant Disturbance Ecology. The Process and the Response. Amsterdam et al., S. 441-485.
- Haas, F. (2008): Fluviale Hangprozesse in alpinen Einzugsgebieten der Nördlichen Kalkalpen. - In: Eichstätter Geographische Arbeiten Band 17, 256 S.
- Haas, J.N., Richoz, I., Tinner, W., Wick, L. (1998): Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. - In: The Holocene 8 (3), S. 301-309.

- Habrouk, A., Retana, J., Espelta, J.M. (1999): Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. - In: *Plant Ecology* 145, S. 91-99.
- Hafenscherer, J. & Mayer, H. (1986) : Standort, Aufbau, Entwicklungsdynamik und Verjüngung von Latschenbeständen im Karwendeltal/Tirol. - In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 137 (3), S. 177-203.
- Haida, C. (2009): Vegetationsdynamik auf Brandflächen der subalpinen Stufe im Karwendel. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, 113 S.
- Hall, S.A. & Burke, I.C. (2006): Considerations for characterizing fuels as inputs for fire behavior models. - In: *Forest Ecology and Management* 227, S. 102-114.
- Harden, J.W., Trumbore, S.E., Stocks, B.J., Hirsch, A., Gower, S.T., O'Neill, K.P., Kasischke, E. (2000): The role of fire in the boreal carbon budget. - In: *Global Change Biology* 6 (Suppl. 1), S. 174-184.
- Heckmann, T. (2006): Untersuchungen zum Sedimenttransport durch Grundlawinen in zwei Einzugsgebieten der Nördlichen Kalkalpen - Quantifizierung, Analyse und Ansätze zur Modellierung der geomorphologischen Aktivität. - In: *Eichstätter Geographische Arbeiten Band 14*, 312 S.
- Heinimann, H.R., Hollenstein, K., Kienholz, H., Krummenacher, B., Mani, P. (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. - In: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) [Hrsg.]: *Umwelt-Materialien 85, Naturgefahren*. Bern, 248 S.
- Heiß, S. (1989): Brandkatastrophen in alter und neuer Zeit. - In: *Der Tiroler Chronist* Nr. 34, S. 7-14.
- Hemstrom, M.A. (1979): A recent disturbance history of forest ecosystems at Mount Rainier National Park. Doktorarbeit an der staatlichen Universität Oregon, 67 S.
- Hernandez Clemente R., Navarro Cerrillo R.M., Gitas, I.Z. (2009): Monitoring post-fire regeneration in Mediterranean ecosystems by employing multitemporal satellite imagery. - In: *International Journal of Wildland Fire* 18, S. 648-658.
- Heß, E. (1929): Le sol et la forêt. - In: *Annales de la station fédérale de recherches forestières* 15 (1), o. S.
- Hetsch, W. (1980): Bodenphysikalische und bodenchemische Auswirkungen eines Waldbrands auf einen Braunerde-Podsol unter Kiefer. - In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 99 (1), S. 257-273.
- Hille, M. & den Ouden, J. (2004): Improved recruitment and early growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings after fire and soil scarification. - In: *European Journal of Forest Research* 123, S. 213-218.
- Hirschberger, P. (2011): Wälder in Flammen. Ursachen und Folgen der weltweiten Waldbrände. - In: *WWF-Studie Deutschland 2011*, 5. Auflage, Berlin, 90 S.
- Hochenegg, H. (1955): Der große Waldbrand im Karwendel vor 250 Jahren. - In: *Tiroler Heimatblätter* 30, S. 120-122.
- Hölzl, S. (1975): Chronik von Karrösten. - In: *Ortschroniken* 12, 40 S.
- Hölzl, S. (1978): Vomp. Ein Dorf mit bewegter Vergangenheit. - In: *Ortschroniken* 38, 80 S.
- Hoinkis, R. (2004): Hangabtrag und Bodenerosion eines brandbeeinflussten Hanges der Arnspitzgruppe / Tirol. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 117 S.

- Inbar, M., Tamir, M., Wittenberg, L., (1998): Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. - In: *Geomorphology* 24, S. 17-33.
- Jaccard, P. (1928): Die statistisch-floristische Methode als Grundlage der Pflanzensoziologie. - In: *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. 11, Teil 5, S. 165-232.
- Jacomet, S. & Kreuz, A. (1999): *Archäobotanik - Aufgaben. Methoden und Ergebnisse vegetations- und agrargeschichtlicher Funde*. Stuttgart, 368 S.
- Jahn, E., Schiechtl, H.M., Schimitschek, G. (1970): Möglichkeiten der natürlichen und künstlichen Regeneration einer Waldbrandfläche in den Tiroler Kalkalpen. - In: *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck* 58, S. 355-388.
- Jahn, E. & Schimitschek, G. (1950): Bodenkundliche und Bodenzoologische Untersuchungen über Auswirkungen von Waldbränden im Hochgebirge. - In: *Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen* Band 91, Heft 4, S 214-224.
- Jahn, E. & Schimitschek, G. (1951): Bodenkundliche und Bodenzoologische Untersuchungen über Auswirkungen von Waldbränden im Hochgebirge. - In: *Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen* Band 92, Heft 1, S. 36-44.
- Johnson, E.A. (1992): *Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest*. Cambridge, 144 S.
- Johnson, E.A. & Miyanishi, K. [Hrsg.] (2001): *Forest fires behavior and ecological effects*. San Diego, 594 S.
- JRC (2006): *Forest Fires in Europe 2005*. - In: *JRC Scientific and Technical Reports*, Report No 6, 54 S.
- JRC (2008): *Forest Fires in Europe 2007*. - In: *JRC Scientific and Technical Reports*, Report No 8, 82 S.
- JRC (2010): *Forest Fires in Europe 2009*. - In: *JRC Scientific and Technical Reports*, Report No 10, 88 S.
- Jüttner, M. (2010): *Holozäne Vegetations- und Waldbrandgeschichte des Karwendelgebirges - Pollenanalytische Untersuchungen am Halslkopfmoor*. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 60 S.
- Julio, G. (1979): Waldbrände in Bayern im Zeitraum 1960-1976. - In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 98, S. 331-347.
- Juraschek, R. (2011): *Vegetationsentwicklung nach Waldbränden in den Nördlichen Kalkalpen - Multitemporale Luftbildanalyse und GIS-Analysen*. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 82 S.
- Kaltenbrunner, A. (2010): *Waldbrandprävention im Kanton Graubünden*. - In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161, S. 460-464.
- Kashian, D.M., Romme, W.H., Tinker, D.B., Turner, M.G., Ryan, M.G. (2006): Carbon Storage on Landscapes with Stand-replacing Fires. - In: *BioScience* 56 (7), S. 598-606.
- Kasischke, E.S. (2000): Boreal Ecosystems in the Global Carbon Cycle. - In: Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: *Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest*, S. 19-30.

- Kasischke, E.S., O'Neill, K.P., French, N.H.F., Bourgeau-Chavez, L.L. (2000): Controls on Patterns of Biomass Burning in Alaskan Boreal Forest. - In: Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest, S. 173-196.
- Kasischke, E.S., Rupp, T.S., Verbyla, D.L. (2006): Fire trends in the Alaskan boreal forest. - In: Chapin, F.S.III, Oswood, M.W., Van Cleve, K., Viereck, L.A., Verbyla, D.L. [Hrsg.]: Alaska's Changing Boreal Forest. New York, S. 285-301.
- Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.] (2000): Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest. - In: Ecological Studies 138, 461 S.
- Kasischke, E.S., Verbyla, D.L., Rupp, T.S., McGuire, A.D., Murphy, K.A., Jandt, R., Barnes, L., Hoy, E.E., Duffy, P.A., Calef, M., Turetsky, M.R. (2010): Alaska's changing fire regime - implications for the vulnerability of its boreal forests. - In: Canadian Journal of Forest Research 40, S. 1313-1324.
- Kasischke, E.S., Williams, D., Barry, D. (2002): Analysis of the patterns of large fires in the boreal forest region of Alaska. - In: International Journal of Wildland Fire 11 (2), S. 131-144.
- Kaufmann, J.B. & Uhl, C. (1990): Interaction of anthropogenic activities, fire, and logging in rain forests in the Amazon basin. - In: Goldammer, J.G. [Hrsg.]: Fire in the Tropical Biota. Berlin, S. 117-134.
- Kecht, A. (1955): Aus der Geschichte von Ehrwald. - In: Schlern-Schriften 111, S. 177-185.
- Keeley, J. E. (2009): Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. - In: International Journal of Wildland Fire 18, S. 116-126.
- Keeley, J. E. (2006): Fire management impacts on invasive plant species in the Western United States. - In: Conservation Biology 20, S. 375-384.
- Kempf, A. & Scherrer, H.U. (1982): Forstgeschichtliche Notizen zum Walliser Wald. - In: Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen 243, S. 1-123.
- Kilian, W., Müller, F., Starlinger, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. - In: FVBA-Berichte 82, 60 S.
- Kipfer, T., Egli, S., Ghazoul, J., Moser, B., Wohlgemuth, T. (2010): Susceptibility of ectomycorrhizal fungi to soil heating. - In: Fungal Biology 114 (5-6), S. 467-472.
- Klebensberg, R. [Hrsg.] (1953): Haller Buch. Festschrift zur 650-Jahrfeier der Stadterhebung. - In: Schlern-Schriften 106, 548 S.
- Klebensberg, R. [Hrsg.] (1954a): Imster Buch. Beiträge zur Heimatkunde von Imst und Umgebung. - In: Schlern-Schriften 110, 428 S.
- Klebensberg, R. [Hrsg.] (1954b): Tiroler Waldwirtschaft. Festschrift zum 100-jährigen Bestehen des Reichsforstgesetzes in Tirol. - In: Schlern-Schriften 125, 263 S.
- Koch, G. (2003): Sukzessionsmonitoring nach Waldbrand im Naturwaldreservat "Potokkessel". - In: Mariabrunner Waldbautage 2002. Ist die natürliche Verjüngung des Bergwaldes gesichert?. Wien, S. 111-130.
- König, H.C. (2007): Waldbrandschutz. Kompendium für Forst und Feuerwehr. - In: Mathias Bessel [Hrsg.]: edition Gefahrenabwehr. Berlin, 197 S.

- Korovin, G.N. (1996): Statistics on characteristics and spatial and temporal distribution of forest fires in the Russian Federation. - In: J.G. Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. [Hrsg.]: Fire in ecosystems of boreal Eurasia. Dordrecht et al., S. 285-302.
- Kramer, M. (1977): Geschichte der Benediktinerabtei St. Georgenberg-Fiecht bei Schwaz in Tirol: 2., vermehrte Auflage, St. Ottilien, 106 S.
- Küfmann, C. (2008): Flugstaubeintrag und Bodenbildung im Karst der Nördlichen Kalkalpen. - In: Forschungsberichte des Nationalparks Berchtesgaden 54, 189 S.
- Kulakowski, D. & Veblen, T.T. (2007): Effect of prior disturbances on the extent and severity of wild-fire in Colorado subalpine forests. - In: Ecology 88, S. 759-769.
- Kull, C.A. & Laris, P. (2009): Fire ecology and fire politics in Mali and Madagascar. - In: Cochrane, M.A. [Hrsg.]: Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics. Chichester, S. 169-226.
- Kuntze, H., Roeschmann, G., Schwerdtfeger, G. (1994): Bodenkunde. - 5. Auflage, Stuttgart, 424 S.
- Land Brandenburg, Ministerium des Inneren [Hrsg.] (2003): Jahresbericht 2003 Brand- und Katastrophenschutz. Potsdam, 120 S.
- Land Brandenburg, Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft [Hrsg.] (2010): Waldbrandstatistik 2010. Eberswalde, 28 S.
- Land Brandenburg, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz [Hrsg.] (2008): Waldschutzbericht 2008. Eberswalde, 43 S.
- Landesforstinspektion für Tirol (1948): Waldbrände des Jahres 1947 in Tirol. - In: Österreichische Forst- und Holzwirtschaft 3, Nr.10, o.S.
- Landesforstinspektion für Tirol (1952): Waldbrände in Tirol im Jahre 1951. - In: Mitteilungen und Informationen Heft 5,6,7, o.S.
- Lang, Benjamin (2010): Statistische Analysen zur Zirkulationsdynamik von Extremereignissen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 105 S.
- Lehmann, J. (2007): A handful of carbon. In: Nature 447, S. 143-144.
- Leone, V., Lovreglio, R., Martín, P.P., Martínez, J., Vilar, L. (2009): Human Factors of Fire Occurrence in the Mediterranean. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. Berlin, S. 149-170.
- Leistner, I. (2011): Bodenabtragsdynamik auf der Issanger-Brandfläche (Halltal/Karwendel) mittels TLS und konventionellen Methoden. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, 149 S.
- Letey, J. (2001): Causes and consequences of fire-induced soil water repellency. - In: Hydrological Processes 15, S. 2867-2875.
- Levine, J.S. & Cofer III, W.R. (2000): Boreal Forest Fire Emissions and the Chemistry of the Atmosphere. - In: Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest, S. 31-48.
- Lex, P. & Goldammer, J.G. (2001): Fire Situation in Germany. - In: IFFN No. 24 - April 2001, S. 22-30.

- Macias Fauria, M. & Johnson, E.A. (2008): Climate and wildfires in the North American boreal forest. - In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363, S. 2317 -2329.
- Malowerschnig, B. & Sass, O. (2014): Long-term vegetation development on a wildfire slope in Innerzwain (Styria, Austria). - In: *Journal of Forestry Research* 25 (1), S. 103-111.
- Martin, Y.E., Johnson, E.A., Gallaway, J.M., Chaikina, O. (2011): Negligible soil erosion in a burned mountain watershed, Canadian Rockies: field and modelling investigations considering the role of duff. - In: *Earth Surface Processes and Landforms* 36, S. 2097-2113.
- Marxer, P. (2003): Oberflächenabfluss und Bodenerosion auf Brandflächen des Kastanienwaldgürtels der Südschweiz mit einer Anleitung zur Bewertung der post-fire Erosionsanfälligkeit. - In: *Basler Beiträge zur Physiogeographie: Physiogeographica* 33, 217 S.
- Mayer, H. & Ott, E. (1991): *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege: ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz*. 2., vollst. neu bearb. Aufl., Stuttgart, New York, 587 S.
- McAneney, K.J. (2005) Australian Bushfire: Quantifying and Pricing the Risk to Residential Properties. - In: Morrison, R.J. & Bryant, E.A. [Hrsg.]: *Proceedings of the Symposium on Planning for Natural Hazards - How Can We Mitigate the Impacts?* Wollongong, S. 13-22.
- McLeod, R. (2003): *Inquiry into the Operational Response to the January 2003 Bushfires in the ACT*. Canberra, 275 S.
- McPherson, G.R., Wade, D.D., Phillips, C.B. (1990): *Glossary of Wildland Fire Management Terms Used in the United States*. Society of American Foresters 90-05, 138 S.
- Meisel, K., Schiechtl, H.M., Stern, R. (1984): *Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100000*. 10. Teil: Blatt 3, Karwendelgebirge - Unterinntal. Grenoble.
- Meyer, G.A. & Wells, S.G. (1997): Fire-related sedimentation events on alluvial fans, Yellowstone National Park. In: *Journal of Sedimentary Research* 67 (5), S. 776-791.
- Miller, H. (1962): *Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges (Tirol). Strukturzusammenhänge am Ostrand des Ehrwalder Beckens*. München, 118 S.
- Minerbi, S. (2000): *Forstschutz 1999 in Südtirol*. - In: Landesabteilung Forstwirtschaft der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol, Schriftenreihe für wissenschaftliche Studien Nr.7/2000, 14 S.
- Missbach, K. (1982): *Waldbrand, Verhütung und Bekämpfung*. 3. Auflage, Berlin, 132 S.
- Moody, J.A. & Martin, D.A. (2001): Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. - In: *Earth Surface Processes and Landforms* 26, S. 1049-1070.
- Moody, J.A. & Martin, D.A. (2009): Synthesis of sediment yields after wildland fire in different rainfall regimes in the western United States. - In: *International Journal of Wildland Fire* 18, S. 96-115.
- Mooney, H.A. & Cleland, E.E. (2001): The evolutionary impact of invasive species. - In: *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 10, S. 5446-5451.
- Moore, P., Webb, J., Collinson, M.E. (1991): *Pollen Analysis*. 2. Auflage, Oxford et al., 216 S.
- Moreno, J.M., Vázquez, A., Vélez, R. (1998): Recent history of forest fires in Spain. - In: Moreno, J.M. [Hrsg.]: *Large Fires*. Leiden, S. 159-185.

- Moser, B., Gimmi, U., Wohlgemuth, T. (2006): Ausbreitung des Erdbeerspinats *Blitum virgatum* nach dem Waldbrand von Leuk, Wallis (2003). - In: Botanica Helvetica 116, S. 179-207.
- Moser, B., Temperli, C., Schneiter, G., Wohlgemuth, T. (2010): Potential shift in tree species composition after interaction of fire and drought in the Central Alps. - In: European Journal of Forest Research 129, S. 625-633.
- Mückenhausen, E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. - 4. Auflage, Frankfurt am Main, 579 S.
- Munger, T.T. (1911): Avalanches and forest cover in the Northern Cascades. - In: USDA Forest Service Circular 173. 12 S.
- Mutschlechner, G. (1987): Einige Notizen zu den Naturgegebenheiten und ihrer Nutzung. - In: Hötting-West/Allerheiligen. Festschrift 50 Jahre Kirche und Volksschule, Innsbruck, S. 122-140.
- Myers, R.L. & Rodríguez-Trejo, D.A. (2009): Fire in tropical pine ecosystems. - In: Cochrane, M.A. [Hrsg.]: Tropical Fire Ecology. Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics. Chichester, S. 557-605.
- Nash, C.H. & Johnson, E.A. (1996): Synoptic climatology of lightning-caused forest fires in subalpine and boreal forests. - In: Canadian Journal of Forest Research 26, S. 1859-1874.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., Ffolliott, P.F. (1999): Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. - In: Forest Ecology and Management 122, S. 51-71.
- Nestroy, O., Danneberg, O.H., Englisch, M., Gessl, A., Hager, H., Herzberger, E., Kilian, W., Nelhiebel, P., Pecina, E., Pehamberger, A., Schneider, W., Wagner, J. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). - In: Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. 60, S. 1-99.
- Niketta, D. (2003): Einige Bemerkungen zum heißen Sommer 2003. - In: Beiträge des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin zur Berliner Wetterkarte 63/03 SO 20/03, 2 S.
- Niklasson, M. & Granström, A. (2004): Fire in Sweden - history, research, prescribed burning and forest certification. - In: IFFN No. 30 - January-June 2004, S. 80-83.
- Niklfeld, H. (1993): Pflanzengeographische Charakteristik Österreichs. - In: Mucina, L., Grabherr, G. & Ellmauer, T. [Hrsg.]: Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil I. Jena, S. 43-75.
- Nyman, P., Sheridan, G.J., Smith, H.G., P.N.J. Lane (2011): Evidence of debris flow occurrence after wildfire in upland catchments of south-east Australia. - In: Geomorphology 125 (3), S. 383-401.
- Oberrauch, H. (1952): Tirols Wald- und Waidwerk. - In: Schlern-Schriften 88, 328 S.
- Ohlson, M. & Tryterud, E. (2000): Interpretation of the charcoal record in forest soils: forest fires and their production and deposition of macroscopic charcoal. - In: The Holocene 10 (4), S. 519-525.
- Omi, P.N. (2005): Forest fires: a reference handbook. Santa Barbara, 347 S.
- Ortner, A. (2010): Detaillierte Statistik des Südföhns in Innsbruck: Einfluss des Föhns auf die Temperatur. Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, Innsbruck, 55 S.
- Otto, A., Gondokusumo, R., Simpson, M.J. (2006): Characterization and quantification of biomarkers from biomass burning at a recent wildfire site in Northern Alberta, Canada. - In: Applied Geochemistry 21 (1), S. 166-183.

- Ozenda, P. (1988): Die Vegetation der Alpen im europäischen Gebirgsraum. Stuttgart, 353 S.
- Page, H.D., Niklasson, M., Källgren, S., Granström, A., Goldammer, J.G. (1997): Rekonstruktion der Feuergeschichte einer nordischen Wald- und Kulturlandschaft: Fallbeispiel Nationalpark Tiveden (Südschweden). - In: NNA-Berichte 10, Heft 5, S. 142-150.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. [Hrsg.] (2007): Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge, 986 S.
- Paschinger, H. (1955): Aus der Naturlandschaft von Telfs und Umgebung. - In: Schlernschriften 112, S. 13-26.
- Patterson, M.W. & Yool, S.R. (1998): Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. - In: Remote Sensing of Environment 65 (2), S.132-142.
- Peay, K.G., Garbelotto, M., Bruns, T.B. (2009): Spore heat resistance plays an important role in disturbance-mediated assemblage shift of ectomycorrhizal fungi colonizing *Pinus muricata* seedlings. - In: Journal of Ecology 97, S. 537-547.
- Pérez-Cabello, F., Echeverría, M.F., Ibarra, P., de la Riva, J. (2009): Effects of Fire on Vegetation, Soil and Hydrogeomorphical Behavior in Mediterranean Ecosystems. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. Berlin, S. 111-128.
- Pérez-Cabello, F., Ibarra, P., Echeverría, M.F., de la Riva, J. (2010): Post-fire Degradation of *Pinus sylvestris* L. Woodlands after 14 Years. - In: Land Degradation & Development 21, S. 145-160.
- Peter, B., Wang, S., Mogus, T., Wilson, B. (2006): Fire Risk and Population Trends in Canada's Wildland-Urban Interface. - In: Hirsch, K.G. & Fuglem, P. [Hrsg.]: Canadian Wildland Fire Strategy: Background Synthesis, Analyses, and Perspectives, Edmonton, 113 S.
- Petticrew, E.L., Owens, P.N., Giles, T.R. (2006): Wildfire effects on the quality and composition of suspended and gravel-stored sediments. - In: Water, Air, and Soil Pollution: Focus 6, S. 647-656.
- Pezzatti, G.B., Bajocco, S., Torriani, D., Conedera, M. (2009): Fire regimes in southern Europe. Selective burning of forest vegetation in Canton Ticino (southern Switzerland). - In: Plant Biosystems 143 (3), S. 609-620.
- Pfister, C. (2004): Historische Aufzeichnungen als Indizien in der Diskussion des Klimawandels. -In: Münchner Rück [Hrsg.]: Wetterkatastrophen und Klimawandel. Sind wir noch zu retten? München, S. 24-31.
- Pitschmann, H., Reisigl, H., Schiechl, H.M., Stern, R. (1970): Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1:100.000. 1. Teil: Blatt 6 Innsbruck - Stubai Alpen. Grenoble.
- Plöschinger, B. (1980): Die Nördlichen Kalkalpen. - In: Der Geologische Aufbau Österreichs. Wien, S. 218-264.
- Prantl, N. (1960): Heimat Zirl. Ein Heimatbuch. - In: Schlern-Schriften 212, 420 S.
- Prosser, I.P., Williams, L., 1998. The effect of wildfire on runoff and erosion in native Eucalyptus forest. - In: Hydrological Processes 12, S. 251-265.

- Pyne, S.J. (1996): Wild hearth. A Prolegomenon to the cultural fire history of Northern Eurasia. - In: Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. [Hrsg.]: Fire in the ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht et al., S. 21-44.
- Rahner, S. (2010): Naturgefahrenanalyse von Brandhängen in den Nördlichen Kalkalpen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 82 S.
- Ramsay, G.C., McArthur, N.A., Dowling, V.P. (1996): Building in a fire-prone environment: research on building survival in two major bushfires. - In: Proceedings of the Linnean Society of New South Wales 116, S. 133-160.
- Read, D.J. (1998): The mycorrhizal status of Pinus. - In: Richardson, D.M. [Hrsg.]: Ecology and biogeography of Pinus. Cambridge, S. 324-340.
- Reineking, B., Weibel, P., Conedera, M., Bugmann, M. (2010): Environmental determinants of lightning- v. human-induced forest fire ignitions differ in a temperate mountain region of Switzerland. - In: International Journal of Wildland Fire 19, S. 541-557.
- Retana, J., Arnan, X., Arianoutsou, M., Barbati, A., Kazanis, D., Rodrigo, A. (2012): Post-Fire Management of Non-Serotinous Pine Forests. - In: Francisco Moreira, F., Arianoutsou, M., Corona, P., De las Heras, J. [Hrsg.]: Post-Fire Management and Restoration of Southern European Forests. Dordrecht et al., S. 151-170.
- Richter, D.D., O'Neill, K.P., Kasischke, E.S. (2000): Postfire Stimulation of Microbial Decomposition in Black Spruce (*Picea mariana* L.) Forest Soils: A Hypothesis. - In: Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: Fire, Climate Change, and Carbon Cycling in the Boreal Forest, S. 197-213.
- Rigling, A., Weber, P., Cherubini, P., Dobbertin, M. (2004): Bestandsdynamik zentralalpiner Waldföhrenwälder aufgezeigt anhand dendroökologischer Fallstudien aus dem Wallis, Schweiz - In: Schweizer Zeitschrift für Forstwesen 155 (6), S. 178-190.
- Robichaud, P.R., Ashmun, L.E., Sims, B.D (2010): Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization. - In: Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-240. Fort Collins, 62 S.
- Robichaud, P. R. & Brown, R. E. (1999): What happened after the smoke cleared: onsite erosion rates after a wildfire in eastern Oregon. - In: Olsen, D. S. & Potyondy, J. P. [Hrsg.]: Proceedings of the Annual Summer Specialty Conference (Track 2: Wildland Hydrology), S.419-426.
- Röhle, H. & Müller, M. (2009): Waldbrand im Schutzwald. Wirkungen des Brandgeschehens auf Zustand und Entwicklung der Verjüngung einer Schutzwaldsanierungsfläche. - In: LFW aktuell 71, S. 32-33.
- Roering, J.J. & Gerber, M. (2005): Fire and the evolution of steep, soil-mantled landscapes. - In: Geology 33, S. 349-352.
- Rohr, C. (2007): Extreme Naturereignisse im Ostalpenraum. Naturerfahrung im Spätmittelalter und am Beginn der Neuzeit. - In: Umwelthistorische Forschungen 4, 640 S.
- Ruf, S. (1865): Chronik vom Achenal. Innsbruck, 219 S.
- Ruitenbeek, J. (1999): Indonesia. - In: (Glover, D. & Jessup, T. (Hrsg): Indonesia's Fire and Haze: The Cost of Catastrophe. Ottawa, S. 88-112.
- Sanborn, P., Geertsema, M., Timothy Jull, A.J., Hawkes, B. (2006): Soil and sedimentary charcoal evidence for Holocene forest fires in an inland temperate rainforest, east-central British Columbia, Canada. - In: The Holocene 16 (3), S. 415-427.

- San-Miguel-Ayanz, J., Pereira, J.M.C., Boca, R., Strobl, P., Kucera, J., Pekkarinen, A. (2009): Forest Fires in the European Mediterranean Region: Mapping and Analysis of Burned Areas. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. Berlin, S. 189-204.
- Sannikov, S.N. & Goldammer, J.G. (1996): Fire Ecology of Pine Forests of Northern Eurasia. - In: Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. [Hrsg.]: Fire in ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht et al., S. 151-164.
- Santi, P.M., deWolfe, V.G., Higgins, J.D., Cannon, S.H., Gartner, J.E. (2008): Sources of debris flow material in burned areas. - In: Geomorphology 96, S. 310-321.
- Santi, P.M., Hewitt, K., VanDine, D.F., Barillas Cruz, E. (2011): Debris-flow impact, vulnerability, and response. - In: National Hazards 56, S. 371-402.
- Sass, O. (2010): Projektförderungsantrag ACRP. Version 1.0 June 2010. - Graz, 45 S.
- Sass, O., Haas, F., Schimmer, C., Bremer, M., Heel, M., Stoeger, F., Wetzel, K.-F. (2012a): Impact of forest fires on geomorphic processes in the Tyrolean Limestone Alps. - In: Geografiska Annaler Series A, 94 (1), S. 117-133.
- Sass, O., Heel, M., Hoinkis, R., Wetzel, K.-F. (2010): A six-year record of debris transport by avalanches on a wildfire slope (Arnspitze, Tyrol). - In: Zeitschrift für Geomorphologie, 54 (2), S. 181-193.
- Sass, O., Heel, M., Haida, C., Bremer, M. (2012b): Die Brandflächen an den Bettelwurfplatten. - In: Forum Hall in Tirol. Neues zur Geschichte der Stadt. Band 3, S. 46-59.
- Sass, O., Heel, M., Leistner, I., Stoeger, F., Wetzel, K.-F., Friedmann, A. (2012c): Disturbance, geomorphic processes and regeneration of wildfire slopes in North Tyrol. - In: Earth Surface Processes and Landforms 37 (8), S. 883-894.
- Schermer, H. (1985): Reith bei Seefeld. Reith, 111 S.
- Schiechtl, H.M., Stern, R., Meisel, K. (1987): Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100000. 11. Teil: Blatt 2, Lechtaler Alpen - Wetterstein. Grenoble.
- Schimtschek, G. (1947): Die Waldbrandgefahr. - In: Österreichische Forst- und Holzwirtschaft 2, Nr. 9, o.S.
- Schimmer, C. (2009): Kurz- und langfristige Morphodynamik von Brandflächen der Nördlichen Kalkalpen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg. 139 S.
- Schober, R. (1988): Absam. Ein Dorf im Wandel. - In: Ortschroniken Nr. 50, 155 S.
- Schönherr, D. [Hrsg.] (1867): Franz Schwegers Chronik der Stadt Hall 1303-1572. - In: Tirolische Geschichtsquellen 1, 178 S.
- Schönenberger, W. & Wasem, U. (1997): Wiederbewaldung einer Waldbrandfläche in der subalpinen Stufe bei Müstair. - In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 148 (6), S. 405-424.
- Schreckenthal, G. (1933): Beiträge zur Frage des Waldrückganges in Tirol. - In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen 59, Sonderabdruck aus Heft 3 (S. 65-90) und 4 (S. 97-110).
- Schullery, P. (1989): Yellowstone Fires: A Preliminary Report. - In: Northwest Science 63 (1), S. 44-54.

Schumacher, S. & Bugmann, H. (2006): The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. - In: *Global Change Biology* 12, S. 1435-1450.

Scipioni, A., Gabellini, B., Caldari, F., Cavalseni, R. (1999): Forest Fires in Italy. - In: IFFN No. 22 - September 1999, S. 60-70.

Shakesby, R.A. & Doerr, S.H. (2006): Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. - In: *Earth-Science Reviews* 74, S. 269-307.

Shivdenko, A.Z. & Nilsson, S. (2000): Extent, Distribution, and Ecological Role of Fire in Russian Forests. - In: Kasischke, E.S. & Stocks, B.J. [Hrsg.]: *Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest*. New York, S. 132-150.

Spinedi, F. & Isotta, F. (2005): Il clima del Ticino negli ultimi 50 anni. - In: *Dati statistiche e società*, 4,2, S. 4-39.

Stähli, M., Finsinger, W., Tinner, W., Allgöwer, B. (2006): Wildfire history and fire ecology of the Swiss National Park (Central Alps): new evidence from charcoal, pollen and plant macrofossils. - In: *The Holocene* 16 (6), S. 805-817.

Stefani, A. (1989): Boschi e incendi in Lombardia. - In: *Dendronatura* 10 (1), S. 41-47.

Stelfox, B., Wynes, B., Flannigan, M., Tymstra, C., Tink, G., Barker, T. (1999): The Fire Regime. - In: Stelfox, B. & Wynes, B. [Hrsg.]: *A Physical, Biological, and Land-Use Synopsis of the Boreal Forest's Natural Regions of Northwest Alberta*, S. 5.1 - 5.84.

Stocks, B.J. (2004): Forest Fires in the Boreal Zone: Climate Change and Carbon Implications. - In: IFFN No. 31 - July-December 2004, S. 122-131.

Stocks, B.J., Goldammer, J.G., Kondrashov, L.G. (2010): Forest Fires and Management in the Circumboreal Zone: Past Trends and Future Uncertainties. A Discussion Paper. - In: IFFN No. 40 - July-December 2010, S. 2-19.

Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R. (2003): Large forest fires in Canada, 1959-1997. - In: *Journal of Geophysical Research* 108, S. 8149-8161.

Stoeger, F. (2011): Langfristige Postfire-Vegetationsentwicklung auf Brandhängen der Nördlichen Kalkalpen. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Innsbruck, 142 S.

Stolz, O. (1955): Geschichte der Gemeinden Telfs, Pfaffenhofen, Oberhofen und Rietz. - In: *Schlernschriften* 112, S. 128-132.

Strobl, H. (2010): Witterungsverlauf vor Waldbränden in den Nordtiroler Kalkalpen. Unveröffentlichte Bachelorarbeit an der Universität Innsbruck, 71 S.

Stucka, L. (2009): *Chronik der Feuerwehr Weißwasser*. Cottbus, 138 S.

Swanson, F.J. (1981): Fire and geomorphic processes. - In: Mooney, H.A., Christensen, T.M., Lotan, J.E., Reiners, W.A. [Hrsg.]: *Proceedings of the conference on fire regimes and ecosystems*, Honolulu, HI. Gen. Tech. Rep. WO-26, S. 401-420.

Syphard, A.D., Radeloff, V.C., Keeley, J.E., Hawbaker, T.J., Clayton, M.K., Hammer, R.B. (2007): Human influence on Californian fire regimes. - In: *Ecological Applications* 17 (5), S. 1388-1402.

- Tapias, R. & Gil, L. (2000): Adaptación reproductiva de las especies forestales ante el fuego. - In: Vélez, R. [Hrsg.]: La Defensa contra los incendios forestales: fundamentos y experiencia. Madrid, S. 4.36-4.66.
- Tinner, W., Allgöwer, B., Ammann, B., Conedera, M., Gobet, E., Lotter, A.F., Stähli, M. (2005a): Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende. - In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 156 (9), S. 325-330.
- Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Gaggeler, H.W., Gedye, S., Jones, R., Sagesser, B. (1998): Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920. - In: The Holocene 8 (1), S. 31-42.
- Tinner, W., Conedera, M., Ammann, B., Lotter, A.F. (2005b): Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age. - In: The Holocene 15 (8), S. 1214-1226.
- Tinner, W., Hofstetter, S., Zeuglin, F., Conedera, M., Wohlgemuth, T., Zimmermann, L., Zweifel, R. (2006): Long-distance transport of charcoal by an intensive crown fire in the Swiss Alps - implications for fire history reconstruction. - In: The Holocene 16 (2), S. 287-292.
- Tinner, W., Hubschmid, P., Wehrli, M., Amman, B., Conedera, M. (1999): Long-term Forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. - In: Journal of Ecology 87, S. 273-289.
- Todd, S.K. & Jewkes H.A. (2006): A History of Fire Suppression and Management in the Last Frontier. - In: Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletin No. 114, 64 S.
- Tollmann, A. (1969): Tektonische Karte der Nördlichen Kalkalpen. 3. Teil: Der Westabschnitt. - In: Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien, 62. Band, S. 78-170.
- Tollmann, A. (1985): Geologie von Österreich. Band 2, Wien, 710 S.
- Treter, U. (1994): Die Rolle des Feuers in den borealen Waldökosystemen Kanadas. Ein Allgemeiner Überblick mit einer Fallstudie aus dem Flechten-Fichten-Waldland. - In: Essener Geographische Arbeiten Band 25, S. 23-42.
- Troger, E. (1969): Tirol Atlas - eine Landeskunde in Karten. Innsbruck, o.S.
- U.S. Census Bureau (2012a): Statistical Abstract of the United States: 2012. Section 1 Population. Washington D.C., 77 S.
- USDA Forest Service (2000): Burned area emergency rehabilitation - Bobcat Fire, Arapaho-Roosevelt National Forest Approval of Initial BAER request. Letter to Regional Forester, Washington, DC, o.S.
- Ustin, S.L., Riaño, D., Koltunov, A., Roberts, D.A., Dennison, P.E. (2009): Mapping Fire Risk in Mediterranean Ecosystems of California: Vegetation type, Density, Invasive Species, and Fire Frequency. - In: Chuvieco, E. [Hrsg.]: Earth observation of wildland fires in mediterranean ecosystems. Berlin, S. 41-54.
- Valese, E. (2009): Wildland fires in the Alpine Region of Italy: What's old, what's new? What's next?. - In: IFFN No. 38 - January-December 2009, S. 97-101.
- Van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T. (2010): Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997-2009). - In: Atmospheric Chemistry and Physics 10, S. 11707-11735.

- Vazquez, A., & Moreno, J.M. (1998): Patterns of lightning- and human-caused fires in peninsular Spain. - In: *International Journal of Wildland Fire* 8, S. 103-115.
- Viegas, D.X., Allgöwer, B., Koutsias, N., Eftichidis, G. (2003): Fire Spread and the Wildland Urban Interface Problem. - In: *International Workshop "Forest Fires in the Wildland-Urban Interface and Rural Areas in Europe: An integral planning and management challenge"*. Athen, S. 93-103.
- Vélez, R. (1995): The 1994 Forest Fire Season. - In: *IFFN No. 12 - January 1995*, S. 12-13.
- Vélez, R. (1996): Forest Fire in 1995. - In: *IFFN No. 14 - January 1996*, S. 35-36.
- Vilas, H. (1973): *Das Schwazer Bezirksbuch*. Schwaz, 333 S.
- Wagenbrenner, J.W., MacDonald, L.H., Rough, D. (2006): Effectiveness of three post-fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. - In: *Hydrological Processes* 20, S. 2989-3006.
- Wahlmüller, N. (1985): Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols V: Nordtiroler Kalkalpen. - In: *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck* 72, S. 101-144.
- Wahlmüller, N. & Haas, J.N. (2012): Palynologische Untersuchungen der Tangelrendzina vom Brunnboden (TRK-2009-1), Scharnitz / Karwendel (Österreich). Unveröffentlichter Bericht über den Arbeitszeitraum 15.12.2011-15.1.2012 aus der Abteilung Palynologie am Institut für Botanik der Leopold Franzens Universität Innsbruck, 9 S.
- Walter, H. & Lieth, H. (1964): *Klimadiagramm-Weltatlas*. Jena, o.S.
- Wardle, D.A., Nilsson, M.-C., Zackrisson, O. (2008): Fire-Derived Charcoal Causes Loss of Forest Humus - In: *Science* 320, S. 629.
- Wasem, U., Hester, C., Wohlgemuth, T. (2010): Waldverjüngung nach Feuer. Vielfältige Wiederbe-
waldung nach Waldbrand bei Müstair. - In: *Wald und Holz* 91 (1), S. 42-45.
- Weber, F. (2009): Kartierung und Charakterisierung von Brandhängen im Raum Mittenwald und Scharnitz (Nördliche Kalkalpen). Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Augsburg, 86 S.
- Weber, H.J. & Schöneberger, W. (1991): Waldbrand - Wiederinstandstellung am Beispiel Müstair. - In: *Bündnerwald* 44 (1), S. 23-30.
- Weinmeister, W. (2003): Fähigkeiten des Waldes zur Verminderung von Hochwasser und Erosions-
schäden. - In: *Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft* 40, S. 15-29.
- Wendelberger, G. & Hartl, H. (1969): Untersuchungen im Brandgebiet Aletschwald. - In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 120, S. 453-475.
- Westerling, A.L., Gershunov, A., Brown, T.J., Dettinger, M.D. (2003): Climate and Wildfire in the Western United States. - In: *Bulletin of the American Meteorological Society* 84(5), S. 595-604.
- Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., Swetnam, T.W. (2006): Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity. - In: *Science* 313, S. 940-943.
- Westerling, A.L. & Swetnam, T.W. (2003): Interannual to Decadal Drought and Wildfire in the Western United States. - In: *Eos* 84 (49), S. 545-560.
- Wetzel, K.-F. (2004): On the hydrology of the Partnach area in the Wetterstein mountains (Bavarian Alps). - In: *Erdkunde* 58, S. 172-186.

- Whelan, R.J. (2002): The ecology of fire. Cambridge, 346 S.
- Wichmann, V. (2006): Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet. Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS. - In: Eichstätter Geographische Arbeiten 15, 261 S.
- Wick, L., Möhl, A. (2006): The mid-Holocene extinction of silver fir (*Abies alba*) in the Southern Alps: a consequence of forest fires? Palaeobotanical records and forest simulations. - In: Vegetation History and Archaeobotany 15, S. 435-444.
- Williams, J., Albright, D., Hoffmann, A.A., Eritsov, A., Moore, P.F., Mendes De Moraes, J.C., Leonard, M., San Miguel-Ayanz, J., Xanthopoulos, G., van Lierop, P. (2011): Findings and Implications from a Coarse-Scale Global Assessment of Recent Selected Mega-Fires. 5th International Wildland Fire Conference Sun City, South Africa 9-13 May 2011, 19 S.
- Winterbottom, K. (1974): The effect of slope angle, aspect, and fire on snow avalanching in the field, Lake Louise, and Marble Canyon region of the Canadian Rocky Mountains. Masterarbeit an der Universität Calgary, 149 S.
- Wittenberg, L., Malkinson, D., Beeri, O., Halutzky, A., Tesler, N. (2007): Spatial and temporal patterns of vegetation regeneration following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape, Mt. Carmel Israel. - In: Catena 71, S. 76-83.
- Wohlgemuth, T., Brigger, A., Gerold, P., Laranjeiro, L., Moretti, M., Moser, B., Rebetez, M., Schmatz, D., Schneiter, G., Sciacca, S., Sierro, A., Weibel, P., Zumbrunnen, T., Conedera, M. (2010): Leben mit Waldbrand. - In: Eidg. Forschungsanstalt WSL: Merkblatt für die Praxis 46, 16 S.
- Wohlgemuth, T., Conedera, M., Kupferschmid Albisetti, A., Moser, B., Usbeck, T., Brang, P., Dobbertin, M. (2008): Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. - In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 159 (10), S. 336-343.
- Wohlgemuth, T. & Moser, B. (2009): Phönix aus der Asche: Die rasche Wiederbesiedlung der Waldbrandfläche oberhalb von Leuk durch Pflanzen. - In: Bulletin Murithienne 126/2008, S. 29-46.
- Wondzella, S.M. & King, J.G. (2003): Postfire erosional processes in the Pacific Northwest and Rocky Mountain regions. - In: Forest Ecology and Management 178, S. 75-87.
- Wuerthner, G. [Hrsg.] (2006): Wildfire: a century of failed forest policy. Washington, DC, 322 S.
- Yalcin, K., Wake, C.P., Kreutz, K.J., Whitlow, S.I. (2006): A 1000-yr record of forest fire activity from Eclipse Icefield, Yukon, Canada. - In: The Holocene 16 (2), S. 200-209.
- Z'graggen, L. (2006): Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 im Vergleich zu früheren Extremtemperaturen. - In: Arbeitsberichte der MeteoSchweiz 212, 74 S.
- Zuber, R.K. (1979): Untersuchungen über die Vegetation und die Wiederbewaldung einer Brandfläche bei Locarno (Kanton Tessin). - In: Beiheft der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen 65, 105 S.
- Zumbrunnen, T., Bugmann, H., Conedera, M., Bürgi, M. (2009): Linking Forest Fire Regimes and Climate - A Historical Analysis in a Dry Inner Alpine Valley. - In: Ecosystems 12, S. 73-86.
- Zumbrunnen, T., Pezzatti, G.B., Menéndez, P., Bugmann, H., Bürgi, M., Conedera, M., (2011): Weather and human impacts on forest fires: 100 years of fire history in two climatic regions of Switzerland. - In: Forest Ecology and Management 261, S. 2188-2199.
- 2009 Victorian Bushfire Royal Commission (2010): Final Report - Summary. Melbourne, 42 S.

Archivdokumente

Tiroler Landesarchiv (TLA)

BH Ibk 1898 Fach Forst 109 SZ 7302, 7740, 7774, 7942, 9165
BH Ibk 1911 Abt. II, Reg.-Z. XIII 39a SZ 3421
BH Ibk 1911 Abt. II, Reg.-Z. XIII 39a SZ 4403
BH Ibk 1929 Abt. I, Reg.-Z. XXIX 80 SZ 3516
BH Ibk 1946 Abt. II, Reg.-Z. 6/15,18,19
BH Ibk 1947 Abt. II, Reg.-Z. 27
BH Ibk 1948 Abt. II, Reg.-Z. 27/2

BH Imst 1909 Fach J248/6393
BH Imst 1909 Fach J251/6452

BH Schwaz 1909 Abt. II, Reg.-Z. XXIX 80/a SZ 794
BH Schwaz 1909 Abt. II, Reg.-Z. XXIX 80/a SZ 795
BH Schwaz 1913 Abt. II, Reg.-Z. XXIX 80/a SZ 659
BH Schwaz 1929 Abt. II, Reg.-Z. 82 SZ 1750
BH Schwaz 1934 Abt. II, Reg.-Z. 39/671

FDD Tirol 406
FDD Tirol 611

Mikrofilm 1804 FV Hall
Mikrofilm 1805 FV Ibk
Mikrofilm 1806 FV Telfs
Mikrofilm 2291 GP Imst
Mikrofilm 2305 GP Absam
Mikrofilm 2307 GP Scharnitz
Mikrofilm 2311 GP Jenbach, GP Schwaz

Salinenamtsbuch 6/30
Salinenamtsbuch 6/44
Salinenamtsbuch 11/53

Tiroler Landesmuseum Ferdinandeum (TLM)

Innsbrucker Nachrichten 1911 Nr. 175 S. 9
Innsbrucker Nachrichten 1961 Nr. 66 S. 3
Sonntagspost 1962 Nr. 17 S. 5
Tiroler Anzeiger 1923 Nr. 184 S. 8
Tiroler Nachrichten 1946 Nr. 105 S. 4, Nr. 110 S. 3
Tiroler Tageszeitung 1946 Nr. 105 S. 4
Tiroler Tageszeitung 1962 Nr. 212 S. 4
Volkszeitung 1946 Nr. 105 S. 3
Volkszeitung 1949 Nr. 146 S. 5

Schorn-Datei o.J.

Staatsarchiv München (SAM)

Oberforstdirektion 2765 Nr. 2151/48
Forstämter 19344

Bayerisches Hauptstaatsarchiv (BHSA)

Plansammlung, Nr. 4309 und 4310

Internet

Feuerwehren

FF Hötting (o.J.a): Freiwillige Feuerwehr Hötting. Waldbrand Kerschbuchhof Tag 1-8.
http://www.ff-hoetting.org/?page_id=7077 (8.8.2010)

FF Hötting (o.J.b): Freiwillige Feuerwehr Hötting. Rauchentwicklung im Bereich Kranebitten - 2 Einsätze.
<http://www.ff-hoetting.org/?p=6064> (8.8.2010)

FF Stans (2011): FF Stans - Chronik.
http://www.ffstans.at/index.php?option=com_content&task=view&id=9&Itemid=18 (4.6.2010)

FFW Achenkirch (2011): FF Achenkirch - 7. bis 12. April - Waldbrand Hinterriss.
http://www.ff-achenkirch.at/index.php?option=com_content&view=article&id=130:7-bis-12-april-2009-waldbrand-hinterriss&catid=52:einsaetze-2009&Itemid=78 (5.7.2011)

FFW der Stadt Schwaz (2011): Freiwillige Feuerwehr der Stadt Schwaz - Besondere Einsätze: 05.09.2003: Dreitägiger Waldbrand.
http://www.ff-schwaz.at/index.php?option=com_content&task=view&id=152&Itemid=131 (4.4.2010)

FFW Grainau (2009): Freiwillige Feuerwehr Grainau. Einsätze 2000-2013.
<http://www.feuerwehr.grainau.com/ein2.htm> (23.5.2009)

FFW Jenbach (o.J.): Chronik der Freiwilligen Feuerwehr Jenbach.
<http://www.ffjenbach.at/de/chronik/geschichte-ffj/index.htmlv> (5.4.2010)

FFW Seefeld (o.J.): FF Seefeld - Archiv.
<http://www.ffseefeld.at/archiv.php> (6.4.2010)

FW Innsbruck (o.J.): Feuerwehr Innsbruck. Waldbrand am Hechenberg.
<http://www.feuerwehr-innsbruck.at/html/bericht.php?id=54> (23.6.2009)

FW Zirl (o.J.): Feuerwehr Zirl - bereit für Zirl, seit 1876...
<http://www.feuerwehr-zirl.at/new/index.php/aktuelles/einsaetze> (7.8.2010)

Land Tirol

Land Tirol (2006): Absamer Vorberg - Tirol.
<http://www.tirol.gv.at/bezirke/innsbruck-land/absamvb/> (28.10.11)

Land Tirol (2010a): Historische Kartenwerke Tirol. Kulturen-Skelett-Karte, um 1860, Maßstab 1:36.000.
<http://www.tirisdienste.at/scripts/esrimap.dll?Name=Anich&MyAuf1=1024&Left=127885&Bottom=164692&Right=354115&Top=295000&KS=0&thv=10&Cmd=ZoomIn&ka=0&AppPar=16&Aktual.x=0&Aktual.y=0&HiGr=0&Par3=0&Par4=0&Suche=0> (10.11.2010)

Land Tirol (2010b): Historische Kartenwerke Tirol. Erste (Josephinische) Landesaufnahme 1801/1805, Maßstab 1:28.800.

<http://www.tirisdienste.at/scripts/esrimap.dll?Name=Anich&MyAuf1=1024&Left=13395&Bottom=57100&Right=418078&Top=294432&KS=0&thv=7&Cmd=ZoomIn&ka=0&AppPar=9&Aktual.x=6&Aktual.y=11&HiGr=0&Par3=0&Par4=0&Suche=0> (10.11.2010)

Land Tirol (2010c): Historische Kartenwerke Tirol. Zweite (Franzische) Landesaufnahme 801/1805 und 1816/1821, Maßstab 1:28.800.

<http://www.tirisdienste.at/scripts/esrimap.dll?Name=Anich&MyAuf1=1024&MapIDX=1&Left=146851&Bottom=275788&Right=152508&Top=279104&KS=0&thv=7&Cmd=ZoomIn&ka=0&AppPar=12&Mst=25000&HiGr=0&Par3=0&Par4=0&Gesamt.x=0&Gesamt.y=0&Suche=0> (10.11.2010)

Land Tirol (2010d): Historische Kartenwerke Tirol. Dritte Landesaufnahme 1864/1887, Datenstand 1870/1873, Maßstab 1:25.000.

<http://www.tirisdienste.at/scripts/esrimap.dll?Name=Anich&MyAuf1=1024&Left=127885&Bottom=164692&Right=354115&Top=295000&KS=0&thv=10&Cmd=ZoomIn&ka=0&AppPar=19&Aktual.x=10&Aktual.y=10&HiGr=0&Par3=0&Par4=0&Suche=0> (10.11.2010)

Land Tirol (2011): Tiroler Landesarchiv.

<http://www.tirol.gv.at/themen/kultur/landesarchiv/> (3.5.2011)

Land Tirol, Abteilung Geoinformation (2011a): Luftbildatlas Tirol.

<http://gis2.tirol.gv.at/scripts/esrimap.dll?Name=Ortho&Cmd=Start> (2.1.2012)

Land Tirol, Abteilung Geoinformation (2011b): Luftbildarchiv Tirol. Bildflug 1947100 Franz. Zone, Sautens-Ibk (1947), Streifen 7838-7867, Bildnr. 7844.

<http://gis.tirol.gv.at/scripts/esrimap.dll?name=Baudion1&OpIdx=1339&Foto=LB-1947100-7838-7867-7844> (5.12.2011)

Land Tirol, Abteilung Geoinformation (2011c): Luftbildarchiv Tirol. Bildflug 1972078 Gesamtbefliegung Tirol (1972), Streifen 123, Bildnr. 487.

<http://gis.tirol.gv.at/scripts/esrimap.dll?name=Baudion1&OpIdx=1004&Foto=LB-1972078-123-487> (5.12.2011)

Land Tirol, Abteilung Geoinformation (2011d): Luftbildatlas Tirol. Flug 1999 (historische Bilder).

<http://tiris.tirol.gv.at/scripts/esrimap.dll?Name=Ortho&MyAuf1=1024&MapIDX=1&Left=74714&Bottom=237606&Right=76548&Top=238681&Cmd=ZoomIn&AppPar=11&ChkB=0&Mst=8110&Aktual.x=11&Aktual.y=14&info=1&Suche=0> (5.12.2011)

Sonstige

Abteilung für Digitalisierung DEA, Universitäts- und Landesbibliothek Tirol (2009): alo - austrian literature online.

<http://www.literature.at/collection.alo?objid=1482&from=1&to=50&orderby=title&sortorder=a> (3.3.2010)

AICC (2006): Alaska Interagency Coordination Center - Predictive Services - Intelligence / Reports. Yearly Alaska Fire Statistics. Alaska Fire Season 2006.

<http://fire.ak.blm.gov/content/aicc/stats/archive/2006.pdf> (20.5.2013)

AICC (2007): Alaska Interagency Coordination Center - Predictive Services - Intelligence / Reports. Yearly Alaska Fire Statistics. Alaska Fire Season 2007.

<http://fire.ak.blm.gov/content/aicc/stats/archive/2007.pdf> (20.5.2013)

AICC (2008): Alaska Interagency Coordination Center - Predictive Services - Intelligence / Reports. Yearly Alaska Fire Statistics. Alaska Fire Season 2008.

<http://fire.ak.blm.gov/content/aicc/stats/archive/2008.pdf> (20.5.2013)

- AICC (2009): Alaska Interagency Coordination Center - Predictive Services - Intelligence / Reports. Yearly Alaska Fire Statistics. Alaska Fire Season 2009.
<http://fire.ak.blm.gov/content/aicc/stats/archive/2009.pdf> (20.5.2013)
- AICC (2010): Alaska Interagency Coordination Center - Predictive Services - Intelligence / Reports. Yearly Alaska Fire Statistics. Alaska Fire Season 2010.
<http://fire.ak.blm.gov/content/aicc/stats/archive/2010.pdf> (20.5.2013)
- ALP FFIRS (2009): Broschüre ALP FFIRS - ein alpines Waldbrand-Warnsystem zum Schutz des Gebirgsraums.
<http://www.alpffirs.eu/> (9.4.2011)
- Bartko-Reher OHG (2009): Alte Ansichtskarten im Onlineshop.
http://www.ansichtskartenversand.com/?gclid=COuT5_-X5q0CFUaHDgodLBRiLA (23.1.2012)
- BayLfU (2005): Bayerisches Landesamt für Umwelt: Biotopkartierung Alpen: Landkreisbeschreibung Garmisch-Partenkirchen - Kalkhochalpen - Wettersteingebirge.
http://www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung_alpen/landkreisbeschreibungen/doc/wettersteingebirge.pdf (9.3.2010)
- BayLfU (2005): Bayerisches Landesamt für Umwelt: Biotopkartierung Alpen: Landkreisbeschreibung Garmisch-Partenkirchen - Kalkhochalpen - Karwendelgebirge.
http://www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung_alpen/landkreisbeschreibungen/doc/karwendelgebirge.pdf (9.3.2010)
- BLE (2013): Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung - Homepage. Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2012.
http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/08_Service/04_Pressemitteilungen/130621_Waldbrandstatistik_2012.pdf?__blob=publicationFile (3.11.2013)
- Boku Wien (2009): AFFRI - Austrian Forest Fire Research Initiative.
<http://www.wabo.boku.ac.at/affri.html> (3.5.2011)
- DESTATIS (2013a): Statistisches Bundesamt. Länder & Regionen. Daten nach Thema. Basistabelle Landfläche.
https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Internationales/Thema/Tabellen/Basistabelle_Flaeche.html (3.5.2013)
- DESTATIS (2013b): Statistisches Bundesamt. Länder & Regionen. Daten nach Thema. Basistabelle Bevölkerungsdichte.
https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/LaenderRegionen/Internationales/Thema/Tabellen/Basistabelle_Bevoelkerungsdichte.html (3.5.2013)
- Fasching (2006): www.bahnarchiv.net - Timetable der Mittenwaldbahn.
<http://www.bahnarchiv.net/kwb-timetable.pdf> (27.1.2011)
- Generaldirektion der Staatlichen Archive Bayerns (1999): Staatliche Archive Bayerns - Hauptstaatsarchiv München.
<http://www.gda.bayern.de/muenchen/> (21.5.2010)
- GFMC (2010): The Global Fire Monitoring Center - United Nations International Strategy for Disaster Reduction: Preliminary Assessment of the Fire Situation in Western Russia.
http://www.fire.uni-freiburg.de/intro/about4_2010-Dateien/GFMC-RUS-State-DUMA-18-September-2010-Fire-Report.pdf (20.10.2013)
- GFMC (2011): GFMC-Brochure-2011.pdf: The Global Fire Monitoring Center.

<http://www.fire.uni-freiburg.de/intro/GFMC-Brochure-2011.pdf> (6.4.2011)

Government of Alberta (2012): Alberta ESRD - Historical Wildfire Database.

<http://www.srd.alberta.ca/Wildfire/WildfireStatus/HistoricalWildfireInformation/HistoricalWildfireDatabase.aspx> (22.12.2012)

Government of Canada (2013): Statistics Canada. Population and dwelling counts, for Canada, provinces and territories, 2011 and 2006 censuses.

<http://www12.statcan.ca/census-recensement/2011/dp-pd/hlt-fst/pd-pl/Table-Tableau.cfm?LANG=Eng&T=101&S=50&O=A> (3.5.2013)

GraNat (o.J.): GraNat - Graubünden & Naturgefahren. Waldbrandereignisse in Graubünden.

<http://www.gra-nat.ch/waldbrand-ereignisse> (3.4.2011)

Halbwax, W. (2004): wax.at. - Das Portal für Feuerwehr und Rettungsdienst.

<http://www.wax.at/modules.php?name=News&file=categories&op=newindex&catid=10> (2.3.2009)

Hall AG (o. J.): Stadtwerke Hall - Fachbereich Wasser - Wasserqualität und Tipps.

http://www.hall.ag/stw_wasser/wasserqualitaet_tipps.php (30.3.2011)

IKB AG (o. J.): Innsbrucker Kommunalbetriebe - Innsbrucker Wasser.

http://www2.ikb.at/geschaeftsbereich/wasser/innsbrucker_wasser/index.php (30.3.2011)

JRC - European Forest Fire Information System (2012): European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability: European Forest Fire Information System. About Effis.

<http://effis.jrc.ec.europa.eu/about> (10.4.2011)

Kanton Graubünden (2012a): 3_8_1_waldbrandbericht_2003.pdf - Das Waldbrandjahr 2003.

http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/dokumentenliste_afw/3_8_1_waldbrandbericht_2003.pdf (12.8.2012)

Kanton Graubünden (2012b): Amt für Wald und Naturgefahren. faktenblatt_02_waldbrand_dt.pdf - Waldbrände in Graubünden - Wenn Feuer Wälder fressen.

http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/awn/dokumentenliste_afw/faktenblatt_02_waldbrand_dt.pdf (8.12.2011).

KIÖS (2006): Kommission für Interdisziplinäre Ökologische Studien der ÖAW. P2009-01: Holozäne Waldbrand- und Vegetationsgeschichte des Karwendelgebirges.

<http://www.oeaw.ac.at/kioes/prob/200901.htm> (2.6.2011)

Kopp, W. (1998): Historisches vom Similaun und dem Oetztal. Alte Maße und Geld in Tirol.

<http://www.similaun.net/geld.htm> (23.11.2012)

Magrama (2012a): Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Estadísticas de incendios forestales - Defensa contra incendios forestales- Biodiversidad - magrama.es. Los Incendios Forestales en España Decenio 1991-2000.

http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/defensa-contra-incendios-forestales/decenio_1991_2000_tcm7-19436.pdf (23.12.2012)

Magrama (2012b): Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Estadísticas de incendios forestales - Defensa contra incendios forestales - Biodiversidad - magrama.es. Los Incendios Forestales en España Decenio 2001-2010.

http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/defensa-contra-incendios-forestales/incendios_forestales_espa%C3%B1a_decenio_2001_2010_tcm7-235361.pdf (23.12.2012)

Magrama (2013): Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: Estadísticas de incendios forestales - Defensa contra incendios forestales - Biodiversidad - magrama.es. Los Incendios Forestales en España Decenio 1996-2005.

http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/incendios-forestales/decenio_1996_2005_tcm7-19437.pdf (3.11.2013)

Merkur online (2003): Die Lehren aus dem 8. Februar - Nachrichten - Lokales - merkuronline.

<http://www.merkur-online.de/lokales/nachrichten/lehren-februar-188453.html> (20.11.11)

Merkur online (2007a): Kein Job für schwache Nerven - Nachrichten - Lokales - merkur-online.

<http://www.merkur-online.de/lokales/nachrichten/kein-schwache-nerven-315130.html> (20.11.11)

Merkur online (2007b): Brennpunkt „Marchklamm“: Tiroler kündigen Finanzspritze für Mittenwald an - Lkr. Garmisch-Partenkirchen - Kreis Garmisch-Partenkirchen - Lokales - merkur-online.

<http://www.merkur-online.de/lokales/landkreis-garmisch-partenkirchen/brennpunkt-marchklamm-tiroler-kuendigen-finanzspritze-mittenwald-285585.html> (20.11.11)

Mühr, B. (2007a): Das Klima in Garmisch - Partenkirchen.

<http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/garmisch2.html> (2.6.2011)

Mühr, B. (2007b): Das Klima auf der Zugspitze.

<http://www.klimadiagramme.de/Deutschland/zugspitze2.html> (2.6.2011)

NIFC (o.J.a): National Interagency Fire Center. Historically Significant Wildland Fires.

http://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo_stats_histSigFires.html (21.12.2012)

NIFC (o.J.b): National Interagency Fire Center. Historical Wildland Firefighter Fatality Reports. All Accidents (with and without fatalities) by State.

http://www.nifc.gov/safety/safety_documents/State.pdf (21.12.2012)

NIFC (o.J.c): National Interagency Fire Center. Suppression Costs.

http://www.nifc.gov/fireInfo/fireInfo_documents/SuppCosts.pdf (22.12.2012)

Oberländer Verlags-GmbH (o. J.): Rundschau Seefeld.

<http://www.rundschau-seefeld.at/ovg/rundschau/index.html> (2.7.2011)

Österreichische Nationalbibliothek (2003): ANNO - AustriaN Newspapers Online.

<http://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=ftz> (24.2.2008)

Radio Oberland (2012): Radio Oberland - Nachrichten.

<http://www.radio-oberland.de/de/nachrichten/do/index/page/7.html>

<http://www.radio-oberland.de/de/nachrichten/do/index/page/8.html> (17.1.2012)

Regione Autonoma Valle d'Aosta (2000-2009): Annuario statistico regionale Valle d'Aosta 2011. Dati generali relativi agli incendi sviluppatasi in Valle d'Aosta - Anni 2000-2010 (a).

<http://www.regione.vda.it/statistica/annuario2011/1/7.PDF> (23.7.2012)

Regione Autonoma Valle d'Aosta (2007): Notizie antincendio - Dati generali.

http://www.regione.vda.it/risorsenaturali/corpoforestale/incendi/notizie/datiGenerali/default_i.asp (3.4.2012)

Schweizerische Bundeskanzlei (2012): ch.ch - Schweizer Portal von Bund, Kantonen und Gemeinden - Waldbrand: Vorsorge.

<http://www.ch.ch/ Gefahren/01855/02001/index.html?lang=de> (12.9.2012)

Sonntag, H. (2009): Alpenpark Karwendel - Wichtigste Daten zum Alpenpark Karwendel.

- <http://www3.cnt.at/umweltschutz/docs/download/download-10.html> (4.5.2010)
- Stadtgemeinde Hall in Tirol (o. J.): Stadtzeitung. Amtliche Mitteilungen und Neues aus Hall Nr. 39 2003.
<http://www.hall-in-tirol.at/media/104.pdf> (20.8.11)
- State of California (2012a): CAL FIRE - Historical Wildfire Activity Statistics (Redbooks) 1991-2010.
http://www.fire.ca.gov/fire_protection/fire_protection_fire_info_redbooks.php (21.12.2012)
- State of California (2012b): CAL FIRE - Incident Information. CAL FIRE Jurisdiction Fires, Acres, Dollar Damage, and Structures Destroyed.
http://www.fire.ca.gov/communications/downloads/fact_sheets/firestats.pdf (21.12.2012)
- State of California (2012c): CAL FIRE - Incident Information. Suppression Costs.
http://www.fire.ca.gov/fire_protection/downloads/SuppressionCostsOnepage.pdf (22.12.2012)
- State of Victoria (1996-2012): Bushfire history - Major Bushfires in Victoria.
<http://www.dse.vic.gov.au/fire-and-other-emergencies/major-bushfires-in-victoria> (21.12.2012)
- StUMG, LfU, GUC (2012): Bayerisches Fachinformationssystem Naturschutz - Online-Viewer (FIN-Web). FIN.Web-Startseite.
<http://gisportaluwelt2.bayern.de/finweb/risgen?template=StdTemplate&preframe=1&wndw=800&wndh=600&askbio=on> (21.7.2011)
- Tirol Atlas (2007): Tirol Atlas Alpenmodul. overview_iso.pdf. Übersichtskarte der alpinen NUTS3-Regionen.
http://tirolatlas.uibk.ac.at/alps/pdf/overview_iso.pdf (6.9.2012)
- tirolORF.at (2009): Tirol News. Chronik 11.4.2009.
<http://tirol.orf.at/stories/354549/> (11.9.2011)
- Tirol Werbung (2007): Tirolwerbung.at-Key Facts-Tiroler Tourismus. Die Geschichte des Tiroler Tourismus.
<http://www.tirolwerbung.at/media/12795/Die%20Geschichte%20des%20Tiroler%20Tourismus%2009.pdf> (23.9.2011)
- UNEP (2000): United Nations Environment Programme. GEO. Latin America an the Caribbean. Environment Outlook 2000.
<http://www.unep.org/geo/pdfs/geolac-2000.pdf> (2.5.2011)
- U.S. Census Bureau (2012b): Geography. State Area Measurements and International Point Coordinates.
<http://www.census.gov/geo/reference/state-area.html> (3.5.2013)
- USGS (2005): United States Geological Service: Southern California - Wildfires and Debris Flows.
<http://pubs.usgs.gov/fs/2005/3106> (3.11.2013)
- Vereinigung der Waldaufseher und Forstwerte Tirols (2004): Der Berufsstand heute.
<http://www.waldaufseher.org/berufsbild/unsere-berufsstand-heute.html> (12.7.2010)
- Vereinte Nationen (2011): Fact Sheet International Year of Forests.
http://www.un.org/esa/forests/pdf/session_documents/unff9/Fact_Sheet_IYF.pdf (2.4.2011)

Westwind (2009): Westwind. Die Stadtzeitung von Hötting-West und Kranebitten. 14. Jahrgang - 2. Ausgabe - Juni 2009, Artikel zum Waldbrand in der Kranebitter Klamm vom stellvertretenden Branddirektor DI Martin Gegenhuber, S.4.
http://www.westwind.or.at/uploads/media/Westwind_200902.pdf (23.1.2010)

Wirtschaftswoche (2013): Währungsrechner WirtschaftsWoche Online.
http://boerse.wiwo.de/devisen_rechner.htn?sektion=erweitert (3.11.2013)

ZAMG (2002): Klimadaten von Österreich 1971-2000. Tirol.
http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm
(2.6.2011)

ZAMG (2005): ZAMG - Jahrbuch 2003 / Annal 2003.
<http://www.zamg.ac.at/fix/klima/jb2003/Web/start.html> (2.6.2011)

ZAMG (2007): ZAMG - Jahrbuch 2006 / Annal 2006.
<http://www.zamg.ac.at/fix/klima/jb2006/start.html> (2.6.2011)

ZAMG (2011): ZAMG - Jahrbuch 2009 / Annal 2009.
<http://www.zamg.ac.at/fix/klima/jb2009/start.html> (2.6.2011)

Geo- bzw. Waldbranddaten

Autonome Provinz Bozen-Abteilung Forstwirtschaft (2012): Waldbranddaten für Südtirol 1977-2010, erhalten am 20.4.2012.

Geographie Innsbruck (2008): Reliefschummerung Tirol Atlas, erhalten per Email am 2.9.2008.

Land Tirol - tiris (2007): Orthofotos Auflösung ein Meter, Daten-CD erhalten am 30.5.2007.

Landesforstdirektion Tirol (2008): Karte der aktuellen Vegetation von Tirol, Daten-CD erhalten am 12.9.2008.

Landesforstdirektion Tirol (2010): Waldtypisierung Tirol, Datenemail erhalten am 18.1.2010.

GLA (2004): Bayerisches Geologisches Landesamt: Digitale Geologische Karte von Bayern 1:500000, 2. Auflage, München, Daten-CD erhalten am 24.3.2009.

Pezzatti, B. (2012): WSL Swissfire database, Switzerland, Datenauszüge erhalten am 20.4.2012.

Weigand, E. (2009): Dokumentation einer Brandflächen am Hagler, Sengsengebirge Süd. Molln, sechsseitige Aufzeichnungen, überlassen am 22.4.2010.

Persönliche Mitteilungen, Fotos

Baier, H. (2011): Leiter Ordnungsamt Mittenwald und Vize-Obmann der Lawinenkommission Mittenwald, Zusammenstellung von Informationen zur Lawinensituation im Bereich der Marchklamm auf persönliche Anfrage, 8.11.2011.

Bauer, M. (2008): Waldaufseher Stadtgemeinde Imst, Zusammenstellung von Waldbränden im Gebiet Imst auf persönliche Anfrage, 4.6.2008.

- Bremer, M. (2008): Doktorand an der Uni Innsbruck im Bereich Laserscanning, Foto von den Murgängen im Halltal während einer Befliegung im Herbst 2008, überlassen 10.11.2009.
- Brenner, G. (2012): Leiter der Bezirksforstinspektion Innsbruck, Informationen zur Rekultivierungsfläche oberhalb Absam und weiteren Aufforstungsprojekten auf persönliche Anfrage, 21.2.2012.
- Hartl, P. (2011): Projektleiter von Klenkhart & Partner Consulting ZT GmbH im Rahmen der Planung des Lawinenschutzes im Bereich „Marchklamm“, Zusammenstellung von Informationen zur Lawinensituation im Bereich der Marchklamm auf persönliche Anfrage, 14.11.2011.
- Krieglsteiner, A. (2012): Bezirksförster des Bezirkes Schwaz, Zusammenstellung von Informationen zum Waldbrand im Vomper Forchat 1962 auf persönliche Anfrage, 7.2.2012.
- Sass, O. (2008): Leitung DFG-Projekt „Brandhänge“, Foto vom Hahnkamp, aufgenommen während einer Geländebegehung im Oktober 2008, überlassen 10.11.2009.
- Steindl, P. (2007): Ortschronist und ehemaliger 2. Bürgermeister von Absam, Zusammenstellung von Waldbränden im Gemeindegebiet Absam auf persönliche Anfrage, 25.4.2007.
- Tartarotti, S. (2011): Ehemaliger Leiter der Bezirksforstinspektion Hall, Informationen zur Rekultivierungsfläche oberhalb Absam auf telefonische Anfrage, 8.12.2011.

Anhang

Anhang1: Artenlisten Issanger 2007-20010, Kartierungsflächen A1-A4

A1	A2	A3	A4
<i>Alchemilla alpina</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Calamagrostis varia</i>
<i>Allium victorialis</i>	<i>Carex flacca</i>	<i>Campanula</i> sp.	<i>Campanula</i> sp.
<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Carex sempervirens</i>	<i>Carex flacca</i>	<i>Carex flacca</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Cirsium</i> sp.	<i>Carex sempervirens</i>	<i>Cirsium</i> sp.
<i>Campanula</i> sp.	<i>Coronilla vaginalis</i>	<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Coronilla vaginalis</i>
<i>Carex flacca</i>	<i>Erica carnea</i>	<i>Coronilla vaginalis</i>	<i>Daphne striata</i>
<i>Carex ornithopoda</i>	<i>Galium anisophyllum</i>	<i>Erica carnea</i>	<i>Galium anisophyllum</i>
<i>Carex sempervirens</i>	<i>Globularia nudicaulis</i>	<i>Galium</i> sp.	<i>Globularia nudicaulis</i>
<i>Carlina acaulis</i> agg.	<i>Campanula</i> sp.	<i>Hippocrepis comosa</i>	<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>alpina</i>
<i>Centaurea scabiosa</i> agg.	<i>Hippocrepis comosa</i>	<i>Laserpitium latifolium</i>	<i>Laserpitium latifolium</i>
<i>Cirsium</i> sp.	<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Lotus corniculatus</i> ssp.	<i>Lotus corniculatus</i> ssp.
<i>Coronilla vaginalis</i>	<i>Petasites paradoxus</i>	<i>Lycopodium</i> sp.	<i>Polygala chamaebuxus</i>
<i>Daphne striata</i>	<i>Potentilla erecta</i>	<i>Petasites paradoxus</i>	<i>Potentilla erecta</i>
<i>Erica carnea</i>	<i>Rubus saxatilis</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Prunella grandiflora</i>
<i>Euphrasia officinalis</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Polygala chamaebuxus</i>	<i>Rosa pendulina</i>
<i>Galium anisophyllum</i>	<i>Silene vulgaris</i> agg.	<i>Prunella grandiflora</i>	<i>Senecio vulgaris</i>
<i>Geranium sylvaticum</i>	<i>Sorbus chamaemespilus</i>	<i>Rosa pendulina</i>	<i>Sorbus chamaemespilus</i>
<i>Globularia nudicaulis</i>	<i>Taraxacum</i> sp.	<i>Rubus saxatilis</i>	<i>Taraxacum</i> sp.
<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>alpina</i>	<i>Thymus praecox</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>
<i>Laserpitium latifolium</i>	<i>Valeriana montana</i>	<i>Silene vulgaris</i> agg.	<i>Valeriana montana</i>
<i>Listera ovata</i>	<i>Verbascum thapsus</i>	<i>Taraxacum</i> sp.	<i>Verbascum thapsus</i>
<i>Lotus corniculatus</i>		<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	
<i>Petasites paradoxus</i>	nicht bestimmbar	<i>Valeriana montana</i>	nicht bestimmbar
<i>Phyteuma orbiculare</i>	nicht bestimmbar	<i>Verbascum thapsus</i>	
<i>Polygala amara</i>			
<i>Polygala chamaebuxus</i>		Farn (<i>Polystichum</i> ?)	
<i>Potentilla erecta</i>			
<i>Prunella grandiflora</i>		nicht bestimmbar	
<i>Ranunculus montanus</i>		nicht bestimmbar	
<i>Rhododendron hirsutum</i>			
<i>Rosa pendulina</i>			
<i>Rubus saxatilis</i>			
<i>Sesleria albicans</i>			
<i>Sorbus chamaemespilus</i>			
<i>Taraxacum</i> sp.			
<i>Thymus praecox</i>			
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			
<i>Valeriana montana</i>			
<i>Verbascum thapsus</i>			

Anhang2: Artenlisten Issanger 2007-2010, Kartierungsflächen A5-A9

A5	A6	A7	A8	A9
<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Buphthalmum salicifolium</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Carex sempervirens</i>
<i>Carex spec.</i>	<i>Calamagrostis varia</i>	<i>Campanula sp.</i>	<i>Campanula sp.</i>	<i>Calamagrostis varia</i>
<i>Cirsium vulgare</i>	<i>Campanula sp.</i>	<i>Carex flacca</i>	<i>Erica carnea</i>	<i>Campanula sp.</i>
<i>Daphne striata</i>	<i>Carex flacca</i>	<i>Carex sempervirens</i>	<i>Galium anisophyllum</i>	<i>Erica carnea</i>
<i>Erica carnea</i>	<i>Carlina acaulis</i> agg.	<i>Carex sp.</i>	<i>Galium sp.</i>	<i>Juniperus communis ssp. alpina</i>
<i>Globularia nudicaulis</i>	<i>Centaurea scabiosa</i> agg.	<i>Cirsium sp.</i>	<i>Lotus corniculatus ssp.</i>	<i>Pinus mugo</i>
<i>Juniperus communis ssp. alpina</i>	<i>Coronilla vaginalis</i>	<i>Coronilla vaginalis</i>	<i>Rosa pendulina</i>	<i>Polygala chamaebuxus</i>
<i>Lycopodium spec.</i>	<i>Epilobium sp.</i>	<i>Daphne striata</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Rosa pendulina</i>
<i>Petasites paradoxus</i>	<i>Galium anisophyllum</i>	<i>Galium anisophyllum</i>	<i>Taraxacum sp.</i>	<i>Sorbus chamaemespilus</i>
<i>Pinus mugo</i>	<i>Globularia nudicaulis</i>	<i>Globularia nudicaulis</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Vaccinium vitis idea</i>
<i>Polygala chamaebuxus</i>	<i>Hippocrepis comosa</i>	<i>Hypochaeris maculata</i>	<i>Vaccinium vitis idea</i>	<i>Valeriana montana</i>
<i>Potentilla erecta</i>	<i>Lotus corniculatus ssp.</i>	<i>Lotus corniculatus ssp.</i>	<i>Valeriana montana</i>	
<i>Ranunculus montanus</i>	<i>Petasites paradoxus</i>	<i>Prunella grandiflora</i>	<i>Verbascum thapsus</i>	
<i>Rosa pendulina</i>	<i>Prunella grandiflora</i>	<i>Senecio vulgaris</i>		
<i>Rubus saxatilis</i>	<i>Rosa pendulina</i>	<i>Taraxacum sp.</i>	<i>Farn</i>	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Rubus saxatilis</i>	<i>Vaccinium vitis idea</i>		
<i>Vaccinium vitis - idaea</i>	<i>Senecio vulgaris</i>	<i>Valeriana montana</i>		
	<i>Sorbus chamaemespilus</i>			
	<i>Taraxacum sp.</i>			
	<i>Vaccinium vitis idea</i>			
	<i>Valeriana montana</i>			
	<i>Orchidee</i>			