

INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE
DER
FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG

Lehrstuhl für Physische Geographie
Prof. Dr. Achim Bräuning

Kleinräumige Vegetationsstrukturen im Ostpamir Tadschikistans

Der Einfluss anthropogener
und natürlicher Störungen

Diplomarbeit

vorgelegt von
Desiree Dotter

mit 229 Seiten, 144 Abbildungen, 12 Tabellen
und einer Daten-CD mit 56 Anlagen

Erstgutachter: PD Dr. Cyrus Samimi
Zweitgutachter: Prof. Dr. Rupert Bäumler

Erlangen Dezember 2009



„Disturbance is an ubiquitous driving force for vegetation dynamics, affecting all levels of biological organization, and playing a crucial role in maintaining biotic diversity.“
(Jentsch, 2001:24)

Zusammenfassung

Fragestellung: Der Arbeit liegt die Frage zu Grunde, welche Faktoren die Ausbildung kleinräumiger Vegetationsmuster im Ostpamir steuern. Neben der Rolle allgemeiner Umweltfaktoren soll der Einfluss anthropogener und natürlicher Störungen auf die Vegetation dargelegt werden. Als fokussierte Störungen wurden dabei der Einfluss der Beweidung und das Vorkommen von Murmeltieren untersucht.

Arbeitsgebiet: Hochweiden des Ostpamir (Tadschikistan)

Methoden: Im Gelände wurde ein genestetes Aufnahmeverfahren gewählt. In die größten Flächen von 60 m × 60 m wurden jeweils vier Flächen der Größe 4 m × 4 m gelegt. In zwei Beispieltälern wurden innerhalb der 4 m × 4 m Flächen Mikroaufnahmen der Größe 60 cm × 60 cm aufgenommen. Die Pflanzen wurden mittels einer auf das Gebiet angepassten Braun-Blanquet Skala aufgenommen. Zusätzlich wurden Umweltdaten und Bodenproben genommen. Linientransekte verschiedener Längen ergänzen die Aufnahmen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels hierarchischer Clusteranalyse nach Boden-, Vegetations- und Störungsparametern. Eine Diskriminanzanalyse sollte die Gruppen der Vegetationsklassifikation verifizieren und die wichtigsten Parameter zur Beschreibung der Gruppenstruktur ermitteln. Die Anwendung verschiedener Ordinationsmethoden (DCA, CCA und NMDS) soll das für diese Arbeit geeignete Verfahren ermitteln. Ziel der Ordination ist es, die in der Vegetationsklassifikation ausgewiesenen Gruppen in Zusammenhang mit den Umwelt- und Bodenvariablen zu bringen. Die Auswertung der Linientransekte erfolgt über Berechnung der Betadiversität mittels des Jaccardindex.

Ergebnisse: Die Clusteranalyse liefert für die meisten Aufnahmen ein klar strukturiertes Bild. Die Diskriminanzanalyse gibt für die meisten Gebiete eine gute Verifikation der eingeteilten Gruppen wieder. Als geeignetes Ordinationsverfahren wurde die NMDS ermittelt. Zu den einflussreichsten Größen bezüglich der Ausbreitung der Arten gehören neben dem Niederschlag besonders die Umweltvariablen Südllichkeit und Entfernung zum Wasser sowie die Bodenparameter CaCO_3 , Stickstoff und Humusgehalt. Beweidung und Murmeltiere nehmen einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Vegetation, ließen sich jedoch nicht als primäre, gruppensteuernde Variablen ausweisen. Der Einfluss der Herbivoren auf die Biodiversität und Biomasse ist unterschiedlich zu bewerten. Murmeltiere führen zu einer Umgestaltung des Ökosystems und zu einer Ansiedlung anderer bzw. weniger Arten. Auch kommt es auf diesen Flächen vermehrt zu einem Verlust von lebender Biomasse auf Grund des Absterbens einzelner Pflanzen. Ziegen verursachen durch das Angraben der Pflanzen ein ähnliches Bild. Unter Yakbeweidung kann eine Erhöhung der Biodiversität verzeichnet werden, solange die Beweidung in einem moderaten Maß erfolgt.

Synthese: Die Vegetationsformationen können je nach betrachteter Maßstabsebene weiter untergliedert werden. Hinsichtlich der Einfluss nehmenden Umwelt- und Bodenparameter sind Unterschiede bezüglich der Vegetationsformationen zu beobachten. Die aktuell steigenden Beweidungszahlen und die veränderte Nutzung der Weideflächen im Ostpamir macht weitere Studien zur Abschätzung und Modellierung des Weidepotentials in Zukunft nötig.

Abstract

Question: What are the main factors which control the contribution of vegetation patterns in the Eastern Pamirs? Apart from environmental and soil-related variables this study focusses on the influences of human and natural disturbances. The influences of grazing and marmots are the main disturbances that were considered.

Location: Pastures of the Eastern Pamirs (Tajikistan)

Methods: The fieldwork is based on a nested setup of vegetation plots. The dimensions were 60 m × 60 m, 4 m × 4 m and 60 cm × 60 cm. Every big plot includes four 4 m × 4 m plots. The small sized sample plots were only measured in two valleys (Bash Gumbaz and Madian Gumbaz). Soil samples and environmental data were taken from every big plot. The influences of disturbances were examined on every plot size. For vegetation data a modified Braun-Blanquet scale was used. In addition to the sampling plots, transects were taken to show changing environmental influences. Statistical evaluation was done via hierarchical cluster analysis for soil, vegetation and disturbance data. Discriminant analysis was used to verify the group structures of the vegetation classification. It yields a hierarchy of the parameters' influence on the formation of group structures. To identify the method most suitable to explain the relation between the vegetation classification and the environmental variables including soil and disturbance data, different ordination methods (DCA, CCA and NMDS) were used. Beta-diversity via Jaccard index was employed to evaluate the transects.

Results: The cluster analysis shows a clear group structure of the vegetation data. The arrangement of the groups is validated by discriminant analysis for most of the measured plots. NMDS generates best results. In addition to precipitation, variables like south-exposedness, distance to water, CaCO₃, nitrogen and humus have strongest impact on the structure of vegetation patterns and species distribution. Grazing and marmots are important too. They do not control the groups but influence them heavily. Different herbivores have different impact on biodiversity and biomass. Marmots can alter ecosystems. In this case the settling of new species is suppressed. This can lead to loss of biodiversity and living biomass. Presence of goats have a similar effect on plants because they lay bare the roots. Moderate yak grazing, however, can lead to an increase in biodiversity.

Conclusion: A different scale approach can subdivide the vegetation formations on small vegetation patterns. The influences of environmental and soil parameters differ between different vegetation formations. Due to an increase of grazing intensity and a changing land use further studies are suggested to model the grazing potential of the sensitive ecosystem of the Eastern Pamirs.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Hypothesen	2
2 Untersuchungsgebiet	5
2.1 Abgrenzung und Gliederung des Pamirs	5
2.2 Soziokultureller und geschichtlicher Hintergrund	7
2.2.1 Landesüberblick	7
2.2.2 Tadschikistans Geschichte bis 1895	7
2.2.3 Zeit der sowjetischen Besatzung mit Blick auf die Sonderstellung Gorno-Badakhshans (GBAO)	8
2.2.4 Unabhängigkeit und Bürgerkrieg	9
2.2.5 Exkurs: Die Energieversorgung als Beispiel für einen Staat im Wandel	10
2.2.6 Tadschikistans unsichere Zukunft	11
2.3 Klimatische Grundlagen	11
2.4 Geologie und Geomorphologie	15
2.4.1 Einführung	15
2.4.2 Räumliche Gliederung	15
2.4.3 Geologisch-Geomorphologische Verhältnisse	17
2.5 Bodeneinteilung im Ostpamir	19
2.6 Vegetation und Ökosysteme	23
2.6.1 Einführung in die Hochgebirgsvegetation	23
2.6.2 Anpassung der Pflanzen	23
2.6.3 Die Vegetation des Ostpamirs	23
2.7 Beispieletäler	32
2.7.1 Bash Gumbez	32
2.7.2 Madian Gumbez Kol	33
2.7.3 Pshart Gumbez Kol	34
2.8 Zusammenfassung	36
3 Theoretischer Hintergrund	39
3.1 Biodiversität - Begriffsdefinitionen und Vielfalt der Anwendung	39
3.1.1 Die traditionelle Definition	39
3.1.2 Der Begriff der Biodiversität im Wandel der Zeit	42

3.2	Störungen - zu vernachlässigender Parameter oder steuernde Größe der Vegetation?	44
3.2.1	Beweidung als Störung	44
3.2.2	Die intermediate disturbance-Hypothese	45
3.3	Equilibrium vs. non-equilibrium Ökosystem	45
3.4	Weidenutzung im Ostpamir	46
3.5	Nutztiere - Lebensweise, Futterbedarf und Einfluss	49
3.5.1	Der Yak (<i>Bos grunniens</i>)	49
3.5.2	Kleinviehhaltung - Ziegen und Schafe	51
3.6	Der Einfluss des Langschwanzmurmeltiers (<i>Marmota caudata</i>)	52
3.7	Zusammenfassung	55
4	Untersuchungsmethoden	57
4.1	Aufnahmemethoden auf den Flächen	57
4.1.1	Definition der Plotgrößen	57
4.1.2	Wahl der Flächen	58
4.1.3	Aufgenommene Umweltparameter	59
4.1.4	Daten zur Klassifikation der Vegetation	61
4.1.5	Daten zur Klassifikation der Störungen	62
4.2	Aufnahmemethode der Linientransekte	64
4.3	Bodenkundliche Laboranalysen	65
4.3.1	pH-Wert	66
4.3.2	Elektrische Leitfähigkeit	66
4.3.3	Stickstoffgehalt im Boden	66
4.3.4	Organische Substanz	67
4.3.5	Korngrößenanalyse	67
4.3.6	Kationenaustauschkapazität (KAK)	68
4.4	Auswertung	69
4.5	Zusammenfassung	70
5	Ergebnisse	71
5.1	Deskriptive Statistik bezüglich des Murmeltiereinflusses	71
5.1.1	Der Einfluss von <i>Marmota caudata</i> im Bash Gumbez	71
5.1.2	Der Einfluss von <i>Marmota caudata</i> im Madian Gumbez Kol	75
5.1.3	Der Einfluss von <i>Marmota caudata</i> im Pshart Gumbez Kol	78
5.2	Auswertung der Mikroskizzen	81
5.2.1	Skizzierte Flächen unter Murmeltiereinfluss	82
5.2.2	Skizzierte Flächen unter dem Einfluss der Schafsbeweidung	84
5.2.3	Skizzierte Flächen unter dem Einfluss der Beweidung durch Ziegen	86
5.2.4	Skizzierte Flächen unter Tritteinfluss	87
5.3	Korrelationsanalyse	89
5.3.1	Korrelationsanalyse der Mesoflächen	90
5.4	Clusteranalyse	93
5.4.1	Flächenklassifikation nach Bodeneigenschaften	95
5.4.2	Vegetationsklassifikation mittels Clusteranalyse	99
5.4.3	Clusteranalyse nach Störungsparametern	116
5.5	Diskriminanzanalyse	127

5.5.1	Diskriminanzanalyse Mesoflächen 2008	129
5.5.2	Diskriminanzanalyse Bash Gumbez	132
5.5.3	Diskriminanzanalyse Madian Gumbez Kol	133
5.5.4	Diskriminanzanalyse Pshart Gumbez Kol	134
5.6	Detrended Correspondence Analysis (DCA)	134
5.6.1	DCA Pamir 2008	135
5.6.2	DCA Bash Gumbez	137
5.6.3	DCA Madian Gumbez Kol	138
5.6.4	DCA Pshart Gumbez Kol	139
5.7	Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS)	140
5.7.1	NMDS Mesoflächen Pamir 2008	142
5.7.2	NMDS Bash Gumbez	144
5.7.3	NMDS Madian Gumbez Kol	145
5.7.4	NMDS Pshart Gumbez Kol	147
5.7.5	NMDS nach Störungen Bash Gumbez	149
5.7.6	NMDS nach Störungen Pshart Gumbez Kol	154
5.8	Canonical Correspondence Analysis (CCA)	157
5.8.1	CCA Bash Gumbez	158
5.8.2	CCA Madian Gumbez Kol	159
5.8.3	CCA Pshart Gumbez Kol	160
5.9	Linientransekte	162
5.9.1	Transekte Pshart Gumbez Kol	162
5.9.2	Transekte Bash Gumbez	164
5.9.3	Transekte Madian Seitental	168
5.9.4	Transekte sonstiger Gebiete	171
5.10	Zusammenfassung	173
6	Diskussion	181
6.1	Feldmethoden - Evaluierung und notwendige Modifikationen in der Zukunft	181
6.1.1	Aufgenommene Daten der Flächen	181
6.1.2	Scale matters - Abhängigkeit von der Flächengröße	181
6.1.3	Qualitätssicherung aufgenommener Vegetationsdaten	182
6.2	Grenzen und Möglichkeiten der statistischen Auswertung	182
6.2.1	Klassifikation der Flächen mittels Clusteranalyse	183
6.2.2	Vergleich der Ordinationsmethoden: Aussage, Anwendung und Probleme	184
6.2.3	Die Verwendung der Diskriminanzanalyse (DA) für ökologische Fragestellungen	184
6.2.4	Die Beta-Diversität als Maß für räumliche Vielfalt	185
6.3	Equilibrium versus non-equilibrium Ökosystem?	186
6.4	Der Einflusses von Tieren auf die Vegetation - eine differenzierte Betrachtung	189
6.4.1	Yaks versus Murmeltier - Transport oder Nischenbildung zur Erhöhung der Artenvielfalt?	190
6.4.2	Yak, Ziege und Schaf, Murmeltier: Differenzierung in Umfang und Auswirkung der Beweidung	191
6.5	Der Mensch - Zerstörer des Ökosystems oder bloßer Nutzer?	192
6.5.1	Das Terskenproblem - Grund fortschreitender Desertifikation?	192
6.5.2	Auswirkungen der aktuellen Weidenutzung	193

Inhaltsverzeichnis

6.6	Die Rolle postulierter Störungshypothesen für die Biodiversität im Ostpamir . .	194
6.6.1	Krascheninnikovia ceratoides als Beispiel der key-species Hypothese . .	195
6.6.2	Anwendung der insurance-Hypothese	195
6.6.3	Der Bezug stark beweideter Flächen und der redundant-species Hypothese	195
6.7	Die intermediate disturbance Hypothese und ihr Potential	196
6.8	Kleinräumige Vegetationsstrukturen	197
6.8.1	Der Konkurrenz-Druck im Ostpamir	197
6.8.2	Die Rolle von Wasser und Stickstoff als limitierende Faktoren	199
6.8.3	Artenreichtum im System - gegeben oder gesteuert?	199
6.8.4	Störungen als steuernder Faktor	200
6.9	Exkurs: Modellierung der Weidenutzung	201
6.9.1	Entwicklung eines Universalmodells	202
6.9.2	Modell Bash Gumbes	203
6.9.3	Modell Madian Gumbes Kol	204
6.9.4	Modell Pshart Gumbes Kol	205
6.9.5	Modell Pamir 2008	205
6.9.6	Diskussion des Modells - Probleme und Nutzen	206
6.10	Zusammenfassung	207
7	Synthese	211
	Literaturverzeichnis	213
	Nachwort	223
A	Inhalt der CD	227
B	Abkürzungsverzeichnis	229

Tabellenverzeichnis

2.1	Kennwerte der Aridität für den Ostpamir Quelle: nach Agachanjanc, 1979:73	14
2.2	Charakterisierung der Böden des Pamir nach Akhmadov Quelle: nach Akhmadov, 2003:20ff	20
2.3	Bodentypen nach Temperaturzonen und Humiditätsgrad Quelle: nach Cherbar, 2001:818	21
2.4	Osmotische Werte ausgewählter Pamirpflanzen Quelle: nach Walter, 1968:820	26
2.5	Massenzunahme ausgewählter Pflanzen des Pamir Quelle: nach Walter, 1968:822	27
2.6	Wasserverbrauch verschiedener Vegetationseinheiten Quelle: nach Walter, 1986:428	27
2.7	Vertreter der alpinen und subalpinen Wüsten Quelle: nach Walter, 1968:815	28
4.1	Skala nach Braun-Blanquet Quelle: nach Tresp, 2005:29	61
4.2	Modifizierte Braun-Blanquet-Skala	62
4.3	Tabelle zur Klassifikation der Trittstörung	63
4.4	Tabelle zur Klassifikation der Verbissstörung	63
4.5	Tabelle zur Klassifikation der Exkrementvorkommen	64
4.6	Deutsche Nomenklatur der Korngrößenklassen Quelle: Bresinsky, 2008:964	68
5.1	Einschätzung der Stresswerte einer NMDS Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:149	141
A.1	Parameter der Bodenklassifikation	227
A.2	Bodenparameter mit Umweltvariablen (gruppiert)	227
A.3	Vegetationsklassifikation der Mesoflächen 2008 (gruppiert)	227
A.4	Vegetationsklassifikation Madian Gumbez Kol (gruppiert)	227
A.5	Vegetationsklassifikation Pshart Gumbez Kol (gruppiert)	227
A.6	Vegetationsklassifikation Bash Gumbez A-Flächen (gruppiert)	227
A.7	Vegetationsklassifikation Bash Gumbez B-Flächen (gruppiert)	227
A.8	Vegetationsklassifikation Bash Gumbez C-Flächen (gruppiert)	227
A.9	Bash Gumbez nach Störungsklassifikation sortiert	227

A.10	Madian Gumbez Kol nach Störungsklassifikation sortiert	227
A.11	Pshart Gumbez Kol nach Störungsklassifikation sortiert	227
A.12	Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte der Mesoflächen	227
A.13	A-priori-Wahrscheinlichkeit der Mesoflächen	227
A.14	Klassifikationsergebnis Mesoflächen	227
A.15	Gegenüberstellung alter und neuer Gruppenstrukturen der Mesoflächen	227
A.16	Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte der eigenen Gruppeneinteilung	227
A.17	A-priori-Wahrscheinlichkeit der eigenen Gruppeneinteilung	227
A.18	Klassifikationsergebnis der eigenen Gruppeneinteilung	227
A.19	A-priori-Wahrscheinlichkeit Bash Gumbez	227
A.20	Klassifikationsergebnis Bash Gumbez	227
A.21	Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte Madian Gumbez Kol	227
A.22	A-priori-Wahrscheinlichkeit Madian Gumbez Kol	227
A.23	Klassifikationsergebnis Madian Gumbez Kol	228
A.24	Schrittweise Statistik Pshart Gumbez Kol	228
A.25	A-priori-Wahrscheinlichkeit Pshart Gumbez Kol	228
A.26	Klassifikationsergebnis Pshart Gumbez Kol	228
A.27	Eigenwerte der DCA Pamir2008	228
A.28	Variablen der DCA Pamir2008	228
A.29	Eigenwerte der DCA Bash Gumbez	228
A.30	Variablen der DCA Bash Gumbez	228
A.31	Eigenwerte der DCA Madian Gumbez Kol	228
A.32	Variablen der DCA Madian Gumbez Kol	228
A.33	Eigenwerte der DCA Pshart Gumbez Kol	228
A.34	Variablen der DCA Pshart Gumbez Kol	228
A.35	CCA Bash Gumbez	228
A.36	CCA Madian Gumbez Kol	228
A.37	CCA Pshart Gumbez Kol	228
A.38	NMDS-Werte der Vektoren Pamir2008	228
A.39	NMDS-Werte der Vektoren Bash Gumbez	228
A.40	NMDS-Werte der Vektoren Madian Gumbez Kol	228
A.41	NMDS-Werte der Vektoren Pshart Gumbez Kol	228
A.42	Bodenlaborwerte Bimüller und Dotter (2008/09)	228
A.43	Pflanzanaufnahmen der 60 m × 60 m Flächen	228
A.44	Pflanzanaufnahmen der 4 m × 4 m Flächen	228
A.45	Pflanzanaufnahmen der 60 cm × 60 cm Flächen	228
A.46	Pflanzensoziologische Aufnahmen der Linientransekte	228
A.47	R-Skripte und Zusatzinformationen (CD)	228

Abbildungsverzeichnis

2.1	Lage des Pamirgebirges in Zentralasien	
	Quelle: Hurni et al., 2004:60	5
2.2	Profilschnitt durch den Zentralen Pamir	
	Quelle: Succow, 2004:32	6
2.3	Volksgruppen in Tadschikistan	
	Quelle: Eigene Bearbeitung nach von Gumpfenberg & Steinbach, 2004:261	7
2.4	Autonome Region GBAO mit Wirkungsbereich der jeweiligen Rayons	
	Quelle: Kreuzmann 2002:32	9
2.5	Entwicklung der Selbstversorgung in GBAO	
	Quelle: eigene Darstellung nach Herbers, 2002:82	10
2.6	Vergleich der Energieversorgung in GBAO in den Jahren 1990 und 2000	
	Quelle: Hurni et al., 2004:64	11
2.7	Darstellung der Strömungen in den zentralasiatischen Hochgebirgen	
	Quelle: Weischet & Endlicher, 2000:393	12
2.8	Skizze des Pamirgebietes mit Verlauf der wichtigsten Ketten	
	Quelle: Walter & Breckle, 1999:328	13
2.9	Klimastationen Khorog (W-Pamir) und Murghab (E-Pamir)	
	Quelle: Miede et al., 2001:Anlage	14
2.10	Ausweisung der wichtigsten geologischen Zonen des Pamirs	
	Quelle: Gundlach, 1934:333	16
2.11	Geologische Gliederung des Pamir mit Lage der Untersuchungsflächen 2008	
	Quelle: nach Gundlach 1934 & Nedzvedsky, 1968:18-19 verändert durch Bimüller & Dotter	17
2.12	Darstellung der wichtigsten Bodentypen des Pamirs	
	Quelle: nach Kerzum 1968:94-95 verändert durch Bimüller & Dotter, 2009	21
2.13	Profilquerschnitt durch die Vegetation des Pamir von W nach E	
	Quelle: Agakhanjanz & Breckle, 2004:154	24
2.14	<i>Acantholimon diapensioides</i>	25
2.15	Wurzelsysteme wichtiger Vertreter des Ostpamir	
	Quelle: Walter & Breckle, 1986:333	26
2.16	Haupt-Ökosystemtypen im Tadschikischen Pamir	
	Quelle: Hurni et al., 2004:61	29
2.17	Wichtige Vertreter der Vegetation im Ostpamir	31
2.18	Bash Gumbez	32
2.19	Madian Gumbez Kol	33
2.20	Klimastation Madian Gumbez Kol im Zeitraum August 2007–Juli 2008	34
2.21	Pshart Gumbez Kol	35
2.22	Klimastation Pshart Gumbez Kol im Zeitraum Juli 2007–August 2008	35

3.1	Modell für die Berechnung der verschiedenen Biodiversitätsindices Quelle: Grüninger, 2008:196	40
3.2	Alpha-, Beta-, und Gamma-Diversität am Beispiel der Snake Range Quelle: Grüninger, 2005:21	41
3.3	Organisationsebenen räumlicher und zeitlicher Biodiversitätseigenschaften Quelle: nach Schulze et al., 2002:676	43
3.4	Schematische Darstellung der drei Grundformen der Biodiversität Quelle: Schulze et al., 2002:680	44
3.5	Auswirkungen der Frequenz von Störungen auf die Artenvielfalt Quelle: bearbeitet nach Townsend et al., 2008:339	45
3.6	Übergang eines Ökosystems vom equilibrium- in den non-equilibrium-Zustand Quelle: bearbeitet nach Baker, 2000:10	46
3.7	Traditionell kirgisische Lebensform in den Sommermonaten	47
3.8	Weidenutzung im Ostpamir zu Sowjetzeiten Quelle: Kreuzmann, 2008:168	48
3.9	Yak (<i>Bos grunniens</i>)	49
3.10	Karte der Großregionen der Yakweidegebiete Quelle: Kellner, 1996:121	50
3.11	Viehpferch mit Ziegen und Schafen	52
3.12	Gestörter <i>Acantholimon diapensioides</i>	53
3.13	Auswirkung mehrerer Murmeltierbauten auf die Fläche	54
4.1	Abgestecktes Quadrat für Ten-Point-Frame-Messung	58
4.2	Aufnahmedesign der Flächen	59
4.3	Mikroflächen der Aufnahme 187W	60
4.4	Beispielhafte Darstellung einer 25 m langen Linie im Tal Bash Gumbez	65
5.1	Schematische Darstellung eines Boxplot	71
5.2	Deckungswerte für das Tal Bash Gumbez im Vergleich	72
5.3	Eingang eines Murmeltierbaus	73
5.4	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im BG (B-Flächen)	73
5.5	Dominant vertretene Arten auf den Flächen im BG (B-Flächen)	74
5.6	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im BG (C-Flächen)	74
5.7	Artenzahlen der verschiedenen Flächen für das Tal Bash Gumbez	75
5.8	Deckungswerte der verschiedenen Flächen für das Tal Madian Gumbez Kol	76
5.9	Artenzahlen der verschiedenen Flächen für das Tal Madian Gumbez Kol	76
5.10	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im MGK (B-Flächen)	77
5.11	Dominant vertretene Arten auf den Flächen im MGK (B-Flächen)	77
5.12	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im MGK (C-Flächen)	78
5.13	Deckungs- und Artwerte der verschiedenen Flächen für das Tal PGK	79
5.14	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im PGK (B-Flächen) I	79
5.15	Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im PGK (B-Flächen) II	80
5.16	Dominant vertretene Arten auf den Flächen im PGK (B-Flächen)	80
5.17	Beweidungsintensität und Gesamtdeckung nach Störfaktoren (C-Flächen)	81
5.18	Faktoren der Beweidungsintensität nach Störfaktoren (C-Flächen)	81
5.19	Von Murmeltieren beeinflusste Mikroflächen der Aufnahme 189W	82
5.20	Mikroflächen der Aufnahme 190X	83

5.21	Mikroflächen der Aufnahme 191W	84
5.22	Mikroflächen der Aufnahme 185Z	85
5.23	Mikroflächen der Aufnahme 191Z	86
5.24	Mikroflächen der Aufnahme 186W	87
5.25	Mikroflächen der Aufnahme 185W	88
5.26	Mikroflächen der Aufnahme 190Z	89
5.27	Klassifikation der 60 m × 60 m Flächen nach Bodenparametern	94
5.28	Mittelwerte des Skelettanteils und der Korngrößenanalyse	96
5.29	Mittelwert der Beweidungsintensität in den Kategorien von 0-15	97
5.30	Mittelwerte des pH-Wertes sowie der Leitfähigkeit	97
5.31	Mittelwerte der dargestellten Bodenparameter Humusgehalt und Glühverlust	98
5.32	Mittelwerte des C/N-Verhältnisses und des Kalkanteils der Böden	98
5.33	Mesoflächen 2008 klassifiziert nach Arten	101
5.34	Madian Gumbez Kol klassifiziert nach Arten	103
5.35	Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl	104
5.36	Mittelwerte Beweidungsintensität + Faktoren (Madian Gumbez Kol)	105
5.37	Pshart Gumbez Kol klassifiziert nach Arten	106
5.38	Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl	108
5.39	Mittelwerte Beweidungsintensität + Faktoren (Pshart Gumbez Kol)	108
5.40	Bash Gumbez klassifiziert nach Arten auf Makroebene	109
5.41	Bash Gumbez klassifiziert nach Arten auf Mesoebene	111
5.42	Bash Gumbez klassifiziert nach Arten auf Mikroebene	113
5.43	Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl	115
5.44	Mittelwerte Beweidungsintensität + Faktoren (Bash Gumbez)	115
5.45	Bash Gumbez nach Störungen	117
5.46	Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (BG)	119
5.47	Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (BG)	120
5.48	Madian Gumbez Kol nach Störungen	121
5.49	Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (MGK)	122
5.50	Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (MGK)	123
5.51	Pshart Gumbez Kol nach Störungen	124
5.52	Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (PGK)	125
5.53	Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation (PGK)	126
5.54	Mittelwerte der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen I	130
5.55	Mittelwerte der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen II	130
5.56	Mittelwerte der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen III	131
5.57	Mittelwert der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen IV	131
5.58	Methode des detrending zur Verringerung des Arch-Effektes Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:77	135
5.59	DCA Pamir 2008 unter Darstellung der Vegetationsformationen	136
5.60	DCA Bash Gumbez unter Darstellung der Vegetationsformationen	137
5.61	DCA Madian Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen	138
5.62	DCA Pshart Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen	140
5.63	NMDS Pamir 2008 unter Darstellung der Vegetationsformationen	142
5.64	NMDS Pamir 2008 - Arten	143
5.65	NMDS Bash Gumbez unter Darstellung der Vegetationsformationen	145
5.66	NMDS Bash Gumbez - Arten	146

5.67	NMDS Madian Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen . . .	147
5.68	NMDS Madian Gumbez Kol - Arten	148
5.69	NMDS Pshart Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen . . .	149
5.70	NMDS Pshart Gumbez Kol - Arten	150
5.71	NMDS Bash Gumbez - Störungsgruppen	151
5.72	NMDS der Störungsgruppe Ziege + Schaf des Tales Bash Gumbez	152
5.73	NMDS der Störungsgruppe Yak + Schaf des Tales Bash Gumbez	153
5.74	NMDS der Störungsgruppe Murmeltier des Tales Bash Gumbez	153
5.75	NMDS Pshart Gumbez Kol - Störungsgruppen	154
5.76	NMDS der Störungsgruppe Yaks des Tales Pshart Gumbez Kol	155
5.77	NMDS der Störungsgruppe Gangel + Tritt des Tales Pshart Gumbez Kol . . .	156
5.78	NMDS der Störungsgruppe Murmeltier des Tales Pshart Gumbez Kol	157
5.79	Darstellung des Iterationszyklus von DCA und CCA im Vergleich Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:93	158
5.80	CCA Bash Gumbez	159
5.81	CCA Madian Gumbez Kol	160
5.82	CCA Pshart Gumbez Kol	161
5.83	L1 Pshart Gumbez Kol mit zunehmender Entfernung zum Wasser	163
5.84	L2 Pshart Gumbez Kol mit zunehmender Entfernung zum Wasser	164
5.85	L7 Pshart Gumbez Kol hangaufwärts durch Viehgangeln	164
5.86	Linientranssekt durch Tiefenlinie	165
5.87	L3 Bash Gumbez durch Tiefenlinie	166
5.88	L5 Bash Gumbez durch Tiefenlinie	166
5.89	L6 Bash Gumbez durch Tiefenlinie	167
5.90	L4 Bash Gumbez über stark trittbelastete Fläche	167
5.91	Ausschnitt des Transekts L6 durch Tiefenlinie	168
5.92	L11 Madian Seitental am Pass durch Tiefenlinie	169
5.93	L12 Madian Seitental am Pass - Autobahnviehgangeln	169
5.94	Große Viehgangeln (Autobahnviehgangeln) hinter dem Pass bei Murghab . . .	170
5.95	L13 Madian Seitental durch Tiefenlinie mit starker Viehgangelbildung	170
5.96	L8 Alichur Range in der Nähe der Tereskenstechfläche	171
5.97	L9 Madian im Übergang von der Leymusfläche zum Quellrasen	172
5.98	L10 Madian Gumbez Kol auf einer Gangel	172
6.1	Übersicht und fokussierter Ausschnitt des Tales Pschart Gumbez Kol	198
6.2	<i>Chenopodium foliosum</i>	201
6.3	Modell des Einflusses der Beweidungsintensität (BG)	203
6.4	Modell des Einflusses der Beweidungsintensität (MGK)	204
6.5	Modell des Einflusses der Beweidungsintensität (PGK)	205
6.6	Modell des Einflusses der Beweidungsintensität (Pamir2008)	206
6.7	Modell des Einflusses der Beweidungsintensität (Wüstenflächen)	207

Kapitel 1

Einleitung

In der internationalen Forschung stellen die Hochgebirgsregionen der ehemaligen Sowjetunion ein relativ junges Forschungsfeld dar. Zwar machte Marco Polo bereits im Jahr 1217 Aufzeichnungen über die Region des Pamir, doch hielt sich das internationale Interesse an der peripheren Region in Grenzen, so dass erst 1928 die erste offizielle internationale Forschungs-expedition durchgeführt wurde. Bis zum Zusammenbruch der Sowjetunion war es internationalen Forschern nahezu unmöglich die Region des Ostpamir näher zu erkunden. Während dieses Zeitraums entstanden in erster Linie unter O.E. Agakhanjanz Forschungsarbeiten bezüglich des Naturraums des Pamirs. Mit dem Zusammenbruch der Sowjetunion wurde es internationalen Arbeitsgruppen möglich, naturräumliche und soziologische Untersuchungen im Pamir durchzuführen. Für den Ostpamir bisher von Bedeutung ist dabei vor allem die Schweizer Arbeitsgruppe um Breu und Hurni.

1.1 Zielsetzung

Mit dem Zusammenbruch der Sowjetunion und der damit verbundenen Unabhängigkeit Tadschikistans kam es in der Region des Ostpamir zu gravierenden Veränderungen der politischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen. Der periphere Raum war sowohl bezüglich der Nahrungsmittel- als auch Energieversorgung stark von der Sowjetunion abhängig. Ehemals existierende Wirtschaftssysteme aus Zeiten vor der Sowjetisierung gibt es heute so nicht mehr. Die aus diesen Problemen resultierenden Engpässe in der Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und Energieressourcen führten zu einer erhöhten Verwundbarkeit der lokalen Bevölkerung. Ein Wandel in der Nutzung der Flächen und eine Umstellung auf andere Energieressourcen war somit die notwendige Folge. Konsequenz der Umstellung ist möglicherweise eine Degradierung der Weideflächen. Ziel des von der VW-Stiftung finanzierten Projektes „Transformation Processes in the Eastern Pamirs of Tajikistan. Changing Land Use Practices, Possible Ecological Degradation and Sustainable Development“ ist es daher, die Zusammenhänge sozioökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen darzulegen.

Die vorliegende, in das interdisziplinäre Projekt eingebundene Arbeit dient dabei der grundlegenden Erfassung und Beschreibung kleinräumiger Vegetationsstrukturen. Diese sollen hinsichtlich der steuernden Faktoren untersucht werden. Der Arbeit liegt die Annahme zu Grunde, dass sowohl anthropogene als auch natürliche Störungen eine wichtige Rolle für die Ausbildung kleinräumiger Vegetationsstrukturen spielen. Neben dem Einfluss allgemeiner Umwelt-

und Bodenparameter soll geprüft werden, ob insbesondere Beweidung als anthropogene und das Vorkommen von *Marmota caudata* als natürliche Störung die Vegetation prägt.

1.2 Hypothesen

Betrachtungen der Biodiversität berücksichtigen in jüngster Zeit den Faktor der Skalenabhängigkeit immer stärker. Nach Crawley und Harral (2001) verändert sich mit dem Verschieben der Betrachtungsebene nicht nur die Anzahl der verschiedenen Arten, sondern auch die prozentuale Anzahl. Die Reaktion zu anderen Einflussgrößen ist auch nach Betrachtungsebene zu differenzieren.

Die Berechnung der Betadiversität ist ein geeignetes Verfahren um Aufschluss darüber zu geben, wie sich die Artenvielfalt entlang betrachteter Umweltgradienten verändert (Wilson & Shmida, 1984). Aufgenommene Linientransekte entlang sichtbarer Gradienten im Gelände sollen den Einfluss der Betadiversität für die untersuchten Flächen im Ostpamir darlegen.

Die Untersuchung der Auswirkung von Störungen auf die Vegetationseinheiten bilden eine der Hauptsäulen dieser Arbeit. Nach White und Jentsch (2001) ist davon auszugehen, dass Störungen der primäre Faktor für räumliche Heterogenität sind. Störungen betreffen meist viele Individuen zum gleichen Zeitpunkt und sorgen somit für eine heterogene, nicht fein untergliederte Struktur der Landschaft. In den meisten Fällen treten Störungsereignisse unregelmäßig auf. Bezüglich der Beweidung lässt sich allerdings eine gewisse Regelmäßigkeit erkennen. Resultat der durch Störungen bedingten Heterogenität ist, dass zum grundlegenden Verständnis eines Ökosystems und dem Versuch, die Gegebenheiten des Systems zu erklären, Kenntnisse über die aktuellen und vergangenen Störungsprozesse vorhanden sein müssen. Um der Vielfalt Herr zu werden muss in der Ökologie häufig eine generalisierte Betrachtung vorgenommen werden. Dazu gehört auch, dass hinsichtlich beeinflussender Prozesse eine Identifikation der Wichtigsten stattfindet. Unterschiedliche Skalenbetrachtungen können dabei zu einer Konzentration auf andere Störungen führen. In der vorliegenden Arbeit wurden Beweidung und der Einfluss von Murmeltieren als einflussreiche Störungen angenommen und näher untersucht.

Durch Trägheit und fehlende Veränderung in der Artengemeinschaft kann es zum Verlust von Biodiversität im Hochgebirge kommen. Nicht reproduzierbare, langlebige Individuen würden sich hier im Gegensatz zu jungen und dynamischen Arten durchsetzen und das System erlahmen. Störungen können in solchen Fällen zu einer Erhöhung der Artenvielfalt führen, da durch ein eintretendes Störungsereignis die Etablierung neuer Arten und Strukturen gefördert wird (Jentsch & Beierkuhnlein, 2003).

Nach Connell (1978) findet sich die maximale Artenvielfalt für ein Gebiet bei einer mittleren Störintensität und -frequenz. Somit stellt sich die Frage, ob die intermediate disturbance hypothesis (IDH) für aride Hochgebirge von Bedeutung ist. Falls ja, lassen sich Verschiebungen der IDH in die eine oder andere Richtung erkennen? Aus diesem Anlass soll geprüft werden, ob die IDH, besonders bezüglich der Beweidungsintensität von Bedeutung ist und unter einer mittleren Intensität die höchste Artenvielfalt hervorbringt.

Die Störungen, welche von Tieren ausgehen, müssen differenziert betrachtet werden. So haben beispielsweise Bakker und Olf (2003) betont, dass die Auswirkungen von Herbivoren auf die

Artenverteilung bzw. -diversität nach Art, Größe und Populationsdichte des jeweiligen Herbivors unterschieden werden müssen. Es wird angenommen, dass Kleinvieh auf Grund der hohen Anzahl in welcher es gehalten wird, sowie seiner Eigenschaft als browser, größere Schäden an der Vegetation verursacht.

In einer Studie von 1985 hat Guriceva festgestellt, dass auf Flächen, die durch Murmeltiere gestört wurden, häufig keine Sukzessionsstadien anschließen. Die Schäden, die durch den Auswurf des Bodenmaterials entstehen sind zu groß, um von den Pflanzen toleriert werden zu können. Die untersuchten Murmeltierflächen sollen auf diese These hin überprüft werden. Damit in Zusammenhang steht die nachfolgende Annahme, dass es auf Murmeltierstörflächen zu einem Artenrückgang und einem Biomasseverlust kommt.

Nach Retzer (2005) befinden sich Ökosysteme in ariden Gebieten in der Regel im Zustand des non-equilibrium. Studien in der Mongolei führten zu einer differenzierten Betrachtung dieser Grundannahme. Hier konnte beobachtet werden, dass Steppen beispielsweise in einem Bereich zwischen equilibrium und non-equilibrium einzuordnen wären, während sich Gebirgssteppen beinahe im Equilibriumszustand befinden. Für den Ostpamir soll ebenfalls geprüft werden, ob eine generelle Einstufung in den Zustand equilibrium oder non-equilibrium möglich ist oder ob vielleicht auch eine Betrachtung nach Untereinheiten nötig wäre.

Es wird angenommen, dass es besonders in Gebieten nahe größerer Siedlungen zu einer Übernutzung der Weideflächen kommt. Dies hat einen Rückgang der Vegetationsdecke und der Artenvielfalt zur Folge.

Neben Störungen spielen Umweltparameter eine wichtige Rolle. Die Gruppierung von verschiedenen Arten führt zur Ausbildung kleinräumiger Vegetationsmuster, die sich von den Mustern auf größerer Maßstabsebene unterscheiden. Es wird angenommen, dass eine eindeutige Klassifikation der Flächen zu verschiedenen Vegetationseinheiten möglich ist.

Kapitel 2

Untersuchungsgebiet

2.1 Abgrenzung und Gliederung des Pamirs

Das Pamirgebirge, welches nach den Pamiren, den Hochplateaus und typischen hochreichenden Gebirgszügen bezeichnet ist, befindet sich zwischen 37 und 39°N und 72 bis 75°E, gehört zu Zentralasien und liegt zu überwiegenden Teilen in Tadschikistan. Kleinere Teile des Pamirgebirges befinden sich, wie in Karte 2.1 gezeigt, in Afghanistan, China, Kirgistan und Pakistan.



Abbildung 2.1: Lage des Pamirgebirges in Zentralasien

Quelle: Hurni et al., 2004:60

Die Höhenausdehnung des Pamirs erstreckt sich zu größten Teilen in Bereichen von ca. 3500–6000 m ü. NN. Begrenzt wird das Gebiet durch die Gebirgsketten des Hindukuschs im Südwesten, das Alai-Gebirgssystem mit dem sich anschließenden Tien Shan im Norden, den Gebirgsrücken des Kuenlun im Osten und im Süden durch den Karakorum, an welchen sich

das Gebirgssystem des Himalaya anlehnt. Das zwischen Alai und Transalai gelegene Alaital mit dem Kisilfluß wird als Trennlinie zum Pamir gesehen. Damit gehört der west-östlich streichende Gebirgszug des Transalai mit dem Pik Lenin (7134 m ü. NN) bereits zum Pamir. Zusammen mit der Peter-I.-Kette und der Akademie-der-Wissenschaften-Kette bildet er die nördliche Gebirgsumrahmung. Das südlich dieser Gebirgsketten liegende Gebiet wird als der westliche Pamir bezeichnet und ist durch das Auftreten west-östlich verlaufender Gebirgsketten gekennzeichnet. Dazu gehören die Darwas-Kette (6083 m ü. NN), die Wantsch-Kette (4899 m ü. NN), die Jasgul-Jom-Kette (6132 m ü. NN), die Ruschan-Kette (6083 m ü. NN), die Shugnan-Kette (5809 m ü. NN) und die Schuchdaran-Kette (6723 m ü. NN). Eine schematische Darstellung der Höhenstufen des Zentralen Pamir kann aus Abbildung 2.2 ersehen werden (Agakhanjanz & Breckle, 2004; Hurni et al., 2004; Succow, 1989; Succow, 2004; Walter & Breckle, 1986).

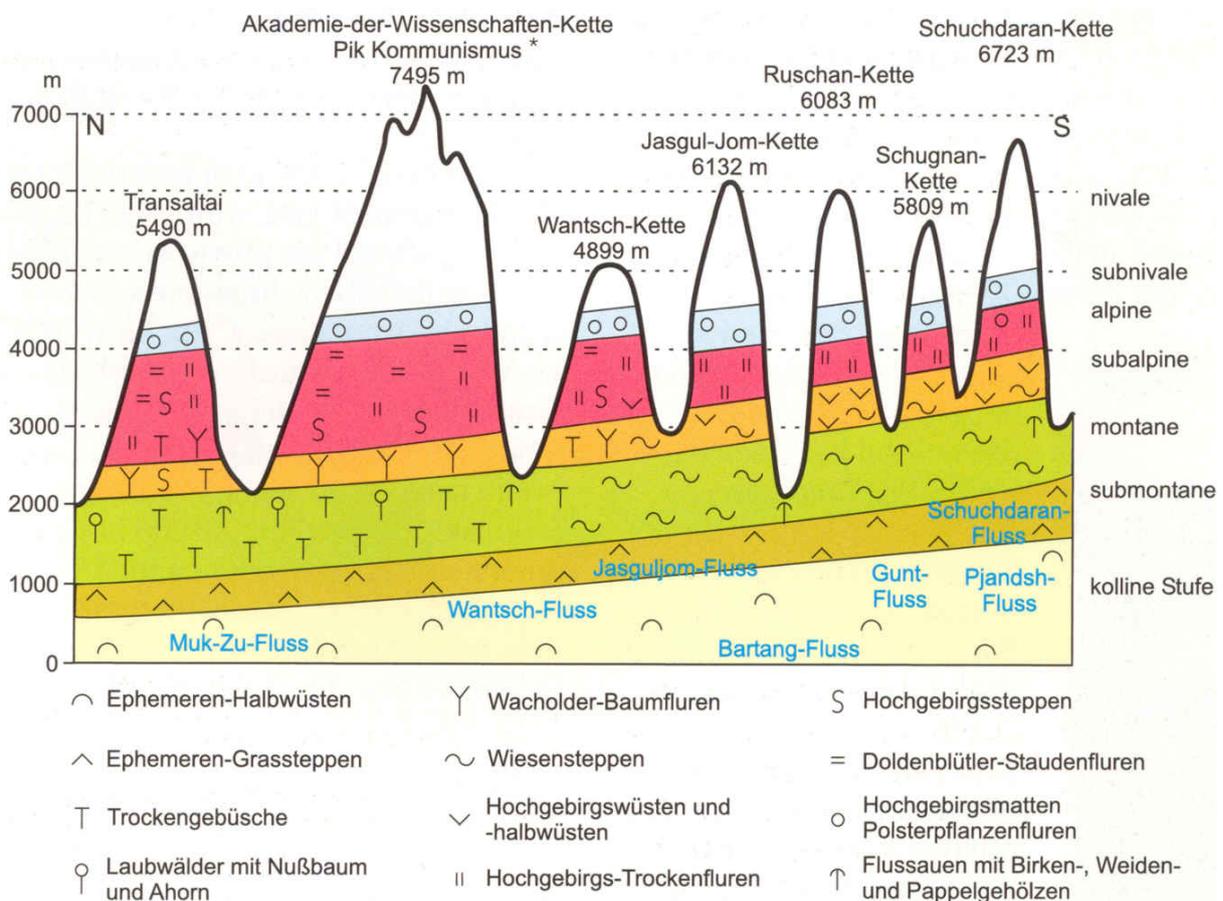


Abbildung 2.2: Profilschnitt durch den Zentralen Pamir mit der Ausweisung der Höhenstufen der Vegetation

Anmerkung: *Pik Kommunismus* wird heute *Pik Ismoil Somoni* bezeichnet.

Quelle: Succow, 2004:32

Der tadschikische Pamir ist durch eine klare West-Ostdifferenzierung gekennzeichnet. Die Trennlinie verläuft dabei, nach Breckle, bei 72°45'E. Die beiden Regionen differieren sowohl in ökologischer als auch in sozioökonomischer Hinsicht sehr stark. Während der westliche Pamir, wie Eingangs beschrieben, durch das Auftreten verschiedener Ketten und tiefer Einkerbungen von bis zu 3000 m gekennzeichnet ist, findet man im Ostpamir, einem Hochplateau in

4000–5500 m Höhe, lediglich Erhebungen von 1000-1500 m. Auf Grund dieser relativ geringen Erhebungen und der abgerundeten Formen weisen manche Autoren, wie z.B. Succow, dem Ostpamir in seiner Erscheinung Mittelgebirgscharakter zu. Die Täler im Ostpamir besitzen breite Talsohlen und es handelt sich in den meisten Fällen um breite, abflusslose, hoch gelegene Becken, wie z.B. das Alichur- und das Karakulbecken. Der Ostpamir wird im Westen durch die bereits erwähnten Gebirgsketten des Westpamirs, im Norden durch den Transalai, im Osten durch die Ausläufer des Kuenlun und im Süden durch den Hindukusch begrenzt. Der Pamir entwässert über den am Süd- und Westrand fließenden Pjandsh in den Amudarja und damit schlußendlich in den Aralsee (Succow, 1989).

2.2 Soziokultureller und geschichtlicher Hintergrund

2.2.1 Landesüberblick

Die Republik Tadschikistan hat eine Fläche von ca. 143 100 km² und ist in fünf Verwaltungseinheiten gegliedert. Neben der Hauptstadt Dushanbe werden das Hisror- mit dem Gharmtal, die nordwestliche Provinz Soghd, die südwestliche Provinz Chatlon sowie die autonome Provinz Gorno-Badachschan (Berg-Badachschan [GBAO]) mit der Hauptstadt Khorog als die fünf Verwaltungseinheiten ausgewiesen. Nach Schätzungen aus dem Jahr 2003 bewegt sich die Einwohnerzahl Tadschikistans um rund 6,5 Millionen Menschen. Diese gehören in erster Linie den großen Volksgruppen der Tadschiken, der Usbeken, der Russen und der Kirgisen an (Abb. 2.3). Der moslemische Glaube ist weit verbreitet. Neben den Sunniten, welche 85% der Gesamtbevölkerung ausmachen, spielen insbesondere für die Region GBAO Ismailiten (5% der Gesamtbevölkerung), eine konfessionelle Untergruppe der Schiiten, eine wichtige Rolle.

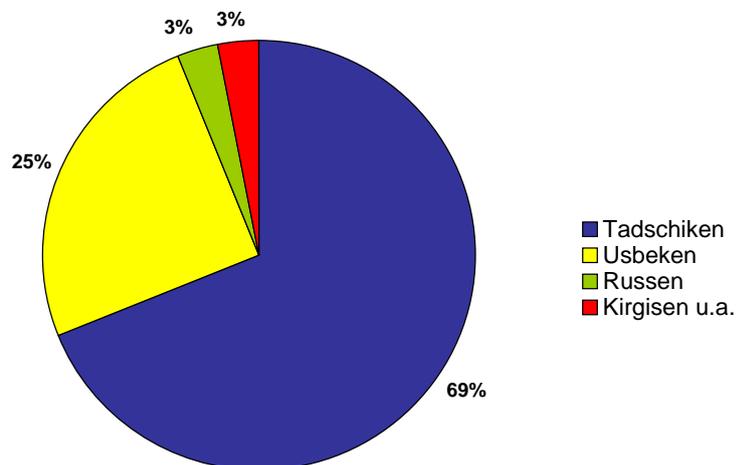


Abbildung 2.3: Aufteilung der tadschikischen Bevölkerung nach den wichtigsten Volksgruppen

Quelle: Eigene Bearbeitung nach von Gumpfenberg & Steinbach, 2004:261

2.2.2 Tadschikistans Geschichte bis 1895

Erste Besiedlungen Tadschikistans können im Paläolithikum nachgewiesen werden. In frühen Zeiten fiel das Gebiet Tadschikistans wechselnd unter persische Herrschaft. Erst 336–323

v. Chr., mit der Eroberung des Gebietes durch Alexander den Großen von Mazedonien, stellte sich Stabilität ein. Mit seinem Tod im Jahre 323 v. Chr. zerfiel das mazedonische Reich und Tadschikistan wurde Ziel zahlreicher weiterer Eroberungen durch turkstämmige Nomaden und Yuchi, welche Tadschikistan dem Kushan Reich einverleibten. Mit der Zerstörung des Kushan Reiches durch die Perser in den Jahren 224–242 n. Chr. fiel das Gebiet wieder unter persische Herrschaft (Middleton, 2002).

Unter den arabischen Eroberern im 8. Jahrhundert hielten sich die schwer zugänglichen Hochtäler eine teilweise noch bis heute erhaltene Eigenständigkeit, insbesondere bezüglich Sprache und Religion, bei. Prägend für die Region waren neben den zahlreichen territorialen Konflikten im Gebiet um die Seidenstraße zwischen Amu-Darja und Syr-Darja, das Samanidenreich im 9. und 10. Jahrhundert mit seinem Zentrum in Buchara. Im 13. Jahrhundert endete der Feldzug Dschingis-Khans mit der Eroberung Mittelasiens. Das Reich Buchara, welches sich über weite Teile Tadschikistans ausgedehnt hatte, geriet im 16. Jahrhundert unter persische Herrschaft. Russische Eroberungen in Mittelasien fanden erst auf dem Gebiet des heutigen Tadschikistan ein Ende. Bereits 1891 errichtete die Zarenarmee einen militärischen Posten auf dem Gebiet des heutigen Murghab, der damals unter dem Namen Shah Jan, und nach seiner Umbenennung zwei Jahre später, als Pamirsky Post in die Geschichte einging. Im Jahr 1895 legten Russland und Großbritannien nach europäischem Vorbild den Amu Darya (Oxus, Pjandsch) als Grenze der Gebiete der beiden Großreiche fest. Auf ethnische Einheiten wurde dabei keine Rücksicht genommen, was große Flüchtlingsbewegungen zur Folge hatte. So verloren viele der heutigen Rajons (Kreise) große Teile ihrer Wirtschafts- und Siedlungsgebiete an Afghanistan. Eine Darstellung der Untergliederung der heutigen autonomen Provinz GBAO in die fünf Rajons kann man in Karte 2.4 sehen. Für beide Parteien spielte das Gebiet des heutigen GBAO dabei eine wichtige Rolle als Schutzwall (Geographisch-Kartographisches Institut Meyer, 1969; Götz & Halbach, 1996; von Gumpfenberg & Steinbach, 2004; Kreutzmann, 2002).

2.2.3 Zeit der sowjetischen Besatzung mit Blick auf die Sonderstellung Gorno-Badakhshans (GBAO)

Die heutige Region GBAO, das Gebiet der Gebirgsregion des Pamirs, war bis zur Oktoberrevolution 1917 agrarisch geprägt. Im Jahr 1932 wurde GBAO zur autonomen Provinz der damaligen SSR Tadschikistan ausgewiesen. Obwohl GBAO nach Zahlen aus dem Jahr 1998 44,4% der Staatsfläche einnimmt, leben nur 3,4% der Gesamtbevölkerung in der peripheren Region. Die nach der Oktoberrevolution fortschreitende Integration Tadschikistans als Teil der Sowjetunion führte auch in GBAO zu einer Umbildung der bäuerlichen Subsistenzbetriebe in Kolchosen, welche später zu großen Teilen in den 1970er Jahren zu Sowchosen zusammengefasst und umgewandelt wurden. Die Enteignung und der Umbau zu Staatsbetrieben hatte zur Folge, dass die schon zuvor schwierige Situation der Versorgung nicht mehr durch eigene Nahrungsmittelproduktion gesichert werden konnte. Ein Teil der Betriebe wurde nicht mehr zum Nahrungs- sondern zum Konsumgüteranbau genutzt. Von den benötigten Nahrungsgütern im Pamir wurden zum damaligen Zeitpunkt nur noch 10–20% vor Ort produziert. Zur Sicherstellung der Versorgung waren zum einen ein Ausbau der Infrastruktur vor Ort und der Import lebensnotwendiger Produkte wie z.B. Mehl, Kohle, oder Reis, sowie die Umsiedlung eines Teiles der Bergbewohner in die für den Baumwollanbau genutzten Gebiete im Süden und Norden Tadschikistans. Beschäftigung in der Landwirtschaft fand nur noch ein kleiner



Abbildung 2.4: Autonome Region GBAO mit Wirkungsbereich der jeweiligen Rayons
Quelle: Kreutzmann 2002:32

Anteil der Bevölkerung. Verbunden mit einer angestrebten Alphabetisierung durch die Sowjetunion, welche am Ende der Sowjetära mit einer Alphabetisierungsrate von 90% einen großen Erfolg verbuchen konnte, war eine Umschulung der ehemaligen Bergbauern zu Lehrern, Verwaltungsangestellten oder Arbeitern in Berufen außerhalb des Agrarsektors. Das besondere Interesse Russlands an der peripheren Region verdankt diese ihrer strategisch wichtigen Lage im Afghanistankrieg (1979-1989). Die intensive Unterstützung, welche dem GBAO nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion fehlte, führte dazu, dass am Abend vor dem Zusammenbruch der Sowjetunion 80% der Bevölkerung für einen Verbleib Tadschikistans in der Sowjetunion stimmten. Selbst heute noch trauern die Menschen vor Ort der damaligen Zeit nach und nostalgische Aussprüche wie „zu Sowjetzeiten waren die Geschäfte immer voll, man konnte alles kaufen. Im Winter musste man nie frieren, da jede Familie für den Winter eine Tonne Kohle bekam“ (Wiegmann, 2007:226) sind keine Seltenheit. Die hohe Erwartungshaltung und der fehlende Zwang zur Eigeninitiative belastet bis heute die Entwicklung des Staates (Herbers, 2001; Wiegmann, 2007).

2.2.4 Unabhängigkeit und Bürgerkrieg

Mit der Unabhängigkeit Tadschikistans, nach dem Zerfall der Sowjetunion im September 1991, waren die Ausgangsbedingungen für den jungen Staat äußerst schwierig. Die heterogene Bevölkerung wurde in den Zeiträumen vor der Unabhängigkeit durch Zwangsumsiedlungen noch stärker durchmischt und barg ein hohes Konfliktpotential auf Grund der unterschiedlichen

Ethnien in sich. Die daraus entstehende Parteivielfalt mit Affinität zu einzelnen Bevölkerungsgruppen begünstigte den Ausbruch des Bürgerkrieges im Jahr 1991. Proteste gegen die Ernennung eines Präsidenten aus den kommunistischen Reihen brachten dabei den Stein ins Rollen. Die Opposition setzte sich in erster Linie aus Anhängern der demokratisch-islamischen Partei zusammen und war, so eine Zuordnung zu Volksgruppen erfolgen soll, als Partei der Pamiri und Garmi anzusehen. Der daraufhin ausbrechende Bürgerkrieg konzentrierte sich in erster Linie auf den Süden des Landes, beeinflusste aber auch die übrigen Teile Tadschikistans negativ und stand der Entwicklung einer funktionierenden Wirtschaft im Weg. Große Flüchtlingsströme aus dem Süden des Landes auch in die östlichen Gebiete führten zu einem starken Anstieg der Bevölkerungszahlen. Der Konflikt konnte erst 1997, drei Jahre nach Beginn der Verhandlungen unter Mitwirkung der Vereinten Nationen, beigelegt werden.

Die bereits zuvor mit der Unabhängigkeit Tadschikistans eingetretenen Nahrungsmittelengpässe, die insbesondere in den peripheren Regionen Hungersnöte auslösten, führten ebenfalls zum Eingreifen internationaler Akteure durch kurzfristige Nahrungsmittelhilfen. Seit der offiziellen Befriedung Tadschikistans ist der Anteil der Selbstversorgung mit Getreide und Kartoffeln, wie in Abbildung 2.5 gezeigt, wieder erheblich gestiegen. So konnte im GBAO 1999 sogar ein Selbstversorgungsgrad von knapp 80% erzielt werden (Herbers, 2001; Herbers, 2002; Herbers, 2004).

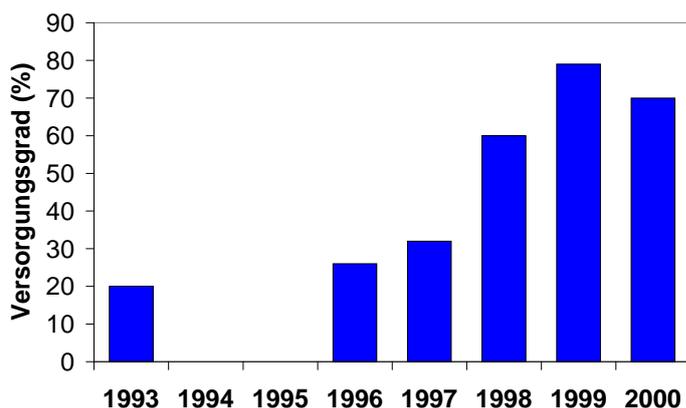


Abbildung 2.5: Entwicklung der Selbstversorgung mit Getreide und Kartoffeln in GBAO von 1993–2000 auf Datengrundlage des MSDSP

Quelle: eigene Darstellung nach Herbers, 2002:82

2.2.5 Exkurs: Die Energieversorgung als Beispiel für einen Staat im Wandel

In der Energieversorgung, welche zu Sowjetzeiten intensiv vom Mutterland gefördert und unterstützt wurde, hat sich ebenfalls ein Wandel vollzogen, wie aus Abbildung 2.6 ersehen werden kann. Wurden 1990 noch 63,7% der Energie aus Kohle gewonnen, so konnte schon 2000 ein starker Wandel in der Energiewirtschaft festgemacht werden, als der Verbrauch von Kohle zur Energieversorgung im GBAO keinen Anteil mehr hatte, dafür aber die Kategorie Brennholz und Dung von ehemals 26,2% auf 86,3% angestiegen ist. Dieser Wandel hat neben ökonomischen und sozio-kulturellen auch ökologische Folgen, auf welche an späterer Stelle noch detailliert eingegangen wird.

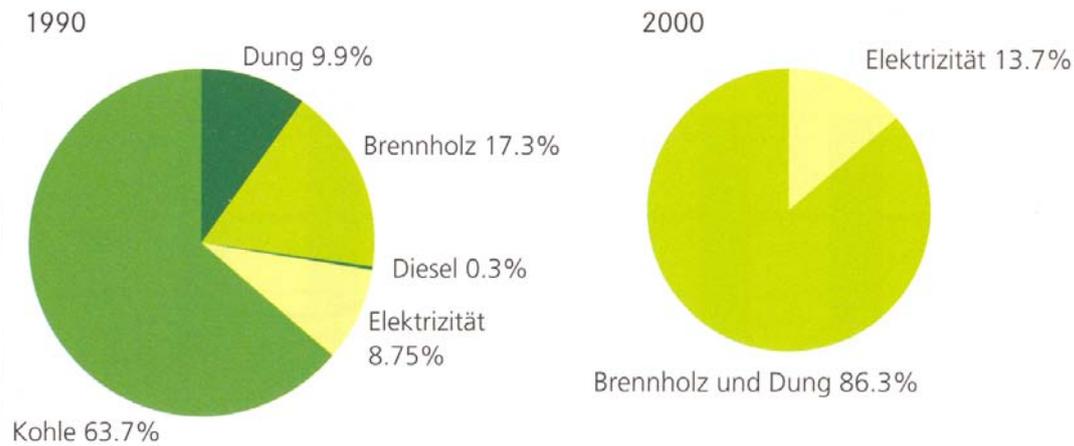


Abbildung 2.6: Vergleich der Energieversorgung in GBAO in den Jahren 1990 und 2000

Quelle: Hurni et al., 2004:64

2.2.6 Tadschikistans unsichere Zukunft

Seit der Beendigung des Bürgerkriegs kontrollieren Regierungstruppen größere Straßen und Städte des Landes. GBAO bildet dabei eine Ausnahme. Trotz fehlender Kontrolle haben sich hier bisher nur wenige größere oppositionelle Gruppierungen gebildet. Wenige große Drogenhändler besitzen mit ihren Juntas ein großes Machtpotential bezüglich der Bildung oppositioneller Truppen. Trotz des offiziellen Friedensschlusses ist der Frieden in Tadschikistan virulent. Das autoritäre Regime von Emomali Rachmon greift zunehmend in die Privatsphäre der Menschen ein. So bestehen neben dem Verbot inoffizieller Hausmoscheen zahlreiche weitere Verbote, welche einen Eingriff in die Privatsphäre und eine Beschränkung in der Ausübung der Religion darstellen. Verhindert wird die schwelende Eskalation in erster Linie durch die hohe Arbeitsmigration bei den 20–40 jährigen Männern. Nahezu jeder zweite Mann dieser Altersgruppe versucht außerhalb des Landes, besonders in Russland, Geld zu verdienen und damit die Familie in der Heimat zu unterstützen. Als Teil der nationalen Entwicklungsstrategie unterstützt die Regierung in Dushanbe die Abwanderung der jungen Männer ins Ausland. Nach Wiegmann (2007) hat Tadschikistan zwar den Weg aus dem Bürgerkrieg geschafft, hält aber den Frieden nur auf Grund der hohen Arbeitsmigration und der Kriegsmüdigkeit der Bevölkerung in der Waage.

2.3 Klimatische Grundlagen

In dem zentralasiatischen Hochgebirgskomplex aus Pamir, Karakorum und Hindukusch findet eine „Verzahnung von ekotropischen und tropischen Elementen, d.h. der Strömungen der Westwinddrift und der südasiatischen Monsunzirkulation [statt]“ (Weischet & Endlicher, 2000:392). Der Einfluss dieser Elemente sowie das ausgeprägte Relief und die damit verbundene Abschottung unterschiedlicher Teile des Gebirgssystems führen zu einer starken Differenzierung in das monsungeprägte Himalaya-Vorland im Süden und den zentralasiatischen Steppenraum im Norden. Der Übergang wird von einem subtropischen Hochgebirgsraum geprägt. Die Abschirmung

durch umliegende Gebirgsketten führt dazu, dass der Pamir in das Gebiet der wenig strömungsbeeinflussten Zone fällt. Abbildung 2.7, welche die Hauptströmungsmuster zeigt, verdeutlicht diesen fehlenden Einfluss. Besonders betroffen durch den Ausschluss des Einflusses der Westwinddriftzone auf Grund der Leelage sind der Zentrale und der Ostpamir (Weischet & Endlicher, 2000). Zu einer Abschottung des inneren Bereichs des Pamirs kommt es insbesondere wegen

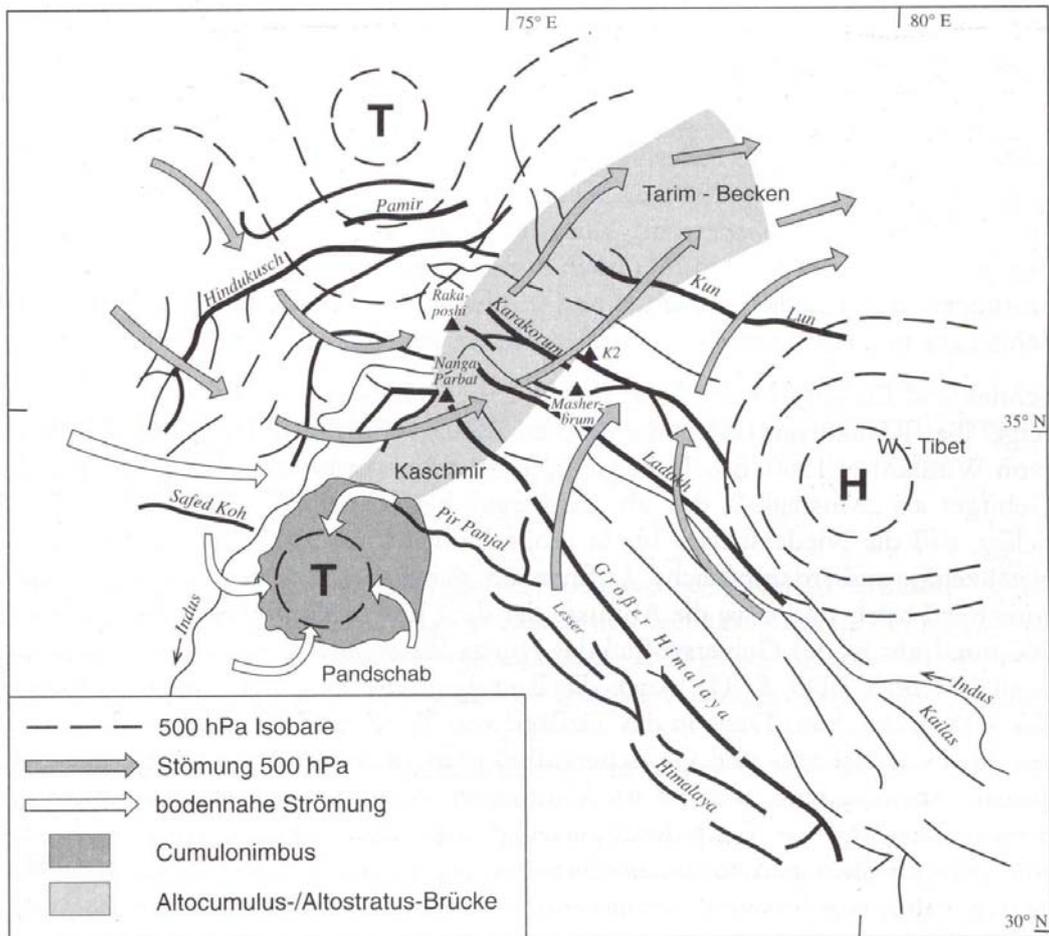


Abbildung 2.7: Darstellung der Strömungen in den zentralasiatischen Hochgebirgen
Quelle: Weischet & Endlicher, 2000:393

der Verteilung der Gebirgszüge. Die meisten Ketten des Pamir verlaufen in E-W-Richtung. Ausnahmen von Ketten, welche in N-S-Richtung streichen, bilden unter anderem die Kette der Akademie der Wissenschaften, Ishkashim, Sarykol und die Kaschgarische Kette. Abbildung 2.8 gibt einen Überblick über die Lage der einzelnen Gebirgsketten und der damit verbundenen Isolation des inneren Pamirs vor den feuchten Luftmassen (Agakhanjanz & Breckle, 2004). Mit der Ausrichtung dieser Gebirgsketten verbunden ist unter anderem auch die Anzahl der frostfreien Tage im jeweiligen Gebiet. So differiert diese von 56 Tagen in Murghab bis zu 236 Tagen in Namangan (Borisov, 1965; Berg, 1959). Mezencev stellte 1973 eine Formel für den Befeuchtungskoeffizienten (K) auf, welcher den Ariditätsgrad eines Gebietes bestimmt:

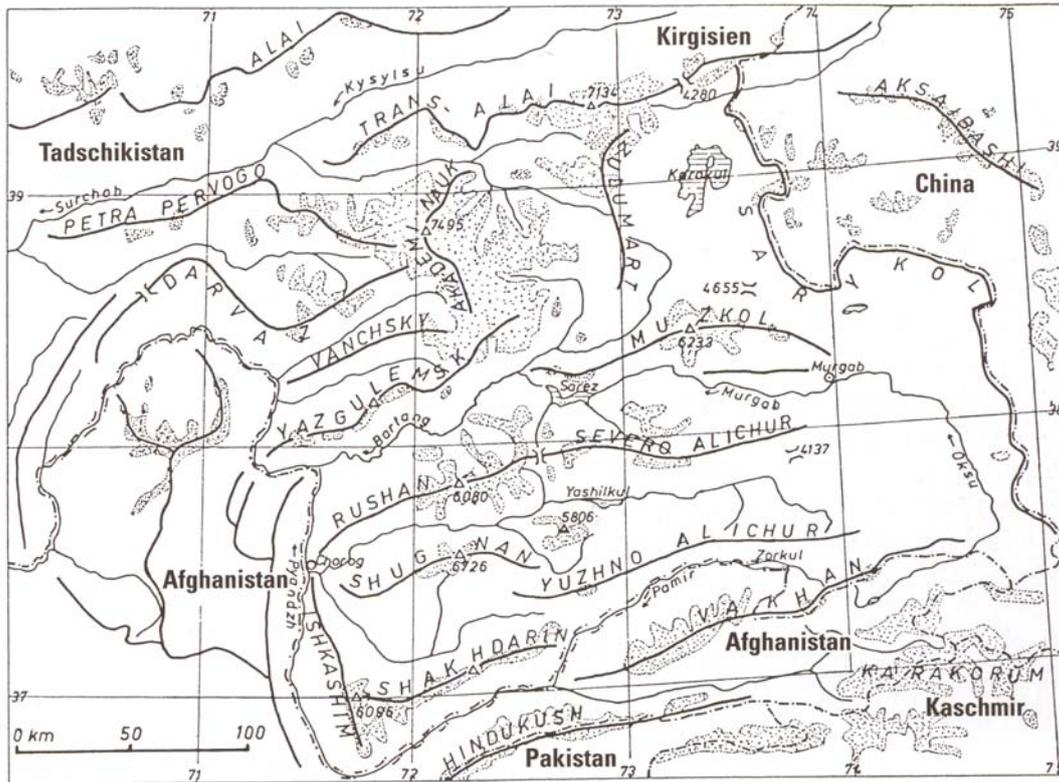


Abbildung 2.8: Skizze des Pamirgebietes mit Verlauf der wichtigsten Ketten (punktiert eingezeichnet: Firnfelder)

Quelle: Walter & Breckle, 1999:328

$$K = \frac{Kx}{Zm} = \frac{Kx}{0,2 \cdot \Sigma T^{\circ}(> 10^{\circ}) + 306} \quad (2.1)$$

Kx = Jahressumme der NS in mm

Zm = Verdunstung, errechnet aus Summe der Temperatur über 10°C und einem gemittelten Abflusskoeffizienten

Die Verdunstung Zm errechnet sich aus der Summe der Temperaturen über 10°C und dem damit gemittelten Abflußkoeffizienten. Eine Einstufung von Gebieten als aride Gebirge erfolgt bei einer Höhenlage von über 1000 m und einem K -Wert von $< 0,6$. Die aus der Tabelle 2.1 abzulesenden Werte für den Ostpamir lassen hier eine Einteilung in die Kategorie arides bzw. extrem arides (ab $K < 0,2$) Gebirge zu. Eine stärkere Ausprägung der Aridität hat eine engere Korrelation der Chorologie der Naturscheinungen, wie z.B. Böden, Vegetation oder Tierwelt mit den Befeuchtungsbedingungen und eine weniger starke Korrelation mit den übrigen Faktoren wie z.B. Temperaturen und Relief zur Folge. Die Aridität der Mehrheit der Gebirge der ehemaligen UdSSR hängt mit der Abschirmung der feuchten Luftmassen zusammen. Die meridional bzw. submeridional verlaufenden Gebirgszüge verhindern ein weiteres Vordringen westlicher Zyklone und Monsune. Im Ostpamir ist die Aridität auch barisch bedingt, d.h., dass hier winterliche Antizyklone vorherrschen (Agachanjanc, 1979).

Tabelle 2.1: Kennwerte der Aridität für den Ostpamir
 Quelle: nach Agachanjanc, 1979:73

Kennwert	Ostpamir
Kontinentalitätskoeffizient	2,50
NS im Sommer (% der Jahressumme)	75
Jahressumme der NS (mm)	70–120
Jahressumme der Verdunstung (mm)	400–600
K nach Mezencev	0,1–0,3
Trockentage	120

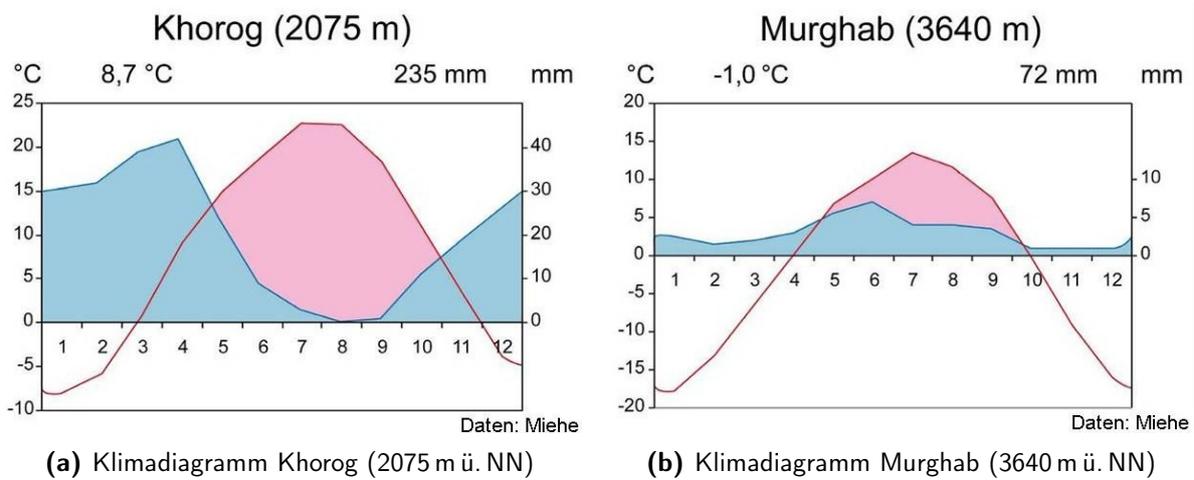


Abbildung 2.9: Gegenüberstellung der Klimastationen Khorog (W-Pamir) und Murghab (E-Pamir)
 Quelle: Mieke et al., 2001:Anlage

Generell muss in klimatischer Hinsicht eine Trennung zwischen West- und Ostpamir vorgenommen werden. Ein Vergleich der beiden Klimastationen (Abb. 2.9) Khorog (W-Pamir) und Murghab (E-Pamir) zeigt, dass der Ostpamir wesentlich trockener und kälter ist als der Westpamir, welcher durch relativ warme Sommermonate und einen gemäßigt kalten Winter sowie Niederschlagsminima im Sommer gekennzeichnet ist.

Der Ostpamir hingegen lässt sich klimatisch als Trockenzone ausweisen, da Jahresmittelniederschläge von 50–150 mm die Regel sind. Der Durchschnitt von 72 mm/Jahr für Murghab errechnet sich beispielsweise aus einem Niederschlagsbereich von 45–150 mm. Dieser Bereich lässt große Schwankungen in einem engen Grenzbereich erkennen (Domeisen, 2003).

Die meisten Niederschläge fallen dabei in kleinsten Mengen von 0,2–0,5 mm, häufig in Form von Graupel oder Schnee, und nur selten als Regen. Für die Vegetation spielen diese Minimalniederschläge keine Rolle. Hierfür sind die wenigen Starkregen von deutlich größerer Bedeutung. Auf Grund der geringen Luftfeuchtigkeit im Pamir (20% als Monatsmittel im Sommer) kommt ein Großteil der Minimalniederschläge nie im Wurzelraum der Pflanzen an, sondern verdunstet bereits vorher. Neben der West–Ost Differenzierung, lässt sich auch eine Abnahme der Niederschläge von Süd nach Nord feststellen.

Die mittlere Jahrestemperatur schwankt zwischen $-1,0$ und $-3,0^{\circ}\text{C}$. Während in den Sommermonaten zwar Temperaturen über 20°C in zwei Meter Höhe gemessen werden können, liegt das Januarmittel bei -20°C und frostfreie Nächte bilden im Gebiet des Ostpamir mit durchschnittlich 30 Nächten pro Jahr eine Ausnahme. Die Hochgebirgslage verhindert trotz der hohen Sonneneinstrahlung (90% der Solarkonstante) und der langen Sonnenscheindauer von ca. 3000 h pro Jahr auf den Flächen ein längeres Auftreten von Temperaturen über 10°C . Auf Grund lokaler Winde werden die hohen Temperaturen zusätzlich gemildert. Ein wichtiges, sich daraus ergebendes Charakteristikum für die Hochgebirgsplateaus des Pamirs, sind die dadurch entstehenden Tagesschwankungen. Eine weitere Folge des Höheneinflusses bildet die Abnahme der Temperatur mit der Höhe. So liegt beispielsweise die jährliche Durchschnittstemperatur für Murghab (3640 m ü. NN) bei -1°C , wohingegen Karakul (3945 m ü. NN) mit $-4,5^{\circ}\text{C}$ eine deutlich niedrigere Durchschnittstemperatur aufweist (Breu & Hurni, 2003; Kraudzun, 2005; Walter & Breckle, 1986).

Temperaturdiagramme über den Verlauf des Vorjahres der Untersuchung sind in Kapitel 2.7 für die Täler Madian Gumbez Kol und Pshart Gumbez Kol dargestellt.

2.4 Geologie und Geomorphologie

2.4.1 Einführung

Der Pamir, ein sehr junges Gebirge, entstand durch Norddrift der Indischen Platte und deren Kollision mit der Eurasischen Platte. Der immer noch andauernde Prozess von Hebung und Abtragung kennzeichnet die aktuellen Reliefprozesse in der Region und wird oftmals durch das Auftreten von Erdbeben begleitet.

Sowohl im Westen als auch im Osten wird der Pamir von großen Blattverschiebungen begrenzt. Im Westen von der linksgerichteten Pamir–Afghanistan Störung, die den Pamir vom westlichen Hindukusch und Afghanistan trennt, und im Osten von der rechtsgerichteten Pamir–Karakorum Störung, die als Grenze zwischen Kuenlun und Karakorum gesehen werden kann. Im Norden trennt das afghanisch–tadschikische Becken den Pamir vom Tien Shan (Khain, 1994).

2.4.2 Räumliche Gliederung

Je nach Wahl der Quelle wird der Pamir in vier oder fünf große geologische Einheiten unterteilt. Gundlach hat bereits 1934 die Einteilung in vier große Zonen bevorzugt, wobei er, betrachtet von N nach S, die nördliche Sedimentzone, die nördliche Kristallinzone, die südliche Sedimentzone und die südliche Kristallinzone ausgewiesen hat. In NW–Indien und Afghanistan schließen sich dem Ganzen die Nördliche Sedimentzone von Tschirtral sowie eine weitere Kristallinzone an. Abbildung 2.10 zeigt eine schematische Übersicht von Gundlachs Zonenzuweisung. Allgemein betrachtet lässt sich in der Zonenzuweisung ein W–E–Streichen erkennen. Die Namensgebung der Zonen soll kein ausschließliches Vorkommen, sondern je nach Fall nur eine Dominanz der jeweiligen Gesteinstypen beschreiben.

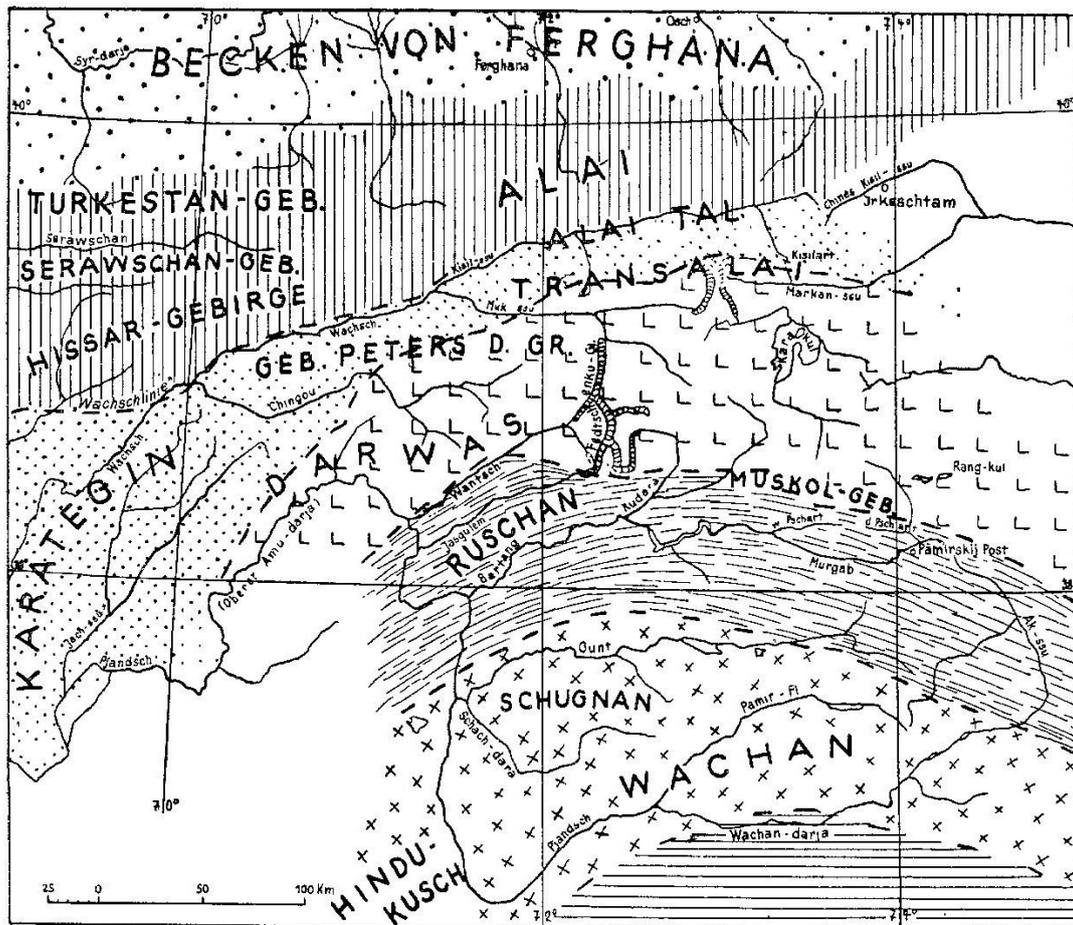


Abbildung 2.10: Ausweisung der wichtigsten geologischen Zonen des Pamirs

Quelle: Gundlach, 1934:333

Khain (1994) hingegen unterteilt den Pamir geologisch in fünf Zonen. Dabei weist er den Nördlichen Pamir, den Zentralen Pamir, die Rushan-Pschart Zone, den Südwestlichen und den Südöstlichen Pamir aus. Die Ausweisung einer eigenen Rushan-Pschart Zone findet auch bei anderen Autoren Verwendung. Während der Nördliche Pamir besonders durch das Auftreten präkambrischer und paläozoischer Metamorphite, Basaltserien und mariner Sedimente gekennzeichnet ist, kommen in der Zone des Zentralen Pamir vermehrt terrigene sowie vulkanische klastische Sedimente hinzu.

Die SW-Zone besteht überwiegend aus präkambrischen Gesteinen und wird durch Granitkomplexe ergänzt, wohingegen in der SE-Zone wieder eine Dominanz der Sedimente vorzufinden ist.

In der erstellten Karte (Abbildung 2.11), basierend auf der Grundlage des Tadschikischen Nationalatlas nach Nedzvedsky, wurden die von Gundlach festgehaltenen Ergebnisse miteinbezogen und vereinfacht die wichtigsten Einheiten ausgewiesen: Vulkanite, Plutonite, Metamorphite, Carbonate sowie Südliche Sedimentzone mit überwiegend Carbonaten. Eigene Untersuchungen in einem kleinen Ausschnitt des Gebietes konnten diese Ergebnisse validieren. Die sich im Folgenden anschließende geologisch-geomorphologische Einführung bezieht sich in der Regel auf die Einteilung nach Gundlach.

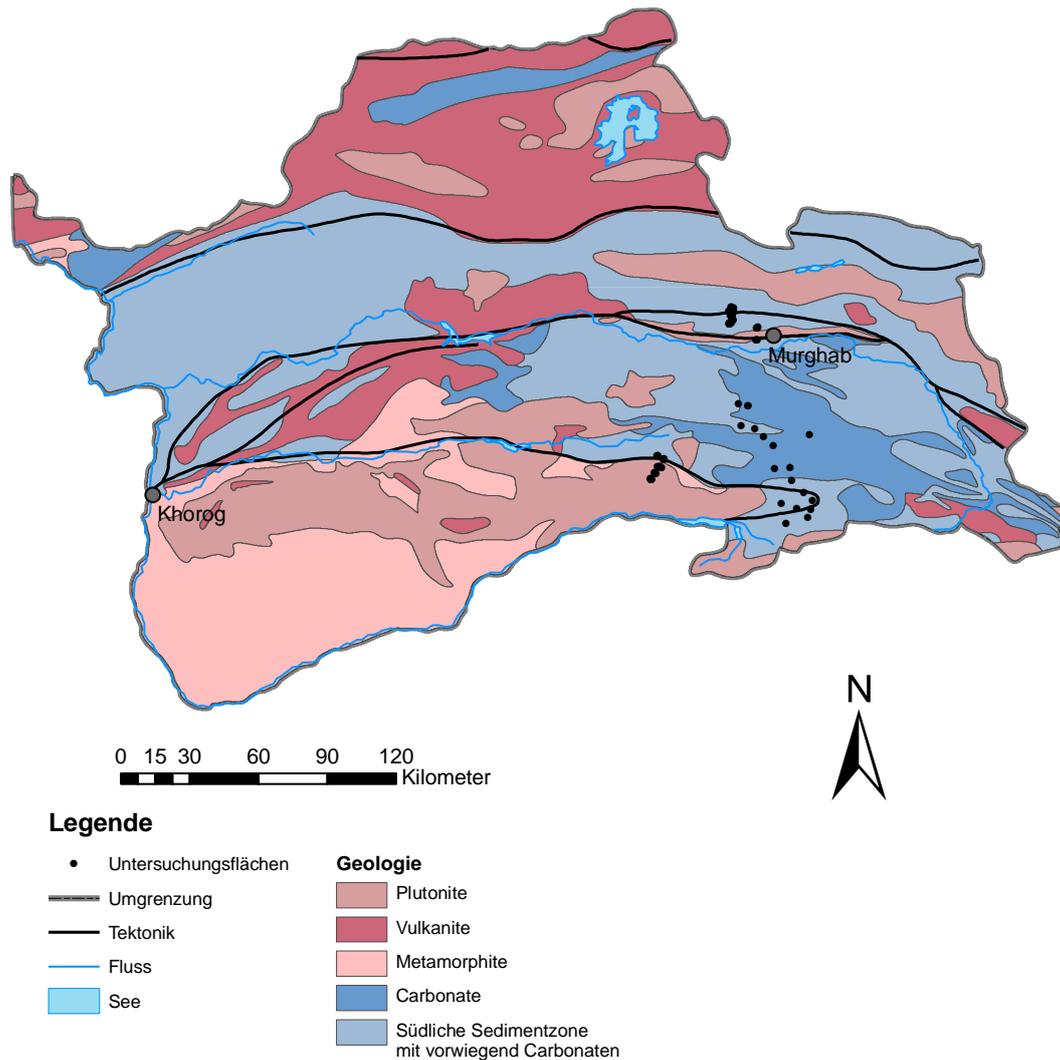


Abbildung 2.11: Geologische Gliederung des Pamirs mit Lage der Untersuchungsflächen 2008
 Quelle: nach Gundlach 1934 & Nedzvedsky, 1968:18-19 verändert durch Bimüller & Dotter, 2009

2.4.3 Geologisch-Geomorphologische Verhältnisse

Der Pamir gehört dem alpidischen Faltungssystem an und weist in seinem Verband zusätzlich noch ältere Bauelemente auf. Die reliefbestimmenden Vorgänge setzten im Pamir besonders in der zweiten Hälfte des Pliozän ein. Die Hebungsbeiträge liegen allgemein bei über 4000 m, im westlichen und in einzelnen Teilen des östlichen Pamir sogar bei über 5000 m. Die größten Hebungsvorgänge spielten sich dabei im Quartär und hier insbesondere im Holozän ab. Verebnungsformen sind im Pamir in unterschiedlichster Weise vorzufinden. Franz (1965) bezeichnet den für den Ostpamir bedeutendsten Relieftyp hinsichtlich der Verebnungsflächen als Syrten. Diese spielen besonders für Höhen von 3300–4000 m eine Rolle und sind für die intramontanen Depressionen von großer Bedeutung. Innerhalb der Becken treten im Pamir die Oberflächen in stärker eingeebnetter Form auf. Überragt werden die Verebnungsflächen von

Bergländern und, nach einigen Autoren, so genannten Mittelgebirgen, die zumeist eine Höhe von 5000–5700 m einnehmen und somit eine Reliefspanne von 700–1200 m aufweisen. Im Gegensatz zum Ostpamir, in welchem die Verebnungsflächen einen weiten Raum einnehmen, zeigt sich der Westpamir stark zerschnitten und wesentlich kleinräumiger gegliedert als der Ostpamir. Zerschneidungstiefen von 2500–3000 m sind im Westpamir kennzeichnend für die schroff eingeschnittenen Täler.

Neben den Verebnungsflächen entstanden parallel Relieftypen unterschiedlichen Charakters. Der wichtigste ist dabei wohl der der alpinen Formen, die während der kalteiszeitlichen Vergletscherungen entstanden sind. Der typisch glaziale Formenschatz der sich daraus für das Gebirge ergibt, reicht von scharfen Kämmen, Karen und Karlingen bis hin zur Ausbildung von Trogtälern. Reste glazialer Ablagerungen lassen sich z.B. in Form von Rundhöckern auch noch heute auf den Syrten finden, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass diese Gebiete in den Kaltzeiten ebenfalls vergletschert waren. Auch im Ostpamir, der grundsätzlich auf Grund seiner geringen Reliefspanne und seiner Lage im Lee der Gebirge weniger zur Vergletscherung neigt, zeugen Moränenablagerungen und Rundhöcker davon, dass auch hier zur Zeit der maximalen Vergletscherung eine fast vollständige Eis- und Schneebedeckung des Gebietes stattgefunden haben muss. Die rezente vergletscherte Fläche beläuft sich dabei heute nach Franz auf rund 8000 km².

In Bereichen mit unterschiedlicher Resistenz der Gesteine kommt es neben der Ausbildung von Schichtstufen und Schichtkämmen auch zu Reliefinversionen. Akkumulationsgebiete bilden sich in erster Linie im Bereich der intramontanen Becken heraus und entwickeln sich häufig aus schuttbedeckten Teilen der unteren Pedimente. Starke Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen führen im Pamir und Tien Shan zu einer ausgeprägten rezenten geomorphologischen Dynamik. Physikalische und chemische Verwitterung spielen eine wichtige Rolle für die Hochgebirgsregionen und führen zu einer Abtragung großer Materialmengen. Eine Verlagerung des Lockermaterials hangabwärts führt zu einer Ausbildung mächtiger Schutthalden am Hangfuß. Auf Grund der Steilheit des Geländes befinden sich die oberen Bereiche immer in einem labilen Gleichgewicht, was schnell zu einer weiteren Bewegung der Gesteinsmassen führen kann. Denudationsprozesse spielen in verschiedener Form, unter anderem auf Grund der hohen Seismizität, eine wichtige Rolle.

Die Vergletscherung wird im Pamir von kleinen Gletschern dominiert. 97% der Gletscher haben eine Größe von weniger als 5 km² und machen insgesamt 50% der vergletscherten Fläche aus. Insgesamt drei Gletscher haben eine Größe von mehr als 100 km², welche der Fedtschenkogletscher, der Grum-Grishmailo-Gletscher und der Garmogletscher sind. Ein rasches Abfließen der Akkumulations- und Ablationsprozesse führt somit eine rasche Aufzehrung der Eismassen. Der daraus resultierende Abfluss wurde für den Pamir auf 8,5 km³/a bestimmt. Eine räumliche Verteilung der Gletscher im Pamir zeigt eine Zunahme der Vereisungsflächen von SE nach NW. Daraus resultiert, dass Flüsse wie Pjandsh und Muksu eine Gletschereinzugsfläche von mehr als 6000 km² aufweisen. Die Untergrenze der Akkumulation im Pamir wird mit Meereshöhen von 3800–5400 m ü. NN datiert. Nach Forschungen von Naliwkin können für den Pamir zwei, örtlich sogar drei Phasen der Vergletscherung nachgewiesen werden (Agachanjanc, 1985a; Berg, 1959).

2.5 Bodeneinteilung im Ostpamir

Die auf Basis des tadschikischen Nationalatlas erstellte Karte aus Abbildung 2.12 stellt eine Einteilung in die dominanten Bodeneinheiten dar. Zwar werden für den Ostpamir keine, nach einer Bodensystematik klassifizierten Böden ausgewiesen, doch lässt sich eine grundsätzliche Einordnung des Gebietes aus der Karte ersehen. Kleinere Gebiete im NW weichen von der übergeordneten Klassifikation ab und werden beispielsweise als Braunerden ausgezeichnet. Für das zu betrachtende Arbeitsgebiet sind die Klassifikationen allgemein und übergreifend gehalten. So werden insbesondere um die Region Murghab Wüstenböden ausgewiesen.

Weitere im Ostpamir vorkommende Kategorien sind die entlang der Flussläufe auftretenden Quellrasen- und Sumpfböden, welche in der Karte, auf Grund des Maßstabes von 1:1 500 000 und der Vereinfachung bei der Digitalisierung keinesfalls als vollständig erachtet werden dürfen. Entlang der kleinen Flüsse, die der Schematisierung zum Opfer gefallen sind, bilden sich häufig ebenfalls Quellrasen- und Sumpfböden aus. Besonders in der oberen Höhenlagen kommt der Kategorie der Fels- und Blockschuttflächen hohes Gewicht zu. Eis- und Schneeflächen spielen nur sehr kleinräumig eine Rolle und nehmen daher im Vergleich zur Gesamtfläche nur kleine Bereiche ein. Die eingangs bereits erwähnten Wüstenböden werden durch zwei weitere Wüstenboden-Kategorien ergänzt: Zum einen durch Wüsten-Steppenböden und zum anderen durch Wüstenböden dominiert von Solonchak.

Akhmadov (2003) teilt die Böden des Pamirs in 13 verschiedene Gruppen ein. Drei dieser Böden lassen sich lediglich als für den Ostpamir charakteristische Böden ausweisen. Dazu gehören Hochgebirgs-Frosthügel-Wiesenböden, Hochgebirgs-Solonchakböden und Hochgebirgs-Takyrböden. Die übrigen zehn Kategorien teilen sich in für den Westpamir typische Böden und jene, welche potentiell sowohl im West- als auch im Ostpamir vorzufinden sind. Eine Darstellung der 13 Böden und deren wichtigsten Eigenschaften kann in Tabelle 2.2 betrachtet werden.

Breckle beschreibt die Böden des Ostpamir als „graubraune, sehr humusarme und skelettreiche Böden, die den Serozemen der Wüste nahe stehen“ (Walter & Breckle, 1994:331). Als weitere kennzeichnende Elemente werden die Neigung der Böden zur Sodaverbrückung oder einer Magnesium-Karbonat-Anreicherung angeführt.

Die Entwicklung der Böden wird im Pamir in erster Linie durch die ariden Bedingungen und die kalten Temperaturen bestimmt. Der sich aus dem Verhältnis von Niederschlag und Evapotranspiration ergebende Humiditätsgrad ist bestimmender Faktor der Boden- und Vegetationsentwicklung. Eine Veränderung des Humiditätsfaktors hat, je nach Temperaturgürtel, in der Regel, abhängig von der Höhenlage, unterschiedliche Auswirkungen. Während im kälteren Bereich die Temperatur den ausschlaggebenden Faktor der Bodenentwicklung darstellt, nimmt der Humiditätsgrad mit zunehmender Temperatur ebenfalls zu. Nach Einteilung der Temperaturgürtel, fallen dem Ostpamir lediglich die oberen Bereiche, die nivale, die extrem kalte, die kalte und die gemäßigt kalte Zone zu. Tabelle 2.3 liefert eine Übersicht der sich ausbildenden Bodentypen nach Temperaturzonen in Abhängigkeit des Humiditätsgrades (Cherbar, 2001).

Tabelle 2.2: Charakterisierung der Böden des Pamir nach Akhmadov
 Quelle: nach Akhmadov, 2003:20ff

	Höhen	Lage	Humusgehalt	C/N	Kalk
Hellbraune Gebirgsböden	1200-3700	W-Pamir	2–7 %	5,8–9,7	ja
Hochgebirgs-Wiesen-Steppenböden	2900-3300	Pamir	9,2–15%	11,0–12,0	nein
Hochgebirgs-Steppenböden	über 3300	Pamir	2,5–5,3%	8,0–12,0	n.e.
Hochgebirgs-Wüstenböden	3300-4200	Pamir	0,13–1,13%	n.e.	ja
Bewässerte Hochgebirgs-wüstenböden	3300-4200	Pamir	2–5%	n.e.	ja
Hochgebirgs-Wüsten-Steppenböden	n.e.	W-Pamir	1,5–4%	n.e.	ja
Rostrote Hochgebirgsböden	3400-4700	Pamir	2-6%	7,0–8,7	n.e.
Bewässerte Hochgebirgs-matten	n.e.	W-Pamir	0,7–2,6%	n.e.	n.e.
Hochgebirgs-Frosthügelwiesen	n.e.	E-Pamir	bis 15%	11,0–14,0	n.e.
Hochgebirgs-Sumpfwiesenböden	n.e.	Pamir	1,2–6,0%	n.e.	ja
Hochgebirgs-Sumpfböden	n.e.	Pamir	bis 17%	n.e.	n.e.
Hochgebirgs-Sumpfmoorböden	n.e.	Pamir	bis 17%	n.e.	n.e.
Hochgebirgs-Solonchakböden	3400–4500	E-Pamir	0,0025	n.e.	ja
Hochgebirgs-Takyrböden	n.e.	E-Pamir	2,4–12,8%	n.e.	ja

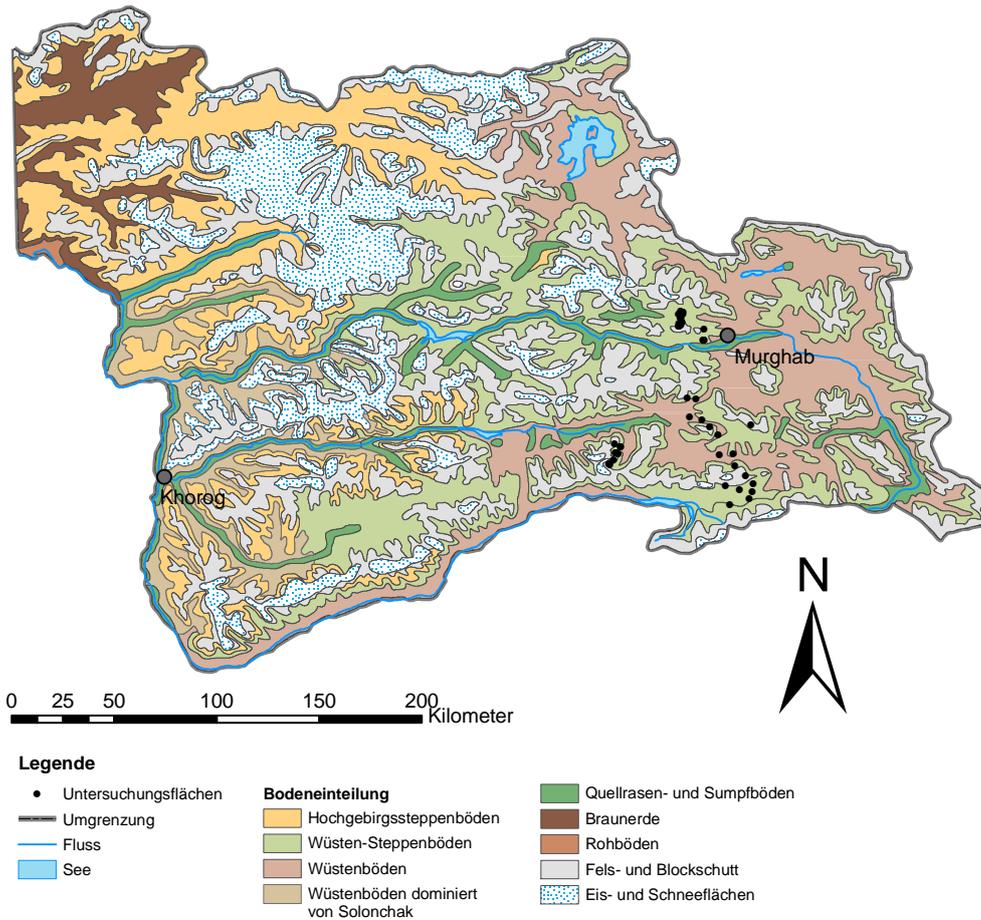


Abbildung 2.12: Darstellung der wichtigsten Bodentypen des Pamirs mit Darstellung der Untersuchungsflächen 2008

Quelle: nach Kerzum 1968:94-95 verändert durch Bimüller & Dotter, 2009

Tabelle 2.3: Bodentypen nach Temperaturzonen und Humiditätsgrad

Quelle: nach Cherbar, 2001:818

Temperaturgürtel	Humiditätsfaktor						
	<0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	>1,5
extrem kalt	—		rostbrauner Kaltwüstenboden			nivale Zone	
kalt	hellgraue Wüstenböden		rostbraune Halbwüstenböden hell		typisch	dunkel	dunkel-rostbraune Steppenböden
mäßig kalt	s.o.	braune Halbwüstenböden hell		typisch	dunkel	Steppenböden	dunkel/schwarzbr. Matten/Steppenb.

Die zunehmende Aridität im Pamir gen Osten wird in den Böden durch Zunahme des Karbonat- und Gipsgehaltes, einer Abschwächung der Profildifferenzierung sowie einer Humusabnahme

gekennzeichnet. In den oberen Lagen des Ostpamir entstehen nach Agakhanjanz (1969) typische Hochgebirgs-Mergelböden. Des weiteren fügt er an, dass die Böden des Ostpamir durch fehlende tief reichende Bodenbildungsprozesse und häufige Salzausblühungen an der Oberfläche beschrieben werden können. Die Feinerde wird oft unter einer unsortierten Schotterdecke, welche nach manchen Autoren bis zu 76% der Oberfläche des Ostpamirs bedeckt, begraben. Entlang der Flüsse kann es durch ein übermäßiges bzw. saisonal übermäßiges Feuchtigkeitsangebot zu Vergleyungsprozessen kommen. Die schwache Bodenentwicklung ist neben den extrem ariden Bedingungen durch eine Unterdrückung der biologischen Faktoren der Bodenbildung, eine kaum ausgeprägte Mikroflora, aktive Umlagerungsprozesse und eine schütterere Vegetationsdecke bedingt. Nach Kuteminski (1960) lassen sich für den Ostpamir zwei Stufen automorpher Böden ausweisen:

- Stufe der ausgelaugten grau-blassgelben Böden
Eine Ausbildung dieser Böden findet insbesondere unter den Steppen und Polsterpflanzenformationen statt. Charakterisiert werden sie durch einen Humusgehalt zwischen 1 und 3% sowie Karbonat-Auswaschungsprozessen in 10–15 cm Tiefe. An feuchteren Standorten entwickeln sich Bergwiesen-Böden. Lokal kommt es zur Bildung von Solonchaken.
- Stufe der blassgelben Böden
Die Böden der Hochgebirgswüsten liegen im Ostpamir in Bereichen zwischen 4000 und 4800 m ü. NN. Sie entstehen unter extrem trockenen Bedingungen und dem Einfluss der Wüstenvegetation sowie der Zwergsträucher Teresken und Wermut. Zur Ausbildung einer porösen Kruste kann es über lehmigen bzw. sandig-lehmigen Ausgangsmaterial kommen. Die Böden sind durch einen geringen Humusgehalt sowie eine häufig auftretende schwache Versalzung gekennzeichnet.

In allen Bereichen des Pamir treten zudem stellenweise primitive Hochgebirgs-Mergelböden auf. Meist sind diese unter kryophiler Vegetation oder auf schottrigen Flächen ohne höhere Pflanzen zu finden (Agahanjanz, 1965; Jusufbekov, 1968).

Innerhalb des Projekts wurden, nach den Richtlinien der FAO, die Bodentypen Arenosol, Regosol, Cambisol, Leptosol, Kastanozem und Chernozem ausgewiesen. Arenosole sind durch eine sandige Textur und das Fehlen einer ausgeprägten Bodenentwicklung gekennzeichnet. Des weiteren sind sie arm an Humus und können daher kaum landwirtschaftlich genutzt werden. Regosolen fehlt die Ausbildung klar strukturierter Bodenhorizonte. Bedingt wird dies insbesondere durch das trockene und kalte Klima. In der Korngrößenzusammensetzung dominiert das feinkörnige Substrat, welches häufig alluvialen Ursprungs ist. Cambisole sind in erster Linie durch das Fehlen einer humosen Schicht, gelöster Eisen- und Aluminiumoxide und Salze gekennzeichnet. Unter Cambisolen werden jene Böden verstanden, deren Veränderung in Farbe, Textur und Struktur das Ergebnis von Verwitterungsprozessen ist. Leptosole sind für aride Hochgebirge typische Böden ohne erkennbare Bodenentwicklungsprozesse und eine Ausbildung verschiedener Horizonte. Kastanozeme sind humusreiche Böden die unter ariden Bedingungen häufig als Weide- und Grünlandböden genutzt werden. Chernozeme nehmen nur einen sehr kleinen Anteil an der Fläche des Arbeitsgebietes ein. Sie zeichnen sich durch einen hohen Humus- und Tongehalt sowie ausreichend Feuchtigkeit aus und liegen im Ostpamir entlang der Flüsse (Bimüller, 2009; Encyclopædia Britannica, 2009).

2.6 Vegetation und Ökosysteme

2.6.1 Einführung in die Hochgebirgsvegetation

Die Vegetation im Hochgebirge wird maßgeblich durch die mit zunehmender Höhe auftretenden Phänomene sinkender Luft- und Bodentemperaturen, intensiverer Ein- und Ausstrahlung, verminderten Angebots an Sauerstoff, Wasser und CO₂ auf Grund des sinkenden Luftdrucks, erhöhten Anteils an ultravioletter Strahlung sowie einer verkürzten Vegetationsperiode und aktiven Einflusses verschiedener Herbivore bestimmt. Direkte Folgen sind Rückgänge in den Artenzahlen und in der Produktion der Organismen. Besonders in der nördlichen Hemisphäre verlängert sich dadurch der Winter wodurch sich die Periode der Photosynthese verkürzt. Der damit in Zusammenhang stehende geringe Stoffgewinn reicht ab bestimmten Höhen für die Entwicklung von Bäumen nicht mehr aus (Tischler, 1990).

Trotz bzw. gerade wegen der hohen Belastung der die Vegetation im Hochgebirge gegenüber steht, kommt es durch den Klimastress häufig zu einer „lebhaftere[n] Artneubildung“ (Richter, 2001:295). Kleinräumige Nischenausbildung im Hochgebirge führt dazu, dass auf lokaler Ebene der Austausch der Arten unter erleichterten Bedingungen stattfinden kann. Eine nach Richter allgemein anerkannte Regel besagt, dass in ariden bzw. semiariden Bereichen auf den trockeneren Standorten eine höhere Artenvielfalt vorzufinden ist, als in den feuchteren Bereichen, auf welchen die Dominanz einzelner Arten auftritt. Eine Prüfung dieser These für die untersuchte Vegetation im Ostpamir ist in Kapitel 6 dargelegt (Richter, 2001).

2.6.2 Anpassung der Pflanzen

Eine verkürzte Vegetationsperiode führt zu einer geringeren Samenproduktion und einer großen Keimlingssterblichkeit, da diese zu Beginn des Frosteinbruchs nicht selten noch nicht das kritische Stadium überwunden haben. Eine Möglichkeit der Anpassung daran ist die in Hochgebirgen ausgeprägte vegetative Vermehrung. Auch spezielle Anpassungsmechanismen, wie z.B. der Schutz der Erneuerungsknospe vor Temperaturwechseln im Inneren eines Horstes bei Horstgräsern wie z.B. *Kobresia royleana* können das Fortbestehen einer Art im Hochgebirge sichern. Ebenso ist bekannt, dass manche Pflanzen im Hochgebirge bei tieferen Temperaturen zur Photosynthese befähigt sind als in den Tälern. Eine verstärkte Kutikula sowie eine Anreicherung der Epidermis mit Flavonoiden und Carotinoiden kann vor dem Einfluss der erhöhten ultravioletten Strahlung Schutz bieten (Tischler, 1990). Ebenso gewähren kleine, skleromorphe und behaarte Blätter sowie die Ausbildung der Pflanze zu bodendeckenden Polstern Schutz vor der erhöhten UV-Strahlung. Gegen das Auftreten von Frosttrocknis und Trockenheit schützen sich die Pflanzen durch stützende Sklerenchymgewebe und Blattbehaarung (Richter, 2001).

2.6.3 Die Vegetation des Ostpamirs

Von den ca. 5500 Arten, welche in den ehemaligen sowjetischen zentralasiatischen Gebirgen gedeihen, sind 4700 Arten als reine Gebirgsarten einzustufen. Ein Vergleich des floristischen

Reichtums Zentralasiens nach Höhengliederung zeigt, dass zwischen niedrigen Bergen, Gebirgen mittlerer Höhenlage und Hochgebirgen ein Verhältnis im floristischen Reichtum von 26 : 54 : 20% vorzufinden ist. Mit dem Rückgang der Gletscher im Hochland des Ostpamirs entstand dort im Pleistozän ein winterliches Hoch. Diese Tatsache führte zur Entstehung der „tibetischen Rhythmik der atmosphärischen Niederschläge sowie zur Ausbreitung von Arten aus Tibet, dem Kunlun, dem Tarimbecken und der Mongolei in diese Hochländer und zum Zurücktreten der mediterranen Arten“ (Agachanjanc, 1980:50). Die Herausbildung der heutigen Flora fand daher erst in den letzten 20 000–10 000 Jahren, mit dem raschen Rückgang der Vergletscherung statt (Agachanjanc, 1980). Ein Profilquerschnitt der Vegetation des Pamir ist in Abbildung 2.13 zu sehen.

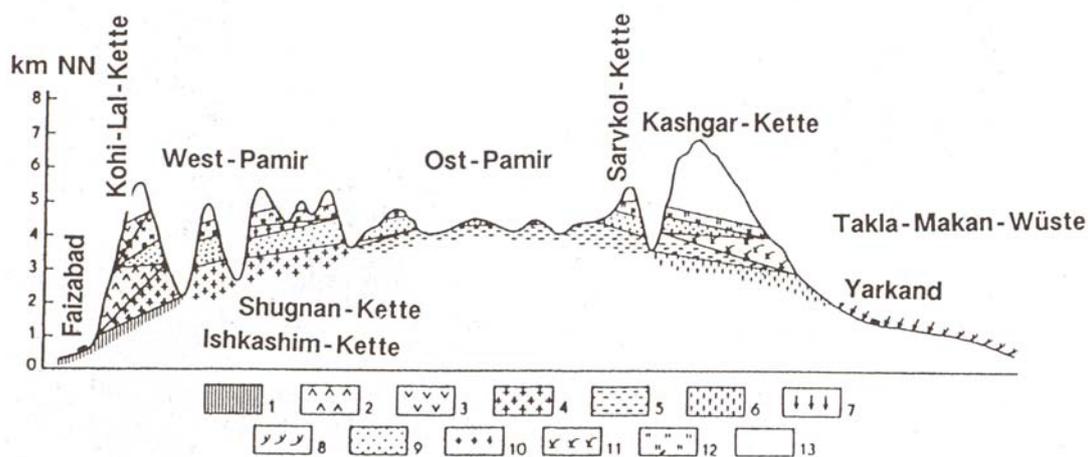


Abbildung 2.13: Profilquerschnitt durch die Vegetation des Pamir von W nach E
 1 = Ephemereum; 2 = Gehölgürtel; 3 = Wiesengürtel; 4 = Artemisia-Halbwüstengürtel; 5 = Artemisia-Ceratoides-Kryophytenwüste; 6 = Salsola-Ephedra-Wüstengürtel; 7 = Salsola-Wüste; 8 = Sandwüste; 9 = Gebirgsxerophytengürtel; 10 = Gebirgssteppengürtel; 11 = Gebirgshalbwüste; 12 = Kryophytenhöhengürtel; 13= Nivalstufe

Quelle: Agakhanjanc & Breckle, 2004:154

Ausgeprägte Höhenstufengrenzen der Vegetation sind im Pamir nicht vorzufinden. Es findet hingegen häufig eine Vermischung verschiedener Typen innerhalb einer Höhenlage statt. So treten beispielsweise durchaus Halbwüstenarten gemeinsam mit typischen Wiesensteppenvertretern auf. Auf Grund der ariden Bedingungen ist die Vegetationsdecke im Ostpamir meist sehr stark aufgelichtet und weist in vielen Teilen nur eine Gesamtdeckung von 5-20% auf. Abweichungen dieser Deckungswerte finden sich besonders auf den Quellrasen entlang der Flussläufe und Bäche sowie auf einigen alpinen Polstergrasmatten. Diese Polster sind eine weitere Anpassung der Pflanzen an das strenge Klima und die erschwerten Bedingungen im Hochgebirge. Harte Polster erweisen sich starken Winden gegenüber toleranter und haben, auf Grund der sogenannten Adventivwurzeln, die Fähigkeit, das bis zu sechsfache ihres Eigengewichts an Wasser in den Kissen zu speichern. Die Temperaturverhältnisse sind innerhalb der Polster ebenfalls relativ homogen. Das langsame Wachstum von nur wenigen mm/Jahr wird dadurch ausgeglichen, dass die meisten Pflanzen mit einem Alter von 100-300 Jahren sehr alt werden. Bis die Pflanzen zur Blüte gelangen, dauert es in der Regel sehr lange. So beträgt dieser Zeitraum bei *Stipa caucasica* beispielsweise 15 und bei *Krascheninnikovia ceratoides*

sogar 25 Jahre. Bei Vertretern der alpinen Wiesen hingegen kommt es auch vor, dass Pflanzen innerhalb eines Jahres zur Blüte kommen wie z.B. *Trisetum spicatum*. Während die Vertreter der Wüsten- und Steppenvegetation meist sehr alt werden, erreichen die typischen Vertreter der alpinen Wiesen nur ein durchschnittliches Alter von 10-15 Jahren. Die wohl ältesten Vertreter der Vegetation des Ostpamir findet man unter den Polsterpflanzen von welchen Exemplare mit einem Alter von bis zu 1000 Jahren gefunden wurden. Der typische Vertreter dieser Pflanzen ist der zu den Bleiwurzwegwachsen zählende *Acantholimon diapensioides*, welcher in Abbildung 2.14 zu sehen ist.



Abbildung 2.14: *Acantholimon diapensioides*

Ebenfalls typisch für die Vegetation des Ostpamirs ist die Toleranz der meisten Pflanzen sich über größere Höhendistanzen verbreiten zu können und nicht in der Anpassung an eine bestimmte Höhe gebunden zu sein. Die Ausbildung spezieller und ausgeprägter Wurzelsysteme führt dazu, dass sich in den Hochgebirgslagen häufig bis zu 95% der Biomasse unter der Oberfläche befinden. Dabei befindet sich der Hauptteil der Wurzeln in einer Tiefe von 0–40 cm. Dies hängt damit zusammen, dass dieser Teil der Bodenschicht in den Sommermonaten (einem Zeitraum von etwa drei Monaten) eine Temperatur von mehr als 10°C besitzt. Im Vergleich zur Ausprägung der Höhe des Sprosses kann das Wurzelsystem 25-45 mal größer, die Trockenmasse 10-12 mal größer und der durchwurzelte Raum im Vergleich zum eingenommenen Raum durch den Spross 500-800 mal so groß sein. Unter Abbildung 2.15 sind die Wurzelsysteme verschiedener Pamirpflanzen beispielhaft dargestellt.

Ein Blick auf die osmotischen Werte lässt erkennen, dass diese im allgemeinen etwas höher liegen als diejenigen vergleichbarer Pflanzen in den Alpen. Hohe Tagesschwankungen fallen hierbei besonders auf, da diese an trockenen Standorten 12-14 atm betragen. Diese hohen Schwankungen sind in erster Linie auf die hohe Einstrahlung zurückzuführen. In Tabelle 2.4 ist eine kurze Darstellung der wichtigsten osmotischen Werte aufgezeigt.

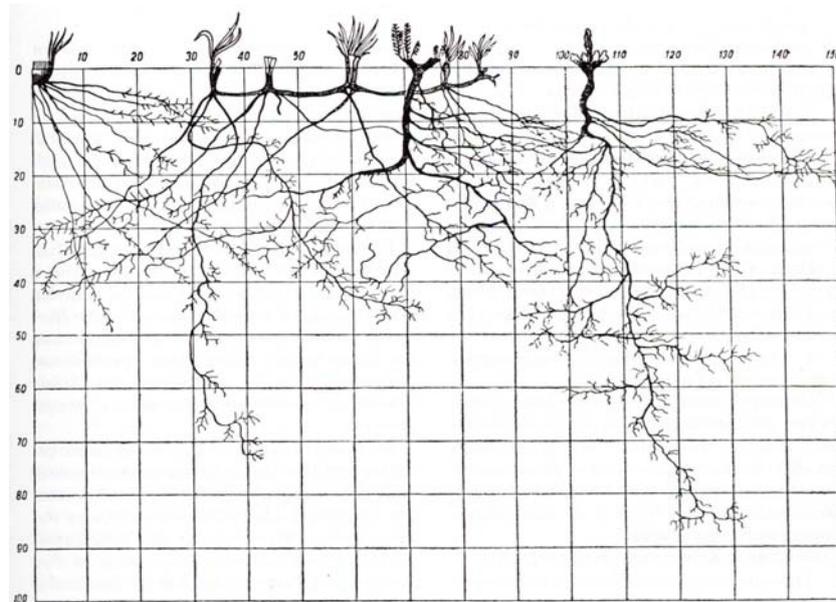


Abbildung 2.15: Wurzelsysteme wichtiger Vertreter des Ostpamir von links nach rechts: *Stipa orientalis*, *Carex duriusculiformis*, *Oxytropis chiliophylla*, *Artemisia rhodantha*

Quelle: Walter & Breckle, 1986:333

Tabelle 2.4: Osmotische Werte ausgewählter Pamirpflanzen
Quelle: nach Walter, 1968:820

Typ	osmotischer Bereich
Schneepflanzen	10,5–18,8
Wiesenpflanzen	12,3–22,9
Steppenpflanzen	16,2–22,2
alpine Wüstenarten	13,8–24,6
subalpine Wüstenarten	17,1–34,7

Sukkulente Arten wie z.B. *Christolea crassifolia* sind hydrostabil und verändern ihre osmotischen Werte kaum. Ein Vergleich osmotischer Werte der gleichen Art an verschiedenen Standorten lässt einen Zusammenhang mit der Bodenfeuchte erkennen. An trockenen Standorten weisen die einzelnen Vertreter die höchsten osmotischen Werte auf. Die Wasserabgaben der Pflanzen steigen mit zunehmender transpirierender Masse von Mai bis Juli/August an. Die Zunahme der Masse ist in Tabelle 2.5 dargestellt. Vergleichswerte des Wasserverbrauchs lassen sich aus Tabelle 2.6 ersehen. Die dabei untersuchten Einheiten wurden in den Wüsten von *Ceratoides*¹ auf Schuttböden, in der Steppe von *Artemisia* und *Stipa* auf lehmigen Böden und von krautigen Polstern auf steinigen Böden mit relativ günstigen Wasserverhältnissen entlang von Rinnen beschrieben. Trotz der relativ hohen Transpirationsintensität ist der Wasserverbrauch der einzelnen Vertreter so gering, dass er durch die Niederschläge gedeckt werden kann.

¹aktuelle Benennung: *Krascheninnikovia ceratoides*

Tabelle 2.5: Massenzunahme ausgewählter Pflanzen des Pamir
Quelle: nach Walter, 1968:822

Charakteristikum	Vertreter	Gewicht im Mai	Gewicht im August
Wüstenvegetation	<i>Eurotia ceratoides</i> ^a	2,5	50
	<i>Artemisia skorniakovii</i>	12	80
	<i>Stipa glareosa</i>	0,6	17
Sukkulente Arten	<i>Christolea crassifolia</i>	16	75
	<i>Zygophyllum rosovii</i>	2,5	45
Alpine Wiesenpflanzen	<i>Artemisia pamirica</i>	23	320
	<i>Potentilla multifida</i>	12	140

^aaktuelle Benennung: *Krascheninnikovia ceratoides*

Tabelle 2.6: Wasserverbrauch verschiedener Vegetationseinheiten
Quelle: nach Walter, 1986:428

Biogeozöne	Wüste	Steppe	Polsterpflanzen
Deckung der Pflanzen in %	5–18	15–20	15–30
Phytomasse in t*ha-1	0,14–0,54	0,09–0,48	0,4–0,89
Transpiration (g*gFG-1*h-1)	0,3–0,9	0,1–0,7	0,1–0,19
Wasserverbrauch in mm während der Vegetationszeit	8–40	6–87	25–446

Succow beschreibt, dass es auf Grund der Trockenheit und dem relativ ausgeglichenen Hochlandrelief im östlichen Pamir lediglich zur Ausbildung von Hochgebirgswüsten, welche man dann in subalpine (3500-4300m ü. NN) und alpine (4300-5000m ü. NN) untergliedern kann, kommt. Letzte Pflanzenvorkommen werden im Ostpamir bei 5500 m ü. NN beobachtet. Die alpine Wüste charakterisieren Arten wie *Tanacetum* und *Dracocephalum*, während in der subalpinen Wüste *Krascheninnikovia ceratoides* (Teresken) und verschiedene Wermutarten dominieren. Nach Berg (1959) gehört Teresken zu denjenigen Pflanzen, welche salzige Böden meiden. Eigene Erhebungen widersprechen dieser Aussage und werden in Kapitel 5 näher erläutert. Eine Darstellung der wichtigsten Pflanzenarten für die subalpinen und alpinen Wüsten nach Walter lässt sich aus Tabelle 2.7 ersehen (Walter & Breckle, 1986).

Mit der Formel von Stugren-Radulesco, modifiziert nach Smidt (1980), ergeben sich für den Ostpamir drei Höhenstufen der Vegetation:

$$K = \frac{a + b - 3c}{a + b - c} \quad (2.2)$$

- a = Anzahl der dominanten Arten in Stufe 1
- b = Anzahl der dominanten Arten in Stufe 2
- c = Anzahl der gemeinsamen dominanten Arten in Stufe 1 und 2

Tabelle 2.7: Vertreter der alpinen und subalpinen Wüsten

Quelle: nach Walter, 1968:815

Subalpine Wüsten (3860 m ü. NN)	Alpine Wüsten (4700 m ü. NN)
<i>Eurotia ceratoides</i> ^a	<i>Tanacetum xylorrhizum</i>
<i>Artemisia skorniakovii</i>	<i>Oxytropis poncinsii</i>
<i>Artemisia pamirica</i>	<i>Oxytropis immersa</i>
<i>Artemisia macrocephala</i>	<i>Richteria pyrethroides</i>
<i>Stipa glareosa</i> ^b	<i>Dracocephalum discolor</i>
<i>Zygophyllum rosovii</i>	<i>Hedysarum cephalotes</i>
<i>Christolea crassifolia</i>	<i>Smelovskia calycina</i>
<i>Oxytropis chilliophylla</i>	<i>Braya pamirica</i>
<i>Potentilla pamiroaltaica</i>	<i>Parrya excapa</i>
<i>Potentilla moorkroftii</i>	<i>Acantholimon hedinii</i>
<i>Astragalus borodini</i>	<i>Saussurea pamirica</i>
u.a.	u.a.

^aaktuelle Benennung: *Krascheninnikovia ceratoides*
^baktuelle Benennung: *Stipa caucasica* (subsp. *glareosa*)

Bei einem Wert von $K = -1$ ergibt sich eine vollständige Ähnlichkeit für die beiden betrachteten 100 m-Stufen, wohingegen ein Wert von $K = +1$ eine völlige Unähnlichkeit demonstrieren würde. Ein Problem dieses statistischen Verfahrens ist, dass nicht die Verbreitung von Pflanzengesellschaften, sondern die Verbreitung dominanter Arten untersucht wird. Ein einheitliches Stufenniveau im Hochgebirge anzunehmen, ist ebenfalls fraglich und birgt Ungenauigkeiten bei der vorgestellten Vorgehensweise (Agachanjanc, 1985b).

Von den ca. 700 vorkommenden Arten im Ostpamir sind mehr als 100 Arten an feuchte Standorte gebunden. Die oben beschriebenen Wüstenstandorte weisen selten ein Vorkommen von mehr als 5–7 verschiedenen Arten auf. Im Gegensatz zu Succow, welcher den Ostpamir lediglich in subalpine und alpine Wüsten untergliedert, weist Walter (1968) darauf hin, dass es an weniger trockenen Standorten durchaus zu einer Ausbildung von Steppen, an Wasserläufen zu Wiesen und an gut durchfeuchteten Stellen zu Schneebodenpflanzen kommen kann. Dies zeigt, dass man es im Pamir nicht mit einer typischen Wüstenflora zu tun hat. Neben alpinen Elementen gesellen sich insbesondere Elemente der Steppenflora zu den Gesellschaften im Ostpamir (Succow, 1989; Walter & Breckle, 1999).

Aride Züge der Phytozönogenese sind, nach Agachanjanc (1979), die Strukturierung bzw. Uneinheitlichkeit der Pflanzengesellschaften. Mikrostrukturen, Sonderbedingungen durch z.B. weidebedingte Gangeln und eine mosaikartige Anordnung der Vegetation sind die Folge. Eine Strukturierung der heterogenen Standorte ist das Ergebnis und verdeutlicht die Bedeutung des Minimumfaktors Niederschläge. Eine ebenfalls bedeutende Konsequenz der ariden Bedingungen stellt die fehlende Überwachsung adaptiver edaphischer Felder dar. Die durch intensive Denudationsprozesse gebildeten edaphischen Felder, wie beispielsweise nackte Felspartien, Moränen, Schutthalden oder gravitationsbedingte Erdfälle, können in ariden Gebirgen nicht durch Überwachsung kompensiert werden. In extrem ariden Gebirgen wie dem Ostpamir machen solche

Flächen einen Anteil von 50–80% aus. Eine Anpassung der Organismen an diese Felder führt zu einer Petrophysiation der Vegetation und damit zu einer Aktivierung der Gebirgsxerophyten.

Die an Fluss- und Bachauen gebundenen alpinen Wiesen werden durch Nacktriedarten (*Kobresia div. spec.*) dominiert. Assoziationsarten bilden Tragante (*Astragalus spec.*), Enziane (*Gentiana, Comastoma spec.*) und Edelweißarten (*Leontopodium spec.*). Die Artenzusammensetzungen dieser alpinen Wiesen drang im Pleistozän aus Zentralasien bis in die Alpen vor (Grabherr, 1997). Die Hauptökosystemtypen des tadschikischen Pamirs weisen Hurni et al.

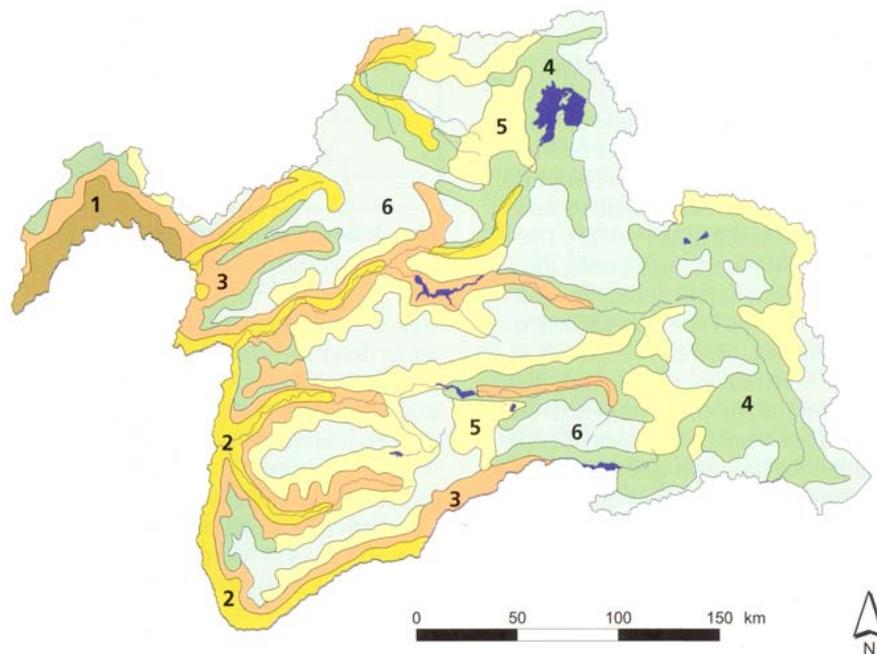


Abbildung 2.16: Haupt-Ökosystemtypen im Tadschikischen Pamir

- 1: Gebirgswälder mit Xerophyten
- 2: Gebirgswälder mit Mesophyten
- 3: Gebirgsnadelwälder
- 4: Hochgebirgsweiden- und steppen
- 5: Nivale Hochgebirgswüsten-Ökosysteme
- 6: Nivo-glaziale Ökosysteme im Hochgebirge

Quelle: Hurni et al., 2004:61

(2004) in Karte 2.16 aus. Der Ostpamir wird in diesem Fall nur durch die Ökosystemtypen Hochgebirgsweiden- und steppen, nivale Hochgebirgswüsten und nivo-glaziale Hochgebirgs-ökosysteme beschrieben. Die naturräumlichen Vorgaben bestimmen die Nutzung der einzelnen Regionen. So eignen sich nach Hurni die Ökosysteme des Ostpamirs lediglich für Viehzucht und können nicht zum Anbau von Nahrungsmittelpflanzen genutzt werden.

Ein Versuch nach Agakhanjanz und Breckle (2003) den Ostpamir in Höhenstufen zu gliedern weist dabei in Höhen von 3500–4200 m ü. NN eine Zone der Gebirgswüsten, in 4200–4700 m ü. NN eine Zone der Gebirgswergstrauchxerophyten und in 4700–5000 m ü. NN eine Zone der kältetoleranten Pflanzen aus. Der Bereich oberhalb von 5000 m ü. NN wird als Eis- und Schneegrenze festgesetzt.

Auf Grundlage projektinterner Datenerhebungen 2007 und 2008 lassen sich für den Ostpamir folgende sechs Vegetationseinheiten ausweisen: Quellrasen, Alpine Matten, Wüsten und Zwergstrauchwüsten, Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ *Krascheninnikovia* (ZPSK), Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ *Seriphidium* (ZPSS) und Felsvegetation.

Quellrasen befinden sich in den Talböden entlang der Flüsse und Bäche. Sie sind neben einer hohen Gesamtdeckung vor allem durch das Auftreten verschiedener Kobresia- und Carexarten gekennzeichnet. Die Artenvielfalt ist auf diesen Flächen meist relativ hoch. Insbesondere in der Nähe der großen Siedlungen werden die Quellrasen im Sommer als Heuflächen und in der kalten Jahreszeit als Winterweiden genutzt.

Die Alpenen Matten weisen einen geringeren Deckungsgrad und insbesondere bei der Betrachtung der Bodenparameter eine Abnahme der Feuchtigkeit und des Humusgehaltes auf. Sie werden durch das Auftreten bodendeckender Polster wie *Acantholimon diapensioides* oder *Oxytropis spec.* und Potentilla-Arten beschrieben. Gräser runden das Bild der Alpenen Matten ab. In der hier vorliegenden Arbeit stellen die Alpenen Matten einen Sonderfall für das Tal Pshart Gumbez Kol dar und lassen sich vereinzelt auch im Madian Gumbez Kol ausweisen.

Die Wüsten unterscheiden sich von den Zwergstrauchwüsten neben dem Vorhandensein des Zwergstrauches *Krascheninnikovia ceratoides* (Teresken) in erster Linie durch die zunehmende Gesamtdeckung. Ein genauer Grenzwert ist bisher nicht festgelegt. Neben typischen Vertretern der Wüstenvegetation wie z.B. *Christolea crassifolia* oder *Zygophyllum rosovii* tritt hier, wie bereits erwähnt, der Zwergstrauch Teresken (*Krascheninnikovia ceratoides*) in Erscheinung.

Für die Einteilung in die Kategorie der Polster-Zwergstrauchsteppen ist in erster Linie das Vorkommen des Polsters *Acantholimon diapensioides* entscheidend. Je nach Dominanz des vorhandenen Zwergstrauches wird diese dann dem *Krascheninnikovia* oder *Seriphidium* Typ zugeordnet. Die ZPSK kann in einigen Fällen noch weiter untergliedert und Leymusflächen ausgewiesen werden. Auf Grund der geringen Deckung, welche *Leymus* auch hier einnimmt, lässt sich daraus keine eigene Kategorie, sondern lediglich eine Subkategorie bilden.

Die geringdeckende Felsvegetation lässt sich durch Vertreter wie *Didymophysa fedtschenkoana*, *Nepeta longibracteata*, *Corydalis spec.* oder *Rhodiola pamiroalaica* beschreiben.

Eine Darstellung der wichtigsten Vertreter der Vegetation des Ostpamirs lässt sich aus Abbildung 2.17 ersehen.



Abbildung 2.17: (a) *Bistorta vivipara* (b) *Smelovskia calycina* (c) *Nepeta longibracteata* (d) *Krascheninnikovia ceratoides* (e) *Seriphidium leucotrichum* (f) *Saussurea salsa* (g) *Hedysarum minjanense* (h) *Ranunculus pulchellus* (i) *Stipa caucasica* subsp. *glareosa* (j) *Carex stenophylla* (k) *Kobresia royleana* (l) *Christolea crassifolia* (m) *Ephedra regeliana* (n) *Potentilla pamirica* (o) *Cheopodium foliosum* (p) *Xylanthemum pamiricum*

2.7 Bespieltäler

Im untersuchten Zeitraum Juli-September 2008 wurden neben Flächen im Chong Pamir, in der Gegend um Alichur und direkt bei Murghab drei Täler genauer untersucht. Diese kleinen Seitentäler wurden deutlich genauer aufgenommen und bieten Flächen, die bezüglich ihrer Umweltbedingungen Vergleichbarkeiten aufweisen. Die Täler Pshart Gumbez Kol und Madian Gumbez Kol befinden sich im Zentrum des Ostpamir in direkter Nähe zu Murghab. Bash Gumbez liegt im SW des Untersuchungsgebietes. Neben mikroklimatischen Unterschieden zeigen sich auch Differenzen im geologischen Ausgangsgestein und in der Vegetationsausprägung. In der Karte der Bodeneinteilung des Pamir sind die Untersuchungsflächen 2008 eingezeichnet (Abb. 2.12).

2.7.1 Bash Gumbez

Im Unterschied zu den anderen Tälern ist das in der südlichen Alichur Range befindliche Tal Bash Gumbez, zu sehen in Abbildung 2.18, deutlich westlicher gelegen. Es verläuft von SSW nach NNE. Im Gegensatz zu den kleinen und relativ engen Tälern Madian und Pshart Gumbez Kol findet sich hier ein breiter und offener Talboden vor. Der an diesem Talboden verlaufende Bach, gespeist durch Kargletscher, entwässert das Tal nach NNE. Geologisch unterscheidet sich Bash Gumbez von den Tälern der Pshart Range durch den Aufbau aus silikatischem Gestein. Die Weidefläche besteht aus 4900 ha wird durch ein westliches Seitental um 1400 ha ergänzt.



Abbildung 2.18: Bash Gumbez

Während die Zwergstrauch-Polster-Steppen in der Regel durch den Zwergstrauch *Krascheninikovia ceratoides* dominiert werden, lässt sich in Bash Gumbez eine Dominanz von *Seriphidium leucotrichum* feststellen.

Befragungen in den Jurten für den Zeitraum 2007–2009 ergaben für das Tal Schwankungen in den Viehzahlen. Die Zahl der Ziegen und Schafe variierte zwischen 585 und 780 Tieren, während die Zahl der Yaks zwischen 377 und 450 Tieren schwankte (fmM Kraudzun, 2009).

2.7.2 Madian Gumbez Kol

Das Madian Gumbez Kol ist ein Seitental des Madian Tals. Ein Ausschnitt des Untersuchungsgebiets ist in Abbildung 2.19 dargestellt. Das Tal liegt in nächster Nähe zu Murghab und hat eine Untersuchungsfläche von ca. 465 ha. Der Taleingang wurde nicht untersucht. Ausgangspunkt der Untersuchungen stellte die im Tal befindliche Jurte dar. Vom sich anschließenden Pshart Gumbez Kol wird das Madian Gumbez Kol durch einen Pass getrennt. Der höchste Gipfel hat eine Höhe von 5567 m ü. NN. Das Tal öffnet sich nach Süden. Die Auswertung der Daten der Projektklimastation, ausschnittsweise dargestellt unter 2.20 für den Zeitraum August 2007–Juni 2008, zeigen ein ähnliches Bild wie die der nachfolgend betrachteten Station im Pshart Gumbez Kol. Der Maximalwert der Temperatur wird im August erreicht.



Abbildung 2.19: Madian Gumbez Kol

Projektinterne Datenerhebungen ergaben für den Zeitraum 2007–2009 Schwankungen in der Zahl der Yaks zwischen 38 und 60 Tieren. Das Kleinvieh blieb mit 250 Tieren über die Jahre konstant. Im Gegensatz zu den anderen Tälern, in welchen mehrere Familien gemeinsam lebten, befand sich im Madian Gumbez Kol im Untersuchungsjahr 2008 lediglich eine Jurte (fmM Kraudzun, 2009).

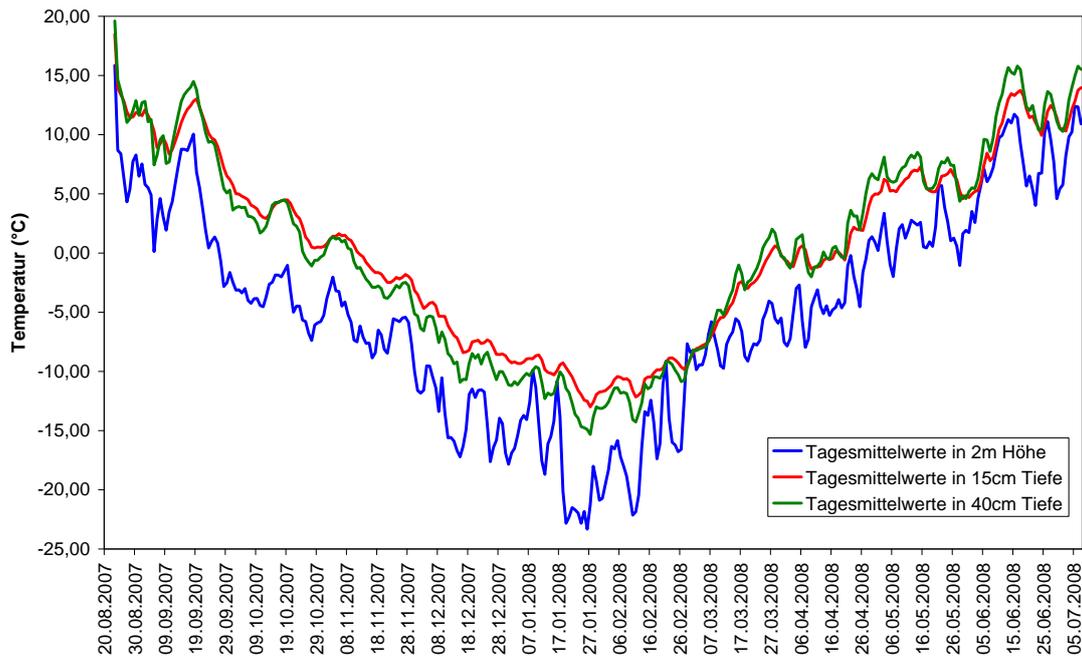


Abbildung 2.20: Temperaturdaten für die Klimastation Madian Gumbez Kol im Zeitraum August 2007–Juli 2008

2.7.3 Pshart Gumbez Kol

Das Pshart Gumbez Kol, zu sehen in Abbildung 2.21, liegt nordwestlich von Murghab in der Pshart Range. Das untersuchte Seitental ist Teil des größeren Pshart Tals und verläuft von SSE nach NNW. Die Gesamtfläche von etwa 920 ha wird zu ca. 8–10% von Quellrasen bedeckt. Diese 80 ha Quellrasen nehmen im Tälervergleich die wichtigste Stellung ein. Der Bach, welcher die Wasserversorgung des Tales sicherstellt, wird durch Kargletscher und Firneisfelder gespeist. Das Klimadiagramm für das Tal zeigt das Jahresmaximum der Temperatur Anfang August bei einem Wert von ca. 13°C. Im Zeitraum Januar–Februar 2008 sind die Minima der Temperatur mit Ausprägungen im Bereich -20°C– -25°C zu bemerken. In der Zeit von Anfang Oktober bis Ende April sind keine positiven Temperaturen zu verzeichnen. Ein Vergleich der beiden Klimastationen, zu sehen unter 2.20 und 2.22 zeigt, dass die Temperatur im Pshart in 2 m Höhe über der Temperatur unter der Oberfläche liegt. Das lässt vermuten, dass die Lage der Klimastation im Pshart windgeschützt ist oder sich andere mikroklimatische Einflüsse bemerkbar machen.

Kraudzun (fmM, 2009) konnte für den Zeitraum 2007–2008 ein Minimum von 63 und ein Maximum von 97 Yaks erheben. Die Zahl der Ziegen und Schafe schwankte zwischen 0 und 300 Tieren. Im Sommer 2008 lag eine Beweidung mit 97 Yaks ohne Kleinvieh vor. Eine Überweidung des Tales bei 300 Einheiten Kleinvieh wurde von den Hirten vor Ort selbstständig erkannt und auf Beweidung mit Kleinvieh wurde daher im Erhebungsjahr 2008 verzichtet.



Abbildung 2.21: Pshart Gumbaz Kol

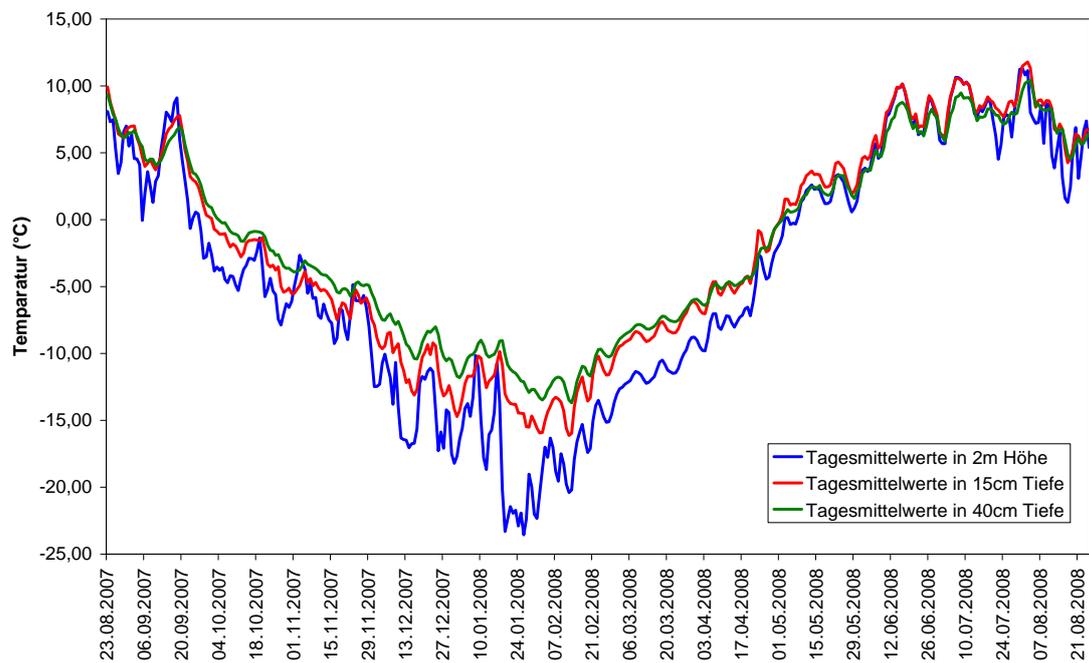


Abbildung 2.22: Temperaturdaten für die Klimastation Pshart Gumbaz Kol im Zeitraum Juli 2007–August 2008

2.8 Zusammenfassung

- Der Pamir liegt zwischen 37 und 39°N und 72 bis 75°E und erstreckt sich zu größten Teilen in Höhenbereichen zwischen 3500–6000 m ü. NN.
- Der tadschikische Pamir weist eine klare W-E-Differenzierung auf. Der Westen ist durch stark eingeschnittene Täler gekennzeichnet, während sich der Ostpamir als Hochplateau in 3500–5000 m Höhe erstreckt.
- Tadschikistan ist in fünf große Verwaltungseinheiten gegliedert von welchen eine die autonome Provinz Gorno-Badachschan (GBAO) mit Khorogh als Hauptstadt bildet.
- Für das Jahr 1891 lassen sich Spuren erster russischer Besetzung im GBAO datieren.
- Schon 1895 spielt der Ostpamir als Grenzregion eine wichtige Rolle. Großbritannien und Russland legen den Amu Darya als Grenze der beiden Großreiche fest.
- Unter sowjetischer Besetzung findet eine Umwandlung der Subsistenzbetriebe in Kolchosen und später zu Sowchosen statt. Große Zulieferungen aus dem Mutterland erleichtern das Leben im Ostpamir. Insbesondere hinsichtlich der Versorgung mit Energie- und Nahrungsmitteln entsteht eine starke Abhängigkeit.
- Mit der Unabhängigkeit im September 1991 kommt es zu ernsthaften Krisen und Versorgungsengpässen. Der in der Region Dushanbe entstehende Bürgerkrieg dauert bis 1997 an.
- Die heutige Energieversorgung wird zu 86,3% aus Brennholz und Dung sichergestellt und birgt daher ökologische Probleme.
- Wegen der hohen Arbeitslosigkeit, der schwierigen Versorgungslage und der zunehmenden Eingriffe des Präsidenten Rachmon in das Privatleben der Bevölkerung herrscht eine andauernde Unzufriedenheit.
- Auf Grund der Abschottung des Ostpamirs kommt es zu einer Isolation der feuchteren Luftmassen. Ein Vergleich zweier Klimadiagramme zeigt, dass der W-Pamir mit einem jährlichen Mittel von 235 mm deutlich begünstigter ist als der E-Pamir mit nur 72 mm Jahresniederschlag.
- Der Pamir entstand durch Kollision der Indischen Platte mit der Eurasischen Platte und unterliegt als sehr junges Gebirge noch immer Hebungs- und Senkungsvorgängen.
- Eine Einteilung des Pamir in vier große geologische Einheiten ist möglich. Dazu gehören die Nördliche Sedimentzone, die Nördliche Kristallinzone, die Südliche Sedimentzone und die Südliche Kristallinzone.
- Vergletscherung spielt für die Formgebung des Pamir eine wichtige Rolle. Daher kommt es beispielsweise zur Ausbildung von Rundhöckern. Nach Franz beträgt die rezent vergletscherte Fläche heute noch ca. 8000 km².
- Die Böden des Pamir werden in Hochgebirgssteppen-, Wüsten-Steppen-, Wüsten-, Solonchak dominierte Wüsten-, Quellrasen- und Sumpfböden sowie Fels, Blockschutt, Eis und Schnee eingeteilt.

- Innerhalb des Projektes wurden die Bodentypen Arenosol, Regosol, Cambisol, Leptosol und Chernozem nach den Richtlinien der FAO ausgewiesen.
- Im Ostpamir ist, mit Ausnahme kleiner Auwaldgebiete, kein Baumwuchs vorhanden.
- Verschiedene Anpassungsmechanismen der Pflanzen können an die Gegebenheiten im Hochgebirge beobachtet werden.
- Es kommt zu keinen ausgeprägten Höhenstufengrenzen.
- Viele Pflanzen verfügen über das Potential ausgeprägter Wurzelsysteme.
- Projektinterne Datenerhebungen lassen eine Ausweisung von sechs Vegetationseinheiten zu:
 1. Quellrasen
 2. Alpine Matten
 3. Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Krascheninnikovia ceratoides (ZPSK)
 4. Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Seriphidium leucotrichum (ZPSS)
 5. Wüsten- und Zwergstrauchwüsten
 6. Felsvegetation
- Beispialtal Bash Gumbez: Neben der deutlich westlicheren Lage fällt das Bash Gumbez besonders durch seine Größe mit Weideflächen von 4900 ha auf und wird zusätzlich durch ein Seitental von 1400 ha ergänzt.
- Beispialtal Madian Gumbez Kol: Das Madian Gumbez Kol liegt in nächster Nähe zu Murghab und hat eine Größe von nur 500 ha.
- Beispialtal Pshart Gumbez Kol: Das Pshart Gumbez Kol liegt nordwestlich von Murghab in der Pshart Range und ist durch einen Pass mit dem Madian Gumbez Kol verbunden. Von der Gesamtfläche von 900 ha werden ungefähr 10% durch Quellrasen bedeckt.

Kapitel 3

Theoretischer Hintergrund

3.1 Biodiversität - Begriffsdefinitionen und Vielfalt der Anwendung

3.1.1 Die traditionelle Definition

Der Begriff der Biodiversität ist spätestens seit der United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), 1992 in Rio de Janeiro, bekannt und wurde bei der Zielfestsetzung berücksichtigt. So wurde der Erhalt und Schutz der Biodiversität zu einem der wichtigsten Ziele der Konferenz von Rio erklärt. Nach der Convention on biological diversity (CBD) definiert sich Biodiversität als „the variability among living organisms from all sources including, inter alia, terrestrial, marine and other aquatic ecosystems and the ecological complexes of which they are part; this includes diversity within species, between species and of ecosystems“ (CBD 2001-2005, Article 2). Die grundlegende Formel zur Bestimmung der Biodiversität nach MacArthur

$$\text{Artenreichtum} = \frac{\text{Artenzahl}}{\text{Fläche}} \quad (3.1)$$

wurde in den nachfolgenden Jahren erweitert und Whittaker entwickelte erstmals ein diversifiziertes System zur Beschreibung der Biodiversität. Er unterteilte diese dabei in Alpha-, Beta- und Gamma-Diversität. Die Alpha- und Gamma-Diversität lassen sich als within habitat diversity beschreiben. Der Unterschied zwischen den beiden ist in erster Linie das Skalenniveau, auf welchem die jeweilige Artenzahl/Fläche betrachtet wird. Die Alpha-Diversität bildet einen Teil der Fläche der Gamma-Diversität. Das in Abbildung 3.1 dargestellte Beispiel macht den Unterschied zwischen den beiden Diversitätskoeffizienten noch einmal genauer deutlich. Während in Beet 1 die Artenzahl 3 beträgt und Beet 2 eine Artenzahl von 5 aufweisen kann (Alpha-Diversität), werden bei der Berechnung der Gamma-Diversität die Arten der in beiden Beeten vorkommenden Pflanzen gezählt, so dass dies eine Gamma-Diversität von 6 ergibt. Als Beta-Diversität wird hingegen ein Vergleichsmaß verstanden. Mit Hilfe verschiedener Indizes werden Ähnlichkeiten oder Unterschiede zwischen verschiedenen Flächen berechnet. Die Beta-Diversität ist dabei, im Unterschied zu den zuvor betrachteten Diversitätsmaßen, skalenunabhängig. Eine wichtige und häufig angewandte Formel zur Errechnung der Beta-Diversität bildet der Jaccard-Index:

$$SI_J = \frac{a}{a + b + c} \quad (3.2)$$

- a = gemeinsam vorkommende Arten
- b = Arten, die nur in Fläche 1 vorkommen
- c = Arten, die nur in Fläche 2 vorkommen

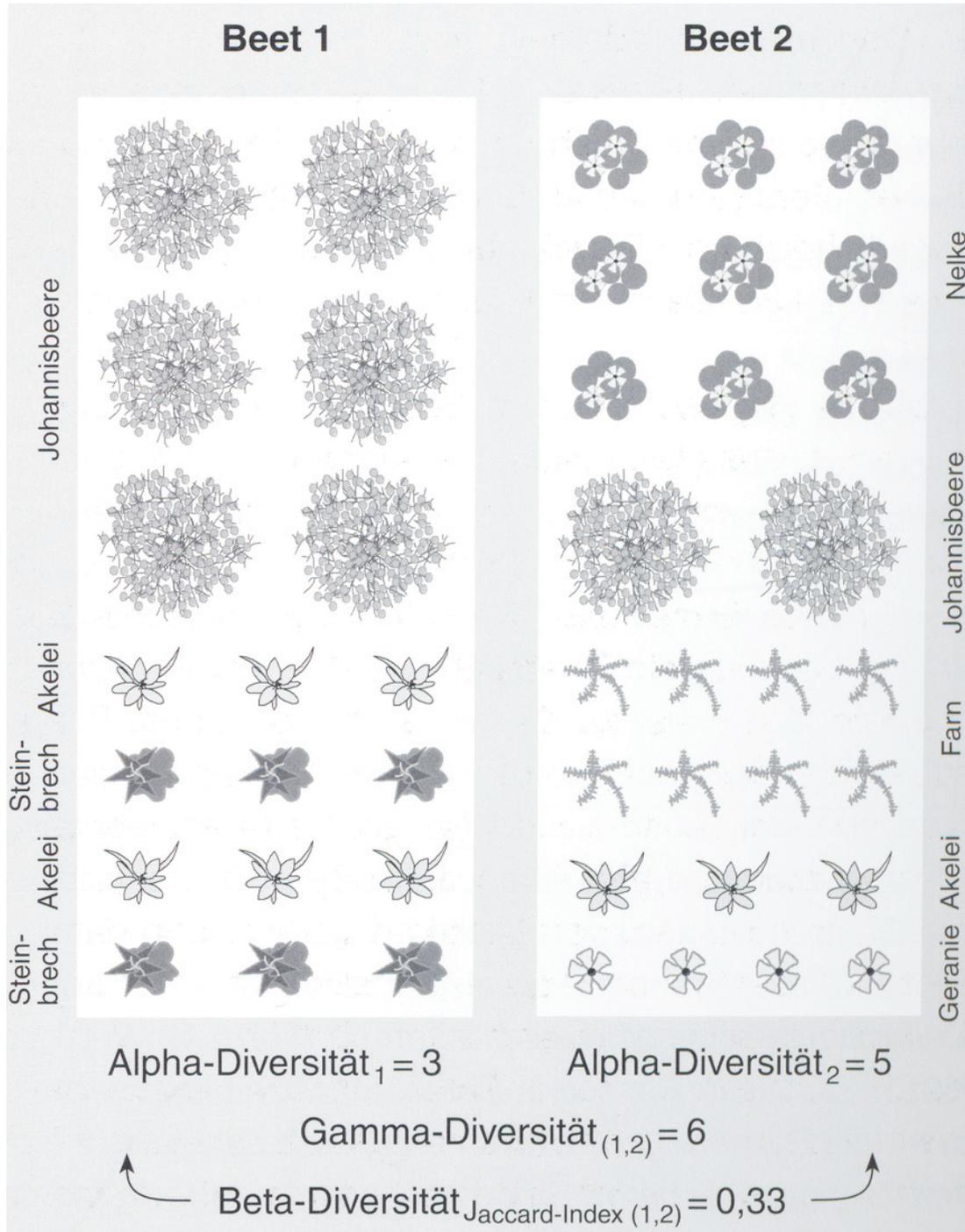


Abbildung 3.1: Vereinfachtes Modell für die Berechnung der verschiedenen Biodiversitätsindices
 Quelle: Grüniger, 2008:196

3.1 Biodiversität - Begriffsdefinitionen und Vielfalt der Anwendung

Im gezeigten Beispielfall würde sich für die Ähnlichkeit der beiden Beete ein Wert von 0,33 ergeben, was bedeuten würde, dass 33% der Arten in den beiden Flächen übereinstimmen. Einen komplexeren Überblick über die Unterschiede der verschiedenen Diversitätsmaße liefert Abbildung 3.2.

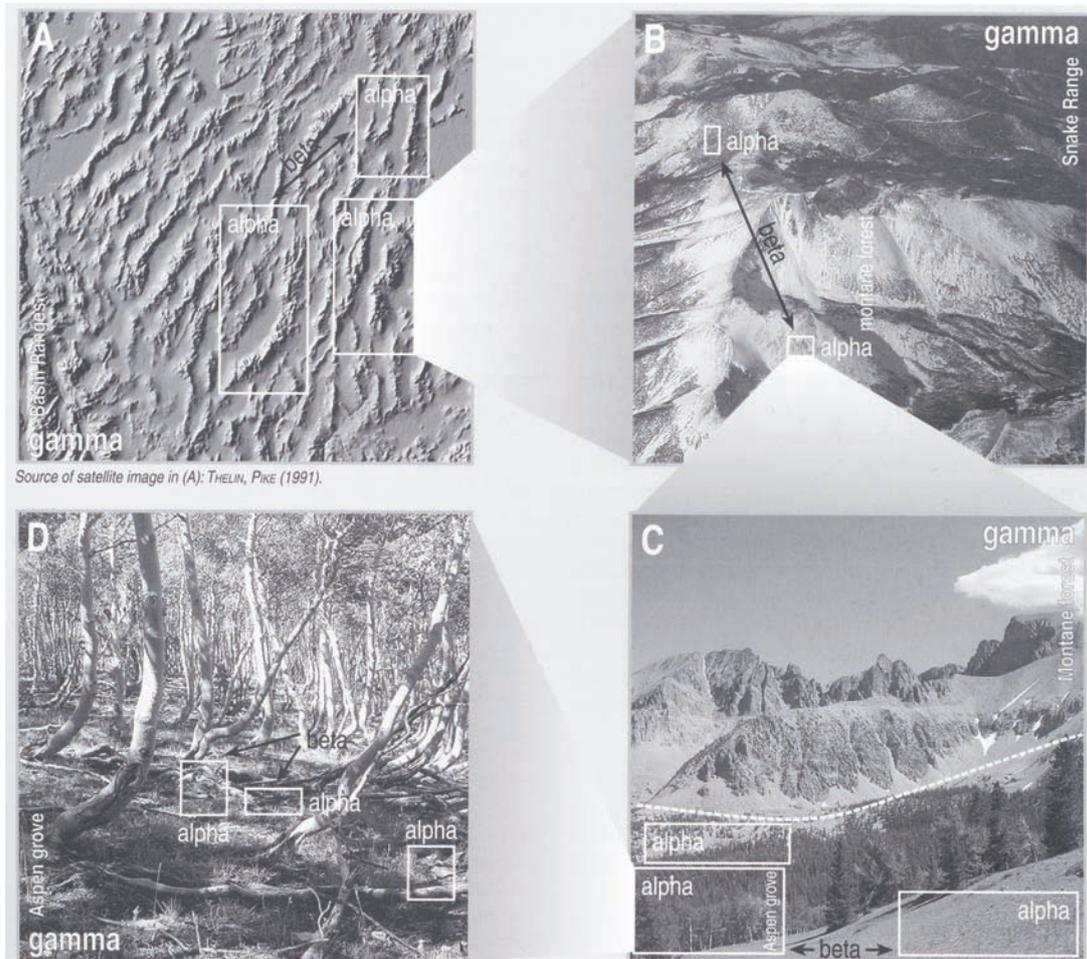


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der Alpha-, Beta-, und Gamma-Diversität am Beispiel der Snake Range (Ost-Nevada)

Quelle: Grüninger, 2005:21

Daten ohne direkten Flächenbezug können durch die Shannon-Entropie und die evenness nach Pielou beschrieben werden. Diese charakterisiert die Gleichmäßigkeit der Verteilung von Arten im Bestand oder die Dominanz einzelner Ausprägungen (z.B. Lebensformen, Taxa). Eine Berechnung für den Shannon-Diversitätsindex oder auch genannt Shannon-Entropie, ist nachfolgend aufgezeigt:

$$H' = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad p_i = \frac{n_i}{N} \quad (3.3)$$

- H' = Diversität
- n = Gesamtartenzahl
- n_i = Gesamtdeckung (oder Individuenanzahl) der Art i
- N = Gesamtdeckung (oder Individuenanzahl) der Fläche

Die evenness kann wie folgt berechnet werden:

$$E = \frac{H'}{H_{max}} \cdot 100 \quad H_{max} = \ln n \quad (3.4)$$

$$E = \text{evenness}$$
$$H_{max} = \text{maximale Diversität}$$

Niedrige evenness-Werte implizieren die Dominanz einiger weniger Arten, wohingegen bei hohen Werten eine gleichmäßigere Streuung bzw. ein Rückgang in der Dominanz einzelner Arten angenommen werden kann (Grüniger, 2005; Grüniger, 2008). Nischendifferenzierung spielt bezüglich des Artenreichtums eine wichtige Voraussetzung. Klein strukturierte Bereiche, welche reich an Habitaten sind, weisen daher eine höhere Artenvielfalt auf. Klimatische Bereiche, die eine besondere Anpassung der Organismen voraussetzen, sind in der Regel artenärmer. Dem zu Folge finden sich in den außertropischen Gebirgen meist eher weniger Arten, da eine besondere Anpassung der Organismen an die erschwerten Lebensbedingungen nötig ist.

3.1.2 Der Begriff der Biodiversität im Wandel der Zeit

Die traditionelle, und bisher beschriebene Form, der Biodiversitätsforschung bezieht lediglich die Artenzahlen der Organismen mit ein. Dieser Ansatz allein wird dem Biodiversitätsbegriff allerdings nicht gerecht, weshalb sich in den letzten Jahren eine erweiterte Betrachtung etabliert hat. Die unter 3.3 dargestellte Abbildung zeigt die verschiedenen Dimensionen der Biodiversität, dargestellt als Organisationsebenen und deren nötige Betrachtung über die Ebenen Raum und Zeit.

Zu den räumlichen Eigenschaften der Biodiversität zählen die Muster der Verbreitungen von Individuen, Arten, Gattungen, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen. Abhängig sind die sich dabei ergebenden Muster neben der natürlich bedingten Standortvielfalt auch von der anthropogen geschaffenen Nutzung und Nutzungsvielfalt. Hinsichtlich der strukturellen Ausgestaltung von Organismen kann es ebenso zu vielfältigen Erscheinungsformen kommen, die unter dem Begriff der strukturellen Biodiversität zusammengefasst sind. Dazu zählen z.B. veränderte Wuchsformen von Zwergsträuchern mit zunehmender Höhenlage.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Faktoren haben Beierkuhnlein (1999) den Biodiversitätsbegriff neu definiert: „Biodiversität ist ein Ausdruck für die primäre, sekundäre oder tertiäre Vielfalt biotischer Objekte aller Organisationsebenen in einem konkreten oder abstrakten, räumlichen oder zeitlichen Bezugsraum“ (Schulze et al., 2002:679). In Abbildung 3.4 werden die von Beierkuhnlein ausgewiesenen Grundformen der Biodiversität vorgestellt. Bei der primären Diversität handelt es sich um die Variabilität biotischer Einheiten, was der Beta-Diversität entspricht.

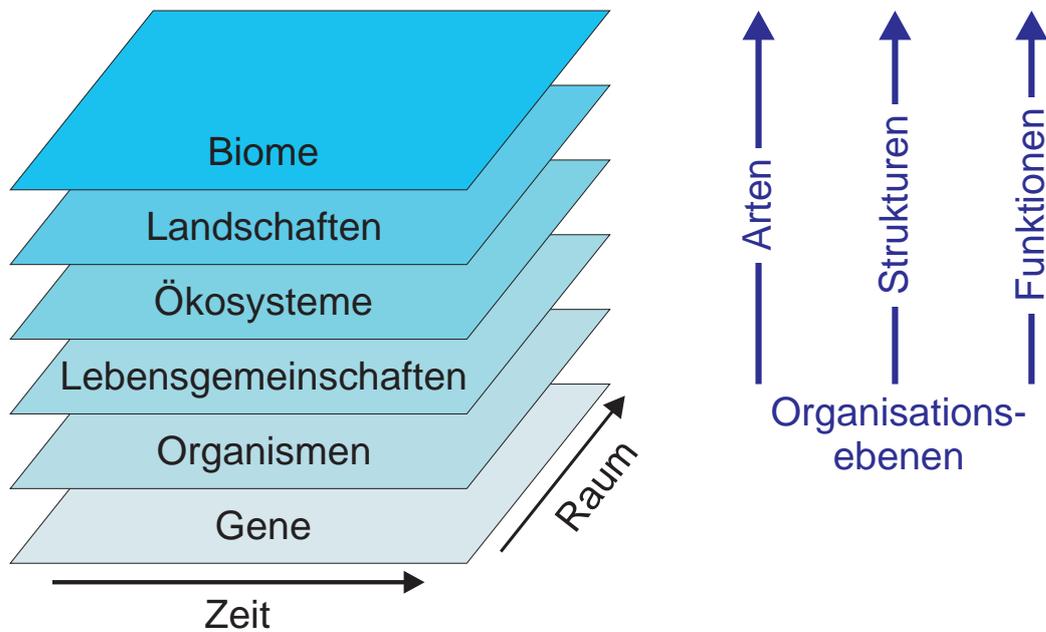


Abbildung 3.3: Organisationsebenen räumlicher und zeitlicher Biodiversitätseigenschaften
Quelle: nach Schulze et al., 2002:676

In einem zeitlichen Bezug gesehen ist die primäre Diversität die Phase des turnover. Die Anzahl der verschiedenen Einheiten wird durch die sekundäre Diversität beschrieben und entspricht der Alpha- und Gamma-Diversität. Die tertiäre Diversität setzt sich mit der Vielfalt der Wechselbeziehungen zwischen den unterschiedlichen Einheiten auseinander. Der Zusammenhang zwischen der Artenvielfalt und der Funktionalität von Ökosystemen ist häufig Gegenstand reger Diskussion. Einige, für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit, bedeutende Thesen sollen im Folgenden kurz genannt und in Kapitel 6 in Zusammenhang mit den eigenen Ergebnissen gebracht und diskutiert werden (Schulze et al., 2002):

- diversity stability-Hypothese
Bei einem Artverlust trägt jede Art zu einem Verlust der Ökosystemfunktion bei.
- key species-Hypothese
Nimmt die Artenzahl ab, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass eine der wegfallenden Arten eine Schlüsselart ist. Davon ausgehend, dass diese Arten von höherer Bedeutung für das Ökosystem sind als andere Arten, kann es durch den Wegfall zum Zusammenbruch des Ökosystems kommen.
- insurance-Hypothese
Unter stabilen Bedingungen sind nur wenige Arten für die Funktion eines Ökosystems nötig. Treten plötzliche Veränderungen ein, können bisher zweitrangige Arten einspringen, um das System unter veränderten Bedingungen weiterzuführen.
- redundant species-Hypothese
Die meisten Arten eines Ökosystems sind unwichtig für den Erhalt dieses Systems, solange diejenigen, welche an den funktionellen Prozessen beteiligt sind, erhalten bleiben. Ist dies der Fall, kann das Ökosystem bis zu einem Minimum verarmen und dennoch aufrecht erhalten werden.

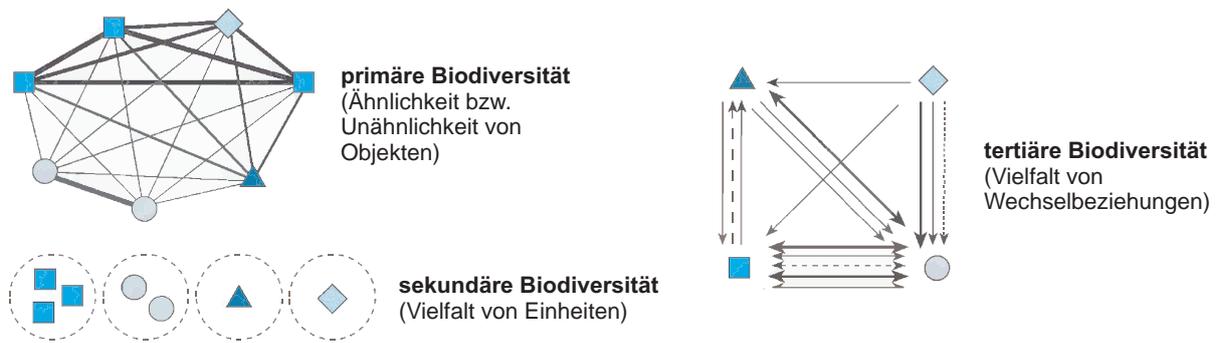


Abbildung 3.4: Schematische Darstellung der drei Grundformen der Biodiversität nach Beierkuhnlein (1999)

Quelle: Schulze et al., 2002:680

3.2 Störungen - zu vernachlässigender Parameter oder steuernde Größe der Vegetation?

Der Begriff der Störung wird vielfach zur Beschreibung von Einflüssen von außen auf das Ökosystem bezeichnet. Darunter zu verstehen sind „alle Ereignisse, die den kontinuierlichen Stoffumsatz plötzlich in unerwarteter Richtung ändern, wobei es auf der Ökosystemebene wichtig ist, ob dem System Ressourcen verloren gehen oder nur innerhalb des Systems nicht weitergeleitet bzw. umverteilt werden“ (Schulze et al., 2002:495).

„Störungen der individuellen Pflanze-Umwelt-Beziehungen tragen für den Vegetationsbestand somit sehr wesentlich bei, die Konkurrenzdynamik auf intermediärem Niveau zu halten. Artenvielfalt im Bestand vermindert durch differenzierte Ressourcennutzung in erheblichem Ausmaß den interspezifischen Konkurrenzdruck“ (Frey & Lössch, 2004:259). Es ist Teil aller Arten von Ökosystemen, dass Störungen Lücken hervorrufen. Diese neuen Nischen können durch andere Arten besiedelt werden, da der Konkurrenzdruck in der Anfangsphase einer neuen Lücke noch relativ niedrig ist. Die Besiedlung der Lücken kann dabei nach zwei unterschiedlichen Mustern erfolgen: Sind alle Arten in ihrer Besiedlungsschnelligkeit und ihrer Konkurrenztoleranz ähnlich ausgeprägt, so werden diejenigen, welche die ersten Besiedlungen vorgenommen haben als Sieger hervorgehoben. Diese Art der Kontrolle wird auch „founders controlled“ oder Gründerspezien kontrolliert genannt. Die zweite Theorie besagt, dass in Ökosystemen, in welchen eine Art schneller und in höherer Anzahl vertreten ist als die konkurrierenden Arten, sich diese durchsetzen wird und die Gesellschaften daher als Dominanz kontrolliert bezeichnet werden (Townsend, 2008).

3.2.1 Beweidung als Störung

Eine Veränderung in der Zusammensetzung der Vegetation wird besonders durch die Beweidung hervorgerufen. Durch Fraß werden teilweise selektiv Arten entnommen. Sofern es nicht zu einer Anpassung an den Beweidungsdruck kommt, kann dies zu einer Vernichtung von Arten führen. Indirekte Störungen der Beweidung sind neben Tritt, welcher eine Verdichtung des

Wurzelraumes sowie die Freilegung der Bodenoberfläche zur Folge haben kann, ebenso die Umverteilung von Ressourcen durch Ablagerung von Fäkalien (Schulze et al., 2002).

3.2.2 Die intermediate disturbance-Hypothese

Nach Huston besagt die intermediate disturbance hypothesis (IDH), dass sich bei mittleren Störungen die höchste Artenvielfalt entwickelt (Schulze et al., 2002). Roxburgh et al. (2004) spezifizieren die intermediate disturbance hypothesis durch die Aussage, dass darunter nur die Prozesse und Mechanismen verstanden werden sollen, welche zu einer langfristigen und stabilen Koexistenz von Arten führen. Sie darf nicht als bloßer Mechanismus der Koexistenz verstanden werden, sondern es muss angenommen werden, dass die IDH verschiedene Mechanismen die zur Koexistenz von Arten führen können, unter sich vereint.

Neben der Intensität spielt auch die Frequenz der Störungen eine Rolle. Wie in Abbildung 3.5 zu sehen, ist der gemittelte Artenreichtum auf dem Niveau einer mittleren Frequenz am höchsten. Häufige Störungen hingegen führen zu einer Reduzierung der Artenvielfalt. Selten gestörte Flächen werden zwar nicht die maximale Artendiversität hervorbringen, liegen jedoch über den deutlich gestörten Bereichen.

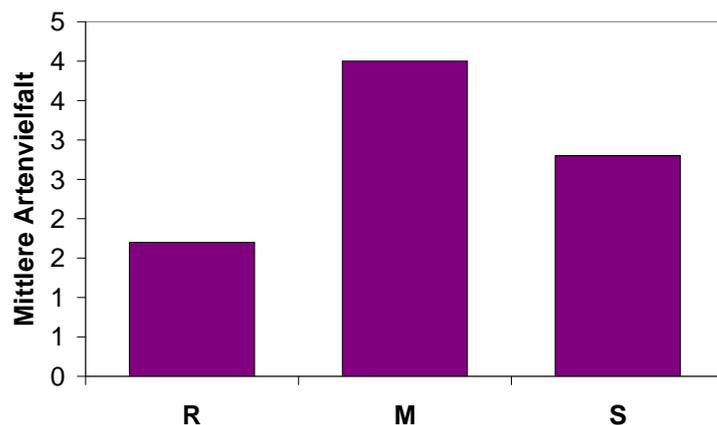


Abbildung 3.5: Auswirkungen der Frequenz von Störungen auf die Artenvielfalt
 R: regelmäßig gestört
 M: mittlere Häufigkeit
 S: seltene Störungen

Quelle: bearbeitet nach Townsend et al., 2008:339

3.3 Equilibrium vs. non-equilibrium Ökosystem

Bereits in der Antike fand das Modell des Ökosystems im Gleichgewicht, im equilibrium, Zuspriech. Spätere Vertreter wie Malthus und Darwin haben die Idee geprägt und in ihrer Entwicklung vorangetrieben. Mit Etablierung der Systemtheorie in der Ökologie bekam das Equilibriummodell im 20. Jahrhundert neue Bedeutung zugesprochen, weshalb heute zahlreiche Begrifflichkeiten und Definitionen bestehen.

Die Vielfältigkeit der Begriffe führt zum Zwang einer genauen Definition der eigenen Verwendung. Die häufigst verwendeten Termini in der Literatur sind equilibrium, non-equilibrium und disequilibrium. Im Unterschied zum Begriff non-equilibrium, welcher ein System, welches sich nicht im Gleichgewichtszustand befindet erklärt, beschreibt der Begriff disequilibrium ein

System der Abkehr vom Equilibriumszustand. Da es schwer fällt zu sagen, ob sich ein System im Übergang befindet, später evtl. in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt oder ob vorher überhaupt ein Equilibriumszustand vorlag, wird im Folgenden der Begriff disequilibrium ausgeblendet und auf die Einteilung in equilibrium und non-equilibrium Ökosysteme fokussiert (Baker, 2000).

Nach Wiens (1984) gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten den Zustand des equilibrium zu definieren: Zum einen nach der Stabilität oder Beständigkeit eines Systems und zum anderen durch die Fähigkeit eines Systems nach einer Störung in den Ausgangszustand zurückzukehren. Das Spektrum der Stadien der Systemzustände ist dabei sehr variabel. Die meisten Ökosysteme lassen sich nicht genau als equilibrium oder non-equilibrium einordnen, sondern befinden sich, wie in Abbildung 3.6, in einem Zustand dazwischen. Die wichtigsten Charakteristika der zwei Extrempositionen sind ebenfalls in der Abbildung zu sehen. In Anlehnung an diese Position soll im späteren Verlauf der Arbeit geprüft werden, welcher Zustand für die untersuchten Gebiete im Ostpamir vorliegt.



Abbildung 3.6: Fließender Übergang eines Ökosystems vom equilibrium- in den non-equilibrium-Zustand

Quelle: bearbeitet nach Baker, 2000:10

3.4 Weidenutzung im Ostpamir

Aktuell steigende Bevölkerungszahlen, auch in den Hochgebirgsregionen Zentralasiens, sind verbunden mit einem höheren Druck auf die eng begrenzten Naturressourcen. Diese Tatsache sowie das, im allgemeinen als „Himalaya-Dilemma“ beschriebene, Phänomen des steigenden Tourismus und der damit verbundenen wirtschaftlichen Einnahmen und ökologischen Probleme in den Hochgebirgsregionen, führten dazu, dass insbesondere in jüngster Forschung ein Fokus darauf gelegt wird, ob die aktuelle menschliche Nutzung der Gebirgsregionen ökologisch wie ökonomisch sinnvoll erscheint (Kreutzmann, 2008).

Eine Einteilung der Landoberfläche der Erde in die Bereiche der Ökumene, der Sub- oder Semiökumene und der Anökumene hat dazu geführt, dass insbesondere in der Hochgebirgsforschung die Übergangsbereiche der Sub- oder Semiökumene im Zeitalter der Ausdehnung menschlicher

Einflussgebiete von Bedeutung sind. Dabei werden diejenigen Bereiche, die sich der menschlichen Nutzung und Besiedelung entziehen als Anökumene oder unerschlossene Gebiete bezeichnet, wohingegen Bereiche dauerhafter Besiedelung als Ökumene eingestuft werden. Die Übergangsbereiche, welche zumeist durch eine naturräumliche Benachteiligung, schwere Erreichbarkeit, Lage abseits wirtschaftlicher Ballungszentren sowie unsichere landwirtschaftliche Bedingungen bei erhöhtem Arbeitseinsatz gekennzeichnet sind, werden im Ostpamir durch die Nutzung turksprachiger Nomaden dominiert. Diese, für das Leben im Hochgebirge charakteristischen Phänomene, beschreiben eine ausgesprochene Vertikalität der Prozesse. Die traditionelle Nutzung an der Höhen- wie auch Trockengrenze erfolgt dabei fast ausschließlich durch kirgisische Nomaden mit teilweise bis zu 300 km² großen Weidegründen. Iranisch- bzw. turksprechende Nomaden haben diese Weidegründe mit dem Begriff Pamir belegt. Namensgebend sind dabei sieben große Pamire (vier davon in Tadschikistan) sowie eine Anzahl kleinerer Hochweidegründe (Kreutzmann, 1995).

Kreutzmann (2003b) unterscheidet bei der Nutzung des Pamirs zwischen den Formen Nomadismus und Kombinierte Hochgebirgsviehzucht. Der Nomadismus setzt dabei voraus, dass ein großes Potential an räumlicher Mobilität zur Verfügung steht. Im Sommer ziehen die Familien mit den Herden in die höheren Lagen und im Winter wird versucht das Vieh durch Wanderung in die Täler zu ernähren. Im Sommer suchen die Familien mit großen Teilen ihres Hausrat die jailoo, Sommerweidegründe im Hochland, auf. Meist kommt es zur Besiedlung eines Hochtals von mehreren Familien, die oft durch verwandtschaftliche Verhältnisse miteinander verbunden sind. Die Wahl der Weidegründe ist häufig traditionell verankert, so dass nur geringe Variationen entstehen. Als typische Wohnstätte werden auf den jailoos die Jurten, traditionelle kirgisische Rundzelte wie in Abbildung 3.7 zu sehen, aufgebaut. Sie lassen sich relativ leicht transportieren, sind gut aufzubauen und durch den dicken Filz gut gegen die nächtliche Kälte isoliert (Kraudzun, 2005). Die kombinierte Hochgebirgsviehzucht hingegen sieht vor, dass



(a) Jurte (trad. kirgisisches Rundzelt)



(b) Leben in der Jurte

Abbildung 3.7: Traditionell kirgisische Lebensform in den Sommermonaten

die Tiere in den Sommermonaten zwar ebenfalls auf hochgelegenen Flächen geweidet werden, jedoch wird hier von einem festen Haus für den Winter in tieferer Lage ausgegangen. Im Sommer wird der Wintersiedlungsplatz dazu genutzt, um Heu und Futter für den Winter bereitzustellen. Im Ostpamir finden beide Systeme Anwendung. Die traditionelle Aufteilung der Sommer- und Winterweideflächen ist in Karte 3.8 zu sehen. Die mit der Sowjetisierung

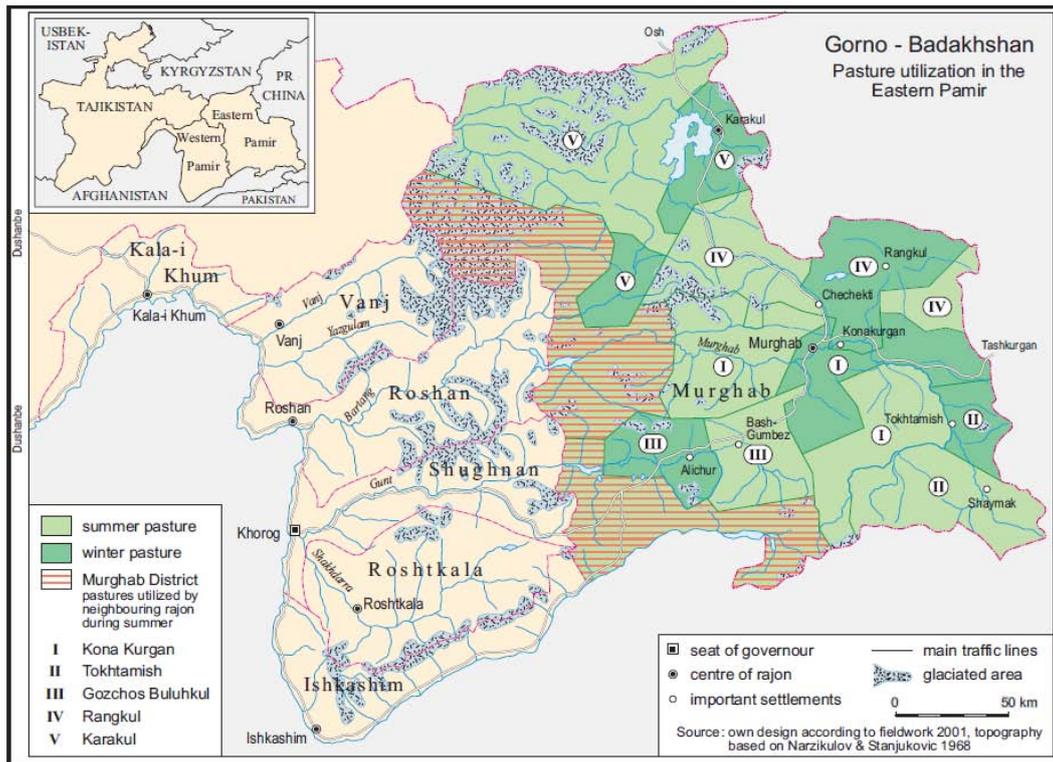


Abbildung 3.8: Weidenutzung im Ostpamir zu Sowjetzeiten

Quelle: Kreutzmann, 2008:168

verbundene Einführung von Staatsbetrieben und Sesshaftmachungsprogrammen führte zu einer veränderten Lebenssituation im Ostpamir. Regionalförderungsmaßnahmen im Bildungs- und Gesundheitssektor veränderten die Lebensbedingungen der meisten Bewohner des GBAO und hatten eine steigende Abhängigkeit vom russischen Geld- und Ressourcentopf zur Folge. Die Funktion der Pamirregion wurde neben der militärischen Strategieposition lediglich auf die Viehzucht reduziert. Für die kirgisischen Nomaden wurden feste Winterquartiere mit einer Basisinfrastruktur eingerichtet (Kreutzmann, 2007). Nach der Unabhängigkeit Tadschikistans wurde im Zeitraum von 1996-1999 der Besitz eigener Tiere wiedereingeführt. Die so genannte „farmer association“ regelt auf Jematebene offiziell die Weidenutzungsrechte (Kreutzmann, 2003a).

In der Weidewirtschaft haben seit Ende der Sowjetära starke Veränderungen stattgefunden. Teilweise kommt es zu einer verringerten Mobilität und einer Konzentration der Kleinviehhaltung in der Nähe größerer Siedlungen, was teilweise zu einer Nutzung der Winterweiden in den Sommermonaten führt. Die aufgenommenen Winterweiden des Untersuchungsgebiets befinden sich in erster Linie in den tieferen Lagen des Pshart und des Madian Tales. Insbesondere im Madian Tal können bereits jetzt Folgen der Übernutzung beobachtet werden. Die Produktivität der Flächen nimmt auf Grund der massiven Beweidung und Salzausblühungen an vielen Stellen ab. Ähnliche Muster sind auf Grund der sinkenden Mobilität in der Nähe größerer Ansiedlungen vermehrt vorzufinden. Doch nicht nur der Rückgang der Mobilität, auch der starke Anstieg der Bevölkerungszahlen stellt ein Problem für die Nutzungskapazitäten der Weiden dar. Die prognostizierte Tragfähigkeit der Region liegt bei 3000-5000 Menschen. Der aktuelle

Stand der Bevölkerung liegt mit 16 000 Menschen deutlich über der maximalen Tragfähigkeit. Folglich ist eine Versorgung rein aus subsistenzorientierter Viehwirtschaft auf Dauer nicht für die Menschen vor Ort möglich. Eine Etablierung neuer Arbeitsplätze muss die entstehende Lücke schließen wenn eine Unabhängigkeit von externen Hilfsmitteln erreicht werden soll.

3.5 Nutztiere - Lebensweise, Futterbedarf und Einfluss

3.5.1 Der Yak (*Bos grunniens*)

Der Yak, in Foto 3.9 zu sehen, ein asiatisches Wild- und Hausrind, wird als Wiederkäuer der Unterfamilie der Rinder zugeordnet. Asien als Urheimat der Wildrinder beherbergt heute noch die meisten Arten. In Europa und Nordamerika wurden die meisten Wildrinder bereits ausgerottet. Als ersten Zeitpunkt für die Domestikation der Wildyaks lässt sich 2500 v. Chr. in Tibet datieren. Erste Hinweise für die Bedeutung der Yaks in der Gesellschaft als Nahrungsmittel- und Felllieferant lassen sich zwischen 221 und 222 n. Chr. für Tibet belegen. So ist es dem Yak zu verdanken, dass es den Menschen möglich war, Höhenlagen bis zu 4500 m ü. NN zu besiedeln. Yakfleisch und -milch wurden zu einem wichtigen Grundnahrungsmittel für die Menschen in den asiatischen Hochgebirgen (Schley, 1996).



Abbildung 3.9: Yak (*Bos grunniens*)

Als typische Weideregionen für die Yaks in Zentralasien gelten Hochland- und Hochgebirgsregionen, deren niedrigster Punkt mit 1800 m ü. NN in der Mongolei ist. Das Gefälle der Mindesthöhe verläuft von Süden nach Norden. Die in diesem Gebiet geltende allgemeinen

Charakteristika von durch Yaks beweideten Gebieten, lassen sich durch kurze Vegetationsperioden, lange Winterruhezeiten, sehr kalte Winter und kühle Sommer beschreiben. Die von Yaks beweideten alpinen Grasmatten werden durch Riedgrasartige, insbesondere Kobresiaarten charakterisiert. Kobresiaarten weisen einen hohen Rohfaseranteil und eine hohe Rauheit auf. Bei Yaks besteht eine Verträglichkeit gegenüber dieser hier dominant auftretenden Futterpflanze. Zusätzlich sind Yaks auf Grund des erhöhten Erythrozytenanteils im Blut gut an die dünne Höhenluft angepasst und daher bestens als Weidetiere geeignet. Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Großregionen der Yakweidegebiete, wie in Karte 3.10 gezeigt, ausweisen, von welchen im Folgenden nur auf die der Pamiro-Tibetischen-Kältewüste eingegangen werden soll.



Abbildung 3.10: Karte der Großregionen der Yakweidegebiete mit Ausweisung der Mongolischen Hochgebirgsweiden, der Pamiro-Tibetischen Kältewüsten und der Monsum-Kältesteppen
Quelle: Kellner, 1996:121

Wie Eingangs schon in Kapitel 2.6 beschrieben, wird die Vegetation im Ostpamir insbesondere durch das Auftreten von Hartpolstern wie *Acantholimon diapensioides* und Zwergsträuchern wie Teresken oder *Artemisia* beschrieben. In den wenigen feuchteren Lagen, entlang der Flüsse und Bäche, dominieren *Kobresia*-Arten und *Poaceen*. Bei *Teresken* beträgt die Gesamtmasse im Mittel 700kg/ha, von denen den Yaks allerdings nur die Spitzen und Blätter zur Aufnahme zur Verfügung stehen. Dieser Teil ist weniger als ein Achtel der Gesamtmasse. So spielen insbesondere die feuchten, ertrag- und artenreichen Quellrasen für die Ernährung der Yaks eine wichtige Rolle. Bei der Aufnahme des Weidefutters können giftige Pflanzen in der Regel durch einen außerordentlich guten Geruchssinn und Dornenpflanzen durch einen stark ausgebildeten Tastsinn umgangen werden. Das Fressverhalten stellt dabei eine Kombination der Eigenschaften von Schafen und Rindern dar. Das Futter kann sehr bodennah abgefressen werden (Kellner, 1996).

Im Gegensatz zu Schafen und Ziegen sind die Strecken die die Yaks zurücklegen geringer. Die grasende Aktivität wird von Pausen für das Wiederkäuen unterbrochen. Der Umkreis in welchem sich die Yaks im Lauf des Tages bewegen ist begrenzt. Gegenüber der harten und mageren Beschaffenheit der vorhandenen Weidepflanzen ist der Yak relativ anspruchslos. Mit zunehmender Sättigung bzw. bei vorhandenem Angebot tritt eine Selektivierung der Futterpflanzen ein. Eigene Yakbeobachtungen im August 2008 konnten die beschriebene Futterselektion, ebenso wie die, den Yaks nachgesagte „Geländebeweglichkeit“ bestätigen. So stellen steile Hänge, Bäche und Felsgeröll kein Hindernis für die Beweglichkeit der Yaks im Gelände dar. Ein Ausschluss bestimmter Pflanzen auf Grund ihres Standortes ist daher nicht gegeben.

Die traditionelle Rollenverteilung weist den Frauen die Aufgabe des Melkens und der Weiterverarbeitung der Milch zu, während die Männer in erster Linie für den Herdentrieb und den Aufbau der Jurten sowie das Schlachten der Tiere zuständig sind. Neben den Eingangs schon beschriebenen Produkten wie Milch und Fell spielen die Yaks im kirgisischen Kontext auch im spirituellen Zusammenhang eine wichtige Rolle: Nach kirgisischer Tradition werden die Gräber nach der Beisetzung mit einem Yakschwanz verziert. Eine industrielle Weiterverarbeitung der Yakprodukte findet im Ostpamir kaum statt. Zur Haltbarmachung der Milch werden Ayran und qurut, für welchen Milch mit Salz so lange gekocht wird bis sie dickflüssig ist und welche anschließend auf hochliegenden Gestellen in der Sonne getrocknet wird, hergestellt. Fleisch wird in der Regel für den Eigenverzehr oder den Verkauf auf den lokalen Märkten produziert. Eine Weiterverarbeitung des Fleisches zu Wurst wurde in den letzten Jahren begonnen und eine steigende Nachfrage nach Yakwurst zeigt, dass diese Nische durchaus Potential hat. Auf Grund der logistischen Schwierigkeiten (Transport nach Khorog) wird die Produktion von Wurst wohl vorerst in den Händen einiger weniger Großherdenbesitzer verbleiben. Der unter anderem auch von deutscher Entwicklungszusammenarbeit geförderte Versuch, die Herstellung von Käse im Rayon Murghab zu etablieren, scheiterte an mangelnder Nachfrage und fehlender Überzeugungskraft des Projektes (BMZ, 2005; Kreuzmann, 2003b).

3.5.2 Kleinviehhaltung - Ziegen und Schafe

Neben der Haltung von Yaks ist die Beweidung der Flächen mit Ziegen und Schafen im Ostpamir zu beobachten. Während Yaks als Großvieh gewertet werden, fallen Ziegen und Schafe in die Kategorie Kleinvieh. Ihr Marktwert liegt bei ungefähr 1/5 von dem eines Yaks. Zu den dominant auftretenden Rassen gehören das Alai-Fettschwanz- bzw. Karakulschaf (*Ovis aries platyura*) und Angora- sowie Kashmereziegen. Insbesondere die Schafe sind gut an das rauhe Klima angepasst. Im Unterschied zu den Yaks die sich unter Tags selbstständig auf den Weiden bewegen, müssen die Kleinhorntiere immer von einem Hirten begleitet werden. Häufig halten sich Yakhirten einige Schafe und Ziegen für den Eigenbedarf. Nachts wird das Kleinvieh in Viehpferche nahe der Jurten (Abb. 3.11) getrieben (Domeisen, 2003; Kraudzun, 2005).

Im Gegensatz zu den Yaks, welche als grazer bezeichnet werden, sind insbesondere Ziegen die typischen browser. Das bedeutet, dass sie über den Tag verteilt längere Strecken zurücklegen und dabei selektiv Pflanzen abbeißen. Der Verbiss erfolgt dabei bodennah. Eine Präferenz alpiner Kräuter ist zu bemerken. Ihre Hufform ermöglicht es ihnen Pflanzen von der Seite anzugraben um an den inneren Teil von z.B. Polsterpflanzen zu gelangen, welcher oft feuchter ist als die äußeren Bereiche. Das hat zur Folge, dass auf stark beweideten Flächen häufig



Abbildung 3.11: Viehferch mit Ziegen und Schafen

die Wurzeln der Pflanzen, insbesondere der Zwergsträucher und Polster, freigelegt sind. Ein typisches Beispiel ist in Abbildung 3.12 zu sehen.

3.6 Der Einfluss des Langschwanzmurmeltiers (*Marmota caudata*)

Das Langschwanzmurmeltier (*M. caudata*), auf Grund seiner Fellfarbe auch unter dem Namen Rotes Murmeltier bekannt, gehört zur Familie der Sciuridae. Zu seinem Verbreitungsgebiet gehören die Alpinen Hochmatten Zentralasiens wie z.B. im Tien Shan, Hindukusch, Karakorum und in besonderem Maße im Ostpamir Tadschikistans. Dabei ist in der Regel eine Verbreitung auf Höhen von 1400 m bis 5500 m ü. NN vorzufinden (DeWeerd, 2003).

Die relativ großen Höhlen sind meist in einem Meter Tiefe angelegt und häufig mit Tunnel-systemen von 10–70 m Länge verbunden. Die Höhlen für den Winterschlaf, welcher in manchen Fällen bis zu neun Monaten dauern kann, sind meist noch tiefer angelegt. Murmeltiere folgen dem jährlichen Zyklus aus Winterschlaf, Fortpflanzung, Wachstum und dem Anlegen ausreichender Fettpolster. Auf Grund des langen Winterschlafs und des damit verbundenen Gewichtsverlustes müssen Murmeltiere in der relativ kurzen aktiven Phase Nahrung effizient und in großen Mengen aufnehmen. Bei *M. caudata* dauert die aktive Phase in der Regel von Ende April bis Ende September. In dieser Zeit müssen die Tiere Fettreserven in Höhe von mindestens 20% ihres Körpergewichts anlegen (Nowak, Paradiso, 1983).



Abbildung 3.12: Gestörter *Acantholimon diapensioides*

Da *M. caudata* einzeln oder in sozialen Gruppen von zwei bis elf Individuen leben, wobei sich die Mehrzahl der Tiere in Verbänden mit einer Größe von vier bis fünf Individuen befinden, ist gerade auf den Hochgebirgsflächen des Ostpamir, welche sich zumeist durch eine geringe Gesamtdeckung auszeichnen, die Belastung für die Vegetationsdichte durch die Tiere hoch. Während es in anderen Gebieten zu einer Primärproduktion von bis zu 800 g/m^2 kommen kann, sind im Ostpamir Erträge von unter 100 g/m^2 keine Seltenheit. Die körperliche Belastung, die durch eine erschwerte Aufnahme an Futter entstehen kann, führt insbesondere bei *M. caudata* zu einer höheren Wintersterblichkeit im Vergleich zu anderen *Marmota* Arten (Blumstein & Arnold, 1998; Blumstein & Foggin, 1996).

Studien zur Selektivität der Futterpflanzen bei *Marmota flaviventris* ergaben, dass Präferenzen bei der Nahrungsaufnahme vorliegen und die Murmeltiere ihre Bauten bevorzugt in Gebiete mit häufigem Vorkommen der bevorzugten Pflanzen legen. An späterer Stelle soll auf diese Tatsache in Bezug auf *M. caudata* genauer eingegangen und untersucht werden, ob sich bei dieser Art auch Präferenzen anhand der geschädigten Pflanzen erkennen lassen. Bei Auswahl und ausreichender Masse ist davon auszugehen, dass Murmeltiere zuerst die Blätter und Blüten der Pflanzen bevorzugen, bevor sie sich von den Stängeln der Pflanzen ernähren (Armitage, 1979).

Während der Nahrungserwerb meist zu keiner dauerhaften Veränderung des floristischen Bestandes der Pflanzengesellschaft führt, sondern lediglich das zahlenmäßige Auftreten der Futterpflanzen beeinflusst, kommt es durch die Murmeltierbauten zu irreversiblen Schäden an der Pflanzendecke. Die Anlage der Bauten gestaltet den Ökotyp häufig komplett um, so dass das aufgeworfene Bodenmaterial auf Grund der Tiefe der Bauten nicht selten Teile des Muttergesteins enthält. Durch die starken Schäden an der Vegetationsdecke kommt es selbst nach Tod

oder Umsiedlung des Murmeltiers oft nicht wieder zu einer Wiederherstellung der ursprünglichen Vegetationsmuster. Auf dem aufgeworfenen Schuttmaterial kommt es stellenweise zu einer progressiven Mikrosukzession. Eine Fläche mit mehreren Bauten ist unter Abbildung 3.13 zu sehen (Guriceva, 1985).



Abbildung 3.13: Auswirkung mehrerer Murmeltierbauten auf die Fläche

Für die Eigenschaften der Böden ist der Einfluss von *Marmota* besonders im ariden Hochgebirge nicht zu unterschätzen. Der fehlende kapillare Aufstieg gelöster Substanzen aus dem Grundwasserbereich wird teilweise durch den Auswurf der Murmeltiere ausgeglichen. Bodenuntersuchungen des Ostpamir haben gezeigt, dass es neben der Veränderung der gewachsenen Bodenprofile zu einer deutlichen Anreicherung von Salzen, Kalk und Gips im oberen Profil kommt, wenn die Zufuhr nicht von der Auswaschungsrate übertroffen wird. Des Weiteren verhindern die Murmeltiere in den Hochgebirgswüsten die Bildung von Krusten, so dass an diesen Stellen eine Ansiedlung von Zwergsträuchern wie z.B. *Krascheninnikovia ceratoides* möglich ist: Auf der anderen Seite kommt es durch Murmeltiere insbesondere an letzteren zu starker Schädigung. Die ausgeprägten Wurzeln der Zwergsträucher werden nicht selten von unten angefressen oder zur Polsterung der Bauten genutzt (Holtmeier, 2002).

3.7 Zusammenfassung

- Der Biodiversitätsbegriff unterscheidet zwischen Alpha-, Beta- und Gamma-Diversität. Unter Alpha- und Gamma-Diversität wird die Artenzahl pro Fläche verstanden, wobei das Skalenniveau ein anderes ist. Die Alpha-Diversität bildet nur einen Teil der Fläche der Gamma-Diversität ab. Die Beta-Diversität berechnet den Unterschied der Arten zwischen zwei Flächen.
- Beierkuhnlein hat 1999 den Begriff der Biodiversität neu definiert und stellt dabei die Bedeutung der unterschiedlichen Organisationsebenen für den Biodiversitätsbegriff heraus. Nach seiner Definition ergeben sich die drei Grundformen der primären, sekundären und tertiären Biodiversität.
- Als Störungen werden jene Prozesse verstanden, durch die sich der Stoffumsatz innerhalb des Systems unerwartet in eine andere Richtung ändert. Die durch Störungen entstehenden Lücken können neuen Arten Raum zur Besiedlung bieten.
- Fokussierte Störungen dieser Arbeit sind: Beweidung, Störungen durch Murmeltiere und Wühler sowie anthropogene Entnahme der Zwergsträucher.
- Die intermediate disturbance hypothesis besagt, dass sich bei einem mittleren Störniveau die höchste Artenzahl entwickelt.
- Der Zustand des System im equilibrium kann durch zwei Möglichkeiten definiert werden: Zum einen durch die Beständigkeit eines Systems und zum anderen durch die Fähigkeit eines Systems nach einer Störung in den Ausgangszustand zurückkehren zu können. Die meisten Ökosysteme befinden sich in einem Zustand zwischen equilibrium und non-equilibrium. Eine Darstellung der wichtigsten Charakteristika der zwei Zustände lässt sich aus Abbildung 3.6 ersehen.
- Die traditionelle Weidenutzung im Ostpamir erfolgt durch nomadische bzw. halbnomadische Kirgisen, die ihre Tiere im Sommer auf die jailoo, die hoch gelegenen Sommerweiden, treiben und sich im Winter in festen Behausungen in den Tälern nahe der Winterweiden niederlassen. Die Winterweiden werden im Sommer häufig dazu genutzt um Heuvorräte für den Winter anzulegen.
- Der aktuelle Bevölkerungsstand liegt deutlich über dem berechneten Tragfähigkeitspotential der Flächen im Ostpamir, weshalb es häufig, in Zusammenhang mit der sinkenden Mobilität, zu einer Übernutzung der Weiden nahe der Siedlungen kommt.
- Der Yak ist das traditionelle Nutztier in den Hochgebirgsregionen Zentralasiens. Neben des erhöhten Erythrozytenanteils im Blut, der ein Leben in der Höhe erleichtert, weisen Yaks eine hohe Verträglichkeit der hier, besonders auf den Quellrasenflächen dominant vertretenen Futterpflanze Kobresia, auf.
- Yaks gehören, im Gegensatz zu Ziegen, den grazern an.
- Der Yak wird vielfältig genutzt. Neben dem Fleisch spielt die Milch im Sommer eine große Rolle für die Ernährung der Menschen. Es erfolgt eine Weiterverarbeitung zu Butter und Ayran. Als einzige Methode der Haltbarmachung wird curut hergestellt.

- Neben Yaks werden Ziegen und Schafe gehalten. Besonders typisch ist das sogenannte Fettschwanzschaf. Die Kleinhorntiere legen am Tag oft sehr lange Strecken zurück und fressen dabei selektiv. Insbesondere Ziegen graben Pflanzen häufig an, um an die Wurzeln oder den feuchteren inneren Teil zu kommen.
- Im Pamir kommt das Langschwanzmurmeltier *Marmota caudata*, welches im Ostpamir sein größtes Verbreitungsgebiet hat, vor.
- Auf den aufgeschütteten Flächen eines Murmeltierbaus kommt es meist nicht wieder zu einer Herstellung der ursprünglichen Vegetation.
- Besonders im ariden Hochgebirge ist das Murmeltier für die Bodeneigenschaften von Bedeutung, da z.B. durch den Auswurf der Murmeltiere der fehlende kapillare Aufstieg gelöster Substanzen ausgeglichen werden kann.

Kapitel 4

Untersuchungsmethoden

4.1 Aufnahmemethoden auf den Flächen

4.1.1 Definition der Plotgrößen

Bei der Festlegung der Flächenverteilung wurde ein genestetes Probenahmedesign verwendet (Grüniger, 2005). Vorausgeschoben werden muss eine Klärung wichtiger Begriffe: In der Landschaftsökologie und auch in der Geographie werden die Begriffe Makro-, Meso- und Mikrofläche in der Regel in einem anderen Zusammenhang gebraucht als in der vorliegenden Arbeit. Der Begriff der Makrofläche steht dabei vereinfacht für ökosystemübergreifende Flächen, der Begriff Mesoflächen für vegetationsformationsübergreifende Aufnahmen und lediglich der Begriff der Mikroflächen steht für Vegetationsaufnahmen in einem kleinen Ausschnitt von letzterer. In dieser Arbeit werden die drei Begriffe lediglich nach dem in ihnen steckenden Größenbegriff, auf die drei Aufnahmegrößen übertragen, verwendet. Die Makroflächen wurden dabei auf $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ festgelegt. Dies hängt mit der räumlichen Auflösung der in einem anderen Teil des Projekts verwendeten Satellitenbilder zusammen. Innerhalb dieser Makroflächen wurden jeweils vier $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen auf Mesoebene gelegt. Auf wenigen Makroflächen wurde die Zahl der vier Mesoplots auf drei Mesoplots reduziert, wenn keine Veränderung innerhalb der Plots zu verzeichnen war. Die Flächengröße $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ wurde bereits für 2007 nach Chytrý und Otýpková (2003) festgelegt. Diese haben für Gras-, Heide- und Zwergstrauchflächen $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ als geeignete Plotgröße im europäischen Kontext festgelegt. Der Feldaufenthalt 2007 zeigte, dass mit 3–4 der Mesoplots eine Aufnahme nahezu aller vertretenen Arten der Makrofläche möglich waren. Die Größe hat sich daher als geeignet erwiesen und wurde für Vergleichbarkeitsstudien auch im Jahr 2008 übernommen. Eine Abschätzung der Aufnahmefläche mittels Artenzahl-Arealkurve würde vermutlich eine ähnliche Größe liefern. In zwei Beispieltälern wurden die Aufnahmen durch Mikroflächen von $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ ergänzt. Der Grund für die Beschränkung der Mikroflächen auf die Täler Bash Gumbez und Madian Gumbez Kol ist der zeitlich hohe Aufwand, der durch die Aufnahme der Mikroflächen entsteht. Somit wurden 2008 von Juli bis September 80 Makroflächen, 301 Mesoflächen und 261 Mikroflächen aufgenommen.

Die Ten-Point-Frame Aufnahmen, zur Messung der Biomasse, wurden mit $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ festgesetzt und innerhalb der Mesoplots nach dem Random-Sampling-Design aufgenommen. Die Absteckung einer solchen Fläche ist in Abbildung 4.1 zu sehen. Diese Art der Aufnahmemethode wurde optional lediglich in wenigen Flächen vorgenommen um die im Vorjahr aufgenommenen Daten zu ergänzen. Zur Eichung des Ten-Point-Frame wurden die untersuchten

Flächen nach der Beprobung teilweise geklippt und die dabei geerntete Biomasse im frischen und im getrockneten Zustand gewogen (Grüninger, 1999). Im Rahmen dieser Arbeit spielen die Ten-Point-Frame Daten keine Rolle, werden aber eventuell für nachfolgende Untersuchungen zur Analyse herangezogen bzw. innerhalb des Projektes von Kim Vanselow weiterverwendet.



Abbildung 4.1: Abgestecktes Quadrat für Ten-Point-Frame-Messung

4.1.2 Wahl der Flächen

Bei der Auswahl der $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ Flächen wurde auf Homotonität geachtet. Dabei steht Homotonität „als Maß der Einheitlichkeit von Vegetationsaufnahmen einer Pflanzengesellschaft“ (Dierschke, 1994:138). Homotonität wird in der allgemeinen Diskussion häufig mit dem Begriff der Homogenität gleichgesetzt, welche eigentlich die Regelmäßigkeit der Verteilung von Strukturelementen in einem Bestand beschreibt. Trotz der Auswahl homotoner bzw. homogener Flächen muss auf der kleinräumigeren Ebene mit der Ausbildung heterogener Vegetationsmosaik gerechnet werden. Neben der physiognomisch-strukturellen Homogenität eines Bestandes wurde besonders auf eine ökologische Homogenität Wert gelegt. Darunter fallen insbesondere Homogenität bezüglich des Kleinreliefs, die Berücksichtigung unterschiedlicher Expositions- und Höhenunterschiede sowie ein möglichst einheitliches Mikroklima. Während im Allgemeinen unter ökologischer Homogenität auch das Vermeiden von Störstellen für die ausgewählten Flächen berücksichtigt werden soll, wurde bei den Aufnahmen auf diesen Punkt bewusst verzichtet, da die Untersuchung von Störungsmustern Teil des Projekts ist (Dierschke, 1994).

Im Gelände wurde versucht die Makroflächen innerhalb der Täler so zu verteilen, dass mindestens eine Aufnahme im Talboden und eine an den jeweiligen Seitenhängen aufgenommen wurde. Die dadurch entstehenden U-Profile wurden, bei heterogenen Hängen oder Talböden, durch weitere Aufnahmen ergänzt. Soweit möglich wurde versucht die U-Profile gleichmäßig über die Täler zu verteilen.

Die Mesoplots wurden auf unterschiedliche Weise innerhalb der Makroflächen verteilt. Dabei wurden zwei der Flächen gezielt auf ersichtliche Störungsmuster wie z.B. Gangeln oder Murmeltierbauten gelegt, und die weiteren Flächen nach dem Random-Walk-Prinzip auf der Fläche verteilt. Durch das Splitten der vier Aufnahmen in zwei gezielte und zwei zufällige Aufnahmen wird versucht, den Nachteilen, welche durch die jeweiligen Verfahren entstehen, entgegen zu wirken. Das Hauptproblem der Zufallsstichproben, das seltene Typen nicht erfasst werden,

wird durch dieses Verfahren weitgehend verhindert. Bei rein subjektiven Aufnahmen würde die Gefahr einer subjektiven Verzerrung bestehen (Kratochwil & Schwabe, 2001).

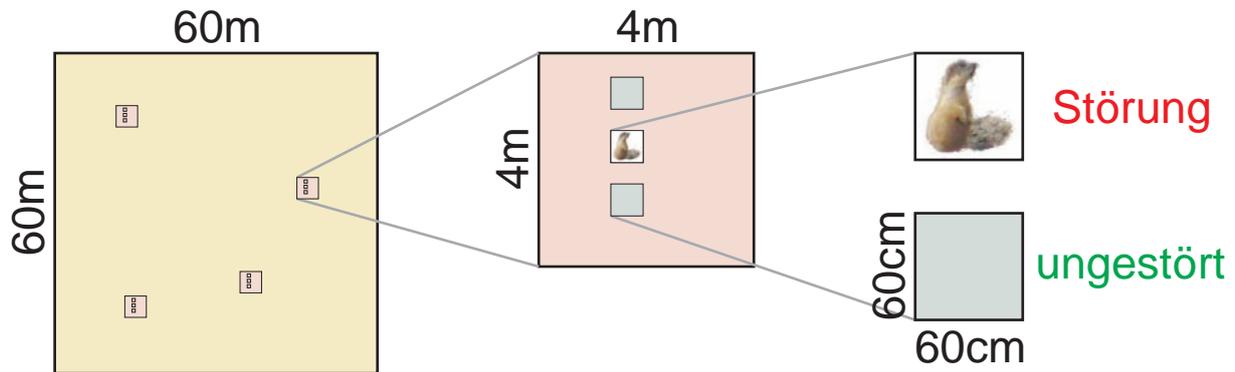


Abbildung 4.2: Aufnahmedesign der Flächen

Die Mikroflächen, welche insbesondere der Charakterisierung der Störungen dienen, wurden in erster Linie gezielt gewählt. Bei sehr homogenen Flächen erfolgte die Wahl der Mikroflächen nach einem randomisierten Verfahren. Bei der Platzierung der Flächen wurde versucht, eine der drei Mikroflächen direkt auf eine Störung zu legen und die beiden Weiteren von der Störung weg oder links und rechts von der gestörten Fläche auszurichten. In Abbildung 4.3 ist eine typische Aufnahme dreier Mikroflächen einer Mesofläche dargestellt. Abbildung 4.2 zeigt eine schematische Verteilung aller ineinander geschachtelten Plotgrößen.

4.1.3 Aufgenommene Umweltparameter

Die Umweltparameter wurden auf Maßstabsebene der 60 m × 60 m Fläche aufgenommen. Darunter fallen Angaben wie Ort, Datum, Uhrzeit, Höhe über NN, Witterung, Aufschluss, Hangneigung, Exposition, Wölbung, Reliefform, Nutzung, Bedeckungsgrad, Entfernung zur nächsten Jurte, Entfernung zum nächsten Gewässer.

Die Höhe über NN wurde mit GPS-Geräten MyPal A632N GPS Pocket PC der Firma ASUS aufgenommen. Trotz der Tatsache, dass die mit dem Gerät aufgenommenen Werte um etwa 20 m von denen der topographischen Karte abweichen, wird im Folgenden mit diesen Werten gearbeitet.

Die Exposition wurde nach dem Vorbild von Leyer & Wesche (2007) sowie McCune & Keon (2002) in die Variablen Südlichkeit und Westlichkeit mittels folgender Formeln umgerechnet:

$$\text{Südlichkeit} = -\sin \alpha \cdot \cos \theta \quad (4.1)$$

$$\text{Westlichkeit} = -\sin \alpha \cdot \sin \theta \quad (4.2)$$

α = Hangneigung

θ = Exposition in °Ost über Nord

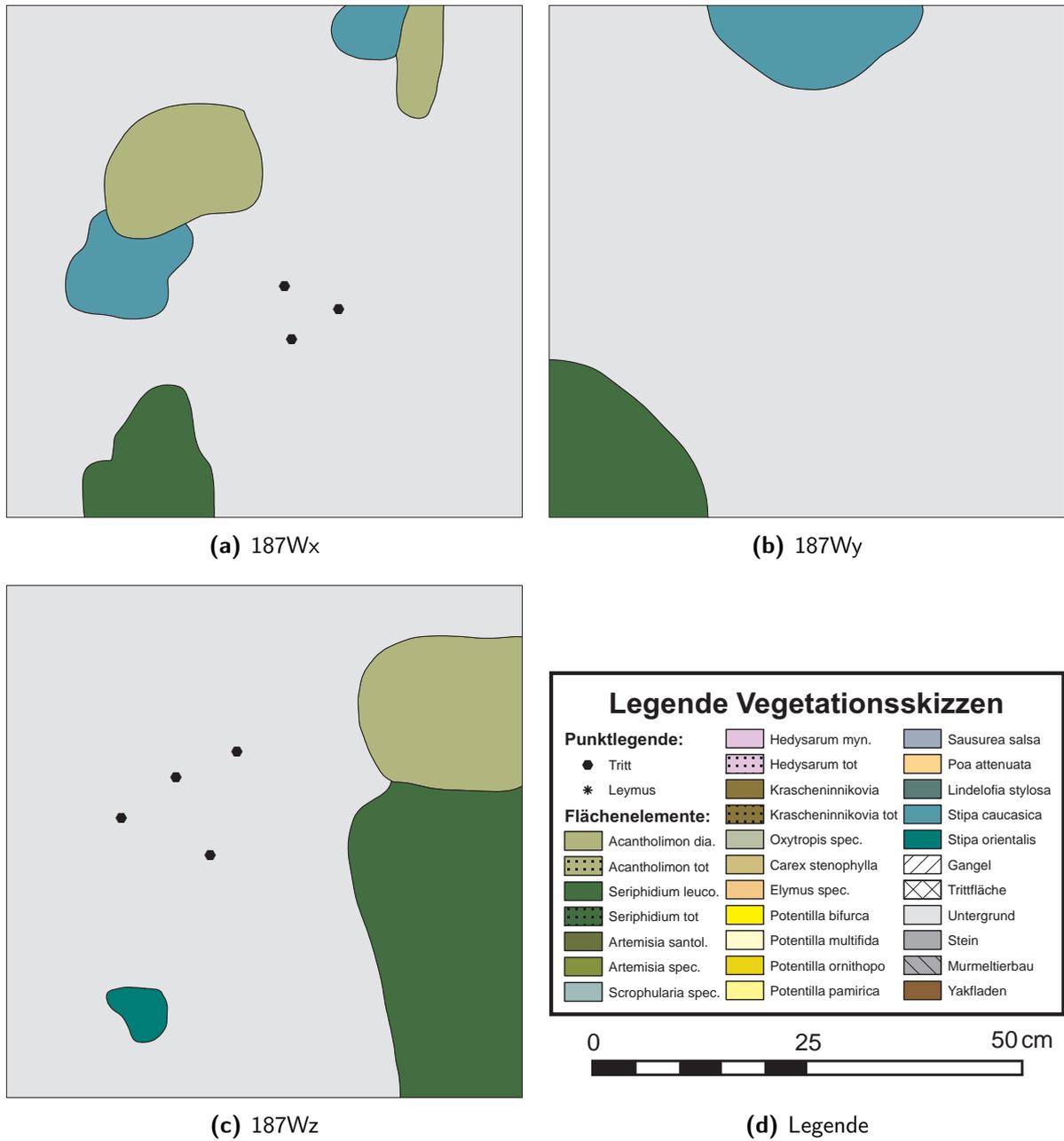


Abbildung 4.3: Mikroflächen der Aufnahme 187W

4.1.4 Daten zur Klassifikation der Vegetation

Bei den aufgenommenen Daten zur Klassifikation der Vegetation muss nach der Flächengröße unterschieden werden.

Schätzung der Gesamtdeckung

Auf allen Flächengrößen wurde die Gesamtdeckung für den jeweiligen Plot geschätzt. Die Deckungswerte wurden in fünf Prozent Schritten geschätzt. In einzelnen Fällen wurde im Bereich unter 15 % eine genauere Schätzung der Deckung vorgenommen. Dies war insbesondere bei den Mikroflächen der Fall.

Tabelle 4.1: Skala nach Braun-Blanquet
Quelle: nach Tremp, 2005:29

Artmächtigkeit	Deckung (%)	Abundanz	Transformation
r	—	selten	0,1
+	<1	spärlich	0,2
1	1–5	reichlich	2,5
2	5–25	zahlreich	15
3	25–50	—	37,5
4	50–75	—	62,5
5	75–100	—	87,5

Beschreibung der einzelnen Pflanzen

Die Bestimmung der Pflanzen im Gelände erfolgte, nach einer Einführung durch Kim Vanselow nach dem Bestimmungsschlüssel der eFloras, unter Anwendung der Flora of China und der Flora of Pakistan (eFloras, 2009). Nicht zu bestimmende Exemplare wurden eingesammelt, herbarisiert und in Deutschland durch den Spezialisten Bernhard Dickoré nachbestimmt. Trotz zahlreicher Belegexemplare ließen sich nicht alle Pflanzen bis auf Artebene bestimmen. Eine Bestimmung der Familie war jedoch in den meisten Fällen möglich. Bei nicht bestimmbareren Fällen wurde im Folgenden mit dem im Gelände vergebenen Arbeitsnamen weitergearbeitet.

Auf den Makroflächen wurden die einzelnen Pflanzen lediglich bestimmt und ohne Deckungswerte aufgezeichnet. So die Dominanz einer einzelnen Art erkennbar war, wurde dies kenntlich gemacht.

Auf den Meso- und Mikroflächen wurde die Deckung der einzelnen Arten nach einer modifizierten Braun-Blanquet-Skala geschätzt. Diese „gestattet eine relativ rasche Aufnahme von Beständen und eine systematische Verarbeitung der erfassten Informationen zu abstrakten Vegetationseinheiten, wenngleich hierbei subjektive Einschätzungen nicht ganz auszuschließen sind“ (Kreeb,1983:59). Zur Validierung der Ergebnisse wurden die Schätzungen der Deckungswerte von zwei unabhängigen Personen vorgenommen und anschließend aufeinander

abgestimmt. Die unabhängige Schätzung durch zwei Personen reduziert dabei den Unsicherheitsfaktor der Über- oder Unterschätzung der Deckungswerte. Auf Grund der Gegebenheiten vor Ort wurde die ursprüngliche Braun-Blanquet-Skala, welche in Tabelle 4.1 dargestellt ist, modifiziert (Tresp, 2005). Da viele Deckungswerte im Bereich von 10–15% liegen, war es sinnvoll, hier eine Trennung einzuführen. Daher wurden die Klassen 1 und 2 der ursprünglichen Skala gleichmäßig aufgeteilt, so dass Klasse 1 von 1–12,5% reicht, während Klasse 2 den Bereich von 12,5–25% abdeckt. Die für die Aufnahmen gültige modifizierte Tabelle und die daraus resultierenden Veränderungen in den Transformationswerten sind in Tabelle 4.2 zu sehen.

Tabelle 4.2: Modifizierte Braun-Blanquet-Skala

Artmächtigkeit	Deckung (%)	Transformation
r	—	0,1
+	< 1	0,2
1	1–12,5	6,25
2	12,5–25	18,75
3	25–50	37,5
4	50–75	62,75
5	75–100	87,5

4.1.5 Daten zur Klassifikation der Störungen

Wie Eingangs bereits erwähnt, werden als Störungen in dieser Arbeit jene Einflüsse bezeichnet, welche zu einer Schädigung der Pflanze und damit zu einer veränderten Zusammensetzung in der Artengemeinschaft führen können. Neben natürlichen Störungen wurde insbesondere der Einfluss anthropogener Störungen in dieser Arbeit berücksichtigt. Dazu zählen neben der Entnahme von Pflanzen zur Energiegewinnung insbesondere diejenigen, welche in Zusammenhang mit der Beweidung der einzelnen Flächen stehen.

Aufnahme der Beweidungsintensität

Beweidung wird in der eigentlichen Form für eine Nutzung von Flächen mit Nutztieren durch den Menschen gebraucht (Leser, 2001). In dieser Arbeit wird unter Beweidung zwar in erster Linie die Nutzung der Flächen mit Yaks, Ziegen und Schafen verstanden, jedoch auch der Verbiss von Wildtieren wie z.B. Murmeltieren mit berücksichtigt. Dies erfolgt insbesondere aus dem Grund, dass beispielsweise Verbisspuren eines Fettschwanzschafes von dem eines Marco Polo Schafes im Gelände nicht unterschieden werden konnten und der Einfluss des Verbisses die gleiche Bedeutung für die Fläche und die darauf wachsenden Pflanzen hat - sei er nun anthropogen oder natürlich herbeigeführt.

Die Beweidungsintensität wurde auf allen Flächen jeder Größe sowie auf den Linientransekten aufgenommen. Charakterisiert wird die Beweidungsintensität durch die drei Variablen Tritt, Verbiss und Exkrememente. Eine Messung dieser drei Kategorien findet mit ordinalskalierten

Werten von null bis fünf statt, wobei null als Minimum und fünf als Maximum angenommen werden soll. Die in Tabelle 4.3 dargestellten Kategorien beschreiben die den Feldaufnahmen zugrunde liegende Einteilungstechnik. Eine spätere Addition dieser drei Variablenwerte ergibt die Beweidungsintensität für die jeweilige Fläche in Werten von 0–15.

Tabelle 4.3: Tabelle zur Klassifikation der Trittstörung

Tritt	
0	kein Tritt erkennbar
1	einzelne Trittspuren bzw. Trittelemente am Rand der Fläche identifizierbar
2	einzelne Trittabdrücke oder eine kleine Gangel
3	größere zusammenhängende Trittstellen oder mehrere kleine Gangeln
4	stark zertretene Flächen oder das Vorkommen großer Gangeln
5	mehr als 2/3 der gesamten Fläche weisen starke Trittspuren auf

Tabelle 4.4: Tabelle zur Klassifikation der Verbissstörung

Verbiss	
0	kein Verbiss erkennbar
1	fehlen einzelner Blätter an den Pflanzen
2	Verbiss an Einzelexemplaren zu bemerken
3	Verbiss der präferierten Futterpflanzen stark fortgeschritten
4	Verbiss an nahezu allen Pflanzen zu beobachten
5	abfressen der Pflanzen bis zum Boden; „Rasenmäherfressen“

Zu beachten ist dabei allerdings, dass Exkrementen, im Gegensatz zu Tritt und Verbiss, nicht als Störung betrachtet werden dürfen, da durch diese kein Biomasseverlust stattfindet. Deshalb wird zum Vergleich eine Kategorie Beweidungsintensität ohne Exkrementen eingeführt, die sich nur aus den Variablen Tritt und Verbiss zusammensetzt und ähnliche Ergebnisse liefert wie die Kategorie Beweidungsintensität, worauf in Kapitel genauer eingegangen wird. Exkrementen können dennoch als Indikator für die Beweidungsintensität herangezogen werden, da sie sich sehr gut messen lassen und anhand ihrer eine Aussage über die Art der Weidetiere, die die jeweiligen Flächen beweidet, getroffen werden kann.

Nutzung der Flächen

Weitere Indikatoren für die Art der Nutzung einer Fläche durch Tiere sind neben den Exkrementen auch Trittspuren, spezielle Fresstechniken (z.B. das Angraben der Pflanzen durch Ziegen) und Hinweise auf Bauten.

Anthropogene Flächennutzung kann neben der Beweidung durch weitere vielfältige Möglichkeiten stattfinden. Im Pamir wurden dabei 2008 insbesondere folgende Nutzungsformen beobachtet und aufgenommen: Stechflächen von Zwergsträuchern zur Energieversorgung, Sammelflächen, auf welchen Exkrementen eingesammelt und dem System somit wichtige Komponenten

Tabelle 4.5: Tabelle zur Klassifikation der Exkrementvorkommen

Exkrememente	
0	keine Exkrememente zu finden
1	wenige kleine Exkrementvorkommen (Wühler, Ziege, Murmeltier) oder bis zu 3 Exkrememente Schaf oder 1 Yakfladen
2	kleine Exkrementvorkommen (Wühler, Ziege, Murmeltier) oder bis zu 6 Exkrememente Schaf oder 3 Yakfladen
3	kleine Exkrementvorkommen (Wühler, Ziege, Murmeltier) an mehreren Stellen oder bis zu 9 Exkrememente Schaf oder 5 Yakfladen
4	viele kleine Exkrementvorkommen (Wühler, Ziege, Murmeltier) an mehreren Stellen oder bis zu 12 Exkrememente Schaf oder 8 Yakfladen
5	alles größer Kategorie 4

im Nährstoffkreislauf vorenthalten werden, Lagerplätze sowie Fahrspuren im Gelände. Außer in den ersten beiden Fällen (Stechflächen und Sammelflächen) konnten die Nutzungsformen nur durch Beobachtung und Skizzierung aufgenommen werden. Erstere Fälle wurden in Gesprächen mit Hirten erörtert und in den meisten Fällen bestätigt.

Skizzierung der Störungen

Die auf den Flächen vorgefundenen Störungen wurden beschrieben und die Daten für die Beweidungsintensität nach dem oben vorgestellten Muster aufgenommen. Zusätzlich dazu wurden in den Tälern Bash Gumbes und Madian Gumbes Kol Mikroflächen von 60 cm × 60 cm hinsichtlich der Störungen genauer skizziert. Eine digitale Darstellung einer dieser Skizzen ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Wert gelegt wurde bei den Skizzen insbesondere auf die Ausbildung der Vegetationsmuster im Bereich der Störung. Der Maßstab der dabei im Gelände angefertigten Skizzen entsprach in etwa 1:100.

4.2 Aufnahmemethode der Linientransekte

Innerhalb des Aufnahmezeitraums wurden zusätzlich zu den Flächen 15 Linientransekte aufgenommen von denen im Folgenden 13 Transekte ausgewertet werden. Die Linientransekte wurden entlang eines Maßbandes mit unterschiedlichen Längen aufgenommen. Die Breite des Transektes wurde mit Hilfe eines Zollstocks auf 50 cm festgesetzt. Die dadurch entlang des Transektes entstehende Fläche wurde in je 50 cm lange Abschnitte unterteilt. Innerhalb dieser Abschnitte wurden folgende Parameter aufgenommen:

- Gesamtdeckung
- vollständige Artenaufnahme nach der presence-absence-Methode
- Beweidungsintensität über die drei Kategorien Tritt, Verbiss und Exkrememente (nach der bereits erwähnten Skala angepasst an die kleine Aufnahmefläche)

■ Besonderheiten

Neben einer kurzen Beschreibung erfolgte meist zusätzlich eine Skizze der aufgenommenen Linie. Der Ausschnitt einer Linienskizze ist unter Abbildung 4.4 dargestellt. Auf homogenen Linien erfolgte die Aufnahme zumeist mit Lücke, was bedeutet, dass 50 cm Daten aufgenommen wurden, dann 50 cm freigelassen wurden und so fort. Dies konnte unter der Annahme, dass sich innerhalb der 50 cm keine Veränderungen zeigen, passieren. Heterogene Linien oder solche, bei welchen scharfe Grenzen zu erkennen und zu untersuchen waren, wurden ohne Lücke aufgezeichnet.

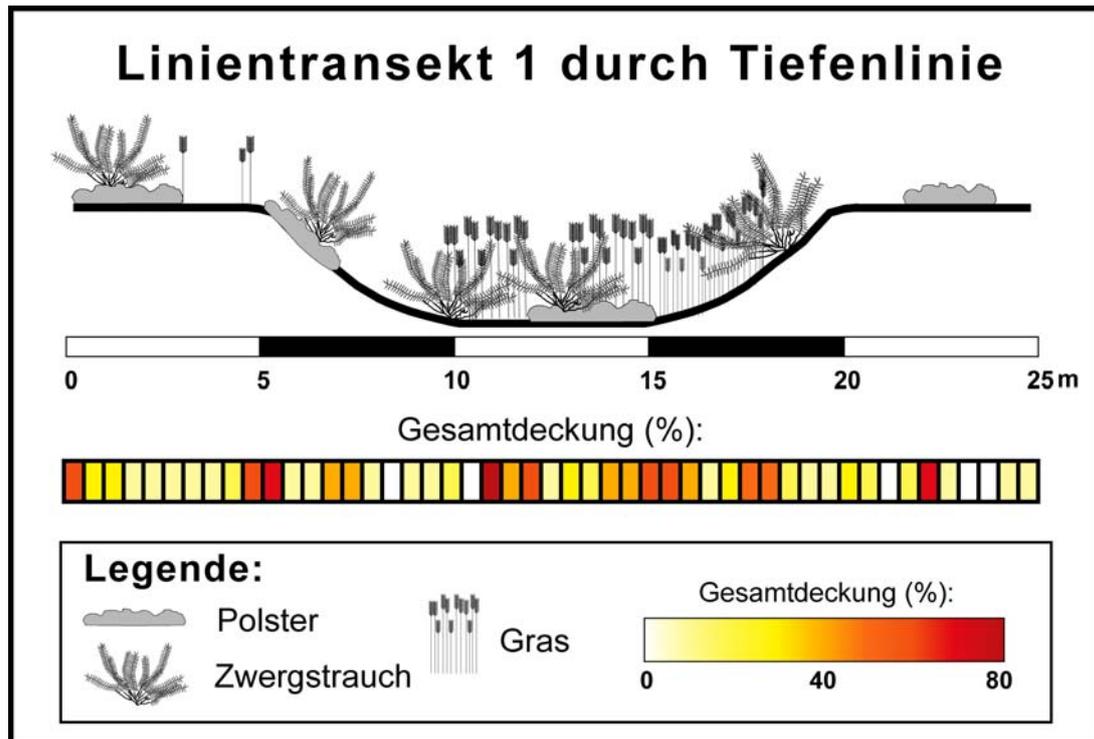


Abbildung 4.4: Beispielhafte Darstellung einer 25 m langen Linie im Tal Bash Gumbuz

4.3 Bodenkundliche Laboranalysen

Während der Feldarbeit wurde auf jeder 60 m × 60 m Fläche eine Mischprobe aus 15 cm Tiefe entnommen. Die eigens untersuchten 100 Mischproben wurden durch analysierte Proben von Carolin Bimüller ergänzt. Auf einzelnen Störungen und Linien wurden ebenfalls aus 15 cm Tiefe Proben entnommen, welche nach dem gleichen Schema wie die restlichen Mischproben analysiert wurden. Mit Ausnahme der Korngrößenanalyse wurde alles doppelt beprobt um eine Verifikation der Ergebnisse zu erzielen. Alle Analysen wurden im bodenkundlich-geomorphologischen Labor der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt.

Die Ergebnisse der Bodenmischproben sind für den weiteren Verlauf der Arbeit entscheidend, in welchem geprüft werden soll, welche Parameter (Umwelt, Boden oder Störung) den wichtigsten Einfluss bei der Ausbildung der Vegetationsmuster darstellen.

4.3.1 pH-Wert

Der pH-Wert, welcher als negativer dekadischer Logarithmus der H^+ -Ionen-Konzentration ein Maß für die Versauerung des Bodens darstellt, ist auf Grund seiner Beziehungen zu weiteren Bodeneigenschaften eine der wichtigsten Kenngrößen der Bodenanalyse. Eigenschaften, welche in direktem Zusammenhang mit dem pH-Wert stehen, sind beispielsweise die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen oder die Mobilität von Schwermetallen. Ebenso werden Bodengefüge und der Wasser- und Lufthaushalt des Bodens sowie weitere biologische, chemische und physikalische Prozesse durch den pH-Wert beeinflusst (Scheffer & Schachtschabel, 2002).

Die praktische Durchführung der pH-Wert Messung orientiert sich an DIN 19684-1: 1977-02 (Blume et al., 2000b). Für die Messung des pH-Wertes werden konventionell ein Gewichtsteil Boden zu zweieinhalb Volumenteil Suspendierungsmittel gegeben. Als Suspendierungsmittel eignen sich H_2O , KCl oder $CaCl_2$. Da die Messung in einer Salzlösung den Vorteil bietet, bei nicht feldfrischen Proben, den Einfluss anderer Ionen und gegebenenfalls Schwankungen im Jahresverlauf zu unterdrücken, wurde bei der Messung des pH-Wertes $CaCl_2$ als Suspendierungsmittel gewählt. Nach obiger Formel werden daher 5g Boden mit 12,5ml 0,01 M $CaCl_2$ versetzt, eine Minute aufgeschüttelt und nach einer Stunde mittels einer gewässerten Glaselektrode gemessen. Wichtig ist, dass die Glaselektrode zwischen jeder Probenmessung mit H_2O dest. gespült werden muss. Die Messung erfolgt bei Raumtemperatur, daher muss darauf geachtet werden, dass die Temperatur am Gerät richtig eingestellt ist. Da Werte im alkalischen Bereich zu erwarten waren, wurde die Elektrode auf einen Bereich zwischen sieben und neun kalibriert (Schlichting et al., 1995).

4.3.2 Elektrische Leitfähigkeit

Als Summenparameter für gelöste Stoffe im Boden kennzeichnet die elektrische Leitfähigkeit (EC) den Ionengehalt im Boden. Zwar lassen sich über die EC keine Rückschlüsse auf die Art der gelösten Ionen, jedoch auf die Konzentration der gelösten Elektrolyte ziehen. Somit gibt die EC Hinweise auf den Anteil löslicher Salze im Boden (Hölting, 1998). Für die Messung werden 5g Boden eingewogen und mit 25ml H_2O dest. versetzt, zwei Stunden geschüttelt und anschließend mittels eines Leitfähigkeitsmessgerätes GMH 3410 der Firma Greisinger electronic GmbH bei einer Temperatur von 24 °C in der Einheit $\mu S/cm$ gemessen (Schlichting et al., 1995).

4.3.3 Stickstoffgehalt im Boden

Da der Bedarf an Stickstoff bei Pflanzen im Vergleich zu anderen Nährstoffen vergleichsweise hoch ist, nimmt dieser eine besondere Stellung bei der Beschreibung der Bodeneigenschaften ein. Stickstoff liegt insbesondere in organischen Verbindungen, in Form von Vegetationsrückständen, abgestorbener Biomasse und Huminstoffen, im Boden vor. Der N-Eintrag in das System findet über anorganische und organische Düngung (für den Ostpamir nur natürlicher Eintrag durch Dung relevant), Niederschläge, Bewässerung, Adsorption von Gasen aus der Atmosphäre und biologischer Fixierung statt. Zu Verlusten von N kommt es insbesondere durch

Pflanzenentzug, Auswaschung, Denitrifikation, Ammoniak-Verflüchtigung und Erosion (Scheffer & Schachtschabel, 2002). Da Stickstoff ein limitierender Wachstumsfaktor ist, beeinflusst sein Wert die Aktivität der Bodenorganismen und das Pflanzenwachstum. Das C/N-Verhältnis hilft bei der Einschätzung dieses Parameters.

Bestimmt wird der Gesamtstickstoffgehalt mittels oxidativer Verbrennung bei 980°C. Um zwischen organischem und anorganischem Stickstoff zu differenzieren werden für ersteren die unbehandelten Proben und für zweiteren die bei 430° gemuffelten Proben verwendet. Für die Vorbereitung der Proben werden genau notierte Einwaagen (4 Nachkommastellen) in Zinnschiffchen von ungefähr 0,2000g Feinboden vorgenommen, und nach Eichung mit EDTA-Standard mittels des „TruSpec CN-analyser“ der Firma LECO analysiert. Die Werte für den Gesamt-N werden, genau wie Gesamt-C, in Prozent ausgegeben. Die Analyse richtet sich nach DIN ISO 10694:1996-08 (Blume et al., 2000a). Für eine weitere Diskussion und Klassifikation der Böden ist das C/N-Verhältnis zu berechnen und anzugeben.

4.3.4 Organische Substanz

Als Hauptquelle für die organische Bodensubstanz spielen Pflanzen eine wichtige Rolle im Ökosystem. Durch den Abbau des Pflanzenmaterials durch Tiere und Mikroorganismen entstehen komplexe Moleküle (Humus). Somit kann die organische Bodensubstanz als eine Mischung von Pflanzen- und Tiermaterial beschrieben werden (Rowell, 1994). Ein wichtiges Hilfsmittel zur Bestimmung der organischen Substanz im Boden bietet die Messung des Kohlenstoffgehalts. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass sich der Gesamtkohlenstoff aus anorganischem Kohlenstoff (Carbonat) und organischem Kohlenstoff zusammensetzt. Für die organische Substanz ist nur der organische Kohlenstoff relevant.

Die Messung von C-Gesamt erfolgt im gleichen Schritt wie die von N-Gesamt mittels des „TruSpec CN-analyser“. Neben dem bei 40°C getrockneten Feinboden werden auch Proben, welche zuvor bei 430°C für zwei Stunden gemuffelt wurden, eingewogen, um daraus in einem letzten Schritt das entscheidende C/N-Verhältnis zu errechnen. Der organische Kohlenstoffgehalt kann durch die eben bereits erwähnte Glühverlustprobe festgestellt werden. Für diese Probe werden 5g Feinboden in einen ausgeglühten Tiegel eingewogen und zwei Stunden bei 430°C gemuffelt und zurückgewogen. Um den Humusgehalt abzuschätzen, wurde der C_{org} -Gehalt mit 1,72 multipliziert. Die Zahl wird an Hand des Bodens, in diesem Fall Mineralböden, festgelegt (Sponagel et al., 2005).

4.3.5 Korngrößenanalyse

Der Platz, welcher in einem Bodenvolumen für Wasser, Luft, Wurzeln und Bodentiere vorhanden ist, wird maßgeblich durch die Körnigkeit und die durch diese Körner bestimmte Porosität eines Bodens bestimmt. Daher ist die Analyse der Korngrößenzusammensetzung zwar ein zeitaufwendiges, jedoch unerlässliches Mittel bei der Analyse der Bodenparameter. Die Einteilung der Korngrößenfraktionen erfolgt dabei nach der deutschen Nomenklatur, welche in Tabelle 4.6 dargestellt ist (Scheffer & Schachtschabel, 2002).

Tabelle 4.6: Deutsche Nomenklatur der Korngrößenklassen

Quelle: Bresinsky, 2008:964

Bodenfraktionen	Korngröße (μm)
Bodenskelett	$> 2\,000$
Feinerde	$< 2\,000$
Sand	$63 - 2\,000$
Schluff	$2 - 63$
Ton	< 2

Nach der Kalkzerstörung mittels Waschung mit 10% Salzsäure wird die abgewogene Probe in einer PET Flasche über Nacht mit Natriumpyrophosphat versetzt, auf den Schüttler gestellt und am darauf folgenden Tag gesiebt. Die Analyse erfolgt dabei mittels Nasssiebung nach einer veränderten DIN ISO 11277:1994-06 (Blume et al., 2000b) und der Messung mittels eines Sedigraphen der Firma Micromeritics. Durch Siebung erhält man die Fraktionen Grobsand, Mittelsand und Feinsand und mittels der anschließenden Analyse im Sedigraphen die Fraktionen Grobschluff, Mittelschluff und Feinschluff sowie Grobton, Mittelton und Feinton. Der Sedigraph untersucht alle Partikel kleiner $63\mu\text{m}$ mit Hilfe von Röntgenstrahlen. Für die anschließende Bodenbetrachtung werden insbesondere die Gesamtwerte Sand, Ton und Schluff betrachtet.

4.3.6 Kationenaustauschkapazität (KAK)

Da die Kationenaustauschkapazität zu Beginn der Auswertung noch nicht vollständig für alle Mischproben gemessen werden konnte, finden die Werte dieser keinen Eingang in die Arbeit. Aus Gründen der Vollständigkeit und eventuelle nachfolgende Untersuchungen sei hier dennoch kurz die im Labor angewandte Methode erklärt.

Die Probenvorbereitung ist, auf Grund der hohen Leitfähigkeit einiger Proben, sehr aufwendig. Es muss, um eine Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden, jede Probe erst mit destilliertem Wasser gewaschen werden, bis ein Grenzwert der elektrischen Leitfähigkeit von unter $50\mu\text{S}$ erreicht wird (Schlichting et al., 1995). Diese Proben werden getrocknet auf genau 5g eingewogen und über Nacht in einer Lösung mit 50 ml 1-molarer NH_4Cl stehen gelassen. Nach einem kurzen Aufschütteln am nächsten Tag werden die Proben zentrifugiert und der Überstand, nach Messen des pH-Wertes, in Polyflaschen filtriert. In der Austauschlösung wird zusätzlich einmalig neben dem pH-Wert auch die Leitfähigkeit gemessen. Benötigt werden diese Werte abschließend zur Berechnung austauschbarer Protonen am Austauscher (Schlichting et al., 1995).

Nach dem Dekantieren und Filtrieren werden aus der Extraktionslösung Verdünnungen im Verhältnis 1:10 hergestellt, um anschließend in diesen die Nährstoffe Na, K, Mg und Ca zu messen. Lanthan und Cäsium dienen als Ionisationspuffer um Verfälschungen der Messwerte zu vermeiden.

Die Verdünnungen von zunächst 1:10 werden wie folgt in 50 ml Polyflaschen angesetzt: 20 ml bestehend aus 2 ml Extraktionslösung, 2 ml CsCl , 1 ml La_2O_3 , 0,2 ml HNO_3 und 14,8 ml H_2O seradest.

Abschließend erfolgt eine Messung der Lösungen am Flammenphotometer Unicam M Series. Dabei werden Ca und Mg mittels Absorption und K und Na mittels Emission gemessen. Bei wenigen Proben deren Werte nicht mehr im Meßbereich liegen, musste zusätzlich eine Verdünnung von 1:100 hergestellt und gemessen werden.

4.4 Auswertung

Nach der Feldarbeit wurden die herbarisierten Pflanzen von B. Dicoré geprüft und die Arbeitsnamen innerhalb der Tabellen soweit möglich ersetzt. Nach Analyse und Auswertung der Bodenlabordaten erfolgte eine statistische Auswertung der Vegetationsaufnahmen unter Verwendung aufgenommener bzw. analysierter Umwelt- und Bodendaten. Insgesamt wurden, für diese Arbeit von Relevanz, 80 Makro-, 301 Meso- und 269 Mikroflächen sowie 13 Linientranssekte ausgewertet.

Bei der Auswertung der Flächen fanden neben einfacher deskriptiver Statistik v.a. multivariate Methoden Verwendung. Dazu gehören unter anderem Korrelationen, Clusteranalysen, eine Diskriminanzanalyse und verschiedene Ordinationsverfahren wie DCA, NMDS und CCA.

Die Linien wurden mittels Berechnung des Jaccard-Index und Darstellung des Wandels der Gesamtdeckung und der Beweidungsintensität ausgewertet.

Für das Verständnis der Auswertung sind folgende Begrifflichkeiten notwendig:

- A-Flächen:
Flächen der Größe 60 m × 60 m.
- B-Flächen:
Flächen der Größe 4 m × 4 m.
- C-Flächen:
Flächen der Größe 60 cm × 60 cm.
- Bezeichnung Gesamtpamir/Pamir: In Abbildungen und auch im Text wird häufig die Bezeichnung Pamir 2008 oder Gesamtpamir erwähnt. Darunter zu verstehen sind die Mesoflächen, die im Sommer 2008 im Ostpamir in den Gebieten Bash Gumbez, Chong Pamir, Madian, Madian Gumbez Kol und Pshart Gumbez Kol aufgenommen wurden.

Es wird an dieser Stelle darauf verzichtet, die einzelnen statistischen Vorgehensweisen näher zu beleuchten. Aus Gründen der Lesbarkeit sowie der Notwendigkeit häufig innerhalb eines Verfahrens verschiedene Modifikationen vornehmen zu müssen, erfolgt die Vorstellung der jeweiligen statistischen Auswertungsmethode zu Beginn jedes Unterkapitels im nun anschließenden Ergebnisteil. Die kurzen Einführungen gewähren keinesfalls Vollständigkeit, sondern sollen lediglich das Verständnis für die dargelegten Ergebnisse erhöhen und einen kleinen Überblick liefern.

4.5 Zusammenfassung

- Innerhalb des Arbeitsgebietes wurden drei verschiedene Flächengrößen aufgenommen. Als Makroflächen werden dabei die $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ Flächen, als Mesoflächen die $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen und als Mikroflächen die $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ Flächen definiert.
- Die Makroflächen wurden nach dem Prinzip der Homotonität gewählt. Zwei der vier Mesoflächen wurden gezielt auf Störungen gesetzt, während zwei weitere Flächen nach dem Random-Walk-Prinzip gewählt wurden. Die drei Mikroflächen wurden entweder verteilt innerhalb der $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ aufgenommen, oder von der Störung weg hintereinander gelegt.
- Als Umweltparameter wurden in erster Linie Ort, Datum, Uhrzeit, Höhe über NN, Witterung, Aufschluss, Hangneigung, Exposition, Wölbung, Reliefform, Nutzung, Bedeckungsgrad, Entfernung zur nächsten Jurte und Entfernung zum nächsten Gewässer aufgenommen.
- Auf allen Flächen wurden die Pflanzen nach der, für das Arbeitsgebiet angepassten, Braun-Blanquet-Skala aufgenommen. Des Weiteren wurde für jede Fläche die Gesamtdeckung geschätzt.
- Neben der Beschreibung der erkennbaren Störungen wurden die Tritt-, Verbiss- und Exkrementwerte in einer eigens angelegten Ordinalskala von 0–5 aufgenommen. Die Summe dieser drei Variablen ergibt die Beweidungsintensität der jeweiligen Flächen.
- Die Mikroflächen wurden zusätzlich im Maßstab von etwa 1:100 skizziert.
- Insgesamt wurden 15 Linientransekte aufgenommen. Die Aufnahme erfolgte nach der presence-absence-Methode mit oder ohne Lücke in Anpassung an die Homogenität bzw. Heterogenität des Geländes. Neben den Arten wurden ebenfalls Gesamtdeckung, Beweidungsintensität und Besonderheiten in 50 cm breiten Streifen entlang der Linie aufgezeichnet.
- Die im Gelände aufgenommenen Mischproben aus 15 cm Tiefe wurden nach dem Geländeaufenthalt im bodenkundlichen Labor der Universität Erlangen-Nürnberg analysiert.
- Zu den untersuchten Parametern gehörten pH-Wert, Leitfähigkeit, Stickstoffgehalt, Organische Substanz, Korngröße und Kationenaustauschkapazität.

Kapitel 5

Ergebnisse

5.1 Deskriptive Statistik bezüglich des Murmeltiereinflusses

Der Einfluss von *Marmota caudata* auf die Vegetation wurde mittels deskriptiver Statistik in den drei Beispieltälern untersucht. Neben Vergleichen der Gesamtdeckung und der Artenzahl soll ebenfalls eine Darstellung der Arten, welche auf Flächen, die von Murmeltieren bewohnt oder genutzt werden, erfolgen. In den Tälern Bash Gumbez und Madian Gumbez Kol konnte zudem der Einfluss von *M. caudata* auf Mikroebene betrachtet und die Unterschiede zur Mesoebene analysiert werden.

Bei der Auswertung wurden neben einfachen Stabdiagrammen auch Boxplots für das Verhalten der Gesamtdeckung und der Artenzahl in den jeweiligen Flächenkategorien herangezogen. Der beispielhafte Aufbau eines solchen Boxplot mit seinen Kenngrößen ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

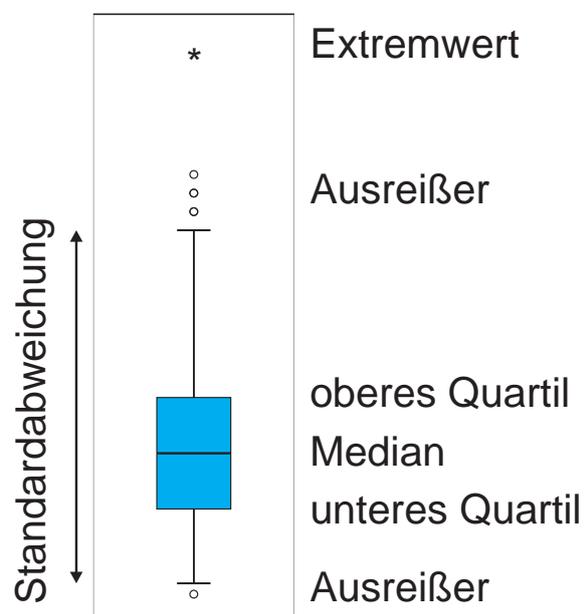


Abbildung 5.1: Schematische Darstellung eines Boxplot

5.1.1 Der Einfluss von *Marmota caudata* im Bash Gumbez

Im Bash Gumbez lässt sich bei 18 Meso- und 17 Mikroflächen ein Murmeltiereinfluss feststellen. Die unter 5.2 dargestellte Gesamtdeckung zeigt hingegen keine besonderen Auffälligkeiten.

Innerhalb der Kleinstflächen liegt die Gesamtdeckung insgesamt niedriger als innerhalb der $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen. Liegt der durchschnittliche Deckungswert der gestörten Mikroflächen bei 21,9%, so steigt dieser innerhalb der Mesoflächen auf 29,7% an. Beide Flächengruppen zeigen, dass eine Mehrzahl der Werte im Bereich 10–35% streuen. Die typische Deckung eines Murmeltierbaueingangs ist in Abbildung 5.3 zu sehen.

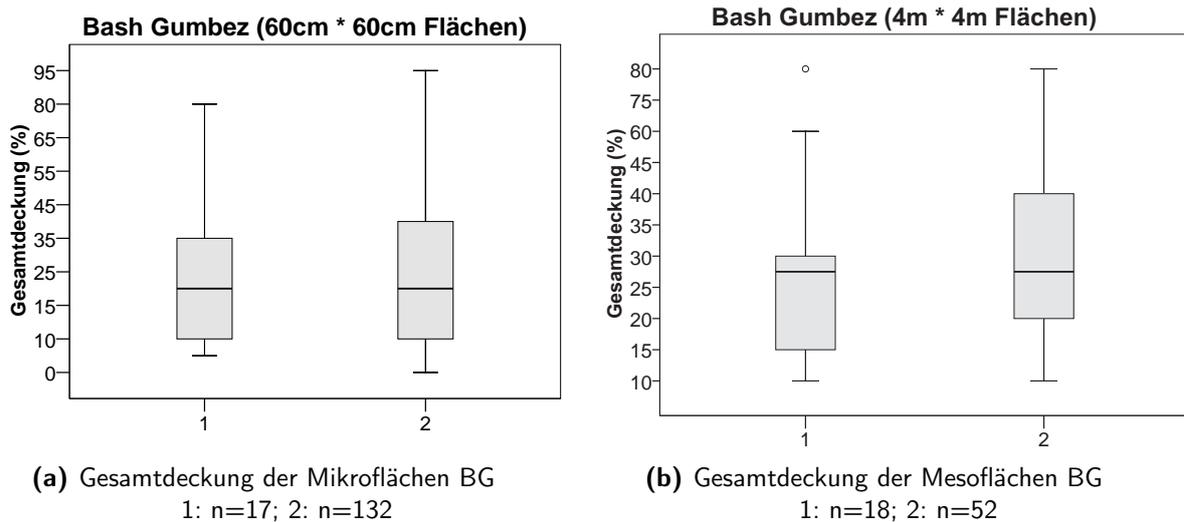


Abbildung 5.2: Deckungswerte der verschiedenen Flächen für das Tal Bash Gumbez im Vergleich
1: Murmeltierbeeinflusste Aufnahmen
2: Alle Flächen der jeweiligen Kategorie

Die Artenzahl liefert ein differenziert zu betrachtendes Bild. Auf kleinster Ebene liegt die Artenzahl sowohl auf den gestörten, als auch in der Übersicht aller Flächen des Tales deutlich höher. Der Bereich, in welchem die Arten der Murmeltierflächen schwankt, ist auf 1–3 Arten begrenzt. Innerhalb der Mesoflächen bietet sich ein anderes Bild. Die Arten streuen in einem Bereich zwischen 5 und 9 Arten. Innerhalb aller Flächen ist der Streubereich erweitert und 5–10 Arten entsprechen dem wahrscheinlichen Ausbildungsmuster.

In Abbildung 5.4 sind die Arten aller Murmeltierflächen nach Häufigkeit ihres Vorkommens dargestellt. Insgesamt kommen 38 verschiedene Arten vor. 12 der 38 Arten finden sich mindestens 5 mal auf den Flächen und werden daher als häufig auftretende Arten betrachtet. Ein Vergleich der häufigst vorkommenden Arten, für die auf Abbildung 5.4 und 5.5 verwiesen sei, zeigt, dass es neben der Gemeinsamkeit der dominanten Arten wie *Seriphidium leucotrichum* und *Poa attenuata* auch auffällige Unterschiede gibt. *Potentilla pamirica* steht auf den gestörten Flächen an achter Stelle in der Häufigkeit ihres Auftretens und hat innerhalb der Gesamtflächen keinerlei Relevanz. Dafür sind Arten wie *Oxytropis microphylla* und *Lindelofia stylosa* auf den Murmeltierflächen schwächer vertreten.

Innerhalb der Mikroflächen ist das Bild deutlich homogener. Von den 11 verschiedenen Arten (Abb. 5.6) kommen nur wenige Arten mehrmals vor. Die häufigsten Arten sind dabei *Poa attenuata*, *Krascheninnikovia ceratoides* und *Seriphidium leucotrichum*. Innerhalb der C-Flächen des gesamten Tals ist das Bild ähnlich. Einzige Besonderheit: *Acantholimon diapensioides* hat für die Murmeltierflächen keine, für das gesamte Tal aber sehr wohl eine wichtige Funktion und Stellung als dominante Art der Mikroflächen.

5.1 Deskriptive Statistik bezüglich des Murmeltiereinflusses



Abbildung 5.3: Eingang eines Murmeltierbaus

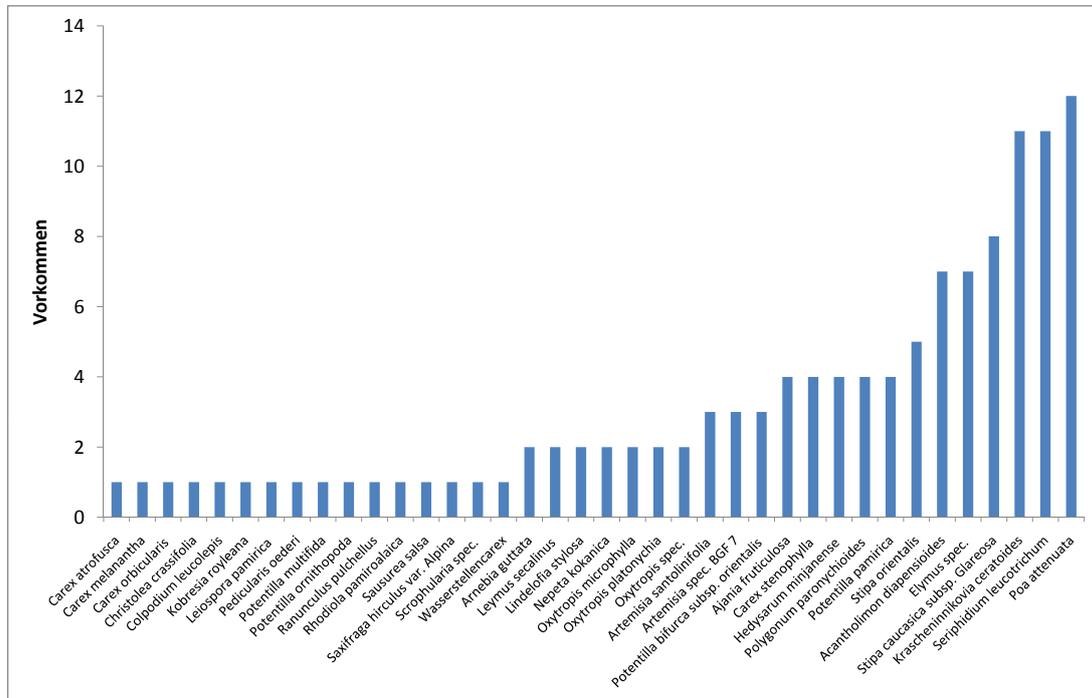


Abbildung 5.4: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im BG (B-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=18)

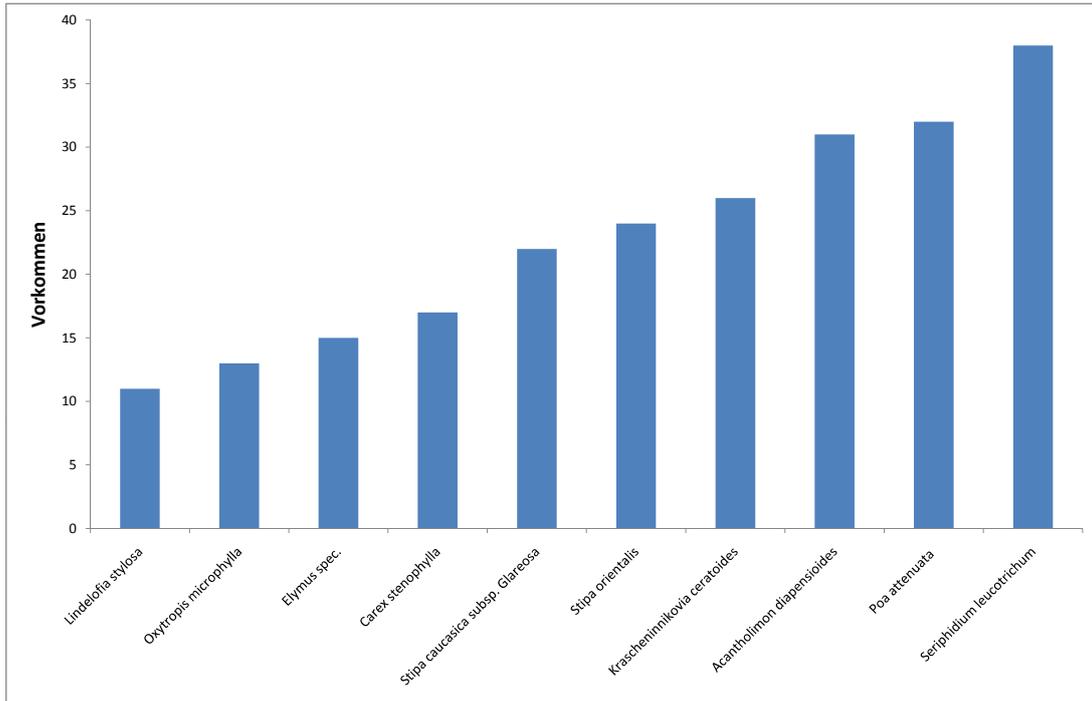


Abbildung 5.5: Dominant vertretene Arten auf den Flächen im BG (B-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=52)

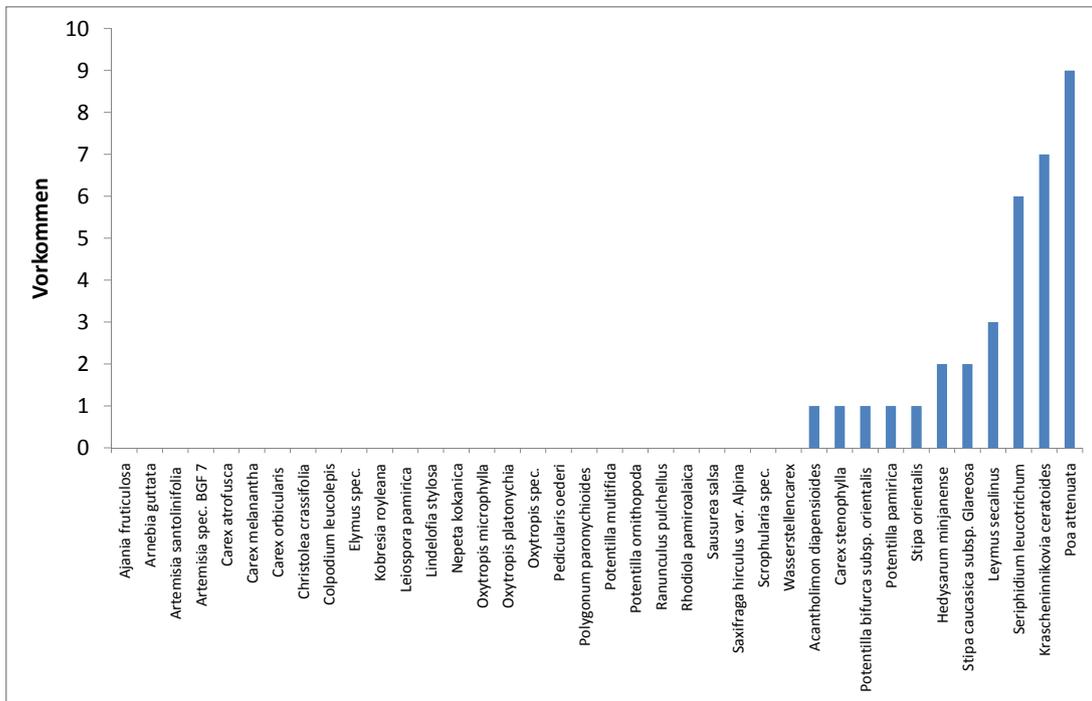


Abbildung 5.6: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im BG (C-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=17)

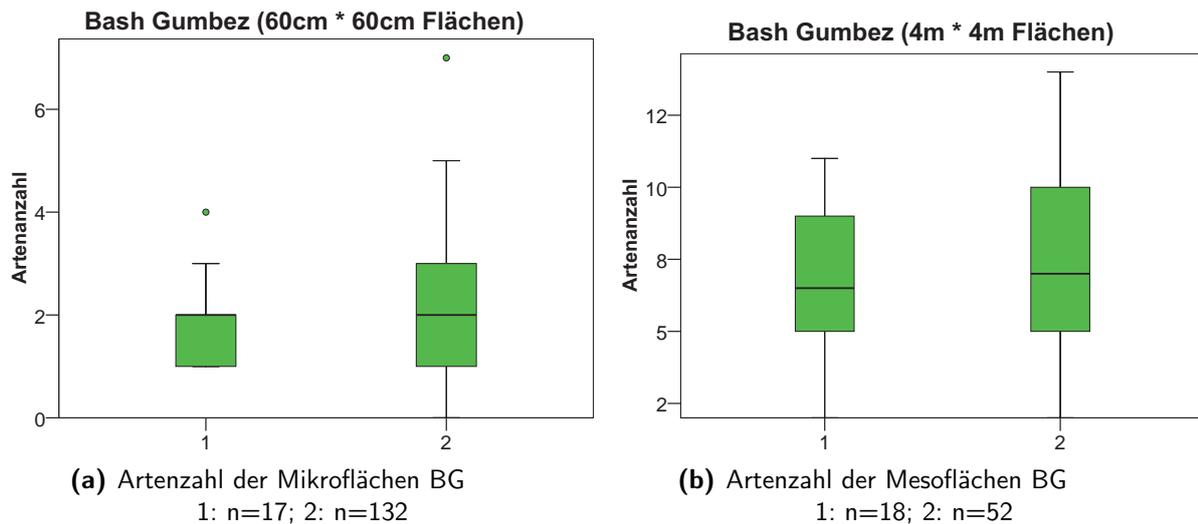


Abbildung 5.7: Artenzahlen der verschiedenen Flächen für das Tal Bash Gumbez im Vergleich
1: Murmeltierbeeinflusste Aufnahmen
2: Alle Flächen der jeweiligen Kategorie

5.1.2 Der Einfluss von *Marmota caudata* im Madian Gumbez Kol

Im Madian Gumbez Kol unterliegen 13 B-Flächen und 12 C-Flächen dem Einfluss von *Marmota caudata*. Die Gesamtdeckung schwankt zwischen den Flächengrößen deutlich stärker als zwischen den beeinflussten und unbeeinflussten Flächen einer Gruppe. Dargestellt ist dies in Abbildung 5.8. Der Median der Gesamtdeckung für die C-Flächen liegt bei nur 1,5%. Im Gesamtvergleich der C-Flächen steigt dieser immerhin auf 10% an. Innerhalb der Mesoflächen liegt der Median mit 15% auf dem gleichen Niveau in Boxplot 1 und 2. Eine gleichmäßigere Streuung der Gesamtdeckung lässt sich für die Aufnahmen des gesamten Tals feststellen. Auffällig ist, dass der Wert der Deckung der Murmeltierflächen nie unter 10% fällt, wohingegen die Deckung innerhalb des Tals sehr wohl deckungsfreie Flächen aufweist.

Auf den Murmeltierflächen sind insgesamt 32 verschiedene Arten zu verzeichnen. Innerhalb der C-Flächen liegt der Median der Artenzahl mit nur einer Art pro Fläche auf dem gleichen Niveau wie der des gesamten Tals. Während sich im Vergleich die Arten für das Tal eher nach oben orientieren, gibt es unter den beeinflussten Flächen ebenfalls solche, die keine Arten vorweisen können.

Das 3.Quartil erreicht in beiden ein Maximum von 3 Arten. Innerhalb der B-Flächen liegt der Median der murmeltierbeeinflussten Flächen, ebenso wie das Maximum des 3.Quartils, sogar über dem Median des Gesamttales. Sowohl das absolute Minimum als auch das des 1.Quartils sind für die Gesamtflächen größer. Ein Vergleich der Arten der B-Flächen unter dem Einfluss von *Marmota caudata* und der gesamten B-Flächen zeigt eine leichte Verschiebung innerhalb der dominanten Arten.

Eine Darstellung der gesamten Arten für die gestörten Flächen und der häufigsten Arten für die gesamten Flächen ist unter 5.10 und 5.11 zu sehen. Es fällt besonders auf, dass das Polster *Acantholimon diapensioides*, welches im Gesamtvergleich am 3. häufigsten vorkommt,

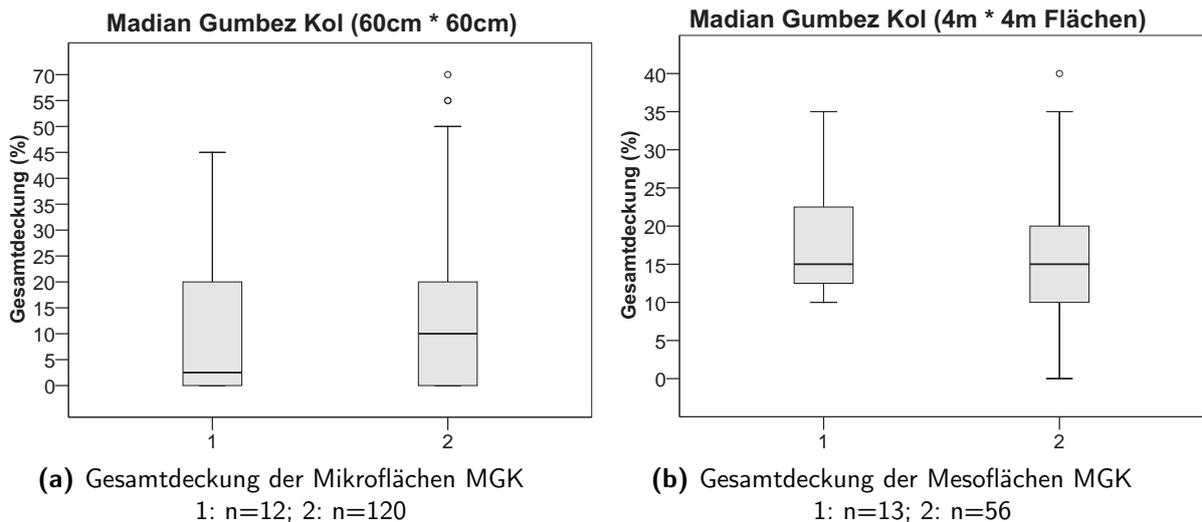


Abbildung 5.8: Deckungswerte der verschiedenen Flächen für das Tal Madian Gumbez Kol im Vergleich

- 1: Murmeltierbeeinflusste Aufnahmen
- 2: Alle Flächen der jeweiligen Kategorie

für diese Flächen nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dafür sind auf den Störflächen *Potentilla bifurca* und *Hordeum turkestanicum* von größerer Bedeutung. Auf den Mikroflächen kommen nur noch 9 der 32 Arten vor. Diese sind in Abbildung 5.12 dargestellt. Neben *Krascheninnikovia ceratoides* kommt *Potentilla bifurca* die größte Bedeutung zu. Ein Vergleich aller C-Flächen würde ein differenziertes Bild liefern. Neben *Krascheninnikovia* wäre vor allem *Acantholimon* von Bedeutung.

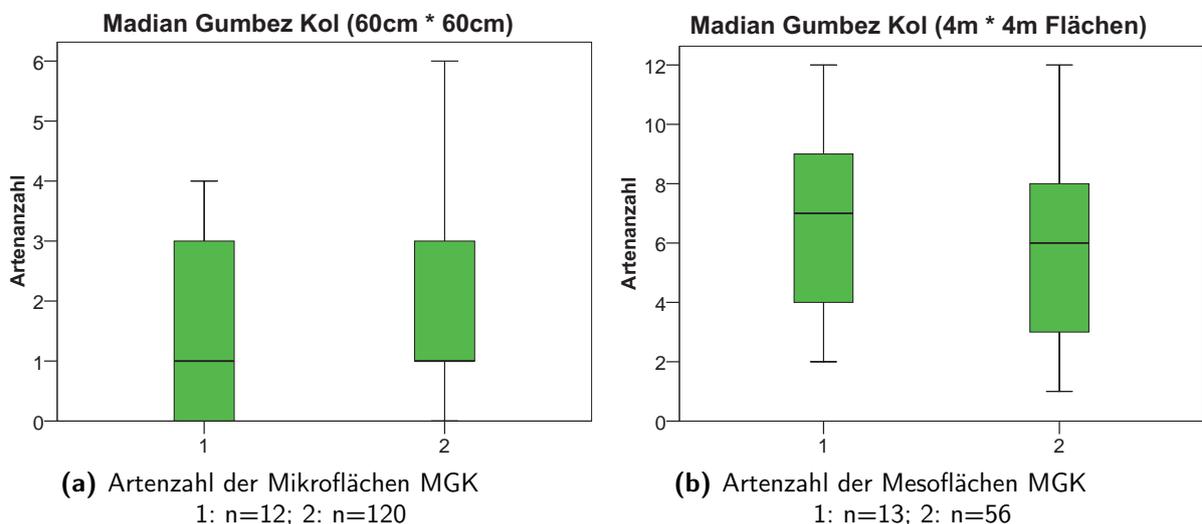


Abbildung 5.9: Artenzahlen der verschiedenen Flächen für das Tal Madian Gumbez Kol im Vergleich

- 1: Murmeltierbeeinflusste Aufnahmen
- 2: Alle Flächen der jeweiligen Kategorie

5.1 Deskriptive Statistik bezüglich des Murmeltiereinflusses

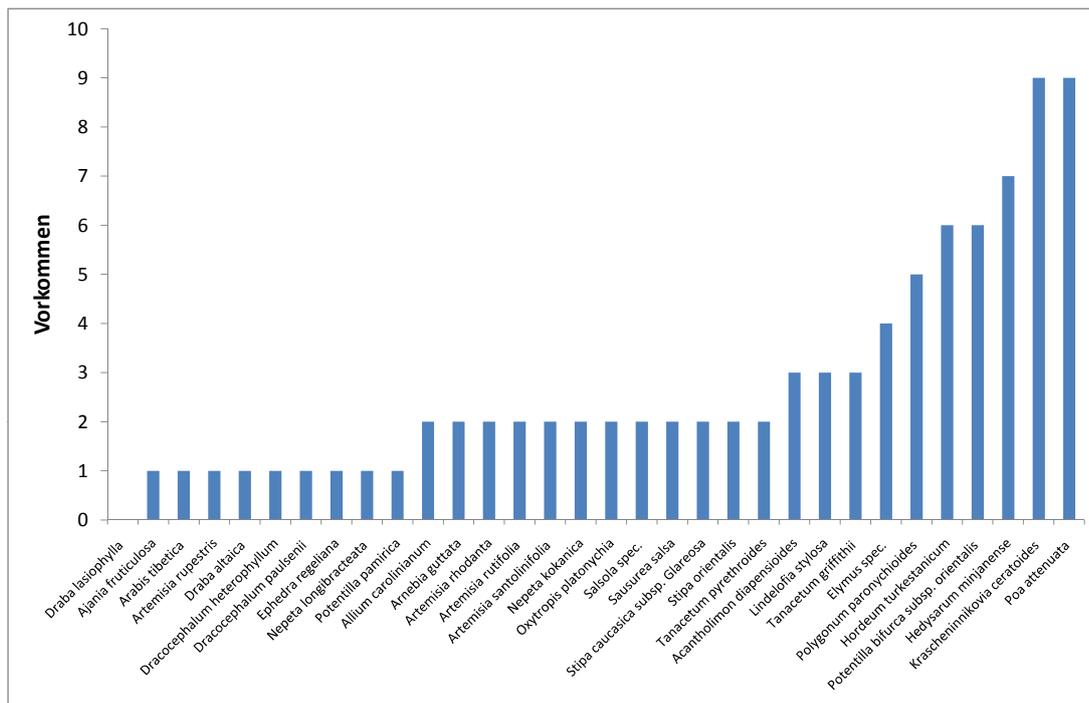


Abbildung 5.10: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im MGK (B-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=13)

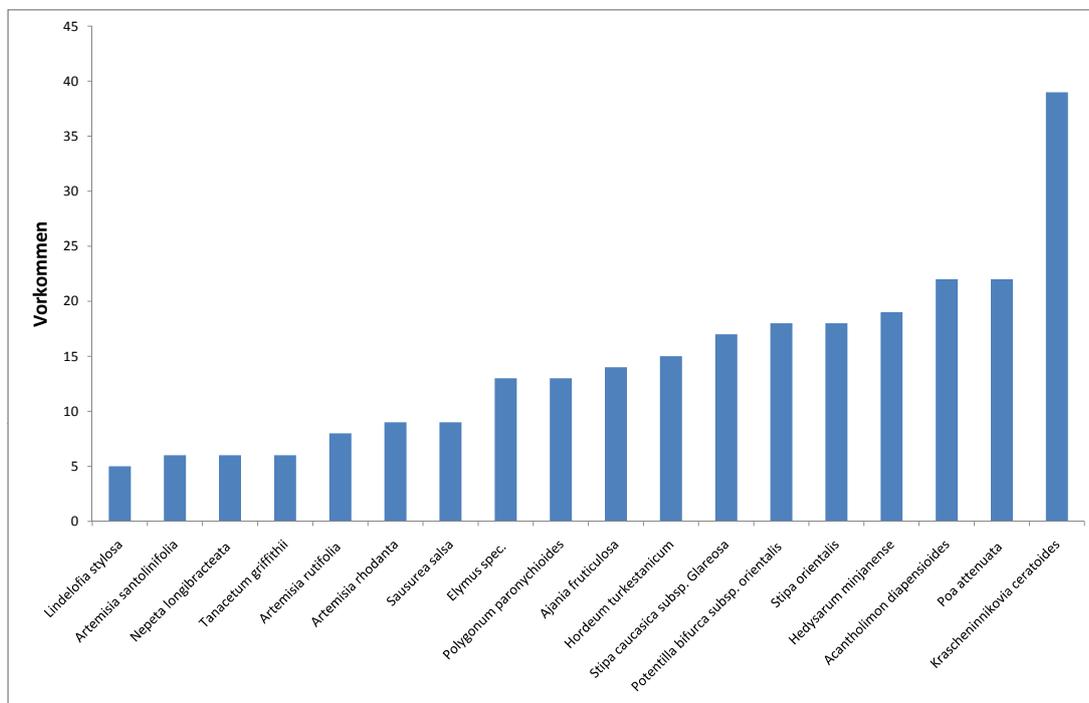


Abbildung 5.11: Dominant vertretene Arten auf den Flächen im MGK (B-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=56)

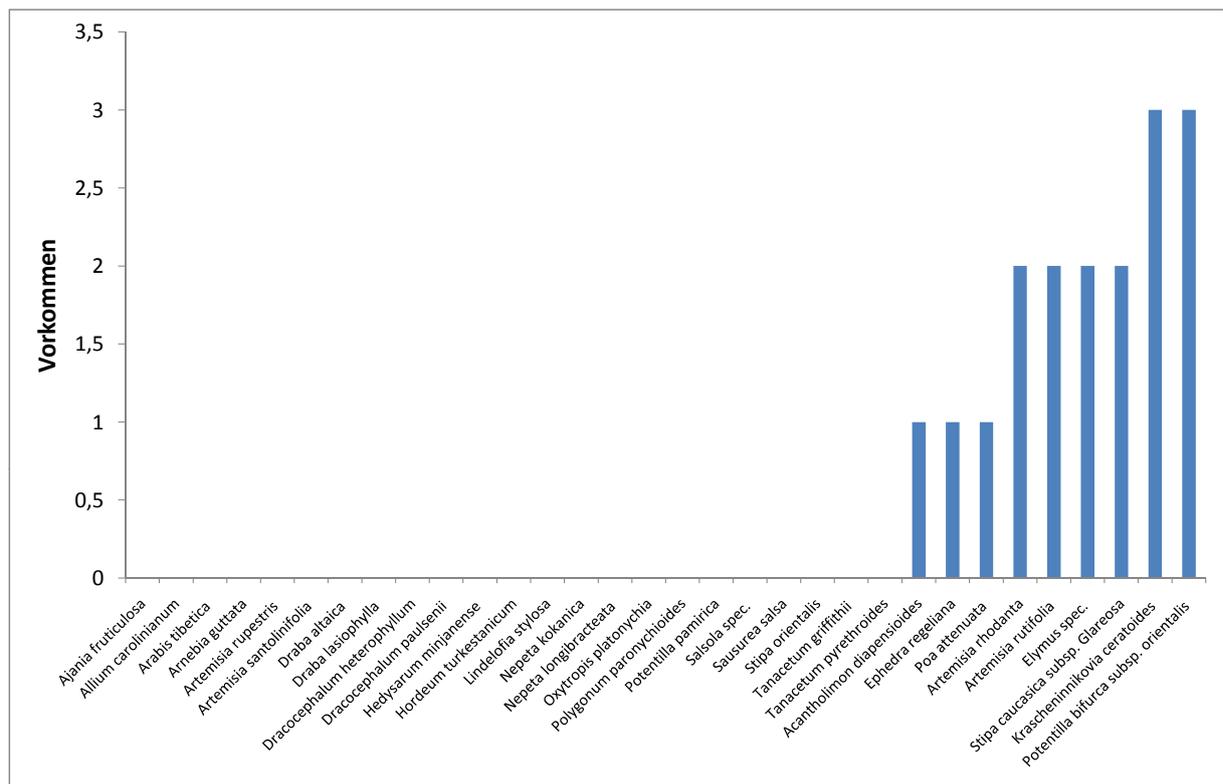


Abbildung 5.12: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im MGK (C-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=12)

5.1.3 Der Einfluss von *Marmota caudata* im Pshart Gumbez Kol

Im Unterschied zu den bisher betrachteten Tälern liegen für das Tal Pshart Gumbez Kol nur Mesoflächen vor. Mit 37 Flächen wurden hier die meisten Flächen mit Murmeltiereinfluss ausgewiesen. Ein Vergleich der Gesamtdeckung, dargestellt in Abbildung 5.13, zeigt, dass der Median in beiden Fällen einen Wert von 25% einnimmt. Zwar ist der absolute maximale Bereich der Deckung für das gesamte Tal höher, jedoch bewegt sich das Maximum des 3.Quartils der Murmeltierflächen auf einem höheren Niveau im Vergleich zur Gesamtbetrachtung. Eine ähnliche Tendenz lässt sich aus dem Minimum ersehen, welches in der Gesamtbetrachtung deutlich kleiner wird und auch einen niedrigeren Wert für das 1.Quartil erreicht. Der Median der Artenzahl, zu sehen in Abbildung 5.13, nimmt in beiden Fällen einen Wert von 8 ein. Innerhalb der Murmeltierflächen ist die Streuung der häufigsten Werte geringer. Die Vorkommensverteilung der Arten der Murmeltierflächen ist in Abbildung 5.14 dargestellt.

Auf Grund der Vielzahl der Arten im Vergleich zu den beiden anderen Tälern von 76 Arten wird eine Betrachtung derjenigen, welche mindestens 10 mal vorkommen, vorgenommen und ist unter 5.15 zu sehen. Dem Vorgehen der anderen Täler folgend soll auch hier ein Vergleich der dominantesten Arten (Abb. 5.15 und 5.16) erfolgen. Der Vergleich zeigt in erster Linie, dass auch im Pshart Gumbez Kol der Einfluss von *Acantholimon diapensioides* für die Murmeltierflächen nicht von Bedeutung scheint bzw. evtl. sogar hinderlich für diese ist. Die Bedeutung von *Krascheninnikovia ceratoides* wird innerhalb der Störflächen ebenfalls herab gewertet, allerdings nicht in einem vergleichbaren Maß wie *Acantholimon diapensioides*. *Smelovskia calycina*

5.1 Deskriptive Statistik bezüglich des Murmeltiereinflusses

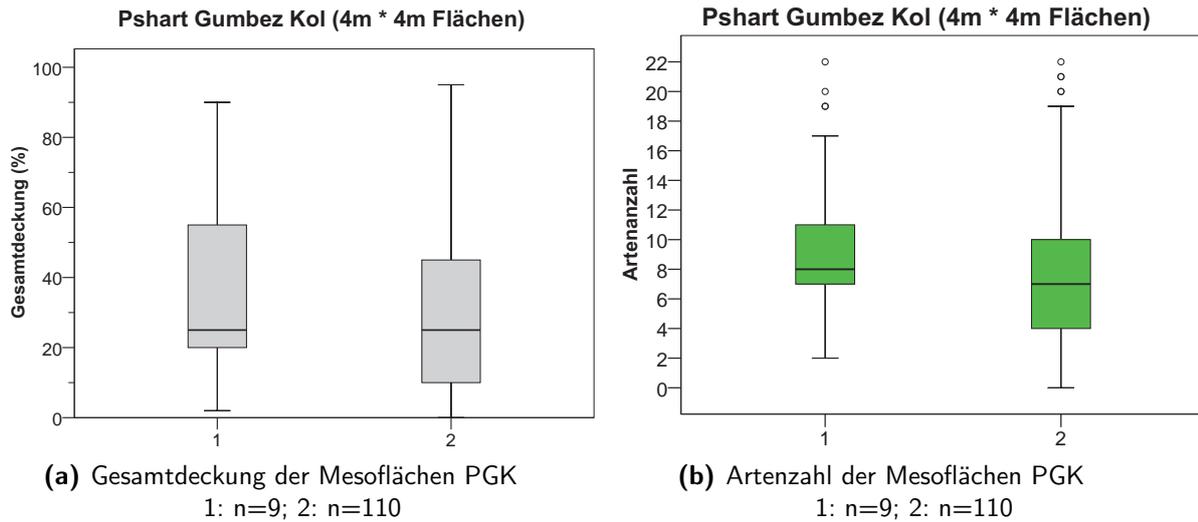


Abbildung 5.13: Deckungs- und Artwerte der verschiedenen Flächen für das Tal PGK
1: Murmeltierbeeinflusste Aufnahmen
2: Alle Flächen der jeweiligen Kategorie

und *Potentilla pamirica* spielen für die Aufnahmeflächen mit Störungseinfluss eine wichtigere Rolle als für die des Gesamttales. *Carex pseudofoetida* und *Leontopodium ochroleucum* sind für die Murmeltierflächen nicht bedeutend.

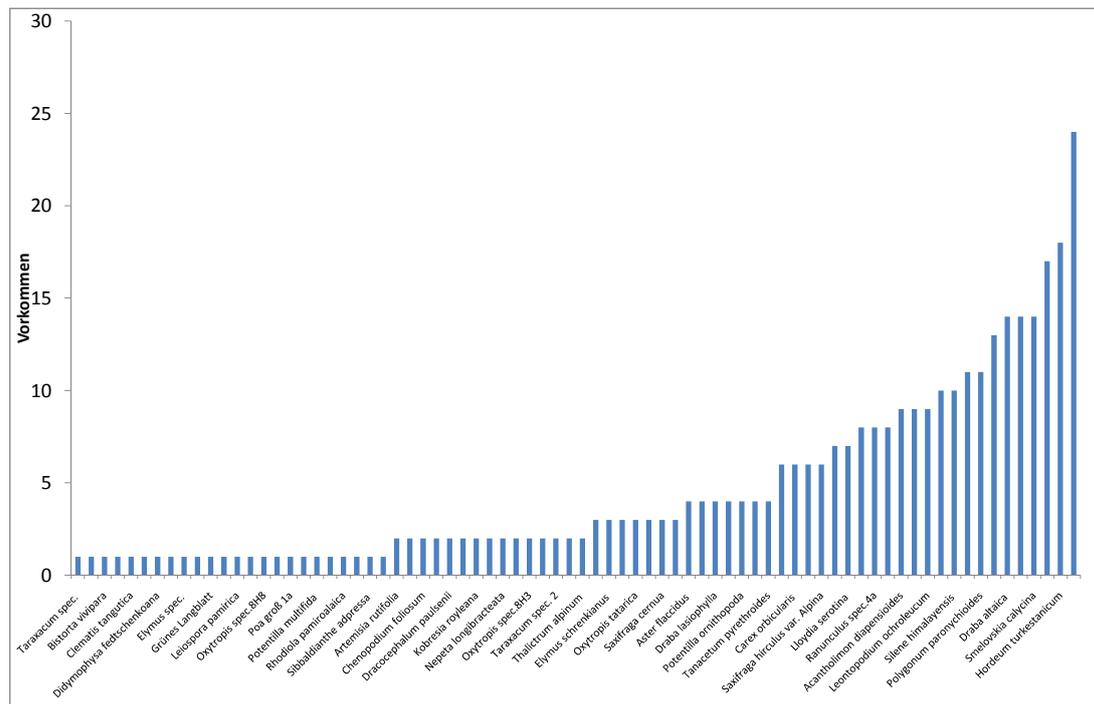


Abbildung 5.14: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im PGK (B-Flächen); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen (n=9)

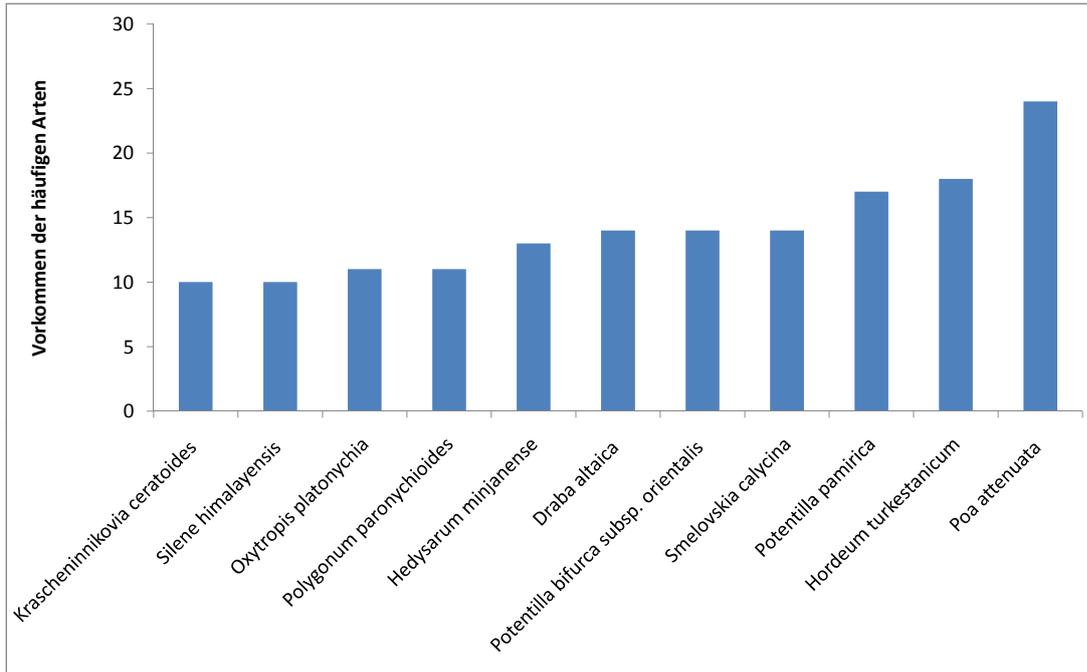


Abbildung 5.15: Vertretene Arten auf den gestörten Murmeltierflächen im PGK (B-Flächen, n=9); dargestellt sind nur die häufigsten Arten mit einem Vorkommen ≥ 10

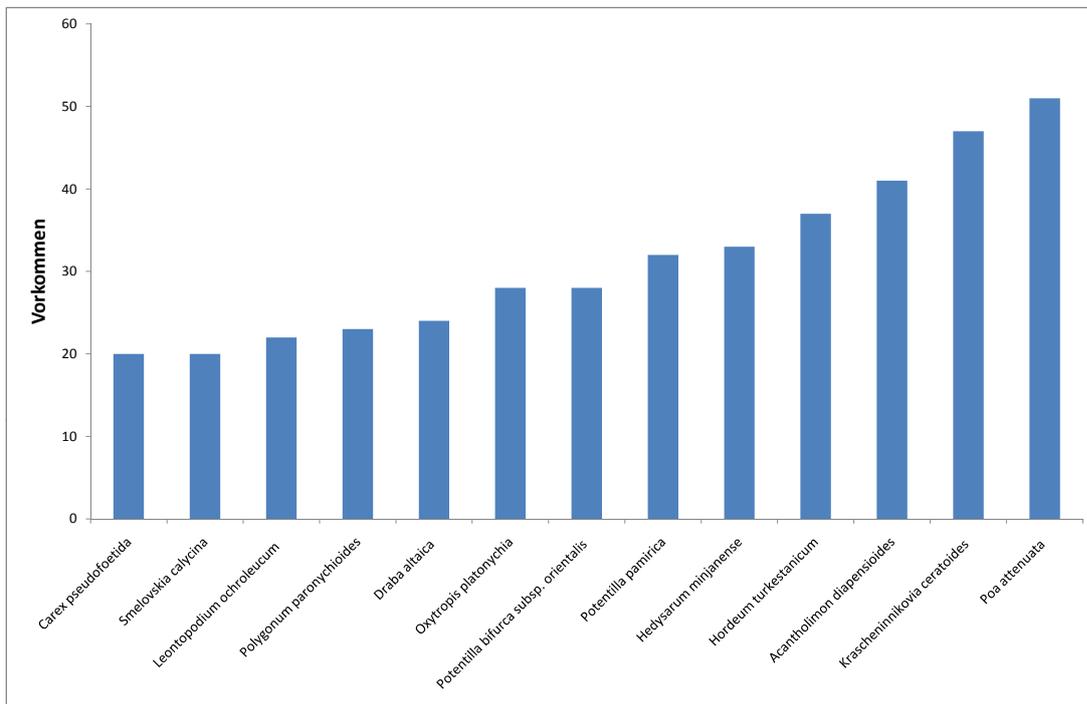


Abbildung 5.16: Dominant vertretene Arten auf den Flächen im PGK (B-Flächen, n=110); dargestellt ist die Anzahl des Vorkommens der einzelnen Arten nach Aufnahmen

5.2 Auswertung der Mikroskizzen

Die digitalisierten Skizzen der Mikroflächen liegen im Anhang auf CD vor. In der nachfolgenden Auswertung werden einige Flächen exemplarisch vorgestellt und in Zusammenhang mit vorherrschenden Störungsmechanismen gebracht. Die betrachteten Störungen sind auf den Einfluss von Murmeltier, Schaf und Ziege sowie die Folgen erhöhter Trittwerte auf Grund von Gangelbildung oder Ausbildung großer Trittflächen auf den Aufnahmeflächen zurückzuführen. Yakbeweidung spielt bei der Auswertung der Mikroskizzen keine relevante Rolle. Diagramm 5.17 zeigt, dass hinsichtlich der Beweidungsintensität und der Gesamtdeckung ein relativ homogenes Bild zwischen den Flächen der einzelnen Störfaktoren vorliegt. Die Beweidungsintensität hat ihr Minimum auf den Flächen, die überwiegend von Schafen beweidet werden. Der Median der Gesamtdeckung liegt auf den Trittflächen mit 10% deutlich niedriger als in den anderen drei Kategorien. Die niedrige Beweidungsintensität der Schafflächen kommt in erster Linie durch das Fehlen bzw. die geringe Zahl an Exkrementen auf den Flächen zustande. Trotz dieser geringen offensichtlichen Unterschiede gestaltet sich die Ausbildung der Mikroflächen sehr differenziert.

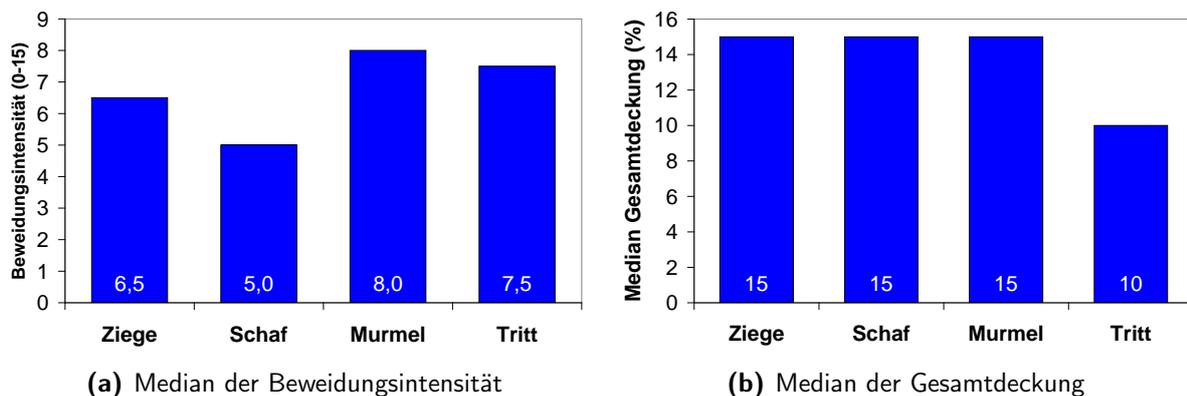


Abbildung 5.17: Beweidungsintensität und Gesamtdeckung der digitalisierten C-Flächen getrennt nach Störfaktoren

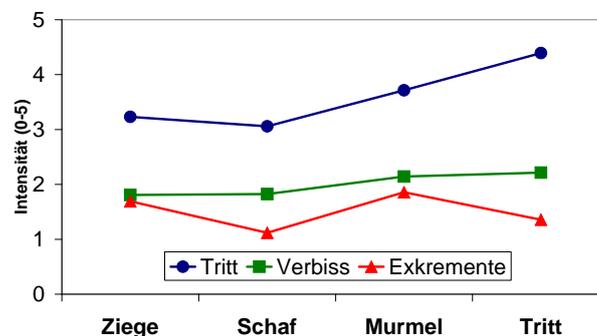


Abbildung 5.18: Faktoren der Beweidungsintensität der digitalisierten C-Flächen getrennt nach Störfaktoren

5.2.1 Skizzierte Flächen unter Murmeltiereinfluss

Die Gesamtdeckung der von Murmeltieren dominierten Flächen muss differenziert betrachtet werden. So ist zwar häufig eine Gesamtdeckung von 20% oder mehr vorzufinden, doch ein großer Teil der Arten ist bereits tot. Die unter Abbildung 5.19 dargestellten Mikroflächen

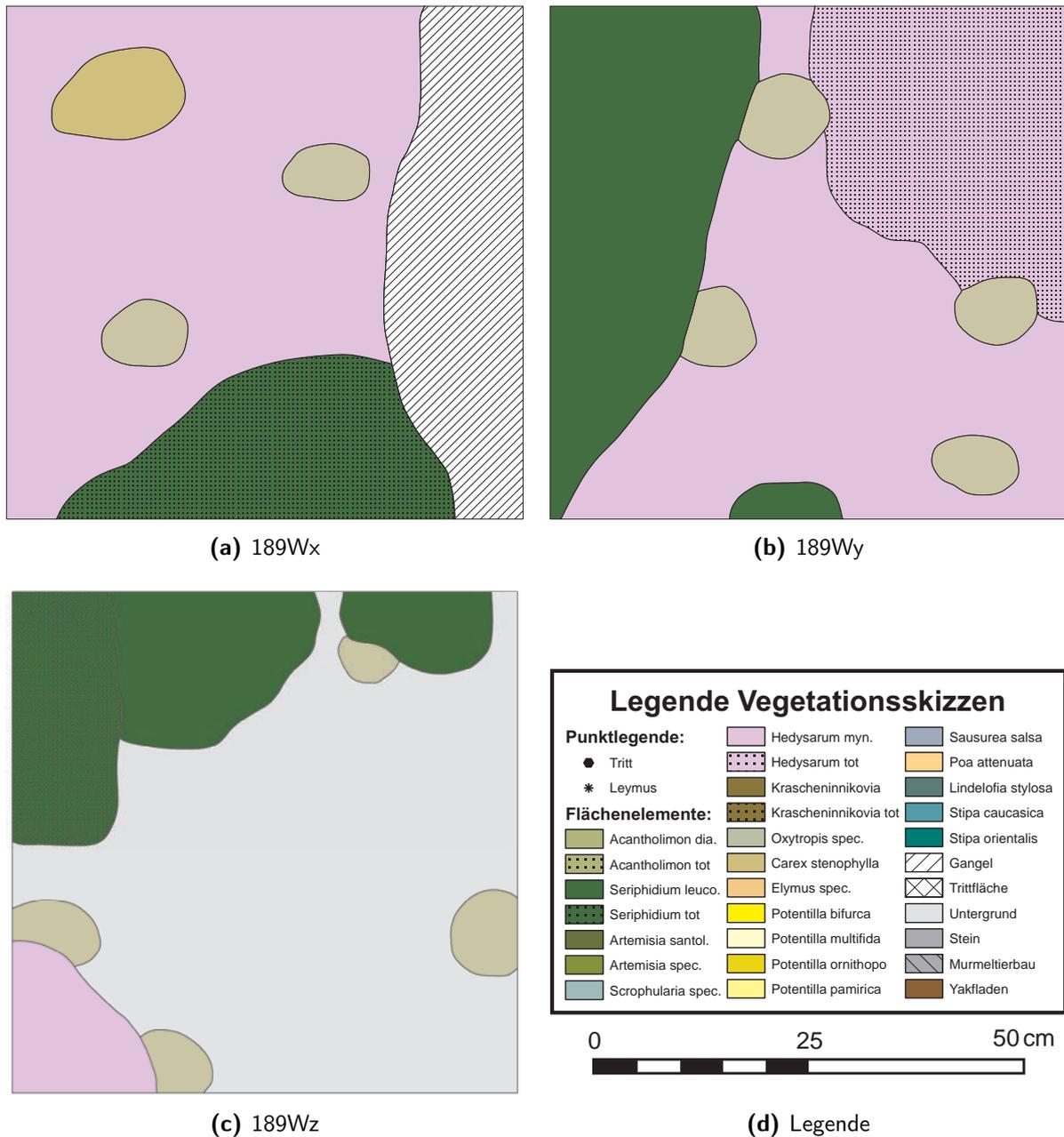


Abbildung 5.19: Von Murmeltieren beeinflusste Mikroflächen der Aufnahme 189W

der Aufnahme 189W zeigen deutlich, dass zwar eine hohe Deckung der Fläche vorhanden ist, ein Teil der Pflanzen nur noch bzw. zu großen Teilen in Form von toter Biomasse zur Verfügung steht. In direkter Nähe der Bauten kommt es zu keiner starken Ausprägung der

Gesamtdeckung. Wie in den Bildern 5.20 und 5.21 gezeigt, kommt es kaum zur Ausprägung verschiedener Arten.

Relativ tolerant gegenüber dem aufgeworfenen Schotter erweist sich *Seriphidium leucotrichum* und *Stipa*. Im Bash Gumbez ist eine Kombination von Murmeltiereinflüssen und *Leymus secalinus* selten und das dargestellte Beispiel stellt eine Ausnahme dar. Zwar lässt sich an *Leymus secalinus* Verbiss von Murmeltieren verzeichnen, doch auf Grund der Lage im Talboden werden die Flächen nur selten von Murmeltieren genutzt.

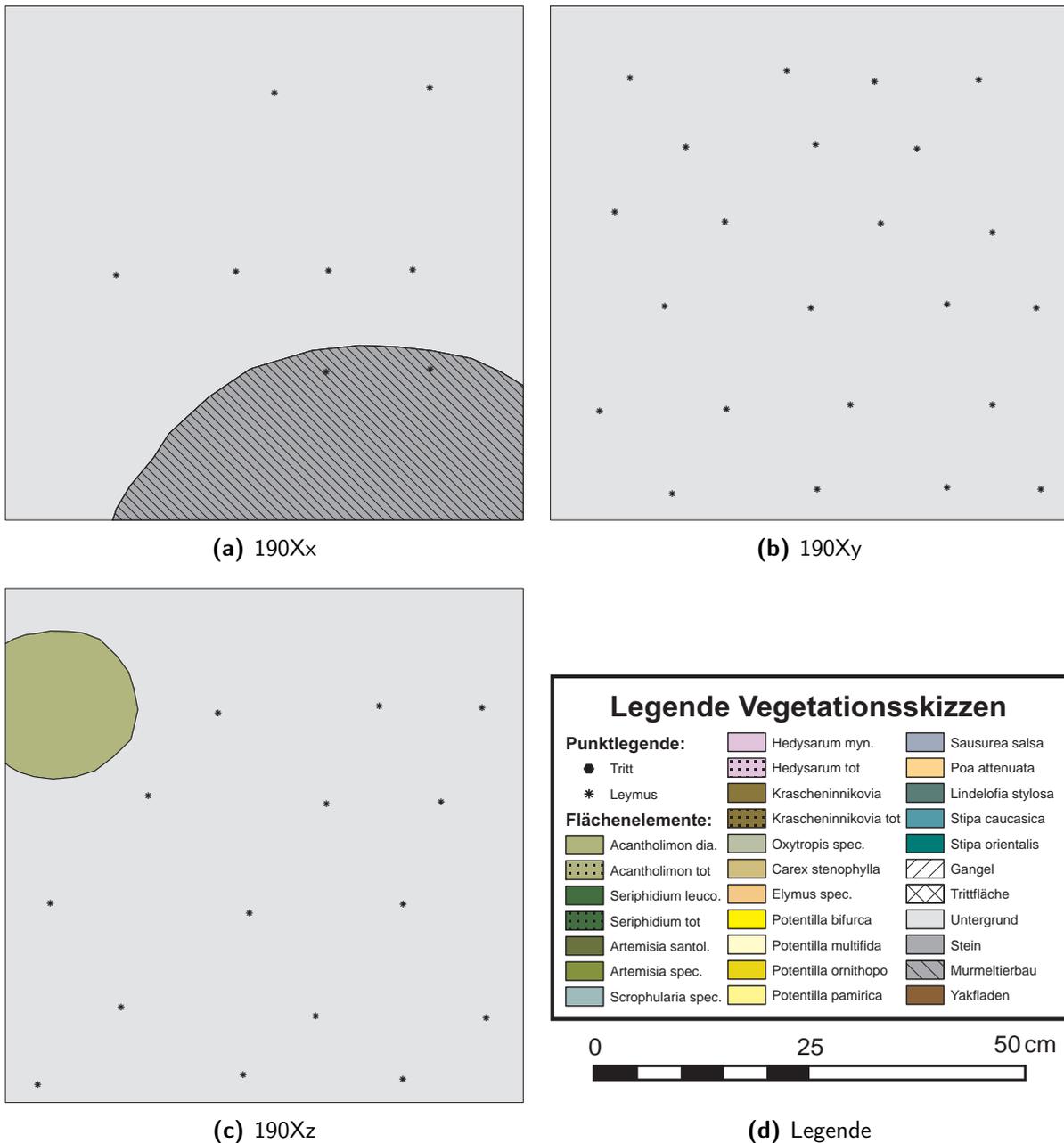


Abbildung 5.20: Mikroflächen der Aufnahme 190X

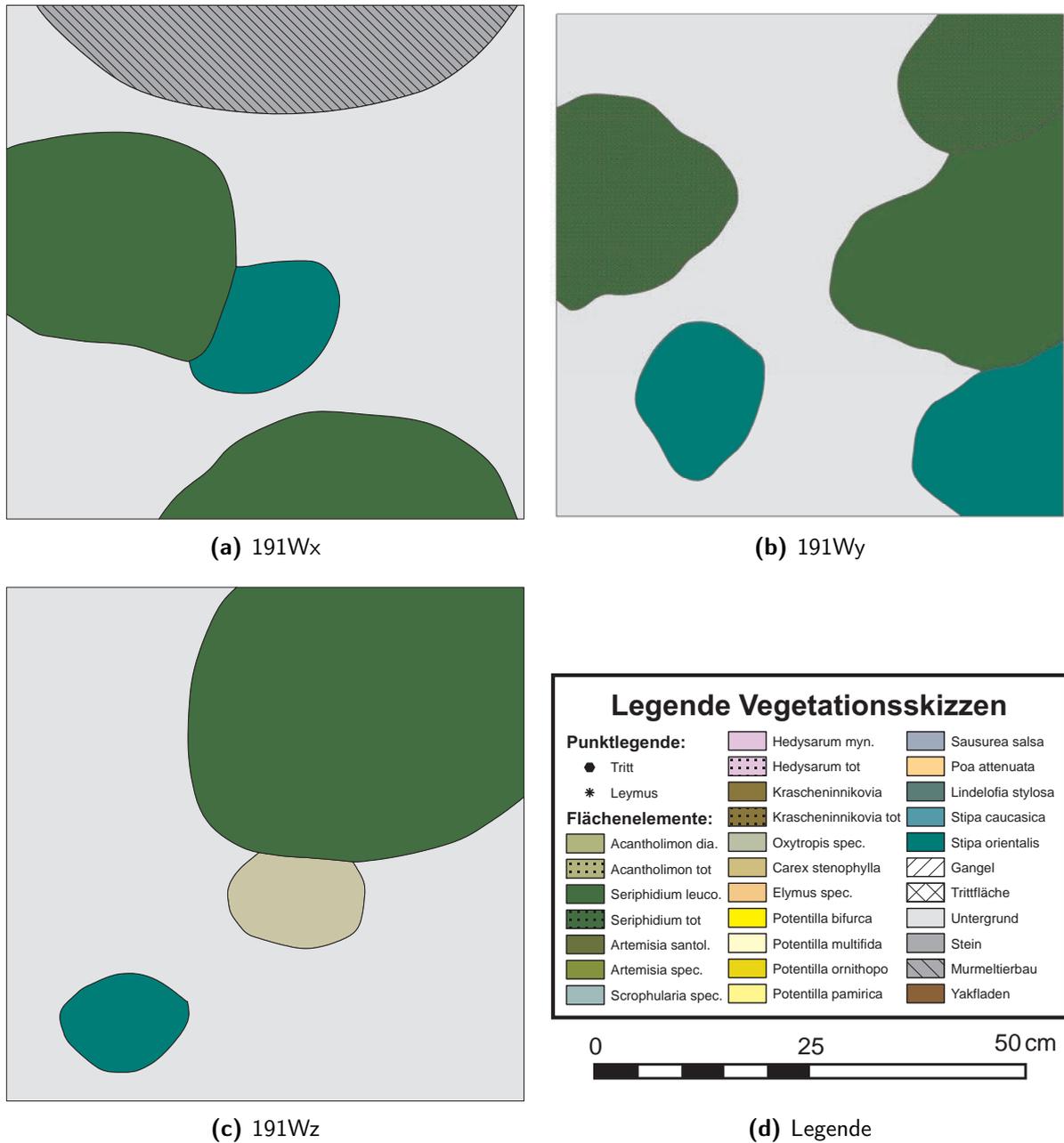
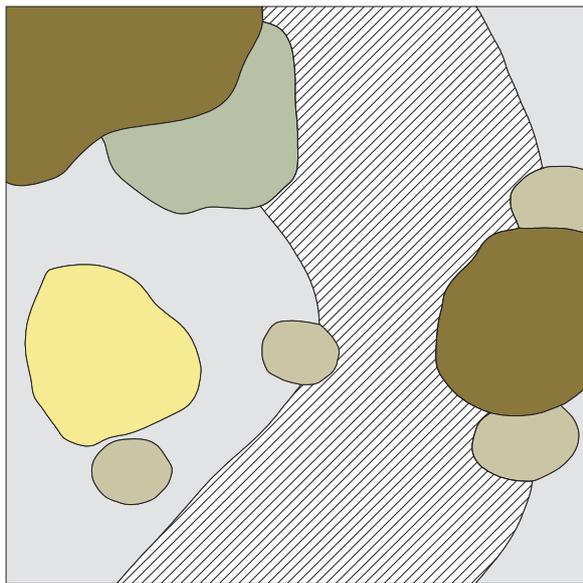


Abbildung 5.21: Mikroflächen der Aufnahme 191W

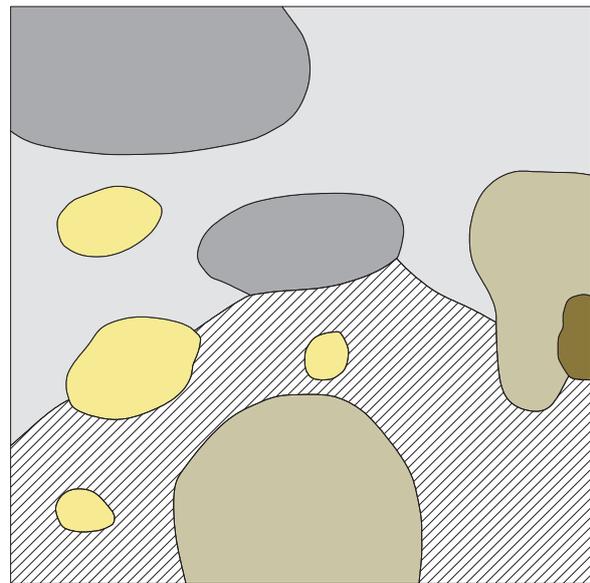
5.2.2 Skizzierte Flächen unter dem Einfluss der Schafsbeweidung

Der Median der Artenzahl weist keine merklichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Störfaktoren auf. Bei Betrachtung des Mittelwertes und der Standardabweichung fällt allerdings auf, dass besonders die Flächen, die vermehrt durch Schafe genutzt werden, eine weite Variationsbreite an Artenzahlwerten, im Vergleich zu den anderen, aufweist. Die skizzierten Flächen der Aufnahme 185Z, dargestellt unter Abbildung 5.22 zeigen dieses Muster deutlich.

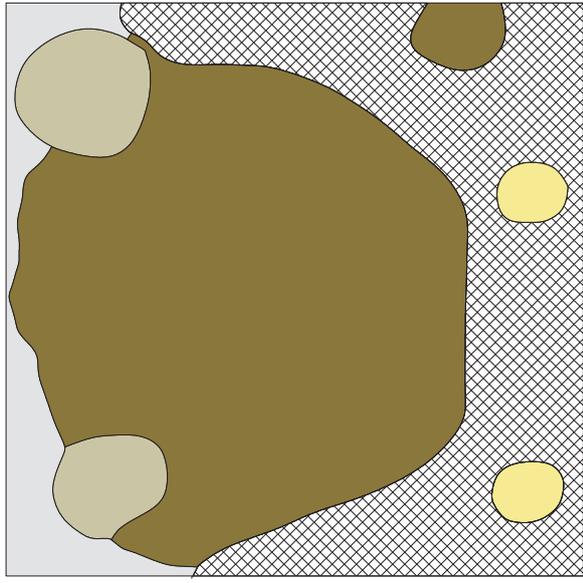
Zeigen die Murmeltierflächen unter Abbildung 5.20 und 5.21 nur ein oder zwei Arten, fällt die erste der drei Flächen dadurch auf, dass hier vier verschiedene Arten entlang einer Viehgangel auftreten. Im Gegensatz zu den kleinen Formen, die sich unter Ziegen ausbilden, können bei Schafsbeweidung große zusammenhängende Formen, insbesondere bei den Zwergsträuchern und Polstern entstehen. Schafe graben die Wurzeln der Pflanzen weniger stark an. Zusammenhängende Polster und Zwergsträucher zeigen sich auch in Abbildung 5.23.



(a) 185Zx



(b) 185Zy



(c) 185Zz

Legende Vegetationsskizzen

Punktlegende:	Hedysarum myn.	Sausurea salsa
Tritt	Hedysarum tot	Poa attenuata
Leymus	Krascheninnikovia	Lindelofia stylosa
Flächenelemente:	Krascheninnikovia tot	Stipa caucasica
Acantholimon dia.	Oxytropis spec.	Stipa orientalis
Acantholimon tot	Carex stenophylla	Gangel
Seriphidium leuco.	Elymus spec.	Trittfläche
Seriphidium tot	Potentilla bifurca	Untergrund
Artemisia santol.	Potentilla multifida	Stein
Artemisia spec.	Potentilla ornithopo	Murmeltierbau
Scrophularia spec.	Potentilla pamirica	Yakfladen



(d) Legende

Abbildung 5.22: Mikroflächen der Aufnahme 185Z

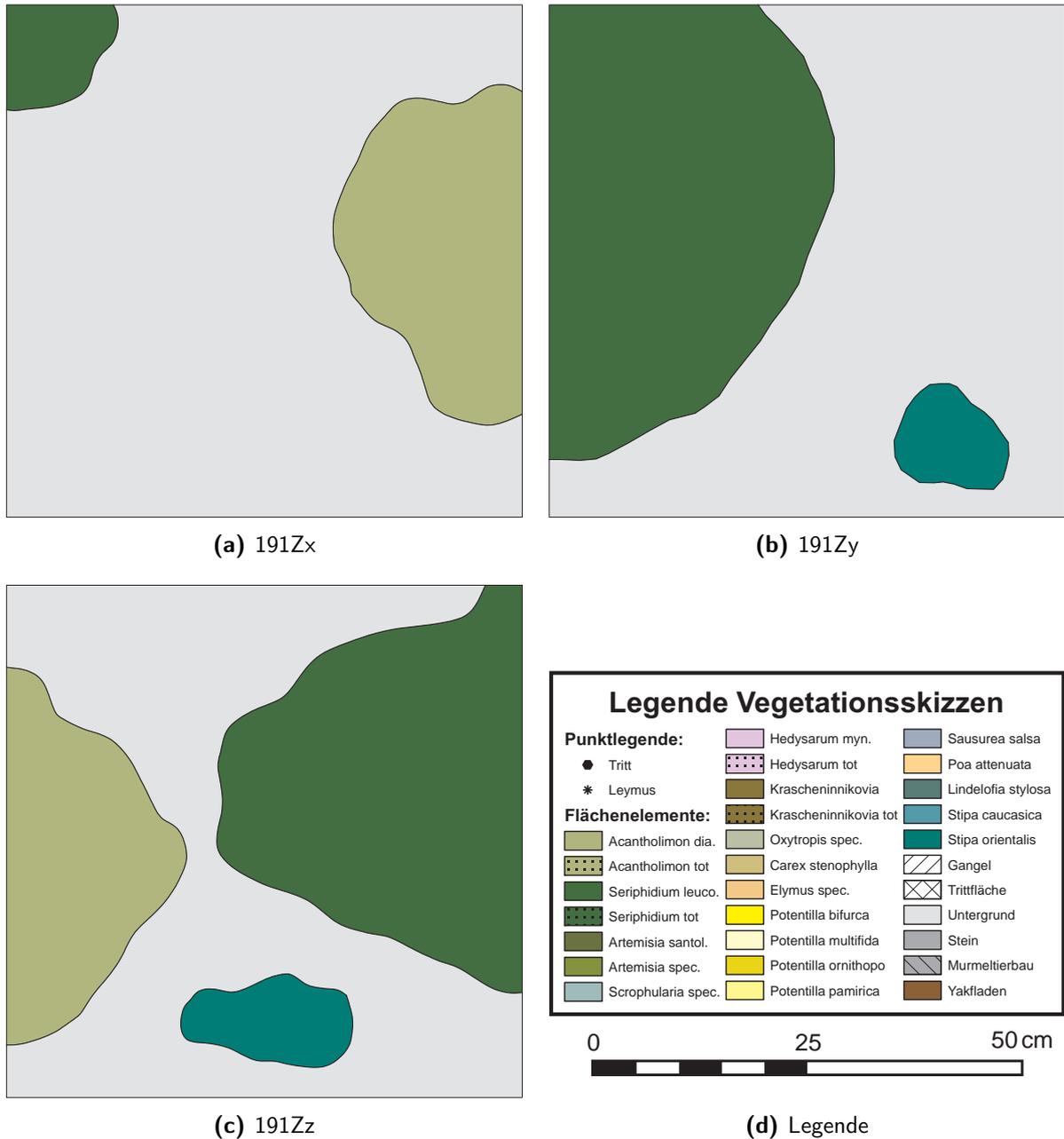


Abbildung 5.23: Mikroflächen der Aufnahme 191Z

5.2.3 Skizzierte Flächen unter dem Einfluss der Beweidung durch Ziegen

Die drei zusammengehörigen Flächen der Aufnahme 186W sind in Abbildung 5.24 dargestellt. Beispielhaft für Flächen mit Ziegenbeweidung ist hier die Ausbildung sehr kleiner und zerplückter Strukturen zu sehen. Im Schutz großer Steine kommt es ebenfalls zur Ausbildung von Arten. Neben *Krascheninnikovia ceratoides* tolerieren *Stipa orientalis* und *Stipa caucasica* in einem gewissen Rahmen die Beweidung durch Ziegen.

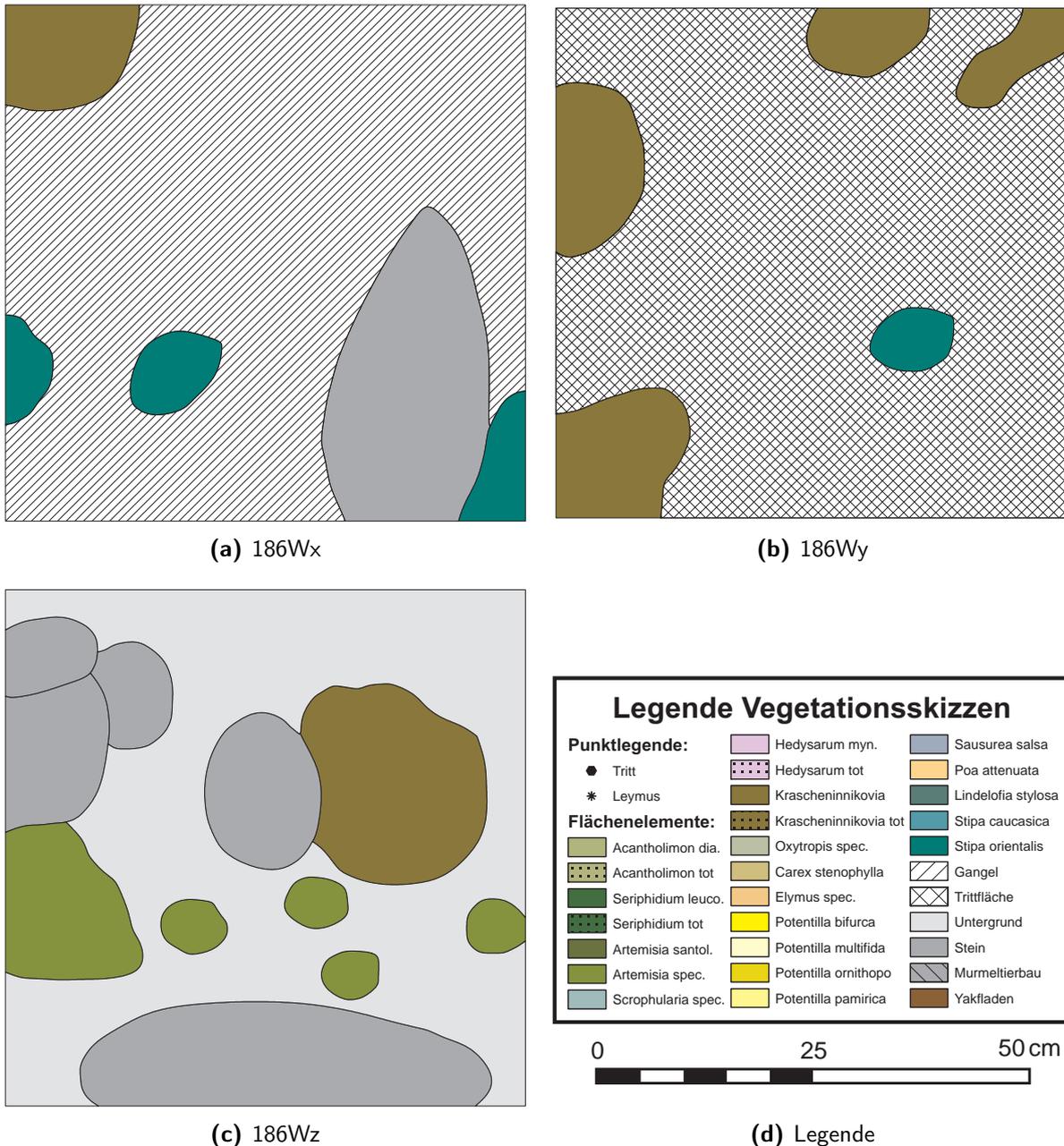


Abbildung 5.24: Mikroflächen der Aufnahme 186W

5.2.4 Skizzierte Flächen unter Tritteinfluss

Bei der Betrachtung derjenigen Flächen, welche in der Kategorie Tritt einen Wert von 4 oder 5 aufweisen, fallen, je nach Ausprägung des Tritts, unterschiedliche Dinge auf. Die drei Flächen der Nummer 185W, zu sehen unter Abbildung 5.25, geben einen Überblick über die unterschiedlichen Dimensionen von Tritt. Entlang von ausgeprägten Gangeln ist die Gesamtdeckung sehr gering. Lediglich kleine Ausbildungen des Zwergstrauches *Krascheninnikovia ceratoides* halten dem Druck stand. Um kleinere Trittflächen entstehen mehrere kleine Einheiten. Arten wie *Potentilla* oder *Poa attenuata* gewinnen an Bedeutung. Die Ausbildung kleiner Strukturen

(Abb. 5.26) zeigt in den ersten zwei Teilbildern, welche niedrigere Trittwerte haben, deutlich weniger kleine und verschiedene Artenstrukturen. Im dritten Bild nimmt die Ausbildung kleinräumiger Strukturen zu.

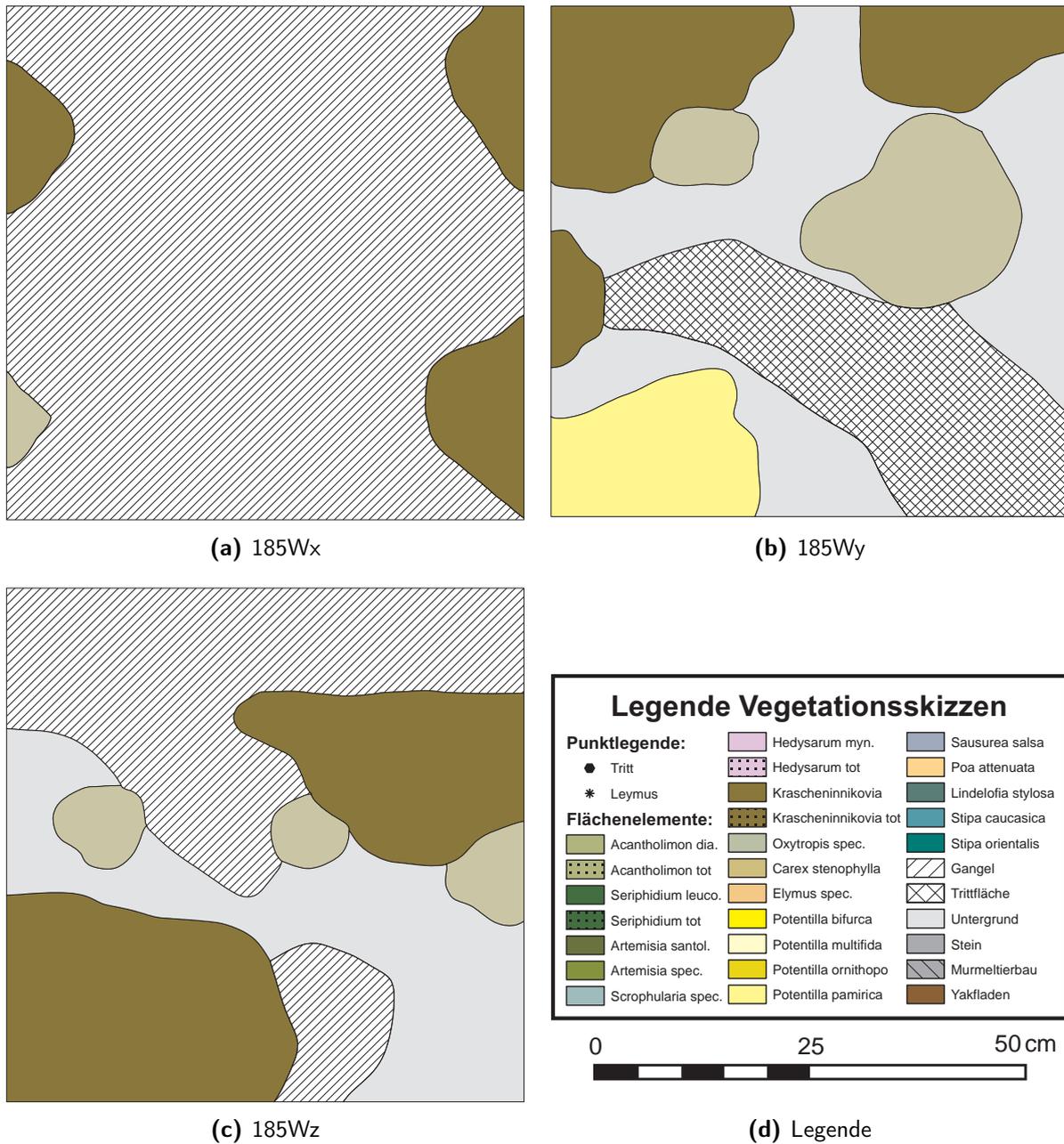


Abbildung 5.25: Mikroflächen der Aufnahme 185W

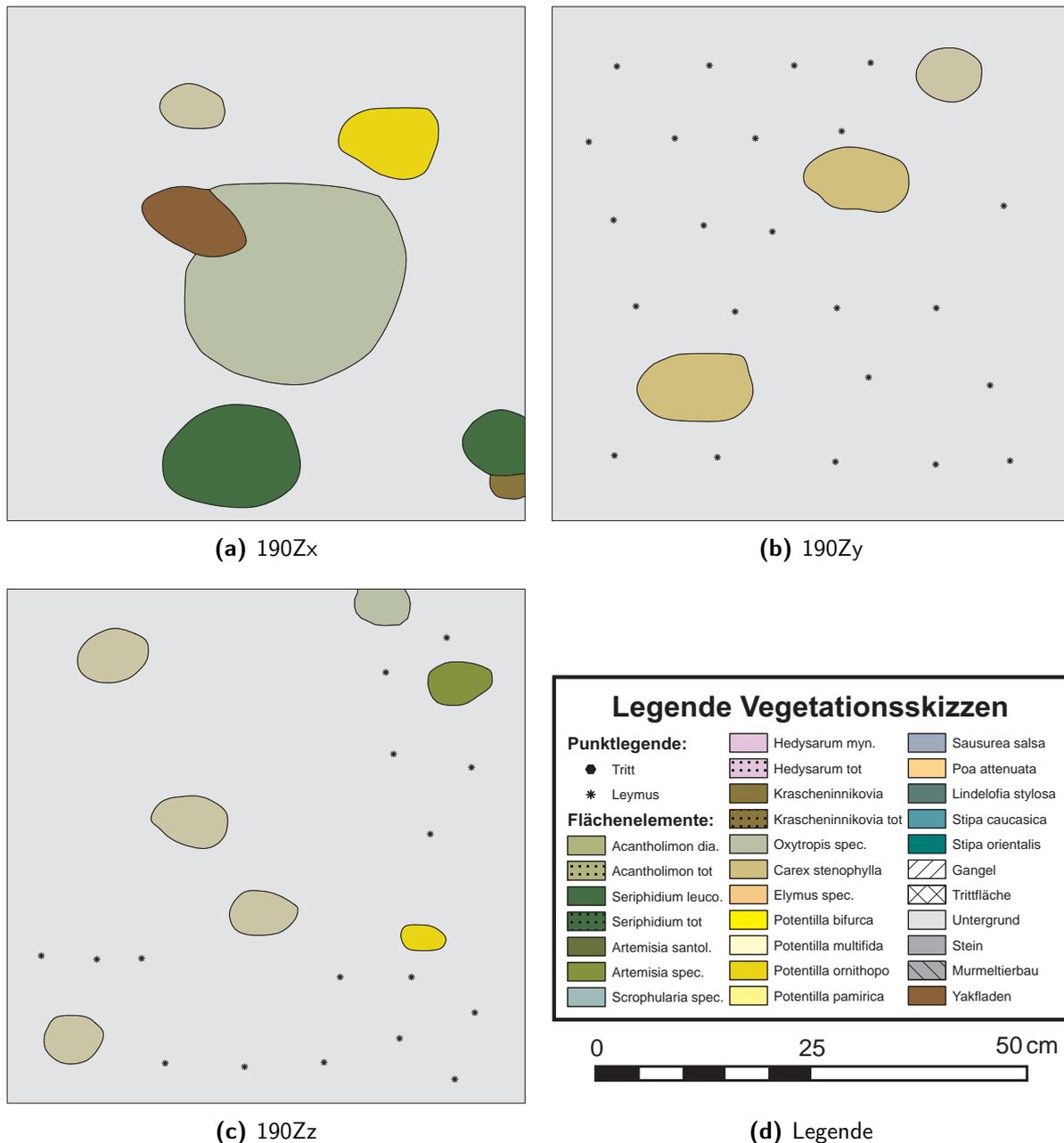


Abbildung 5.26: Mikroflächen der Aufnahme 190Z

5.3 Korrelationsanalyse

Die inhaltliche Fragestellung der Korrelation bezieht sich auf den Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen. Bei einer zweiseitigen Korrelationsanalyse kommt dabei folgendes Hypothesenpaar zur Anwendung:

- H_1 : X und Y haben einen monotonen Zusammenhang
- H_0 : X und Y haben keinen monotonen Zusammenhang.

Eine Veränderung dieses Hypothesenpaares findet besonders in der Ökologie häufig Anwendung:

- H_1 : X und Y haben einen positiven monotonen Zusammenhang
- H_2 : X und Y haben einen negativen monotonen Zusammenhang.

Für die Verwendung ordinalskalierten Variablen in der Korrelationsanalyse muss entweder der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman oder der Koeffizient nach Kendall gewählt werden. Grundlage für die Rangkorrelation nach Spearman ist die Produkt-Moment-Korrelation der Rangreihen der Variablen. Die Daten werden für die Korrelation nach Spearman in Rangplätze überführt. Die Berechnung des Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten erfolgt nach der Formel:

$$r_S = 1 - \frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \quad (5.1)$$

n = Rangpaare

D = Differenzen der n Rangpaare

Der Test läuft dabei ähnlich ab, wie bei der Produkt-Moment-Korrelation. Nach Wahl des geeigneten Tests, in diesem Fall Spearman, werden die statistischen Hypothesen aufgestellt. Das Signifikanzniveau wird in der Regel mit $\alpha=0,05$ oder $\alpha=0,01$ festgelegt. Durch die Spearman-Rangkorrelation wird eine Transformation zur Normalverteilung vermieden. Ausreißer haben bei diesem Verfahren auf Grund der Rangplatzierung keinen großen Einfluss. Der Korrelationskoeffizient nimmt immer Werte zwischen -1 und 1 an. Dabei bedeutet -1 eine perfekt negative und +1 eine perfekt positive Korrelation. Werte zwischen 0,7 und 1 drücken eine tendenziell starke Korrelation aus, wohingegen zwischen 0,3 und 0,7 eine schwache Korrelation anzunehmen ist. Werte um 0 zeigen an, dass zwei Variablen keinen gemeinsamen linearen Zusammenhang aufweisen (Lozán & Kausch, 2004; Rudolf & Kuhlisch, 2008).

5.3.1 Korrelationsanalyse der Mesoflächen

Die Korrelationsanalyse der ursprünglich 301 Mesoflächen wurde in SPSS unter Anwendung des Spearman-Korrelationskoeffizienten durchgeführt. Je nach vorhandener Datenlage wurden einige Variablen auf weniger Fälle reduziert.

Einbezogen wurden dabei die wichtigsten Umweltvariablen, die vorliegenden Bodenparameter sowie die häufig vertretenen Arten. Im Folgenden sollen kurz die wichtigsten Korrelationen der Umwelt- und Bodenparameter untereinander betrachtet werden, bevor die Korrelation der Arten mit den Variablen überprüft wird. Alle vorgestellten Werte sind auf einem 0,01 oder mindestens 0,05 Niveau signifikant.

- Gesamtdeckung - Beweidungsintensität
Mit zunehmender Beweidungsintensität steigt die Gesamtdeckung. Diese Korrelation ist mit einem Wert von 0,326 zwar relativ schwach, was jedoch auf Ausreißerwerte zurückzuführen ist. So weisen beispielsweise die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten häufig relativ hohe Beweidungsintensitäten, zumeist in Form von Tritt und Fäkalien, aber eine

sehr geringe Deckung auf. Erklärung für den Zusammenhang steigender Gesamtdeckung mit der Beweidungsintensität bieten in erster Linie die Quellrasenflächen.

■ Gesamtdeckung - Artenzahl

Der Zusammenhang der steigenden Artenzahl mit steigender Deckung lässt sich ebenfalls mit Blick auf die Quellrasenflächen erklären. Die deckungsintensivsten Flächen des Aufnahmegebietes weisen daher eine relativ hohe Artenzahl auf.

■ Gesamtdeckung - Bodenparameter

Zwischen denjenigen Bodenparametern, welche den Humusgehalt beeinflussen sowie dem Humusgehalt selbst besteht eine schwach positive Korrelation mit der Gesamtdeckung. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff weist dabei mit 0,651 den höchsten Wert auf. Der Kalkgehalt im Boden hat einen schwach negativen Einfluss auf die Gesamtdeckung. Ebenso lässt sich ein signifikant schwach negativer Zusammenhang zwischen der Gesamtdeckung und dem Skelettanteil im Boden feststellen.

■ Beweidungsintensität - Skelettanteil

Mit steigendem Skelettanteil im Boden sinkt die Beweidungsintensität. Auf Grund der fehlenden Skelettwerte von einigen Proben kann hier lediglich auf einen Stichprobenumfang von 281 Proben zurückgegriffen werden.

■ Artenzahl - Bodenparameter

Die Artenzahl weist, vergleichbar mit der Gesamtdeckung, ebenso mit denjenigen Bodeneigenschaften einen positiven Wert auf, welche den Humusgehalt beeinflussen. Der Humusgehalt korreliert von allen Bodenparametern mit 0,523 am besten.

■ Gesamtdeckung - Entfernung Wasser

Die Gesamtdeckung wird durch die Entfernung zum Wasser schwach negativ beeinflusst. Eine zunehmende Entfernung zum Wasser, sowohl perennierend als auch saisonal, führt zu einer Abnahme der Deckung.

■ Entfernung Siedlung - Leitfähigkeit

Der signifikante Zusammenhang zwischen der Leitfähigkeit und der Entfernung zur nächsten Siedlung bzw. Jurte ist schwach negativ. Die Leitfähigkeit in den Böden nimmt mit Entfernung zur Jurte ab. Dies kann damit in Zusammenhang stehen, dass die Jurten in der Regel nahe der Wasserläufe aufgebaut werden. Die Leitfähigkeit im Boden nimmt im allgemeinen vom feuchten zum trockenen hin ab.

■ Bodenparameter

Innerhalb der Bodenparameter gibt es verschiedene signifikante Korrelationen, welche teilweise, bedingt durch logische Zusammenhänge, starke Korrelationen bilden wie beispielsweise zwischen Schluff- und Sandgehalt.

Die nachfolgende kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelation der wichtigsten Pflanzenarten mit den Umwelt- und Bodeneigenschaften soll nur einen Auszug der Artenliste darstellen und gewährt keine Vollständigkeit. Erwähnung finden insbesondere Pflanzen, welche häufig vorzufinden sind, für eine bestimmte Vegetationsformation charakteristisch erscheinen oder einen sehr positiven bzw. sehr negativen Zusammenhang mit den Variablen aufweisen.

- *Artemisia rhodanta*
Das Vorkommen von *Artemisia rhodanta* korreliert negativ mit der Beweidungsintensität, Artenzahl, pH-Wert und Kalkgehalt im Boden. Eine positive Korrelation zeigt sich mit dem Schluffgehalt und dem C/N-Verhältnis.
- *Artemisia santolinifolia*
Ein sehr gut positiv korrelierter Zusammenhang besteht zwischen dem Vorkommen von *Artemisia santolinifolia* und dem Sandgehalt sowie der Leitfähigkeit. Mit steigender Beweidungsintensität nimmt die Anzahl der Art zu, wohingegen sie mit zunehmenden pH-Wert abnimmt.
- *Carex pseudofoetida*
Zwischen der Deckung und der Art besteht ein positiver Zusammenhang. Ebenso lässt sich mit zunehmender Beweidungsintensität und steigendem Kalkgehalt eine Zunahme von *Carex pseudofoetida* verzeichnen.
- *Stipa splendens*
Stipa splendens korreliert stark negativ mit der Artenzahl. Allerdings ist anzumerken, dass *Stipa splendens* auf nur wenigen Flächen vorkommt und daher der Stichprobenumfang zu gering ist, um eine fundierte Aussage über die Korrelation treffen zu können.
- *Hedysarum minjanense*
Die Entfernung zur Siedlung bzw. Jurte zeigt einen positiven Zusammenhang mit dem Vorkommen von *Hedysarum minjanense* der bei einem Wert von 0,447 liegt.
- *Hordeum turkestanicum*
Neben der saisonalen Entfernung zum Wasser spielt auch der perennierende Einfluss eine Rolle für das Auftreten von *Hordeum*. Die Korrelation zwischen der Entfernung zum Wasser und dem Auftreten von *Hordeum turkestanicum* ist schwach positiv.
- *Nepeta kokanica*
Nepeta kokanica korreliert positiv mit dem Parameter Entfernung zur Siedlung. Mit der Leitfähigkeit besteht ein negativer Zusammenhang von -0,621.
- *Oxytropis microphylla*
Ein stark negativer Zusammenhang besteht zwischen dem Auftreten von *Oxytropis microphylla* und dem Humusgehalt im Boden. Mit zunehmenden Kalkgehalt im Boden lässt sich ein Rückgang von *Oxytropis microphylla* verzeichnen.
- *Oxytropis platonychia*
Oxytropis platonychia zeigt eine Korrelation mit verschiedenen Bodeneigenschaften. Besonders auffällig ist der positive Zusammenhang mit dem Humusgehalt und dem Schluffanteil im Boden. Negativ korreliert ist der Zusammenhang von *Oxytropis* mit der Entfernung zu saisonalem Wasser.
- *Potentilla bifurca*
Potentilla bifurca korreliert schwach negativ mit dem CaCO₃-Gehalt im Boden.
- *Potentilla ornithopoda*
Im Vergleich zu der zuvor betrachteten *Potentilla bifurca* zeigt die Korrelation von *Potentilla ornithopoda* mit dem Kalkgehalt im Boden ein gegensätzliches Ergebnis. So entsteht

hier ein positiver Zusammenhang mit einem Wert von 0,665. Negative Zusammenhänge lassen sich hier lediglich mit der Entfernung zur Siedlung erkennen.

- *Potentilla pamirica*

Im Vergleich zu den beiden vorigen *Potentillas* lässt sich bei *Potentilla pamirica* kein Zusammenhang mit dem Kalkgehalt des Bodens feststellen. Positive Korrelationen entstehen hier mit dem Tongehalt, der Leitfähigkeit, dem Stickstoff und dem Humusgehalt im Boden. Von den sonstigen Variablen korreliert die Deckung positiv mit *Potentilla pamirica*.

- *Saxifraga flagellaris*

Salzhaltige Böden scheinen für *Saxifraga flagellaris* ungünstig zu sein. Dies lässt sich aus der negativen Korrelation von *Saxifraga flagellaris* mit der Leitfähigkeit ersehen. Die Entfernung zu saisonalem Wasser sowie der Kalkgehalt korrelieren mit Werten von 0,695 positiv mit der Art.

- *Seriphidium leucotrichum*

Die insbesondere im Bash Gumbez dominante Art, *Seriphidium leucotrichum*, weist lediglich mit der Gesamtdeckung eine positive Korrelation von 0,690 auf.

- *Smelovskia calycina*

Auf Grund der negativen Korrelation mit dem Sandgehalt und der stark positiven Korrelation mit dem Tongehalt, lässt sich annehmen, dass *Smelovskia calycina* besonders auf Böden mit feinkörnigem Substrat vorzufinden ist.

- *Stipa orientalis*

Bei der Korrelation von *Stipa orientalis* fallen eine schwach positive Korrelation mit der Beweidung und dem Sandgehalt auf.

5.4 Clusteranalyse

„Unter Clusteranalyse versteht man eine Gruppe von hierarchisch-agglomerativen Klassifikationsverfahren, die als Gemeinsamkeit im Ergebnis immer ein Dendrogramm der Objekte erstellen“ (Leyer & Wesche, 2007:159). Ziel der Analyse ist es einen mehrdimensionalen Datensatz in mehrere einander ähnliche oder unähnliche Untergruppen einzuteilen. Zu beachten bei der Clusteranalyse ist, dass die Anzahl der zu klassifizierenden Objekte nicht zu klein ist. Als Richtwert sollte versucht werden, dass die Anzahl der Objekte mindestens doppelt so groß ist wie die der Variablen. Für die Untersuchung sollten nur Variablen ausgewählt werden, welche eine gewisse Relevanz für die beabsichtigte Trennung aufweisen. Die Daten sollten, so verschiedene Arten vorliegen, zuvor transformiert, standardisiert oder normiert werden. Weichen Werte der Merkmalsvariablen stark ab und bilden sogenannte Ausreißer, sollten diese entfernt werden, da sonst die komplette Analyse verfälscht wird. Anzuwenden sind metrische Daten. Ordinalskalierte Variablen stellen bei der Klassifikation ein Problem dar und müssen daher zuvor durch ein geeignetes Verfahren umgewandelt werden (Leyer & Wesche, 2007; Lozán & Kausch, 2003).

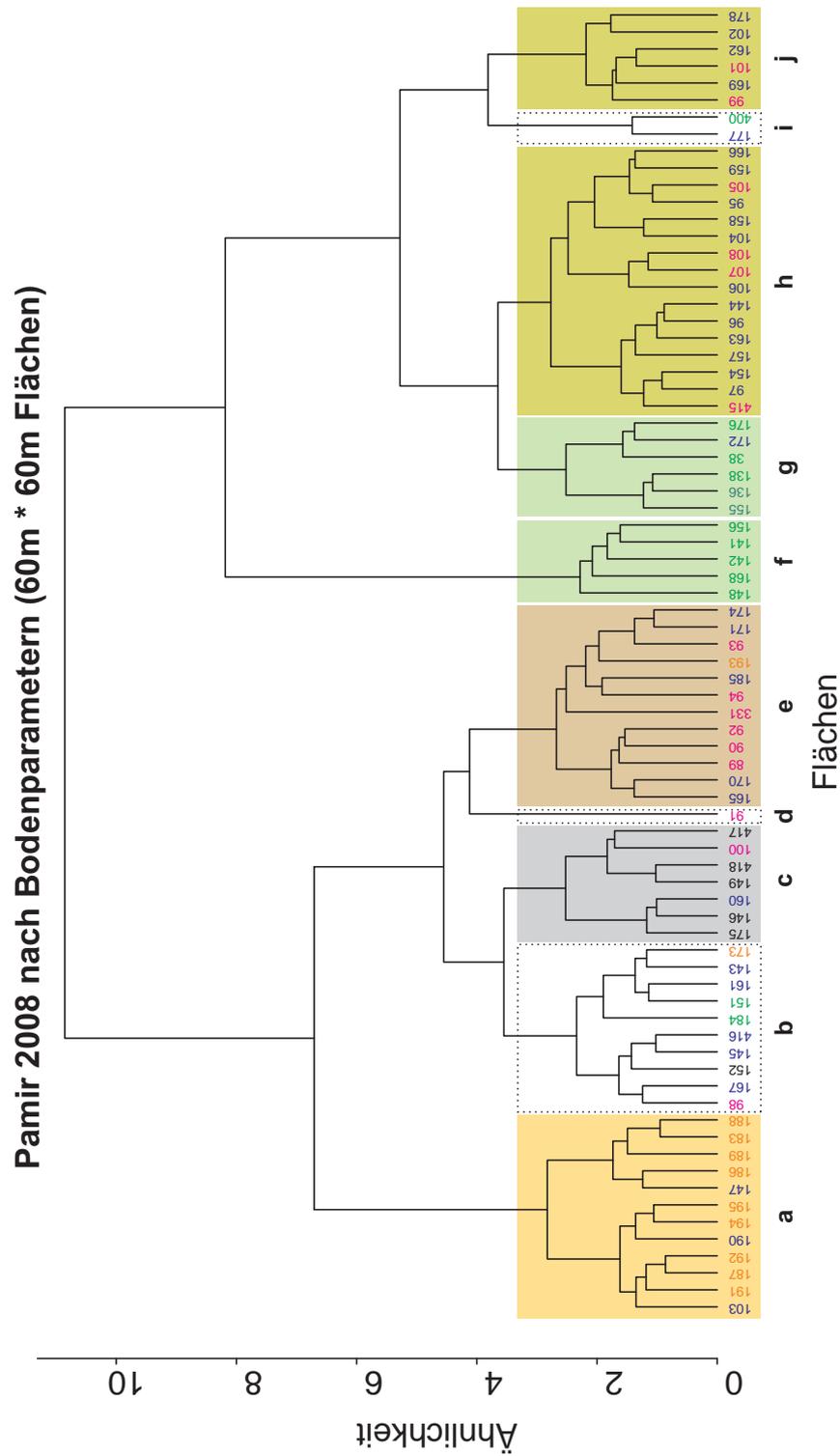


Abbildung 5.27: Klassifikation der 60 m × 60 m Flächen nach Bodenparametern
 Distanzmaß = euklidisch; Methode = ward
 a-j: Eingeteilte Gruppen nach Bodenparametern
 Farben der abgebildeten Zahlen: pink = Wüsten und Zwergstrauchwüsten; blau = Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Krascheninnikovia; orange = Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Seriphidium; dunkelgrün = Quellrasen; hellgrün = Alpine Matten; schwarz = Felsvegetation

5.4.1 Flächenklassifikation nach Bodeneigenschaften

Die Klassifikation der Flächen nach Bodenparametern, dargestellt in Abbildung 5.27, wurde für 77 Flächen der Größe 60 m × 60 m vorgenommen. Eingang in die Clusteranalyse fanden dabei nur Flächen, deren Bodendaten, mit Ausnahme der Kationenaustauschkapazität, vollständig vorlagen und mindestens mit Mesoflächen ausgestattet sind. Die beigefügte Tabelle A.1 zeigt, welche Parameter Eingang in die Analyse fanden. Die Kationenaustauschkapazität wurde nicht berücksichtigt, da diese zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht für alle Flächen vorlag. Bei den 77 Flächen erfolgte kein Ausschluss derer, die nicht in den fokussierten Beispieltälern liegen. Alle Flächen, unabhängig des Gebietes und ihrer sonstigen Umweltparameter, wurden berücksichtigt.

Nach einer Skalierung der Daten um den Mittelwert, wird das Ward-Verfahren als geeignetes metrisches Klassifikationsverfahren herangezogen. Dabei findet die euklidische Distanz als Distanzmaß Verwendung. Die Berechnung dieser erfolgt nach der Formel:

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - x_{ik})^2} \quad (5.2)$$

d_{jk} bezeichnet das metrische Distanzmaß, in dem von den Variablen $x_1 \dots x_m$ aufgespannten Koordinatensystem. Es findet traditionell bei der Ward-Methode Verwendung um im Dendrogramm die quadrierte Euklidische Distanz abzubilden (Leyer & Wesche, 2007).

Bei Annahme eines Ähnlichkeitswertes ≥ 3 lassen sich 10 Gruppen ausweisen. Für die nachfolgende Betrachtung spielen lediglich die in Abbildung 5.27 farblich hervorgehobenen Gruppen eine Rolle. Die sieben hervorgehobenen Gruppen lassen eine eindeutige Zuordnung zu einer der vorgestellten Vegetationseinheiten zu und sollen im Folgenden auf ihre klassifizierenden Eigenschaften hin betrachtet und in Zusammenhang mit den ihnen zu Grunde liegenden Vegetationseinheiten gebracht werden. Die übrigen drei Gruppen werden auf Grund ihrer Heterogenität oder zu kleinen Größe nicht näher betrachtet. In Tabelle A.2 werden zusätzlich zu den Bodenparametern die wichtigsten Umweltvariablen sortiert nach Gruppen aufgelistet und in die nachfolgende Betrachtung miteinbezogen.

Die zwölf Flächen der Gruppe a lassen eine eindeutige Zuordnung zur Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Seriphidium (ZPSS) zu. Drei der Flächen, Nummer 103, 147 und 190, werden als Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Kraschennikovia (ZPSK) ausgewiesen. Mit Ausnahme der Nummern 103 und 147 befinden sich die Flächen ausschließlich im Bash Gumbuz. Diese Flächen vernachlässigend liegen die weiteren Flächen der Gruppe alle in einer Höhenlage zwischen 4106 m ü. NN und 4260 m ü. NN. In Abbildung 5.28 dargestellt, lässt sich erkennen, dass die Böden der ZPSS einen äußerst niedrigen Skelettanteil gemeinsam haben. Zusätzlich weisen diese Böden einen sehr hohen Sandgehalt auf. Der niedrigste Kalkgehalt, dargestellt in Abbildung 5.32, kann mit 1,95% dieser Gruppe zugeordnet werden. Betrachtet man den CaCO_3 -Gehalt genauer, so kann festgestellt werden, dass die Werte der drei ZPSK-Flächen deutlich über den Werten der übrigen Flächen liegen. Bei einer Vernachlässigung dieser Werte würde der Kalkgehalt nur noch durchschnittlich 1,02% betragen. Der pH-Wert findet mit einem Wert von 6,53 in dieser Gruppe sein Minimum. Hinsichtlich der weiteren bodencharakterisierenden Eigenschaften lassen sich keine Besonderheiten feststellen.

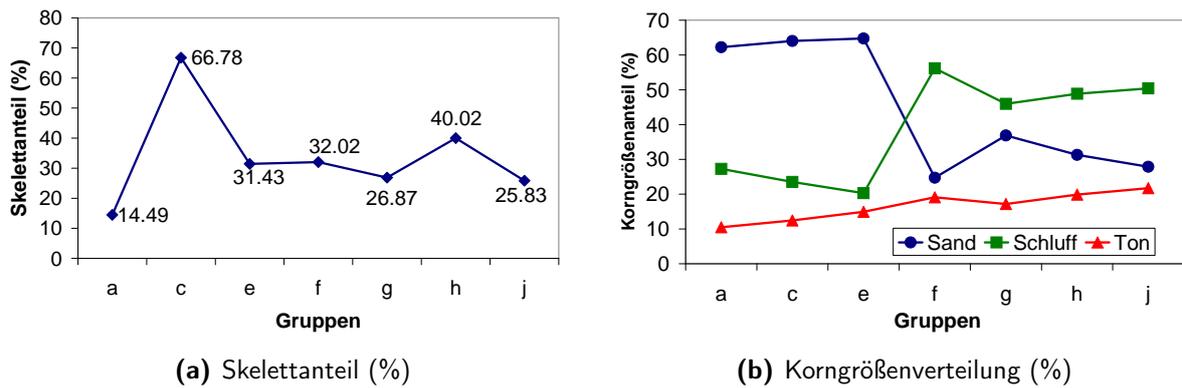


Abbildung 5.28: Mittelwerte des Skelettanteils und der Korngrößenanalyse des Bodens für die einzelnen Gruppen

Die kleine Gruppe c, welche nur aus sieben Flächen besteht, lässt sich zu überwiegenden Teilen der Felsvegetation zuordnen. Eine Verortung der meisten Flächen im Madian Gumbez Kol ist möglich. Kennzeichnend ist weiterhin die hohe Hangneigung, welche sich im Bereich 27–33° bewegt sowie die relativ geringe Entfernung zu einem ganzjährig wasserführenden Gewässer. Die Distanz zur nächsten Siedlung ist für die Flächen 146, 149, 417 und 418 mit Distanzen zwischen 1800 m und 3980 m für ein kleines Tal wie das Madian Gumbez Kol sehr hoch. In der unter 5.29 dargestellten Abbildung zeigt sich, dass der Bereich der Felsvegetationsformation der am schwächsten beweidete Bereich im Vergleich ist. Hinsichtlich der Bodeneigenschaften stellt diese Gruppe eine Besonderheit dar. Der Anteil organischen Materials ist sehr gering, so dass Gruppe c bezüglich des Humusgehaltes das Minimum im Vergleich zu den anderen Gruppen markiert. Ein Blick auf das C/N-Verhältnis (Abb. 5.32), den pH-Wert und die Leitfähigkeit (Abb. 5.30) weisen ein äquivalentes Bild auf. Nur bezüglich des Skelettanteils, zu sehen in Abbildung 5.28, bildet dieses Gruppe ein Maximum aus. Mit 66,78% liegt der Skelettanteil dabei fast doppelt so hoch wie in den übrigen Gruppen.

Die Zuordnung des Clusters e fällt schwerer als bei den vorigen Gruppen. Von den 12 Flächen können sechs nach pflanzensoziologischen Kriterien eindeutig als Wüsten und Zwergstrauchwüsten ausgewiesen werden. Die weiteren sechs Flächen sind überwiegend ZPSK-Flächen. Da die Gruppe der Wüsten hier dominiert, erfolgt eine Ausweisung dieser Gruppe als Wüsten- und Zwergstrauchwüstenböden. Gekennzeichnet ist diese Gruppe durch den höchsten mittleren Sandgehalt, einen minimalen Humusgehalt sowie das absolute Maximum im Bereich CaCO_3 . Der pH-Wert der Gruppe liegt ebenfalls im oberen Bereich. Die weite Entfernung zum Wasser ist allen gemeinsam. Räumlich können die meisten, insbesondere die, nach Vegetationskriterien so klassifizierten Flächen, im Madian verortet werden. Auffällig ist, dass die Hangneigung bei vielen der Aufnahmen sehr gering ist.

Gruppe f, bestehend aus fünf Flächen, lässt eine eindeutige Zuordnung zur Formation der Quellrasen zu. Mit Ausnahme der Fläche 168, zu verorten in Cheshtebe, befinden sich alle Flächen im Pshart Gumbez Kol. Von einer Orientierung nach Westen weicht lediglich Nummer 156 ab. Diese bildet auch bei der Entfernung zu einem ganzjährig wasserführenden Gewässer eine Ausnahme. Während sich alle anderen mit einer maximalen Distanz von 260 m in direkter Nähe befinden, liegen hier 1220 m zwischen der Wasserquelle und der Aufnahmefläche. Die Entfernung zur nächsten Siedlung beträgt, vernachlässigt man Fläche 168, über 2200 m.

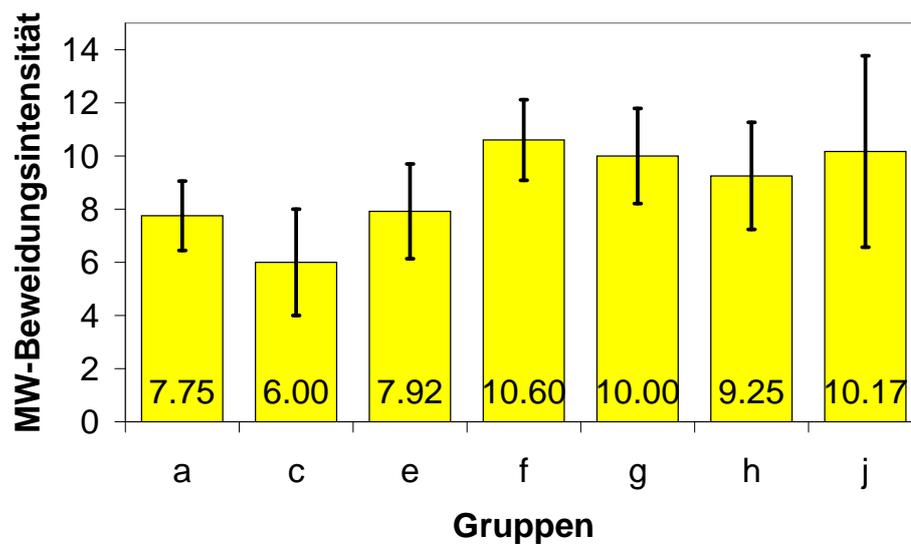


Abbildung 5.29: Mittelwert der Beweidungsintensität in den Kategorien von 0-15 mit Angabe der Standardabweichung für die betrachteten Gruppen

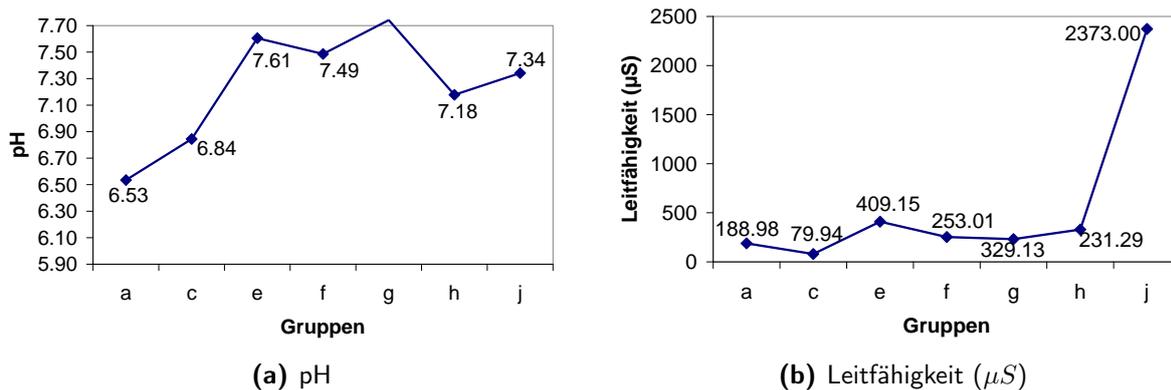


Abbildung 5.30: Mittelwerte des pH-Wertes sowie der Leitfähigkeit für die einzelnen Gruppen

Mit einer durchschnittlichen Beweidungsintensität von 10,60 stellt Gruppe f (Abb. 5.29) das Maximum dar. Wichtig ist zu bemerken, dass sich hier die geringste Abweichung vom Mittelwert ausbildet, was dafür spricht, dass alle Werte in einem ähnlich hohen Bereich liegen und nicht Ausreißer den Mittelwert künstlich verzerren. Die Bedeckung ist, wie für die Formation der Quellrasen typisch, sehr hoch und liegt in einem Bereich von 50–90 %. Ein sehr hoher Schluffgehalt sowie ein relativ ausgeglichenes Ton-Sandverhältnis kennzeichnen die Korngrößenverteilung dieser Böden. Die hohe organische Auflage sorgt dafür, dass diese Böden im Bereich Humusgehalt, Glühverlust und C/N-Verhältnis hohe Werte ausbilden und daher im Vergleich zu den anderen Gruppen das Maximum darstellen. Der Humusgehalt (Abb. 5.31) ist mit einem Wert von 12,65 % 2,5 mal so hoch wie der der nächsten Gruppe in der Hierarchie. Eine weitere von Quellrasen und alpinen Matten gekennzeichnete Flächeneinordnung findet sich in Gruppe g. Im Vergleich zu Gruppe e können hier neben den Quellrasen auch alpine Matten ausgewiesen werden. Fläche 172 lässt sich weder als Quellrasen noch als alpine Mat-

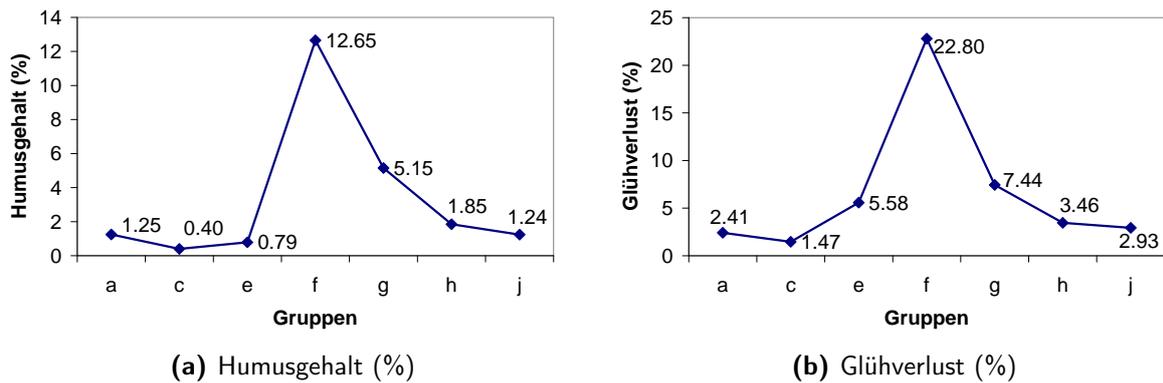


Abbildung 5.31: Mittelwerte der dargestellten Bodenparameter Humusgehalt und Glühverlust für die einzelnen Gruppen

ten, sondern als ZPSK ausweisen. In ihren Umweltparametern ebenso wie in ihrer räumlichen Verortung lässt sich keine bestimmte Zuweisung treffen. In der Hangneigung ist eine Tendenz im Bereich zwischen 2 und 13° zu erkennen. Der Humusgehalt und Glühverlust ist hier zwar wesentlich höher als in den anderen Gruppen, lässt sich jedoch nicht mit den hohen Werten der Quellrasen aus Gruppe f vergleichen (Abb. 5.31). Der Unterschied zwischen diesen Gruppen muss an späterer Stelle genauer betrachtet werden.

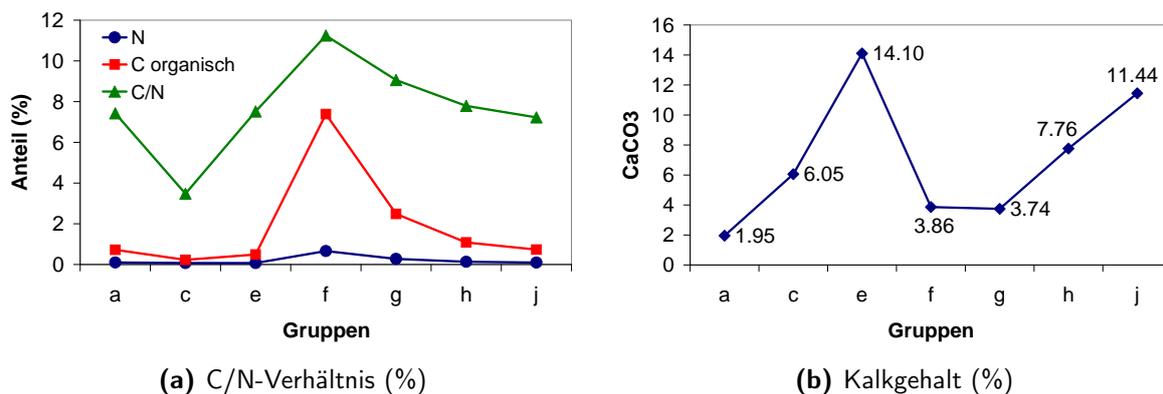


Abbildung 5.32: Mittelwerte des C/N-Verhältnisses und des Kalkanteils der Böden für die einzelnen Gruppen

Mit insgesamt 16 Flächen stellt h die größte der geclusterten Gruppen dar. Mit Ausnahme der Flächen 105, 107, 108 und 415, welche der Wüsten und Zwergstrauchwüstenformation angehören, ist eine einheitliche Zuweisung der Flächen zu der Formation der Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Krascheninnikovia (ZPSK) möglich. Die Flächen können nicht einheitlich im Raum verortet werden. Jedoch lässt sich eine Festlegung hinsichtlich der Höhenlage der einzelnen Flächen treffen, welche nach Ausschluss der Wüstenflächen in einem Bereich zwischen 4000 m ü. NN und 4200 m ü. NN liegen. Eine Vernachlässigung der Wüstenflächen eingeschlossen, lassen sich auch hinsichtlich der Entfernung zum Wasser mit einer maximalen Distanz von 500 m Gemeinsamkeiten erkennen. Bezüglich der Bodeneigenschaften fallen die ZPSK-Flächen nicht in besonderem Maße auf. Sie bewegen sich in allen dargestellten Kategorien im mittleren Bereich. Innerhalb der Gruppe besteht insbesondere in Bezug auf die Korngrößen-

verteilung Einheitlichkeit. Der relativ geringe Sandanteil wird durch einen hohen Schluffanteil und Tonanteile im mittleren Wertebereich ergänzt.

Als letzte genauer untersuchte Gruppe sei Gruppe j anzuführen. In ihr findet eine Dominanz der ZPSK-Formation Ausdruck. Zwei der Flächen, Nummer 99 und 101, gehören der Formation der Wüsten und Zwergstrauchwüsten an. Eine räumliche Zuordnung ist auch in dieser Gruppe nicht möglich. Mit Ausnahme der Fläche 102, welche 20° Neigung hat, schwanken die Neigungswerte im Bereich von 2–9° und werden in Beschreibung ihres Terrains als Talbodenflächen oder alluviale Schwemmfächer bezeichnet. Der im Vergleich relativ feine Boden dieser Gruppe zeichnet sich durch einen Skelettanteil von nur 25,83 % und einen hohen Schluff- und Tonanteil, zu sehen in Abbildung 5.28, aus. Allen Böden der Gruppe ist ihre überdurchschnittlich hohe Leitfähigkeit gemeinsam, so dass sich ein Gruppenmittelwert von 2373 $\mu\text{S}/\text{cm}$ herausbildet. Mit diesem Wert bildet Gruppe j das absolute Maximum im Vergleich (Abb. 5.30). Auch der Kalkgehalt weist in dieser Gruppe mit 11,44 % (Abb. 5.32) einen sehr hohen Wert auf. Bei der Darstellung der Beweidungsintensität in Abbildung 5.29 fällt auf, dass der Fehlerindikator in dieser Gruppe sehr hoch ist. Eine räumliche Untergliederung ist bezüglich der Beweidungsintensität möglich. Die Flächen aus dem Tal Madian Gumbez Kol haben eine sehr hohe Beweidungsintensität mit Werten zwischen 12 und 14, wohingegen die übrigen Flächen eine relativ geringe Beweidungsintensität im Bereich 6–8 aufweisen.

5.4.2 Vegetationsklassifikation mittels Clusteranalyse

Für die Klassifikation der Vegetation werden insbesondere die Mesoflächen fokussiert. Für einen Vergleich der Veränderungen der Ausprägungen der Vegetation auf verschiedenen Maßstabsebenen wird für das Tal Bash Gumbez, welches das einzige Tal mit fast vollständig vorliegenden Mikroplots ist, ebenfalls eine Klassifikation der Vegetation auf kleinster und größter Maßstabsebene durchgeführt. Die Clusteranalysen des Madian Seitentals sowie der Aufnahmen der Chong Pamir Tour liegen, zusammen mit Beschreibung der Gruppenstruktur, auf CD bei. Die den Vegetationsaufnahmen zu Grunde liegende Braun-Blanquet Skala wird für die Analyse in gemittelte Deckungsprozentwerte umgewandelt. Eine Sortierung der Arten nach Stetigkeit und ein Ausschluß derer, die nur einmal oder gar nicht vorkommen erscheint sinnvoll, damit nicht einzeln auftretenden Arten zu viel Gewicht beigemessen wird. Der verwendete Bray-Curtis-Koeffizient beschreibt eine quantitative Variante und findet besonders bei ökologischen Fragestellungen häufig Verwendung.

$$S_{bc} = \frac{2w}{B + C} \quad (5.3)$$

w = Summe der jeweils niedrigsten Abundanzwerte einer Art in den beiden Objekten

B = Summe der Artmächtigkeiten/Abundanzen aller Arten in Objekt 1

C = Summe der Artmächtigkeiten/Abundanzen aller Arten in Objekt 2

Als geeignetes Verfahren wird die Methode des complete linkage gewählt. Die Distanz zwischen zwei Klassen wird dabei durch das Maximum der paarweisen Abstände ihrer Beobachtungen bestimmt. Daher wird dieses Methode auch farthest neighbour-Methode genannt. Trotz der Tatsache, dass diese Methode nur ein Element innerhalb der verglichenen Cluster nutzt, findet

sie in der Ökologie häufig Anwendung. Es bilden sich in der Regel klare Gruppenstrukturen heraus, welche allerdings die Tendenz zu einer ähnlichen Größe haben (Leyer & Wesche, 2007; Schröder et al., 1994).

Vegetationsklassifikation Mesoflächen 2008

Die Klassifikation der Mesoflächen nach Arten führt zur Herausbildung von 20 Gruppen auf einem Ähnlichkeitsniveau von 1,0. Die Gruppengrößen variieren stark. Es kommt zur Bildung von Gruppen zwischen 1 und 67 Flächen. Im Folgenden sollen kurz einige Gruppen, welche in ihrer Struktur relativ homogen sind, charakterisiert werden. In Abbildung 5.33 sind die vorgestellten Gruppen farblich gekennzeichnet. In Tabelle A.3 liegen die Aufnahmen sortiert nach Gruppen vor.

Die fünf Flächen der Gruppe b lassen eine Zuordnung zur Zwergstrauch-Polster-Formation Typ *Seriphidium* zu. Dominant vertreten sind die Arten *Seriphidium leucotrichum*, *Oxytropis microphylla* und *Stipa caucasica*. Die Deckung der Flächen schwankt zwischen 15 und 20%. Eine weitere Gemeinsamkeit der Flächen ist die Lage auf Moränen oder alluvialen Schwemmfächern. Zu verorten sind alle Aufnahmen der Gruppe b im Bash Gumbes, für welches die ZPSS-Formationen typisch sind.

Gruppe f, welche mit acht Aufnahmen ebenso eine eher kleine Gruppe darstellt, lässt sich im Vergleich zu Gruppe b nicht einem bestimmten Tal zuordnen. Die Flächen verteilen sich auf die Gebiete Chong Pamir, Pshart Gumbes Kol und Bash Gumbes. Gemeinsam ist allen Flächen die geringe bzw. fehlende Hangneigung. Die Deckung variiert zwischen 5 und 75%. Dabei kommen bis zu sieben Arten pro Fläche vor. Dazu gehören *Acantholimon diapensioides*, *Carex stenophylla*, *Leymus secalinus* und insbesondere *Krascheninnikovia ceratoides*. Auf Grund dessen ist eine eindeutige Zuordnung zur Zwergstrauch-Polster-Formation Typ *Krascheninnikovia* möglich.

Gruppe k ist f sehr ähnlich und wird daher ebenfalls der ZPSK zugewiesen. Die Flächenzahl ist mit 46 deutlich höher. Im Unterschied zu Gruppe f ist die Artenvielfalt auf dieser Fläche höher, so differiert die Anzahl der Arten zwischen 4 und 13. Die Deckung streut mit 5–65% in einem ähnlich hohen Bereich wie in der vorigen Gruppe. Neben *Acantholimon diapensioides* und *Krascheninnikovia ceratoides* gehören *Carex stenophylla*, *Elymus spec.*, *Poa attenuata* und *Oxytropis platonychia* zu den häufigsten Arten.

Die 15 Flächen der Gruppe m zeichnen sich durch eine hohe Deckung über 50% und einen hohen Artenreichtum zwischen 11 und 22 Arten aus. Typische Vertreter bilden hier *Carex pseudofoetida*, *Trisetum spicatum*, *Carex melanthea*, *Colopodium leucolepis*, *Leontopodium ochroleucum* sowie verschiedene *Primula*arten. Das Vorkommen von *Kobresia royleana* ist auf wenige Flächen beschränkt. Alle Flächen befinden sich im Pshart Gumbes Kol und liegen weit entfernt von den Jurten.

Die größte Gruppe der Felsvegetation zeichnet sich in Gruppe o ab. Die zehn Flächen der Gruppe verteilen sich auf die Gebiete Chong Pamir, Madian Gumbes Kol und Pshart Gumbes Kol. Die häufigsten Vertreter sind *Elymus spec.*, *Nepeta longibracteata* und *Christolea flabellata*. Im Vergleich zu den anderen Gruppen, die sich als Felsformationen einordnen lassen, gibt es hier, mit bis zu 12, relativ viele Arten.

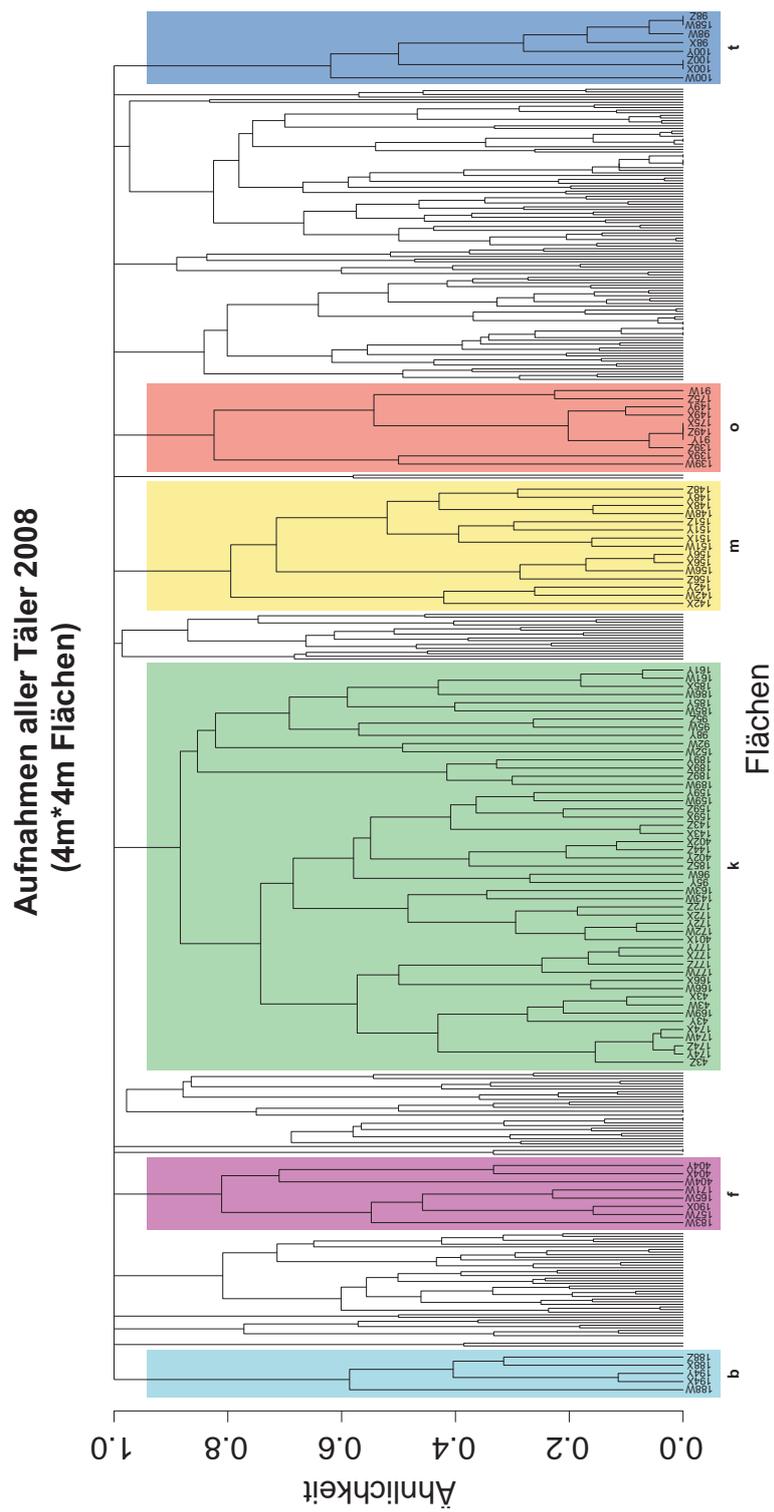


Abbildung 5.33: Mesoflächen 2008 klassifiziert nach Arten
Ähnlichkeitskoeffizient = Bray-Curtis; Methode = complete
a–t: Gruppen eingeteilt nach ähnlicher Artzusammensetzung

In Gruppe t zeichnen sich klar die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten ab. Die Deckung beträgt auf den acht Aufnahmen nie mehr als 15%. Dominante Arten sind *Krascheninnikovia ceratoides* und *Artemisia rutifolia*. Alle Flächen können im Madian Gumbez Kol verortet werden.

Die Gruppe der Alpinen Matten bildet sich über den gesamten Pamir nicht ab. In dieser Klassifikation wurden die Teilflächen meist den Quellrasen zugeordnet, da hier sowohl in der Artenzusammensetzung als auch in der Deckung Ähnlichkeiten bestehen.

Vegetationsklassifikation Madian Gumbez Kol

Madian Gumbez Kol klassifiziert nach Arten Das Dendrogramm 5.34 zeigt auf einem Niveau von 0,8 eine klare Trennung der 54 Flächen des Tals Madian Gumbez Kol in neun Gruppen, welche im Dendrogramm durch die Buchstaben a bis i gekennzeichnet sind. Nach Gruppen sortiert können die Flächen in Tabelle A.4 betrachtet werden.

Die aus nur zwei Mesoflächen bestehende Gruppe a lässt sich klar der Gruppe der Felsformation zuordnen. Als kennzeichnende Art wird auf beiden Flächen *Stellaria turkestanica* vorgefunden. *Nepeta longibracteata* und *Poa attenuata* kommen vereinzelt vor. Der fehlende Tritt bzw. das Problem der nicht erkennbaren Trittsuren auf Grund des steinigen Untergrunds und des steilen Geländes führt zu einer niedrigen Beweidungsintensität auf diesen Fläche. Im Gruppenvergleich resultiert daraus die niedrigste Beweidungsintensität, dargestellt in Abbildung 5.36.

Gruppe b, welche ebenso aus zwei Flächen besteht, gehört zur Gruppe der Felsvegetation. Im Vergleich zu Gruppe a ist nicht *Stellaria*, sondern *Nepeta longibracteata* die Art, welche kennzeichnend für die Gruppenzugehörigkeit ist. Die Deckung ist, verglichen mit Gruppe a im Durchschnitt doppelt so hoch, jedoch verändert sich die Anzahl der Arten im Mittel nicht. In beiden Fällen bilden die Gruppen a und b im Gruppenvergleich aus Abbildung 5.35 das Minimum.

Gruppe c weist Tendenzen zur Felsvegetation durch eine niedrige Gesamtdeckung und das Vorkommen von *Nepeta longibracteata* auf. Arten wie *Allium carolinianum*, *Hordeum turkestanicum* oder *Poa attenuata* dominieren und lassen den Einfluss von *Nepeta longibracteata* schwinden. Dies führt zur Einordnung in die Formation der Wüsten. Die höhere Beweidungsintensität dieser Gruppe lässt sich durch die kurze Entfernung zur nächsten Jurte begründen. *Allium carolinianum* konnte als präferierte Futterpflanze beobachtet werden.

Im Vergleich der Gesamtdeckung und der Artenzahl in Abbildung 5.35 fällt Gruppe d mit den maximalen Durchschnittswerten auf. Innerhalb von Gruppe d variieren die Werte der Gesamtdeckung von 5 bis 40%. Die höchsten Deckungswerte finden sich auf den Flächen die *Acantholimon diapensioides* aufweisen. Die Artenzahl nimmt auf diesen drei Flächen ebenso das Maximum ein. Dominierende Arten der Gruppe sind *Hordeum turkestanicum*, *Potentilla bifurca* und *Poa attenuata*. Ein großer Teil der Gruppe wird ebenfalls durch das Auftreten von *Hedysarum minjanense* begleitet. Die Einordnung der Gruppe ist, auf Grund der Variation der Arten und der Deckung, nicht exakt möglich, doch lässt sich eine Tendenz zur Formation der Alpinen Matten erkennen, welche in erster Linie für das Tal Pshart Gumbez Kol typisch ist.

Die Gruppen e und f, die aus 10 bzw. 12 Flächen bestehen, gehören der ZPSK an. Dominant sind in beiden Fällen das Polster *Acantholimon diapensioides* und der Zwergstrauch *Krascheninnikovia ceratoides*. Während *Stipa orientalis* und *Stipa caucasica* ebenso wie *Poa attenuata*

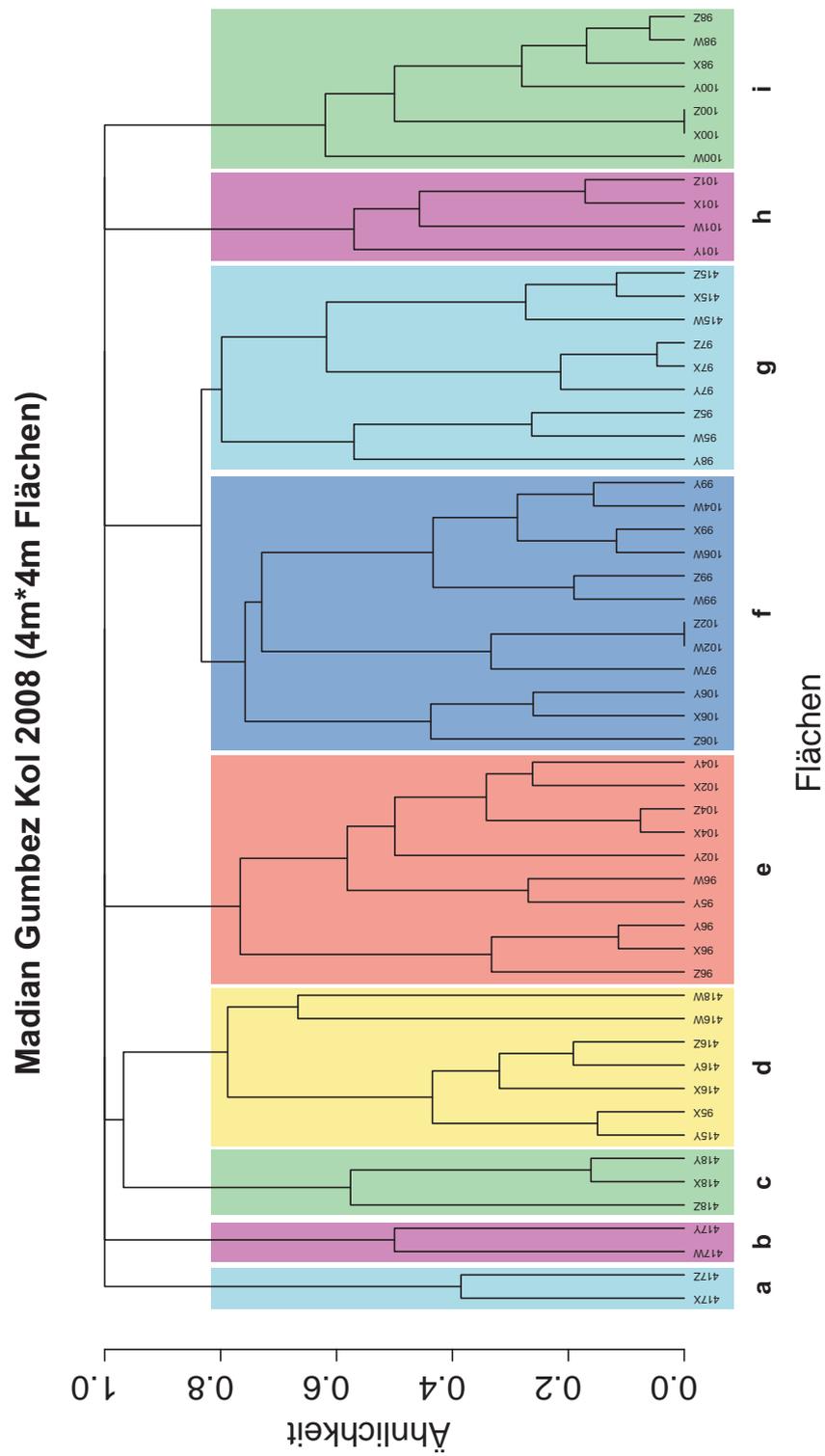


Abbildung 5.34: Madian Gumbez Kol klassifiziert nach Arten
 Ähnlichkeitskoeffizient = Bray-Curtis; Methode = complete
 a–i: Gruppen eingeteilt nach ähnlicher Artzusammensetzung

in beiden Gruppen auftreten, unterscheiden sich die Gruppen durch weitere Arten wie *Carex stenophylla* oder *Artemisia rhodanta* in Gruppe e und *Ajanía fruticulosa* in Gruppe f voneinander. Sowohl hinsichtlich Deckung als auch in Bezug auf die mittlere Artenzahl lässt sich aus Abbildung 5.35 eine abnehmende Tendenz von Gruppe e nach Gruppe f ersehen. Die Beweidungsintensität (Abbildung 5.36) zeigt einen umgekehrten Trend. Der hohe Wert hierfür wird beeinflusst durch das Vorkommen maximaler Werte für die Beweidungsintensität (15/14/15) auf den Flächen 99W, 99X und 99Y. Mit Ausnahme der Fläche 106Z, mit einem Wert von 11, sind die Artenzahlen der Gruppe eher niedrig und bewegen sich in einem Bereich von 1–6.

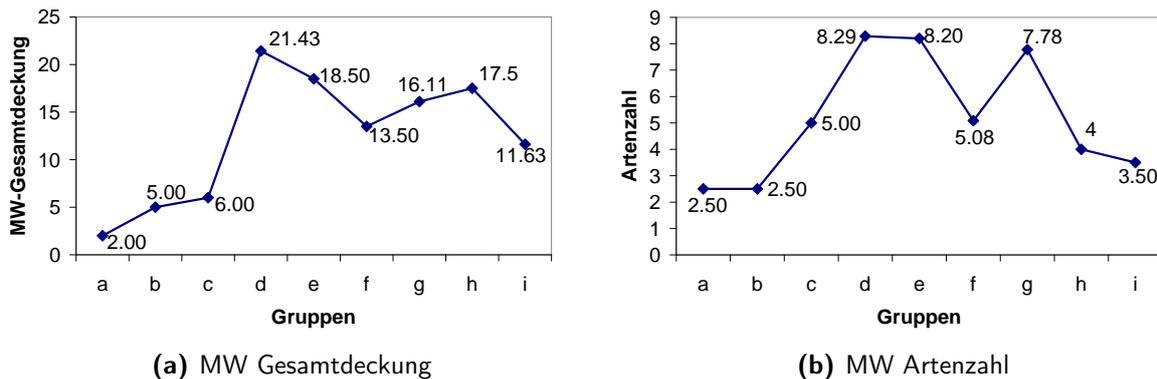
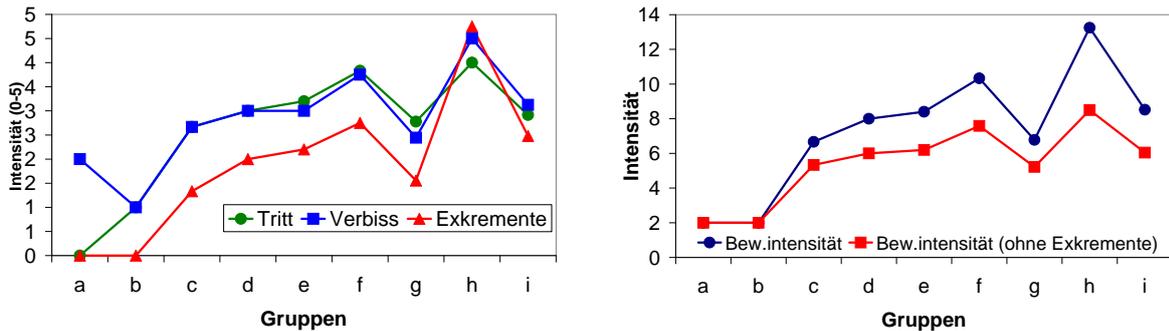


Abbildung 5.35: Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl

Die Cluster g und h bilden hinsichtlich ihrer Formation eine Ausnahme von den in Kapitel 2.6 vorgestellten Formationen. Beide Gruppen werden durch das Auftreten von *Elymus spec.* oder *Stipa splendens* sowie den Zwergstrauch *Krascheninnikovia ceratoides* gekennzeichnet. Auf Grund dessen, lässt sich hier eine Besonderheit der Zwergstrauchsteppen ausweisen, die sich nur bei kleinräumiger Betrachtung herausbildet: Die Unterformation der Elymussteppen. Differenzen zwischen den beiden Gruppen ergeben sich besonders hinsichtlich der Faktoren der Beweidung und der daraus resultierenden Beweidungsintensität, dargestellt in Abbildung 5.36. Gruppe g nimmt im Vergleich, mit Ausnahme von Gruppe a und b, ein Minimum ein, während Gruppe h das eindeutige Maximum der Beweidung darstellt. Insbesondere die Exkremte nehmen in dieser Gruppe einen hohen Wert an. Die Artenzahl sinkt in Gruppe h auf durchschnittlich 4 Arten pro Fläche. Die sieben Flächen der Gruppe i lassen sich eindeutig den Zwergstrauchwüsten zuordnen. Sie zeichnen sich durch geringe Deckungswerte, schwankend zwischen 0 und 15%, sowie eine niedrige Artenzahl aus. Zu den häufigsten Arten zählen *Artemisia rutifolia* und *Krascheninnikovia ceratoides*.

Zu beachten ist, dass die Formation der Elymussteppen aufgrund der schwierigen Bestimmung teilweise nicht korrekt klassifiziert werden kann. Es ist anzunehmen, dass manche Flächen der Elymussteppe eigentlich der Gruppe der Leymussteppen angehören. In der nachfolgenden Arbeit werden sie dennoch als eigene Gruppe ausgewiesen. Bei der Interpretation muss diese Einschränkung allerdings berücksichtigt werden.



(a) Tritt, Verbiss und Exkrementen im Vergleich (b) Vergleich der unterschiedlichen Möglichkeiten der Berechnung der Beweidungsintensität

Abbildung 5.36: Mittelwerte der einzelnen Gruppen für die der Beweidungsintensität zu Grunde liegenden Faktoren und der Beweidungsintensität im Madian Gumbez Kol

Vegetationsklassifikation Pshart Gumbez Kol

Im Pshart Gumbez Kol wurden mit $107,4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ Flächen die meisten Mesoflächen aufgenommen. Bei Annahme einer Ähnlichkeit von $\geq 0,95$ können 11 Gruppen unterschiedlicher Größe (Abb. 5.37) ausgewiesen werden. Daten der einzelnen Aufnahmen können aus Tabelle A.5 ersehen werden. Eine eindeutige Zuordnung zu den eingangs beschriebenen Vegetationsformationen ist für alle Gruppen möglich.

Gruppe a, vertreten durch drei Flächen, weist neben *Carex stenophylla* und *Poa attenuata* insbesondere verschiedene *Potentilla*-Arten auf. Die relativ hohe Gesamtdeckung, welche durch den Polsterwuchs, den *Potentilla* auf stark beweideten Flächen häufig annimmt, unterstützt wird, sowie die Dominanz von Gräsern und Kräutern bedingt eine Einordnung als Vertreter der Alpenen Matten Formation.

Die isoliert zu betrachtende Fläche 160Z, die Gruppe b stellt, weist ein sehr differierendes Bild im Vergleich zu Gruppe a auf. *Leiospora pamirica* und *Krascheninnikovia ceratoides* bedecken nur 1% der gesamten Fläche. Es lassen sich keine Exkrementen finden und auf Grund der wenigen Pflanzenexemplare können auch nur sehr wenig Verbisspuren nachgewiesen werden, weshalb die Beweidungsintensität mit einem Wert von 3 sehr niedrig ist. Die Zuordnung der Fläche erfolgt zur Formation der Wüsten.

Aus 27 Flächen besteht Gruppe c, die auf Grund der Dominanz von *Acantholimon diapensioides* und *Krascheninnikovia ceratoides* einen eindeutigen Vertreter der ZPSK-Formation darstellt. Weitere Arten sind *Stipa orientalis*, *Hedysarum minjanense*, *Hordeum turkestanicum* und *Poa attenuata*. In der Deckung schwanken die Werte zwischen 2 und 25%. Auch die Anzahl der auftretenden Arten pro Fläche weist mit 1–10 Arten eine relativ große Spannweite auf. Während Verbiss und Tritt, wie in Abbildung 5.38 zu sehen, hoch sind, lassen sich nur eine sehr geringe Anzahl an Exkrementen auf den Flächen der Gruppe c finden.

Die Felsvegetation wird innerhalb der Klassifikation durch vier Gruppen vertreten. Einen Vertreter davon bildet mit drei Flächen Gruppe d. Die Pflanzensammensetzung wird durch *Calamagrostis anthoxanthoides* und *Tanacetum pyrethroides* bestimmt. Das einzelne Auftreten dieser Arten reicht nicht aus, um der Gruppe eine Deckung von 1% zuschreiben zu können.

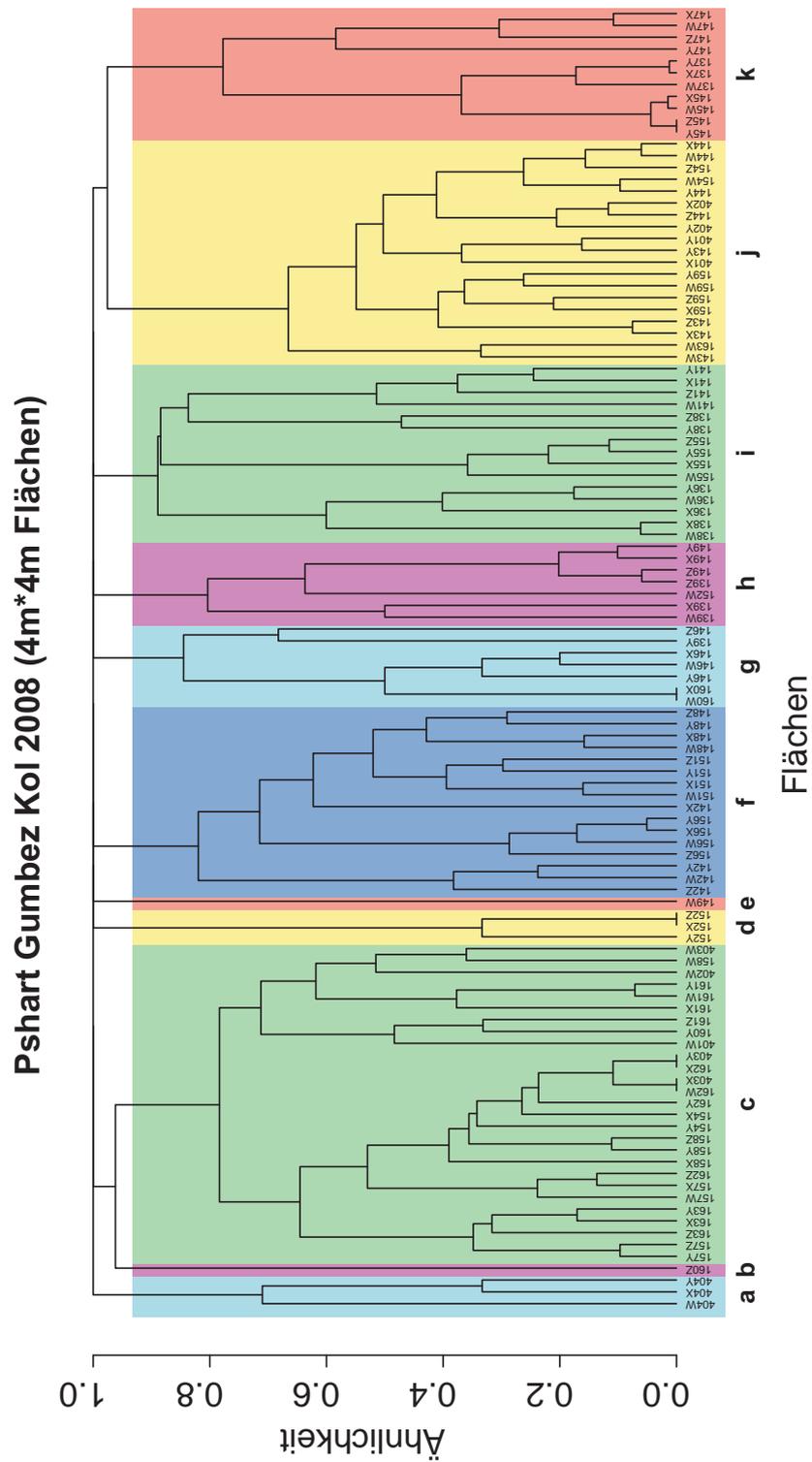


Abbildung 5.37: Pshart Gumbez Kol klassifiziert nach Arten Ähnlichkeitskoeffizient = Bray-Curtis; Methode = complete a–k: Gruppen eingeteilt nach ähnlicher Artzusammensetzung

Die Beweidung ist hier, wie auch für die anderen Gruppen der Felsvegetation, wie in Abbildung 5.39 zu sehen, niedrig.

In Gruppe e nimmt diese mit einem Wert von 0 das absolute Minimum im Gruppenvergleich an. *Stellaria spec.* und *Christolea flabellata* treten als einzige Arten in Erscheinung. Maximale Deckungswerte innerhalb der Gruppe sind 5%.

Die sehr artenheterogene Gruppe f wird dominiert von verschiedenen Carexarten, wie z.B. *Carex pseudofetida* oder *Carex melantha*, *Leontopodium ochroleucum*, *Saxifraga hirculus var. alpina* und verschiedenen Primulavertretern wie beispielsweise *Primula algida*. Die Anzahl der Arten variiert dabei von Fläche zu Fläche und bewegt sich in einem Bereich zwischen 11 und 22 Arten. Im Mittel weist Gruppe f mit 17 Arten und einer Deckung von mehr als 62% das Maximum der Gruppen, wie unter 5.38 dargestellt, auf. Innerhalb der Gruppe variiert die Deckung zwischen 30 und 95%. Zu beobachten ist, dass nicht die Flächen mit der höchsten Deckung die höchste Artenzahl hervorbringen. Der Deckungsbereich zwischen 50 und 75% tritt als besonders artenreich in Erscheinung. Auf Grund der typischen Vertreter und der hohen Deckung ist eine Zuordnung zur Formation der Quellrasen eindeutig.

Ein weiterer Vertreter der Felsvegetation liegt mit Gruppe g vor. *Didymophysa fedtschenkoana*, *Nepeta kokanica* und *Oxytropis platonychia* sind Vertreter der sieben zu Gruppe g zählenden Flächen und sorgen für eine Deckung zwischen 0,5 und 2%. Manche Flächen können zusätzlich zu den drei genannten Arten weitere Pflanzen aufweisen, so dass die Anzahl der Arten pro Fläche zwischen 1–8 schwankt.

Gruppe h, ebenfalls Felsvegetation, unterscheidet sich in der Artzusammensetzung von Gruppe g. Zwar kommt auch *Nepeta kokanica* als charakteristische Art vor, jedoch wird sie in dieser Gruppe durch *Christolea flabellata* und *Nepeta longibracteata* in ihrer Erscheinung begleitet. Unter Ausschluss von Fläche 139W und 152W nehmen die Flächen der Gruppe h bezüglich der Artenzahl Werte zwischen 1 und 5 an. Bei Betrachtung der Gesamtdeckung fällt Fläche 139W ebenfalls aus dem Rahmen. Die Deckungswerte liegen zwischen 1 und 6%, weshalb eine Gesamtdeckung von 15%, wie sie in Fläche 139W vorliegt, nicht der Gruppenaussage entspricht.

Gruppe i, welche ebenfalls wie Gruppe f zur Formation der Quellrasen zählt, folgt Gruppe f bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl nach (siehe Diagramm 5.38). Im Unterschied zu Gruppe f dominieren bei den 15 Flächen der Gruppe i neben verschiedenen Carexarten insbesondere *Potentilla pamirica*, *Oxytropis spec.* und *Smelovskia calycina*. Innerhalb der Gruppe variiert die Deckung zwischen 25 und 90%. Die Beweidungsintensität, welche nahezu ebenso hoch ist wie in Gruppe f (Abbildung 5.39), liegt, mit Ausnahmen der Gruppen 138W, 138X und 155W in einem Bereich zwischen 8 und 10.

Gruppe j werden 19 Flächen zugeordnet. Diese sind durch das Auftreten von *Polygonum paronychioides*, *Potentilla bifurca*, *Acantholimon diapensioides*, *Krascheninnikovia ceratoides* und *Poa attenuata* gekennzeichnet. Auf Grund der Dominanz des Polsters sowie *Krascheninnikovia ceratoides* erfolgt eine Klassifikation der Gruppe als ZPSK-Formation. Die Deckungswerte schwanken stark mit Werten in einem Bereich von 20 bis 65%. Sowohl bezüglich der Artenzahl, mit Werten zwischen 5 und 10, als auch im Hinblick auf die Beweidung, liegen keine Extremwerte vor.

Anders verhält es sich, wenn Gruppe k betrachtet wird, die in Bezug auf die Beweidungsintensität das Extrem unter den Gruppen ausbildet. Die ebenso in Abbildung 5.39 dargestellte Beweidung ohne Exkremeinte nimmt allerdings unter Gruppe a ihr Maximum an. Daraus kann gefolgert werden, dass der Einfluss von Exkrementen auf die Beweidungsintensität in Gruppe k höher ist. Die Artzusammensetzung dieser Alpinen Matten-Gesellschaft wird dominiert durch *Potentilla bifurca*, *Hedysarum minyanense* und *Hordeum turkestanicum*.

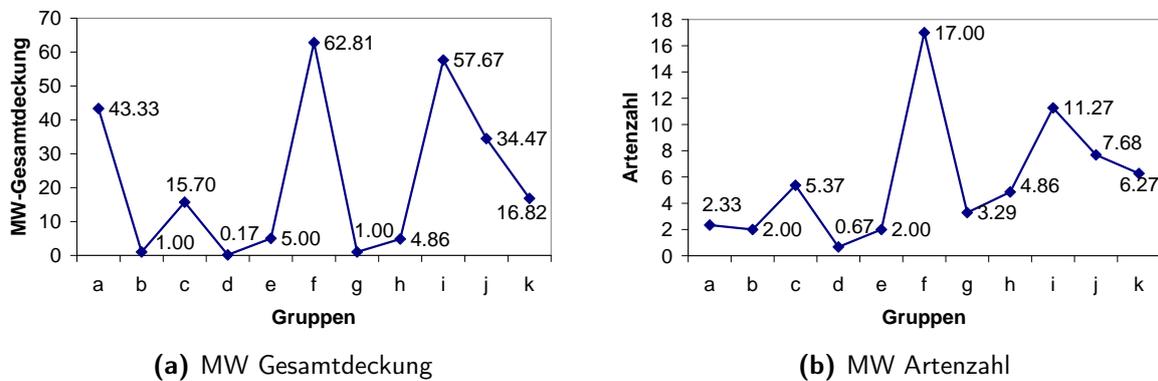


Abbildung 5.38: Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl

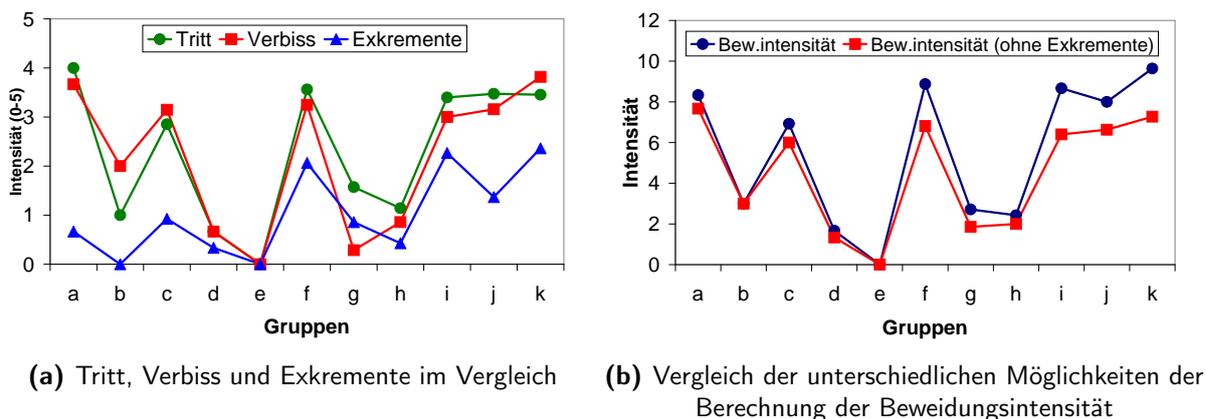


Abbildung 5.39: Mittelwerte der einzelnen Gruppen für die der Beweidungsintensität zu Grunde liegenden Faktoren und der Beweidungsintensität im Pshart Gumbez Kol

Vegetationsklassifikation Bash Gumbez

Im Unterschied zu den bisherigen Klassifikationen wird Bash Gumbez auf drei verschiedenen Ebenen klassifiziert und beschrieben. Nach einer Betrachtung der einzelnen Klassifikationen auf Makro-, Meso- und Mikroebene sollen insbesondere jene Flächen, welche sich beim Wechsel von der Makro- auf die Mesoebene in verschiedene Gruppen aufteilen, betrachtet werden und nachvollzogen werden, wie sich diese Flächen auf der Mikroebene verhalten.

Das Dendrogramm 5.40 der Makroflächen bildet die 13 aufgenommenen 60 m × 60 m Flächen ab. Eine Einteilung erfolgt dabei in vier Gruppen bei Annahme einer Ähnlichkeit von $\geq 0,78$.

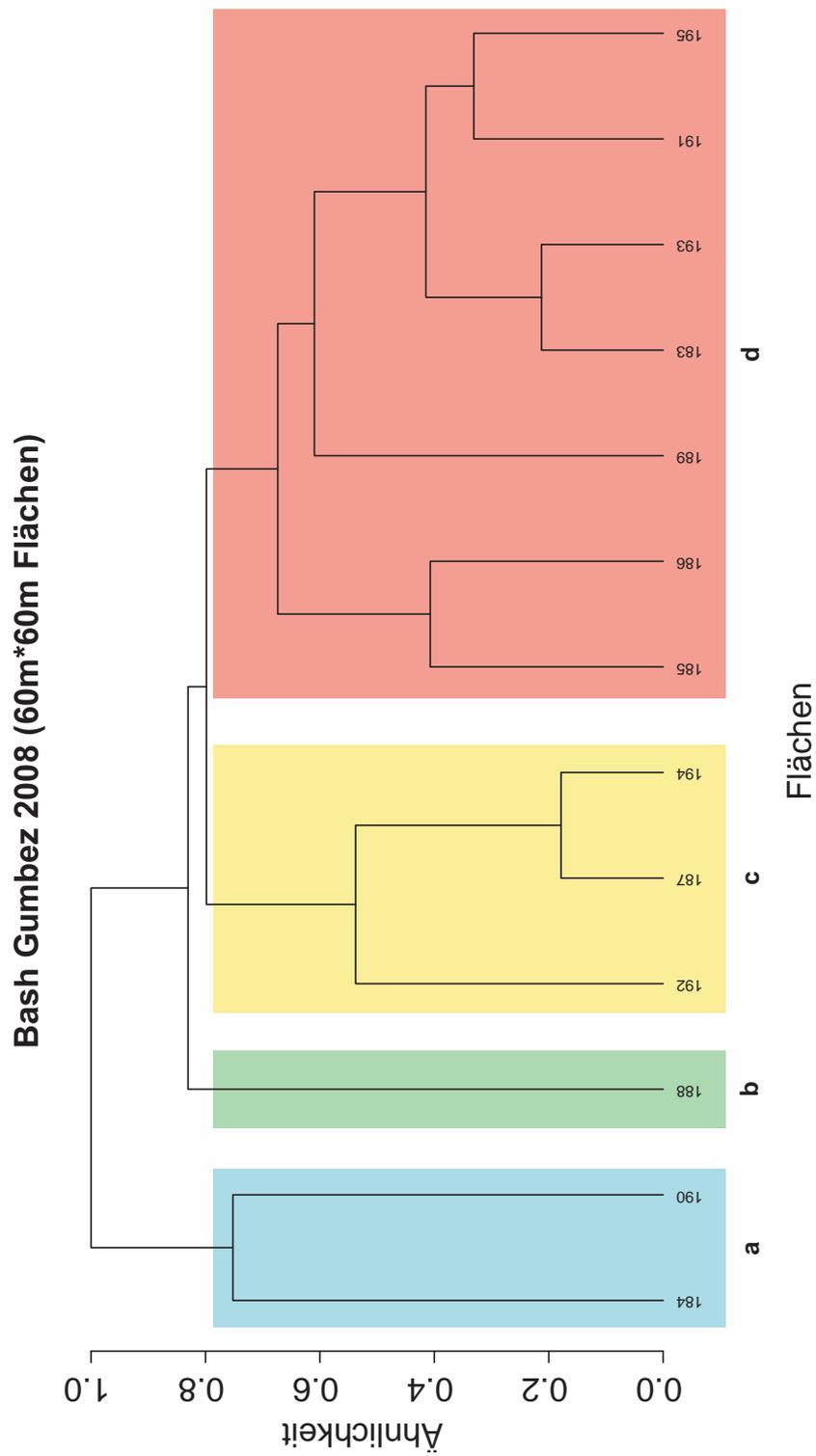


Abbildung 5.40: Bash Gumbez klassifiziert nach Arten auf Makroebene
 Ähnlichkeitskoeffizient = Bray-Curtis; Methode = complete
 a–d: Gruppen eingeteilt nach ähnlicher Artzusammensetzung

Die Gruppen haben sehr unterschiedliche Größen. Die zugehörige Tabelle A.6 liegt im Anhang bei.

Gruppe a besteht aus nur zwei Flächen, welche hinsichtlich ihrer weiteren Eigenschaften wie z.B. Gesamtdeckung völlig verschieden sind. Einend ist das Vorkommen der Arten *Potentilla ornithopoda*, *Poa attenuata*, *Artemisia rupestris* und *Poa spec.* Die Deckung beträgt in einem Fall 15%, wohingegen die andere Fläche einen Wert von 75% vorweisen kann. Die Beweidungsintensität liegt mit 7–8 eng zusammen. Die Artenzahl differiert hingegen sehr stark. Fläche 184 kann 28 Arten vorweisen, während auf Nummer 190 nur 14 Arten zu finden sind. Diese Differenzen und das damit verbundene unterschiedliche Bild, welches die zwar nicht dominanten aber dennoch vorkommenden Arten vermitteln, führt dazu, dass diese Flächen keiner gemeinsamen Vegetationsformation zugeordnet werden können.

Fläche 188 bildet eine eigene Gruppe. Insgesamt beschreiben 13 verschiedene Arten Gruppe b. Die wichtigste Rolle spielen dabei *Scrophularia spec.*, *Christolea crassifolia*, *Artemisia pamirica*, *Oxytropis microphylla*, *Stipa caucasica* und *Seriphidium leucotrichum*. Mit einer Deckung von 15% und einer Beweidungsintensität von 5 stellt diese Fläche keine Besonderheiten dar. Auf Grund der geringen Deckung und des Vorkommens von Vertretern der Wüstenvegetation wie beispielsweise *Christolea crassifolia* kann die Fläche als Zwergstrauchwüste klassifiziert werden.

Im Gegensatz dazu weisen die drei Flächen der Gruppe c eine eindeutigeren Ausprägung als ZPSS-Formation auf. *Acantholimon diapensioides* tritt neben *Seriphidium leucotrichum* als dominanter Vertreter der Gruppe auf. Des Weiteren finden sich *Stipa caucasica*, *Stipa orientalis* und *Poa attenuata* auf den Aufnahmeflächen. Die Deckung steigt auf Werte zwischen 20 und 40% an.

Mit sieben Flächen stellt Gruppe d die größte Gruppe dar. Neben *Seriphidium* und *Acantholimon* tritt hier zusätzlich *Krascheninnikovia ceratoides* als dominante Art auf. Begleitend sind *Carex stenophylla*, *Elymus spec.* und *Stipa caucasica* vorzufinden. Die Deckungswerte der Gruppe reichen von 15 bis 40%. Mit Ausnahme der Fläche 195, welche lediglich sechs Arten hervorbringt, schwankt die Artenzahl innerhalb der Gruppe zwischen 11 und 21 Arten. Trotz der Dominanz von *Krascheninnikovia* auf zwei der Flächen erfolgt eine Zuordnung zu den ZPSS, da *Seriphidium* im Gesamten betrachtet die deutlich höheren Werte annimmt und nicht, wie *Krascheninnikovia*, auf zwei der Flächen nahezu vollständig verschwindet.

Auf Mesoebene, d.h. bei Betrachtung der 4 m × 4 m Flächen, finden 52 Aufnahmen Eingang in die Analyse. Die Clusteranalyse bildet dabei unter Beachtung eines Ähnlichkeitsniveaus $\geq 0,85$ sechs Gruppen aus. Die Darstellung der Clusterung erfolgt unter Abbildung 5.41. Tabelle A.7 liefert eine genaue Übersicht der in die Analyse eingegangenen Werte.

Die vier Flächen der Gruppe a werden durch die Arten *Leymus secalinus* und *Oxytropis platonychia* dominiert. Einzelne Flächen weisen zusätzlich *Potentilla*-Arten, *Acantholimon diapensioides* oder *Carex stenophylla* auf. Mit nur 10–20% Deckung liegt diese Gruppe im Vergleich der Mittelwerte der Gesamtdeckung in Abbildung 5.43 an unterster Stelle. Hohe Trittwerte zwischen 3 und 4 werden von einem relativ niedrigen Verbiss und einer variierenden Anzahl an Exkrementen begleitet, so dass sich daraus für die Beweidungsintensität Werte im Bereich 6–11 ergeben. Auf Grund der Dominanz von *Leymus secalinus* wird diese Gruppe der ZPSK als Leymussteppe untergeordnet.

Gruppe b, bestehend aus 5 Aufnahmen, wird von *Seriphidium leucotrichum*, *Oxytropis microphylla* und *Stipa orientalis* dominiert. Des Weiteren treten die Arten *Stipa caucasica subsp. glareosa*, *Polygonum paronychioides* und *Elymus spec.* vermehrt auf. Die Artenzahl der einzelnen Flächen schwankt zwischen 8 und 10 Arten. Der Verbiss nimmt im Vergleich in Gruppe b das Minimum an (Abb. 5.44). Trotz fehlenden Polsters *Acantholimon* kann die Gruppe b der ZPSS-Formation zugeschrieben werden. *Oxytropis microphylla* tritt hier in ihrer Wuchsform als Polster auf.

In Gruppe c hingegen fehlen Polster vollständig. Die acht Flächen dieser Gruppe werden durch *Krascheninnikovia ceratoides* und *Poa attenuata* dominiert. Des Weiteren kommen *Ajania fruticulosa*, *Potentilla pamirica* und *Stipa caucasica* auf den Flächen vor. Die Deckung der Flächen schwankt zwischen 15 und 45%. Innerhalb der Kategorien der Beweidungsintensität lassen sich klare Tendenzen feststellen. Mit Tritt 4, Verbiss 3 und Exkrementen 3 ergibt sich eine lediglich zwischen 9 und 12 schwankende Beweidungsintensität. Mit diesen Werten bildet Gruppe c im Vergleich das Maximum hinsichtlich des Trittwertes und der Beweidungsintensität als eigenständige Kategorie, wie sie in Abbildung 5.44 dargestellt ist. Die Artenzahl schwankt zwischen 2 und 9 Arten pro Fläche. Als Untergruppe der ZPSK wird Gruppe c als Zwergstrauchsteppe Typ *Krascheninnikovia* ausgewiesen. Im Unterschied zur Obergruppe ZPSK fehlen Polster vollständig.

Gruppe d fällt besonders hinsichtlich ihrer hohen Deckungswerte auf (Abb. 5.43). Mit durchschnittlich 73,75% liegt hier das Maximum vor. Auch das Artenmaximum ist in dieser Gruppe zu finden. Dominant erweisen sich für die vier Flächen der Gruppe d insbesondere die Arten *Kobresia royleana*, *Pedicularis orbicularis* und *Potentilla multifida*. Die Beweidungsintensität schwankt mit Werten zwischen 8 und 11 in einem sehr kleinem Wertebereich. Auf Grund der hohen Gesamtdeckung sowie der verschiedenen Carex- und Kobresiaarten ist eine Einordnung als Quellrasen zwingend.

Gruppe e ist mit 19 Aufnahmen die idealtypische ZPSS. Dominant treten *Stipa orientalis*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Acantholimon diapensioides* sowie *Seriphidium leucotrichum* in Erscheinung. Begleitet werden diese unter anderem durch *Poa attenuata*, *Oxytropis microphylla* und *Stipa caucasica*. Ein schwankender Deckungsbereich zwischen 15 und 40% sowie Artenzahlen zwischen 5 und 14 Arten lassen keine Besonderheiten auf den hier vorgestellten Flächen erahnen.

Mit einer Deckung von 30–60% ist Gruppe f die deckungsstärkste ZPSS-Formation im Bash Gumbez. *Carex stenophylla*, *Acantholimon diapensioides* und *Seriphidium leucotrichum* spielen dabei die wichtigste Rolle. *Artemisia santolinifolia*, *Artemisia spec.* und *Poa attenuata* kommen auf einzelnen Flächen vor. Die Artenzahl ist ebenso relativ hoch. Ein Vergleich der Mittelwerte (Abb. 5.43) ordnet diese Gruppe direkt hinter der der Quellrasen ein. Auffällig bei einer Betrachtung des Einflusses der Einzelflächen ist, dass Nummer 187Z, welche hinsichtlich der, im Mittel zwischen 7 und 10 liegenden Beweidung, eine Ausnahme darstellt und mit einem Wert von 4 die am schwächsten beweidete Fläche der Gruppe bildet. Ein Zusammenhang scheint hier mit der Artenzahl zu bestehen, welche in diesem Bereich ebenfalls ein Minimum aufweist.

Die 129 Mikroflächen mit einer Größe von jeweils 60 cm × 60 cm, teilen sich auf einem Ähnlichkeitsniveau von 1,0 in neun Gruppen unterschiedlicher Größe auf. Das Dendrogramm 5.42

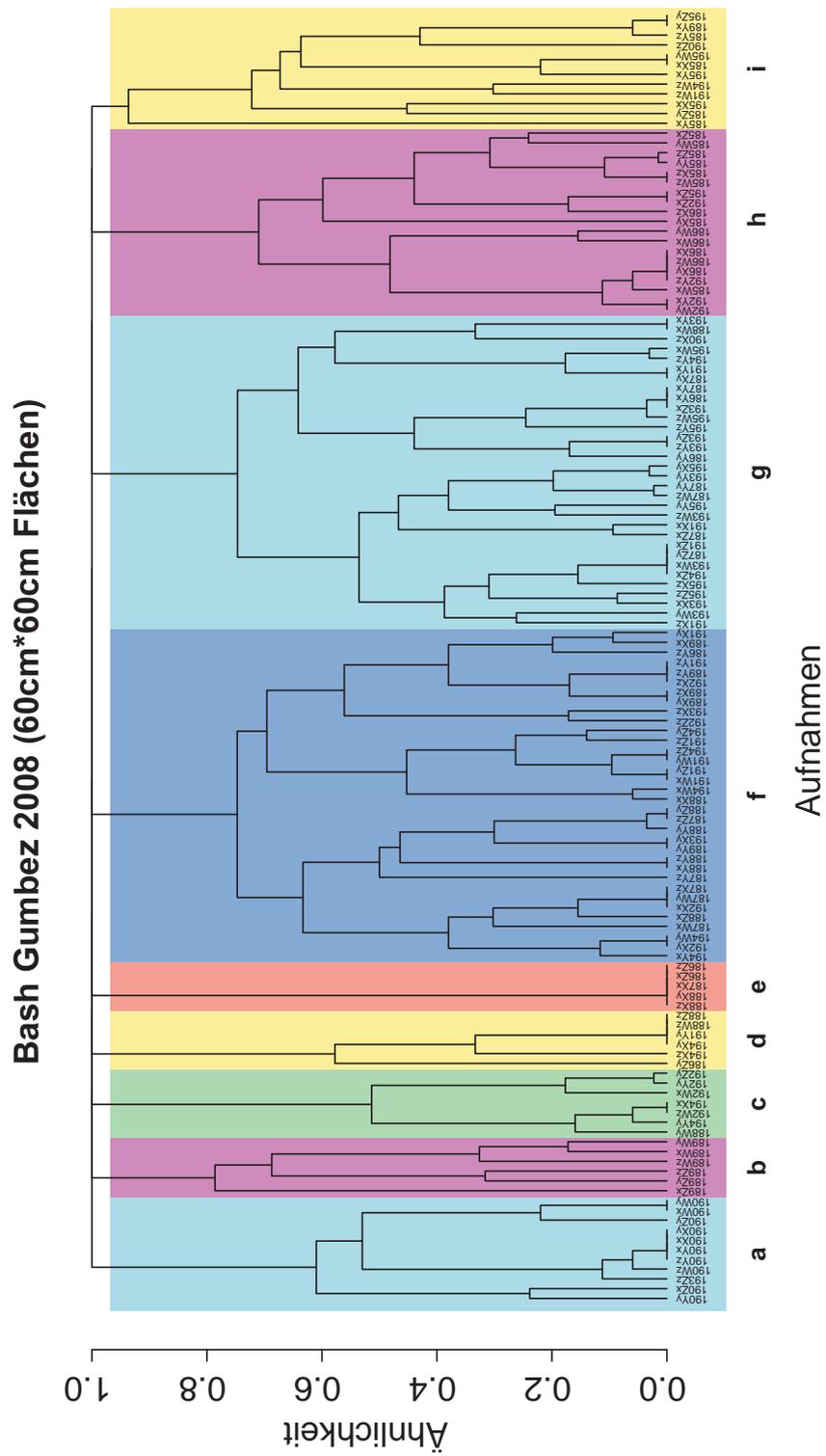


Abbildung 5.42: Bash Gumbez klassifiziert nach Arten auf Mikroebene
 Ähnlichkeitskoeffizient = Bray-Curtis; Methode = complete
 a-i: Gruppen eingeteilt nach ähnlicher Artzusammensetzung

zeigt die bildliche Darstellung der neun Gruppen und wird durch die Daten in Tabelle A.8 ergänzt. Für die Flächen 183 und 184 liegen keine Mikroflächen vor.

Gruppe a besteht aus zehn Flächen. Die Deckung liegt zwischen 5 und 15%. Abgesehen von Fläche 190Zx, auf welcher sieben Arten vorkommen, weisen die übrigen Flächen lediglich 1-4 Arten auf. Trittwerte liegen im Bereich 3-4, wohingegen der Verbiss stark schwankt. Dominante Art dieser Flächen bildet *Leymus secalinus*. Begleitet wird er in den meisten Fällen durch ein geringes Aufkommen von *Potentilla ornithopoda* und *Carex stenophylla*. Eine eindeutige Ausweisung der Leymussteppe, welche als Untergruppe der ZPSK gilt, ist möglich.

Aus nur sechs Flächen besteht die als ZPSS zählende Gruppe b. *Seriphidium leucotrichum*, *Hedysarum minanyense* und *Poa attenuata* bestreiten den größten Anteil der Deckung der meisten Flächen. Diese variiert mit Werten zwischen 35 und 95% sehr stark. Die Artenzahl bleibt mit 3-5 Arten stabil auf einem niedrigen Niveau. Besonders intensive Spuren von Beweidung lassen sich ebensowenig ausmachen.

Dominiert von *Stipa caucasica* und *Krascheninnikovia ceratoides* bildet Gruppe c einen Vertreter der Zwergstrauchwüste aus. Die Deckung liegt, wie für Wüstenformationen charakteristisch, sehr niedrig und erreicht mit 30% ihr Maximum auf Fläche 192Zy. Mit Ausnahme der Flächen 192Wx und 192Wz, die viele Exkremete zeigen, finden sich auf den sieben Flächen der Gruppe kaum Exkremete und identifizierbare Zuordnungen zu einer bestimmten Art der tierischen Nutzung. Die Trittsuren weisen jedoch bei genauer Betrachtung zumindest auf Kleinvieh hin.

Lediglich *Lindelophia stylosa* und *Stipa caucasica* finden sich auf den sechs Flächen der Gruppe d wieder. Eine ebenfalls sehr niedrige Deckung, die sich in einem Bereich von 1-20% bewegt, lässt, unterstützt durch eine niedrige Artenzahl, die Schlußfolgerung zu, dass es sich bei den in Gruppe d zusammengefassten Flächen um Wüstenflächen handeln muss.

Keine Aussage der Formationszugehörigkeit kann über die fünf Flächen der Gruppe e getroffen werden. Diese haben weder Arten noch Deckungswerte und können daher ebenso gut als Fels- wie auch als Wüstenfläche gelten. Für eine genauere Klassifikation wäre eine Betrachtung der Bodenparameter nötig. Aus pflanzensoziologischer Sicht lässt sich keine Zuordnung treffen.

Neben Gruppe g bildet Gruppe f die größte der zusammengefassten Gruppen. Trotz der hohen Anzahl von 32 Flächen weisen sie ein eindeutiges Bild auf. *Stipa orientalis* und *Stipa caucasica* treten als Begleiter des dominant vertretenen Zwergstrauches *Seriphidium leucotrichum* auf. Die in Kapitel 2.6 vorgestellten Einheiten müssen für diese Gruppe feiner untergliedert werden. Auf Grund des fehlenden Polsters bzw. des nur wenig vorhandenen *Acantholimon diapensioides*, wird die Gruppe als Zwergstrauch-Steppe Typ *Seriphidium* ausgewiesen. Die Deckung schwankt innerhalb der 32 Flächen zwischen 2 und 65%.

Ebenfalls aus 32 Flächen bestehend, stellt Gruppe g das idealtypische Bild der ZPSS dar. *Acantholimon diapensioides* und *Seriphidium leucotrichum* sind dominant vertreten und werden vereinzelt von *Carex stenophylla*, *Stipa orientalis* oder *Stipa caucasica* begleitet. Mit 5-40% Deckung liegen die Werte in der Gruppe niedriger als in der vorigen Gruppe obwohl hier ein Polster dominant vertreten ist. Drei Flächen bilden eine Ausnahme bei Betrachtung der Gesamtdeckung: 191Xz (50%), 193Wz (55%) und 195Zz (60%).

Die 20 Flächen der Gruppe h bedürfen ebenfalls einer feineren Untergliederung der Vegetationsformationen. Mit *Poa attenuata* und *Krascheninnikovia ceratoides* fällt diese Gruppe in

die Formation der Zwergstrauch-Steppen Typ *Krascheninnikovia*. Gegen die Einordnung als Zwergstrauchwüste spricht die Deckung, welche in den meisten Fällen zwischen 5 und 45% schwankt, in Ausnahmen aber bis zu 85% einnehmen kann.

Als letzte Gruppe ist die mit 12 Flächen deutlich kleinere Gruppe i zu nennen. Die 12 Flächen schwanken in einem Deckungsbereich zwischen 1 und 20% und werden von 1–4 Arten gedeckt. Dominant tritt dabei *Poa attenuata*, welche häufig durch *Krascheninnikovia ceratoides* oder *Seriphidium leucotrichum* begleitet wird, auf. Eine Zuteilung zu den Zwergstrauchwüsten scheint auf Grund dessen sowie der geringen Deckung sinnvoll.

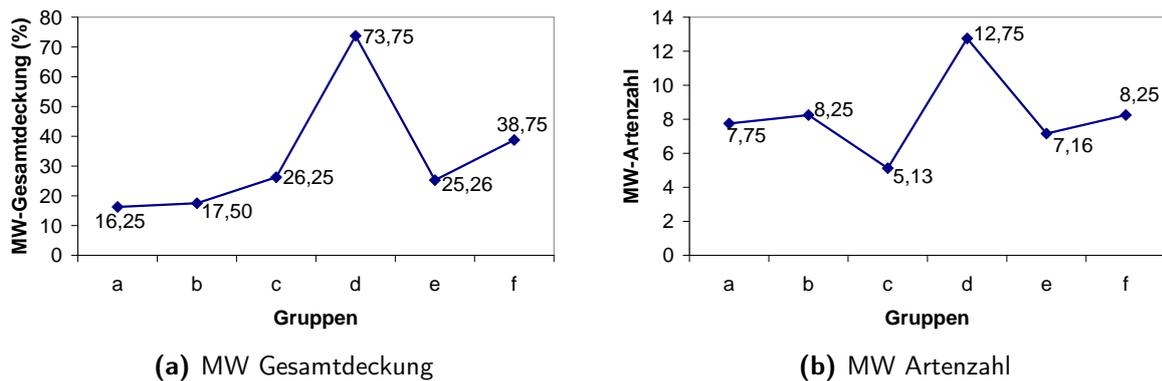


Abbildung 5.43: Mittelwerte der einzelnen Gruppen bezüglich Gesamtdeckung und Artenzahl

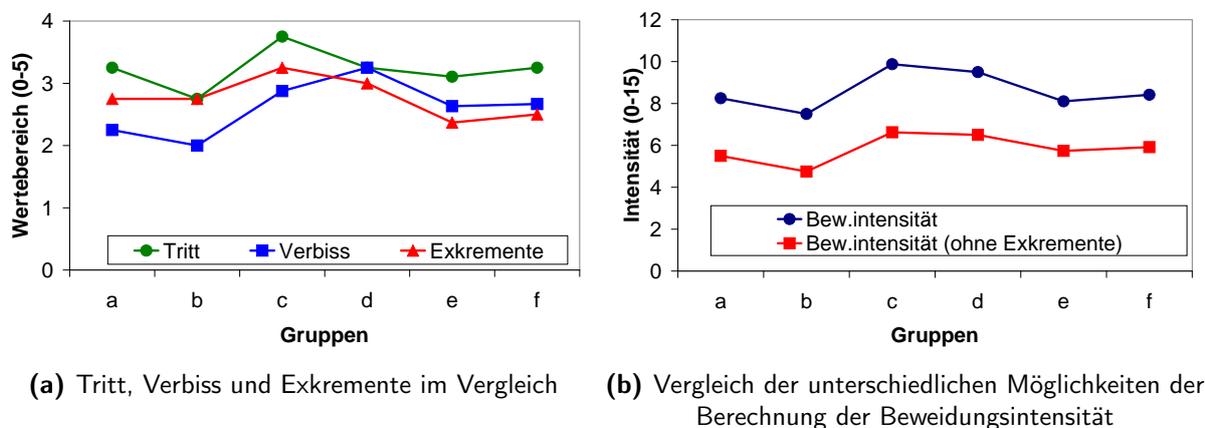


Abbildung 5.44: Mittelwerte der einzelnen Gruppen für die der Beweidungsintensität zu Grunde liegenden Faktoren und der Beweidungsintensität im Bash Gumbez

Die Makroflächen teilen sich auf der zweiten Betrachtungsebene in vier verschiedene $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen auf. Dabei fällt auf, dass alle Flächen der Aufnahme 190 sowie der Nummer 184, welche auf Ebene A eine Gruppe beschrieben haben, die keiner bestimmten Vegetationseinheit zugeordnet werden konnte, nun zwei Gruppen ausbilden. Die Aufnahme 190 clustert sich als Leymussteppe heraus, während der Nummer 184 die Quellrasenformation zugeschrieben wird. Die Flächen der Nummern 184, 186, 187, 188, 191, 193 und 194 teilen sich auf Ebene B in verschiedene Gruppen auf. Mit Ausnahme von Nummer 188 ist die Aufteilung auf Ebene B zu vernachlässigen, da die Flächen sowohl auf Ebene A als auch auf Ebene B in die Formation

der ZPSS eingeordnet werden. Bei Fläche 188 verhält es sich anders. Auf Ebene A erfolgt eine Ausweisung als Zwergstrauchwüste, während auf niedrigerer Ebene, in welcher eine Aufteilung in zwei Gruppen erfolgt, alle vier Einzelflächen in Gruppen zu finden sind, welche als ZPSS klassifiziert sind. Auf der kleinsten Ebene C wird das Muster deutlich komplexer. Die als Leymussteppe ausgewiesene Gruppe a besteht, wie bereits auf Ebene B in erster Linie aus Flächen der Nummer 190. 193Zz, ehemals ZPSS, hat als einzige Ausnahme Eingang in diese Gruppe gefunden. Die übrigen Flächen bilden kein klares Muster aus. Tabelle A.8 zeigt, in welche Formationen sich die zuvor der ZPSS angehörenden Flächen aufgeteilt haben.

5.4.3 Clusteranalyse nach Störungsparametern

Als Vorarbeit für die Clusteranalyse fand eine Zuordnung der einzelnen Mesoplots hinsichtlich des Vorhandenseins der einzelnen Störungen statt. Tritt, Verbiss und Exkrementen wurden dabei, wie bereits in der Aufnahmemethodik, in der ordinalskalierten Variante von 0–5 verwendet. Bei den weiteren Kategorien wurde eine Kennzeichnung von 0 = nicht vorhanden und 1 = vorhanden eingeführt. Zu den Kategorien gehören die Belastung der Fläche durch verschiedene Tiere, welche nachfolgend hinsichtlich der häufigeren und identifizierbaren Vertreter einzeln getestet werden. Dazu gehören neben Yak, Ziege und Schaf auch das Auftreten von Wildtieren wie Murmeltieren und kleineren Wühlern. Als weitere flächenbeeinflussende Größen wurden Salz, Spuren von Tereskenstechaktivitäten, Fahrrinnen oder ähnliches, ausgebildete Gangeln oder große Trittplächen sowie Rutschungs- und Solifluktionsspuren aufgenommen.

Die schon in Kapitel 2.7 vorgestellte Fokussierung auf die drei Täler Bash Gumbez, Madian Gumbez Kol und Pshart Gumbez Kol soll in der Clusteranalyse weiter verfolgt werden. Für die Auswertung der Daten wird das Paket „cluster“ in R herangezogen. Während in der Regel bei hierarchischen Klassifikationsverfahren lediglich metrische bzw. umgewandelte Ordinaldaten verwendet werden können, ermöglicht das Paket cluster mit der Funktion daisy die Verwendung nominaler sowie ordinaler Daten bei Verwendung des richtigen Ähnlichkeitsmaßes. Als Unähnlichkeitsmaß wird der Gower-Koeffizient herangezogen:

$$d_{jk} = \frac{1}{M} \sum_i \frac{|x_{ij} - x_{ik}|}{\max x_i - \min x_i} \quad (5.4)$$

M = Anzahl der Spalten

In diesem Ansatz findet die Minimum-variance, auch Ward-Methode genannt, Verwendung. Dabei wird die Summe der Abweichungsquadrate innerhalb des Clusters betrachtet. Obwohl die Ward-Methode in der Regel mit der euklidischen Distanz verwendet wird, ist eine Verwendung mit Gower zulässig, da hier ebenfalls ein metrisches Distanzmaß vorliegt (Leyer & Wesche, 2007).

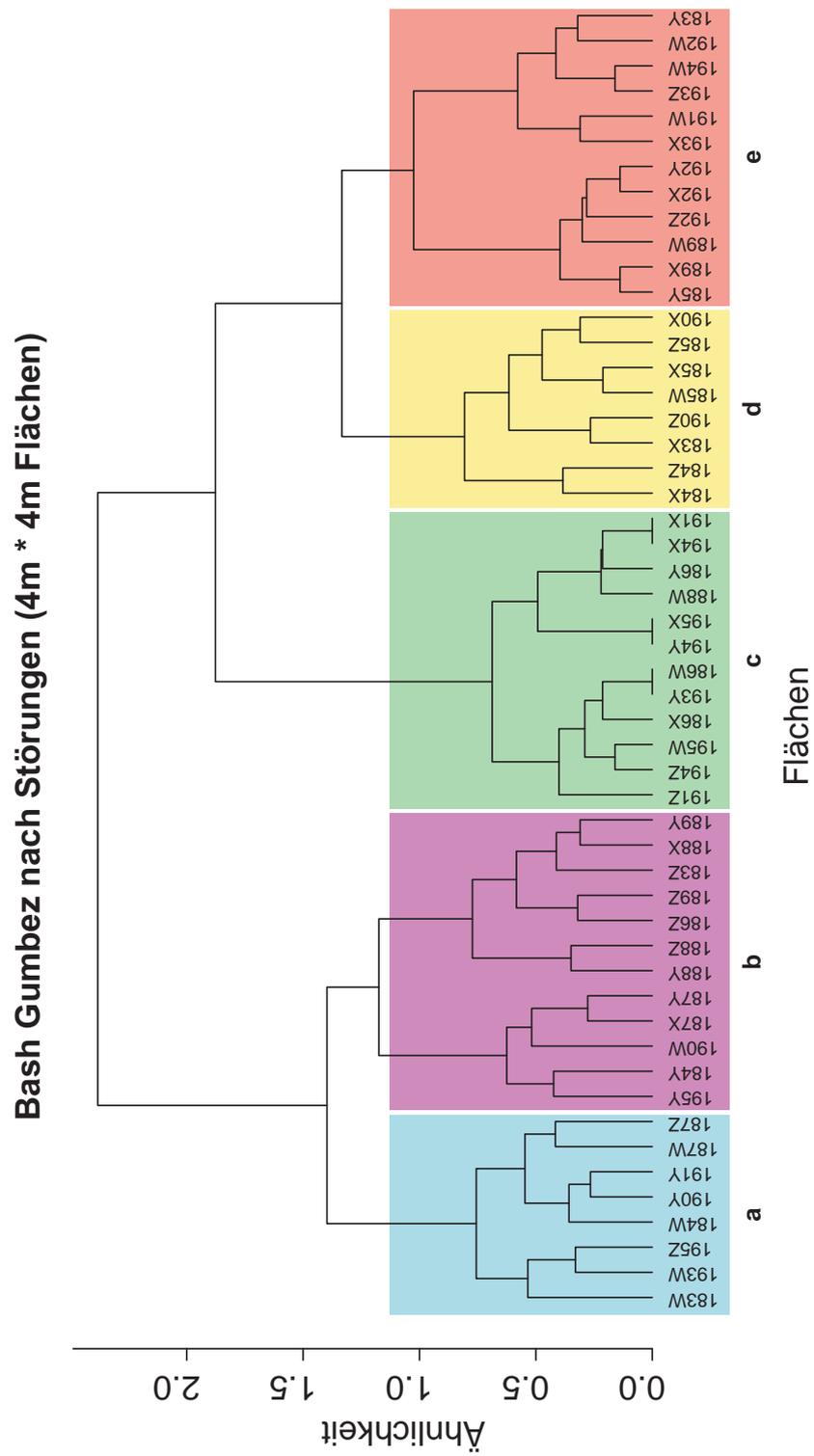


Abbildung 5.45: Bash Gumbez nach Störungen
 Ähnlichkeitskoeffizient = gower; Methode = ward
 a-e: Gruppen eingeteilt nach Störungen

Störungscluster Bash Gumbez

Das Dendrogramm 5.45 der hierarchischen Clusteranalyse für das Tal Bash Gumbez, in welches 52 4 m × 4 m Flächen Eingang fanden, zeigt bei einer Trennung auf einem Ähnlichkeitsniveau $\geq 1,3$ eine klare Trennung in fünf relativ gleich große Gruppen. Tabelle A.9 im Anhang stellt die Flächen, zugeordnet zu ihren jeweiligen Gruppen durch die Buchstaben a–e dar.

Kennzeichnend für Gruppe a ist insbesondere die Tatsache, dass sich insgesamt wenig Störungen auf den Flächen finden lassen. Die Beweidung der Flächen durch verschiedene Tiere kann nicht nachgewiesen werden. Lediglich drei Flächen (183W, 193W, 195Z) weisen Spuren von Schaf- und drei Flächen (184W, 190Y, 191Y) von Ziegenbeweidung auf. Außer der Ausbildung von Gangeln und Trittplächen auf vier der Flächen sind keine weiteren Störungen vorzufinden.

Gruppe b, welche sich von Gruppe a in erster Linie durch die Beanspruchung der Fläche durch mehrere Tiere unterscheidet, weist in diesem Bereich starke Tendenzen zu einer Beweidung durch Schafe und Ziegen auf. Yaks können ebenfalls auf einigen Flächen nachgewiesen werden. Die weiteren Störungen sind für diese Gruppe zu vernachlässigen, da sie entweder gar nicht oder nur auf bis zu 2 der 12 Flächen vorkommen.

Die Flächen der Gruppe c weisen eine sehr eindeutige Störungsklassifikation auf. Beweidung findet in dieser Gruppe durch Ziegen und Schafe statt. Trittplächen bzw. ausgeprägte Gangeln lassen sich auf jeder Fläche vorfinden. Exkremete lassen sich besonders in der mittleren Kategorie ausmachen.

Die 8 Flächen der Gruppe d werden durch Yaks und Schafe beweidet. Hohe Werte für die Kategorie Tritt sind dieser Gruppe gemeinsam, was mit Ausnahme der Fläche 184Z eine Ausbildung von Gangeln bzw. Trittplächen zur Folge hat. Die Flächen 184X, 184Z, 185W, 185X werden zusätzlich durch Ziegen und die Flächen 185W, 185X, 185Z, 190X zusätzlich durch Murmeltiere beeinflusst.

Als einzige Gruppe mit hohem Murmeltiereinfluss lässt sich Gruppe e ausweisen. Neben einigen Ausnahmen, bei denen auch Schaf- und Yakkvorkommen nachzuweisen sind, werden die Flächen von Murmeltieren und Ziegen gemeinsam genutzt. Der Einfluss der Ziegen auf den Flächen führt zu einer Gangelbildung auf allen Einzelflächen dieser Gruppe.

Abbildung 5.46 zeigt die Unterschiede, welche sich für die Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen ergeben, je nachdem, ob der Mittelwert oder der Median betrachtet wird. Besonders die Gruppen a, b und d weisen eine hohe Standardabweichung auf. Die Ausreißerflächen die sich dafür verantwortlich zeichnen, gehören der Gruppe der Quellrasen an. Auf Grund der wenigen, aber doch sehr hohen Ausreißer, ist es sinnvoll im Folgenden den Median zu betrachten. Gruppe a, die Gruppe mit den wenigsten Störungen, weist die höchste Gesamtdeckung auf wohingegen Gruppe c, welche intensiv von Schafen und Ziegen beweidet wird mit 20% den niedrigsten Deckungswert hat. Die Gruppen b und e, welche in der Hierarchie der Deckungswerte ebenfalls im unteren Bereich anzusiedeln sind, werden, genau wie Gruppe c, von Ziegen beweidet. Anders verhält es sich bei der durchschnittlichen Anzahl der Arten pro Gruppe. Erstaunlich ist, dass die von Ziegen dominierten Gruppen die höchste Artenzahl hervorbringen.

Ein Versuch der räumlichen Verortung der Gruppen und einer Zuordnung zu den wichtigsten Umweltvariablen lässt deutlich erkennen, dass sich die Flächen der Gruppe a überwiegend in

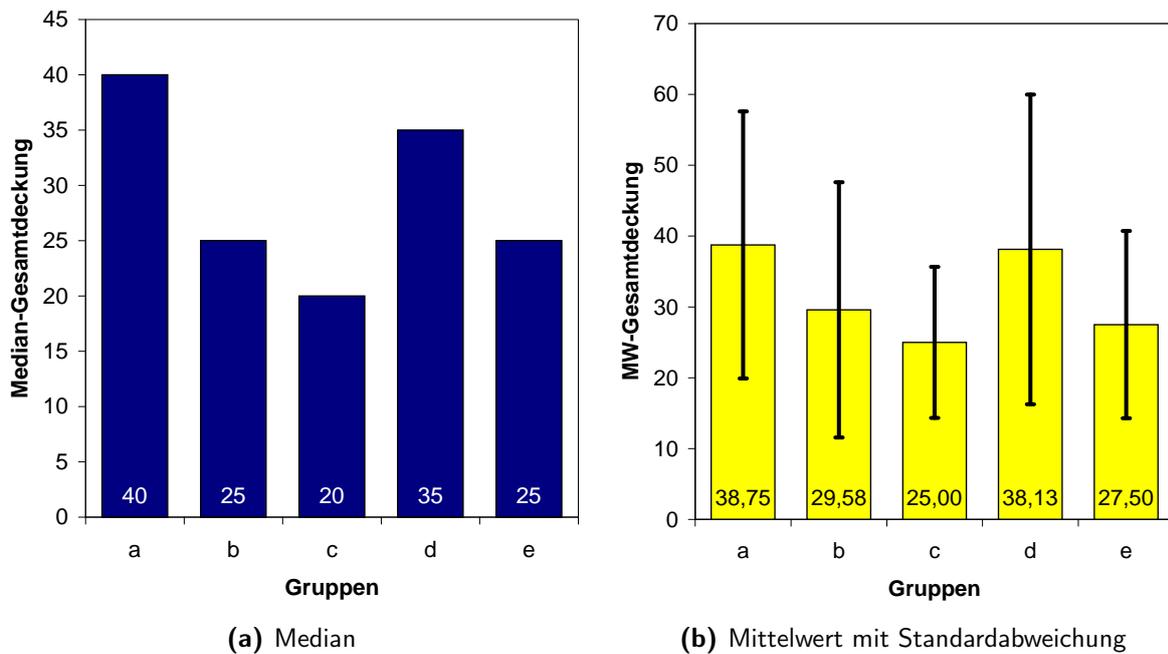


Abbildung 5.46: Vergleich der Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Bash Gumbaz

Bereichen geringer Hangneigung befinden. Auf ehemaligen Schwemmfächern und Moränen befinden sich insbesondere diejenigen der Gruppe c. Die durchschnittlich niedrigsten Entfernungen zum Wasser und zur nächsten menschlichen Siedlung charakterisieren Gruppe d, wohingegen Gruppe e die weitesten Entfernungen zur Siedlung hat. In der Ausrichtung lässt sich in Gruppe e eine Tendenz nach Westen feststellen.

Störungscluster Madian Gumbaz Kol

Die 56 4 m × 4 m Flächen, welche Eingang in die Clusteranalyse nach Störungen für das Tal Madian Gumbaz Kol fanden, zeigen bei Annahme eines Ähnlichkeitsniveaus von 1,7 eine klare Aufteilung in vier Gruppen (Abb. 5.48). Tabelle A.10 im Anhang gibt einen Überblick über die in Gruppen a–d gegliederten Flächen und den dazu gehörigen Parametern.

Die neun Flächen der Gruppe a lassen keine Zuweisung zu bestimmten Tieren erkennen. Die Trittbelastung ist, mit Ausnahme der Fläche 95W, welche einen Wert von 4 aufweist, sehr niedrig und auf vielen Flächen nicht nachweisbar. Die weiteren Beweidungsindikatoren, Exkrememente und Verbiss, sind ebenfalls sehr niedrig einzustufen. Exkrememente sind auf keiner Fläche vorhanden und der zu beobachtende Verbiss liegt nie über dem Wert 3. Rutschungen bzw. Solifluktion lassen sich auf fünf Flächen nachweisen.

Die aus 19 Flächen bestehende Gruppe b weist keine eindeutige Zuordnung zu bestimmten Störungen auf. Im Vergleich zu a ist die Beweidungsbelastung deutlich höher. Tritt und Verbiss erreichen Werte im Bereich 3–4 und Exkrememente werden in der Kategorie 1–2 vorgefunden. Auf Grund der höheren Trittbelastung auf einzelnen Flächen, kommt es teilweise zur Ausbildung von Gangeln und Trittflächen. Eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Nutzer lässt

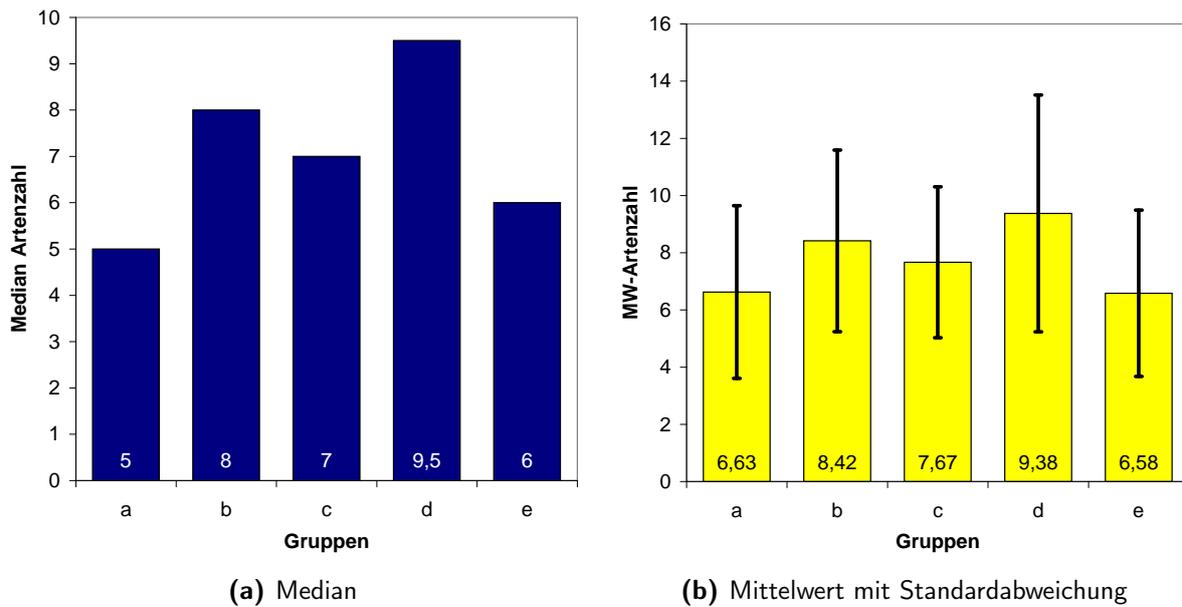


Abbildung 5.47: Vergleich der Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Bash Gumbez

sich nicht feststellen. Auffällig ist aber, dass keine der Flächen unter dem erkennbaren Einfluss mehrerer Tiere steht.

Am stärksten störungsbeeinflusst zeigt sich Cluster c. Diese weist die höchste Beweidungsintensität auf. Neben den hohen Trittwerten von 4–5, erreichen auch die Verbisswerte eine Höhe von 4–5 und runden mit Exkrementwerten von 4–5 das Bild einer intensiv beweideten Fläche ab. Keine der zehn Einzelflächen wird von nur einem Tier genutzt. Eine Beweidung durch Schafe und Ziegen kann auf jeder Fläche nachgewiesen werden. Die Flächen 101W, 102Z und 99Y zeigen sich zudem noch Spuren von Yaks. Als einzige Gruppe kann hier das Auftreten von Salzausblühungen auf den Flächen vermehrt nachgewiesen werden. Vier der zehn Flächen (101W, 101Z, 102X, 99W) weisen Salzspuren auf. Genau wie in den Gruppen a und b lassen sich Rutschungen und Solifluktion ausweisen. Betroffen davon sind die fünf Flächen 101W, 101Y, 102Z, 99W und 99X.

Im Unterschied zu den drei vorherigen Gruppen finden sich auf den 18 Flächen der Gruppe d keine Spuren von Rutschungen oder Solifluktion. Ein Rückgang der Beweidungsintensität im Vergleich zu Gruppe c lässt die Werte für Tritt, Verbiss und Exkremente zwischen 2 und 3 schwanken, in einzelnen Ausnahmen werden Werte von 4 erreicht. Alle Flächen, mit Ausnahme von 418X, werden von mehreren Tieren beweidet. Die übrigen Flächen zeigen überwiegend Spuren von Yaks, Ziegen und Schafen. In einzelnen Fällen können nur zwei der drei Tiere bzw. zusätzlich noch der Einfluss von Murmeltieren nachgewiesen werden. Bei Betrachtung des Mittelwertes der Gesamtdeckung in Abbildung 5.49 fällt auf, dass alle Gruppen eine relativ hohe Standardabweichung haben. Die Tendenzen der Deckung sind aber sowohl bei Betrachtung des Mittelwertes als auch bei Betrachtung des Median äquivalent. Die wenig beweidungsbeeinflusste Gruppe a, welche stark durch Rutschungen und Solifluktion gekennzeichnet ist, weist mit einem Median von 3% die niedrigste Deckung auf. Die stark beweideten Gruppen b und c kennzeichnen den mittleren Deckungsbereich und werden nur knapp von Gruppe d

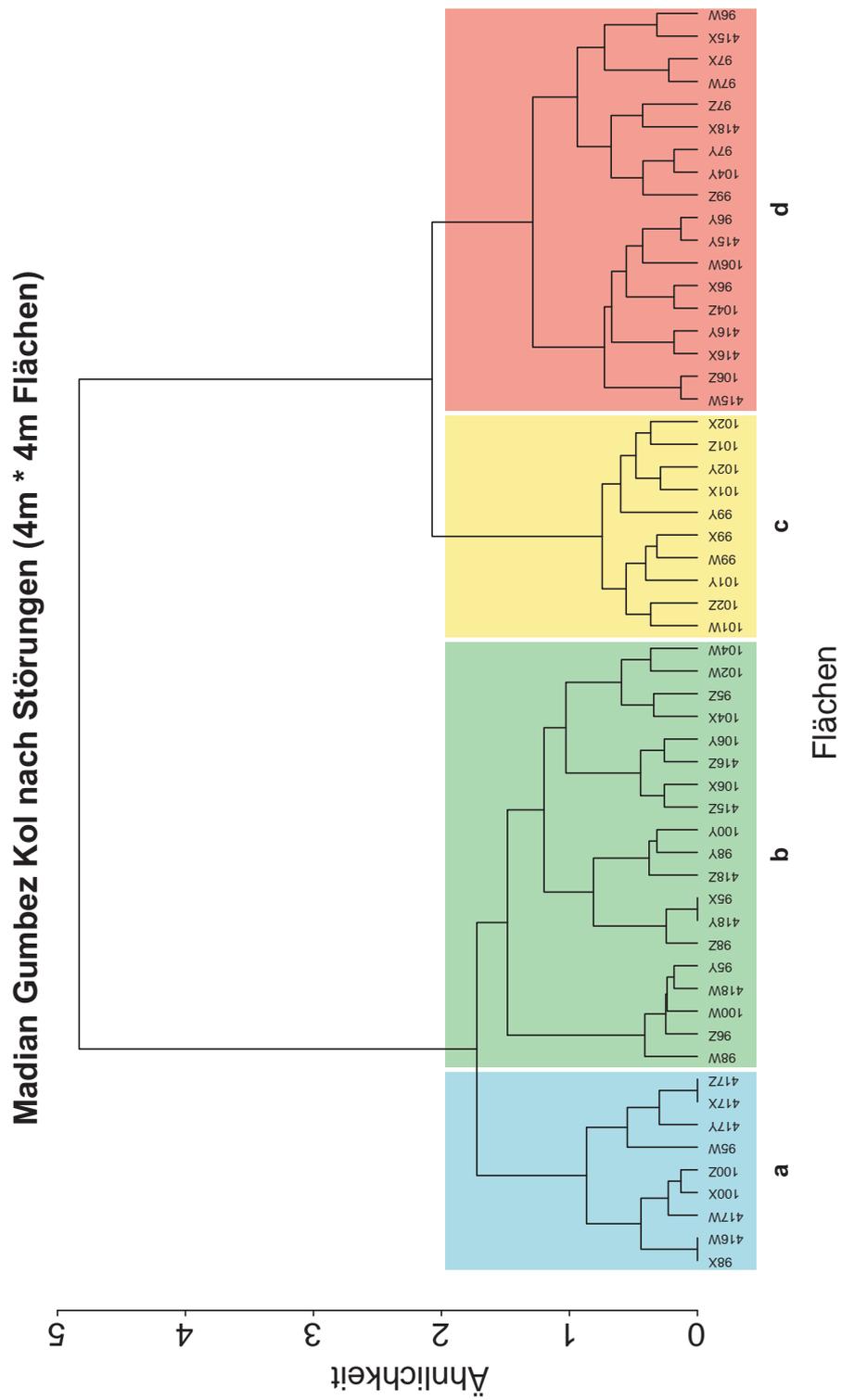


Abbildung 5.48: Madian Gumbez Kol nach Störungen
 Ähnlichkeitskoeffizient = gower; Methode = ward
 a-d: Gruppen eingeteilt nach Störungen

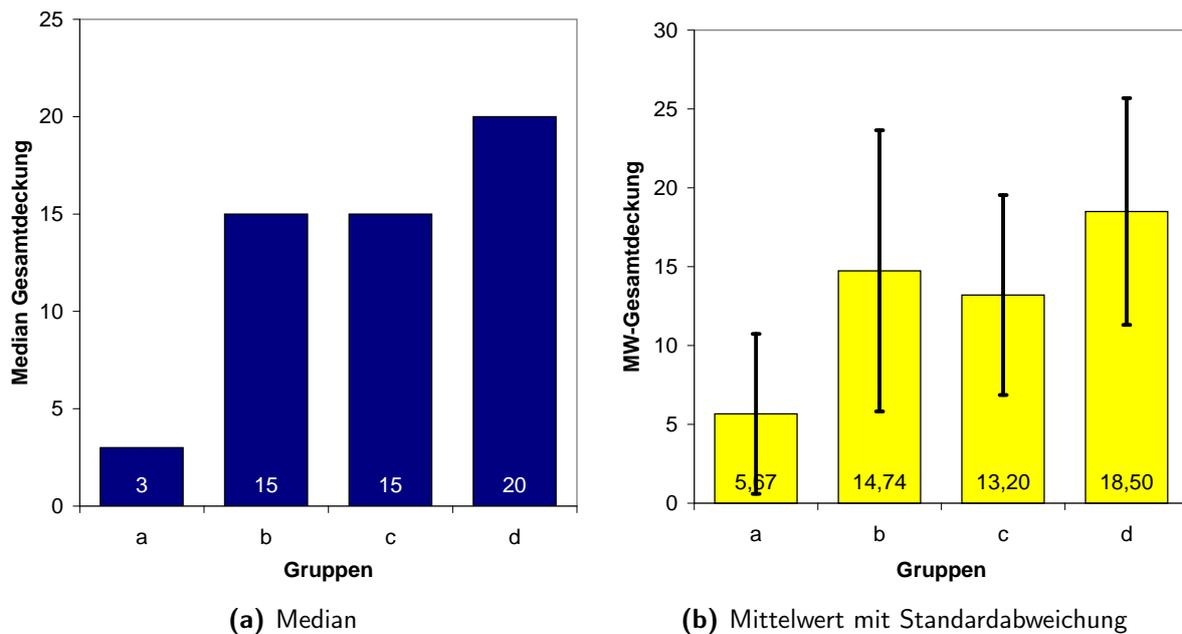


Abbildung 5.49: Vergleich der Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Madian Gumbez Kol

mit einem Deckungsmedian von 20% übertroffen. Das Fehlen von Rutschungen kann Grund der erhöhten Deckung sein. Die Artenzahl, dargestellt in Abbildung 5.50, weist, genau wie die Gesamtdeckung, einen hohen Fehlerindikator auf. Dabei kann festgestellt werden, dass Gruppe a neben der niedrigsten Deckung auch die niedrigste Artenzahl vorzuweisen hat. In der stark beweidungsbeeinflussten Gruppe c ist die Anzahl der Arten ebenfalls mit einem Median von 3,5 Arten sehr niedrig. Die Gruppen b und d, die eine mittlere Beweidungsbeeinflussung und weniger Rutschungs- bzw. Soliflukstionsstörungen einbringen, haben die höchsten Artenzahlen. Allerdings muss beachtet werden, dass die Streuung innerhalb dieser Gruppen, wie bereits angemerkt, sehr heterogen ist.

Die Zuordnung weiterer Umweltparameter und die damit verbundene räumliche Verortung lässt bei Gruppe a eine Tendenz zu Flächen starker Hangneigung erkennen. Einzige Ausnahme bildet dabei 416W mit einer Neigung von 6° . Eine Nutzung als Sommerweide ist allen Flächen, so ihnen eine Weidenutzungsform zugeschrieben werden kann, gemein. Flächen der Gruppe b weisen eine hohe Hangneigung auf. Der Bereich schwankt zwischen 6° und 36° . Eine Ausnahme stellt die alluviale Terrassenfläche 415Z mit einer Neigung von nur 1° dar. Ein weiteres Charakteristikum von Gruppe b ist die hohe Entfernung zur nächsten anthropogenen Siedlung. Im Gegensatz dazu steht Gruppe c, bei welcher die maximale Entfernung zur Jurte 400 m beträgt. Neben einer Ausrichtung nach SW haben diese Flächen eine Höhenlage zwischen 3950 und 3995 m ü. NN gemeinsam. In der heterogenen Gruppe d lassen sich keine eindeutigen Zuordnungen zu bestimmten Umweltparametern machen. Ein gehäuftes Vorkommen zu Höhen im oberen Bereich dieses Tals sowie eine damit in Zusammenhang stehende weite Entfernung zu den Siedlungen kann beobachtet werden.

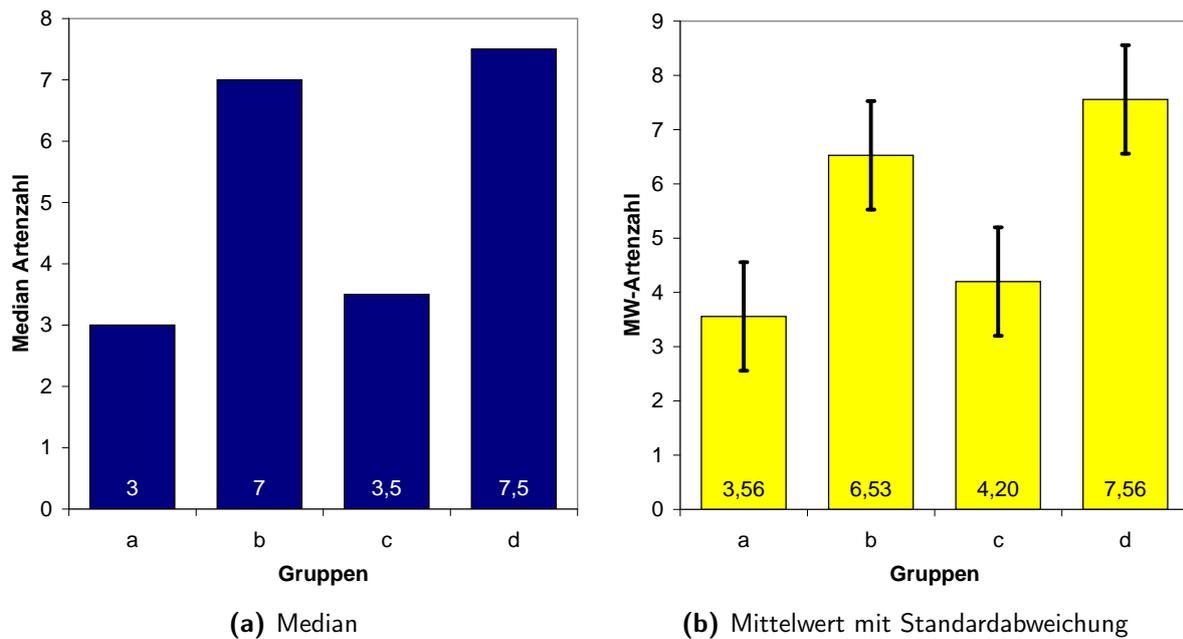


Abbildung 5.50: Vergleich der Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Madian Gumbez Kol

Störungscluster Pshart Gumbez Kol

Die hierarchische Clusterung 5.51 für das Tal Pshart Gumbez Kol wurde aus 110 4 m × 4 m Flächen erstellt. Auf einem Ähnlichkeitsniveau von 2,6 können 5 Gruppen ausgewiesen werden, deren zugehörige Parameter in Tabelle A.11 im Anhang zu finden sind.

Die aus 27 Flächen bestehende Gruppe a lässt sich in erster Linie durch die gemeinsame Nutzung von Yaks und Murmeltieren charakterisieren. Ziegen und Wühler lassen sich auf keiner Fläche nachweisen. Mit Ausnahme von Fläche 154Y tritt Schaf als Nutzer immer dann auf, wenn keine Murmeltierspuren nachzuweisen sind. Fläche 154Y weist Yak-, Murmeltier- und Schafspuren (wahrscheinlich aus dem Vorjahr) auf. Im Vergleich zu der hohen Trittbelastung im Bereich 3–4, ist die Gangelbildung in Gruppe a mit einer Ausbildung bei ca. 50% der Flächen eher gering. Weitere Einfüsse lassen sich nicht ersichtlich und dominant ausweisen.

Eine klare Strukturierung hinsichtlich der Zuweisung bestimmter Störungsmuster weist Gruppe b auf. Alle Flächen haben Trittwerte zwischen 2 und 3 und lassen sich, nach Verbiss Spuren, in den Bereich von 3–4 einordnen. Jede Fläche ist nur durch Yaks beweidet. Obwohl die Kategorie der Exkremente im unteren Wertebereich (1–2) anzusiedeln ist, gibt es hier Ausnahmefälle, die sogar Werte von bis zu 4 annehmen können.

Die auffällige Gemeinsamkeit in Gruppe c ist, dass alle Flächen eine hohe Trittbelastung (im Bereich von 3–5) haben und daher alle Flächen zur Gangelbildung neigen. Nur wenige Flächen können direkt mit Tieren in Verbindung gebracht und zugeordnet werden. Diejenigen, welche eingeordnet werden können, lassen lediglich Rückschlüsse auf Yakbeweidung zu. Mit Ausnahme der Flächen 141Z und 142Y, welche Werte von 2 und 3 haben, lassen sich auf den anderen 16 Flächen kaum oder gar keine Exkremente finden.

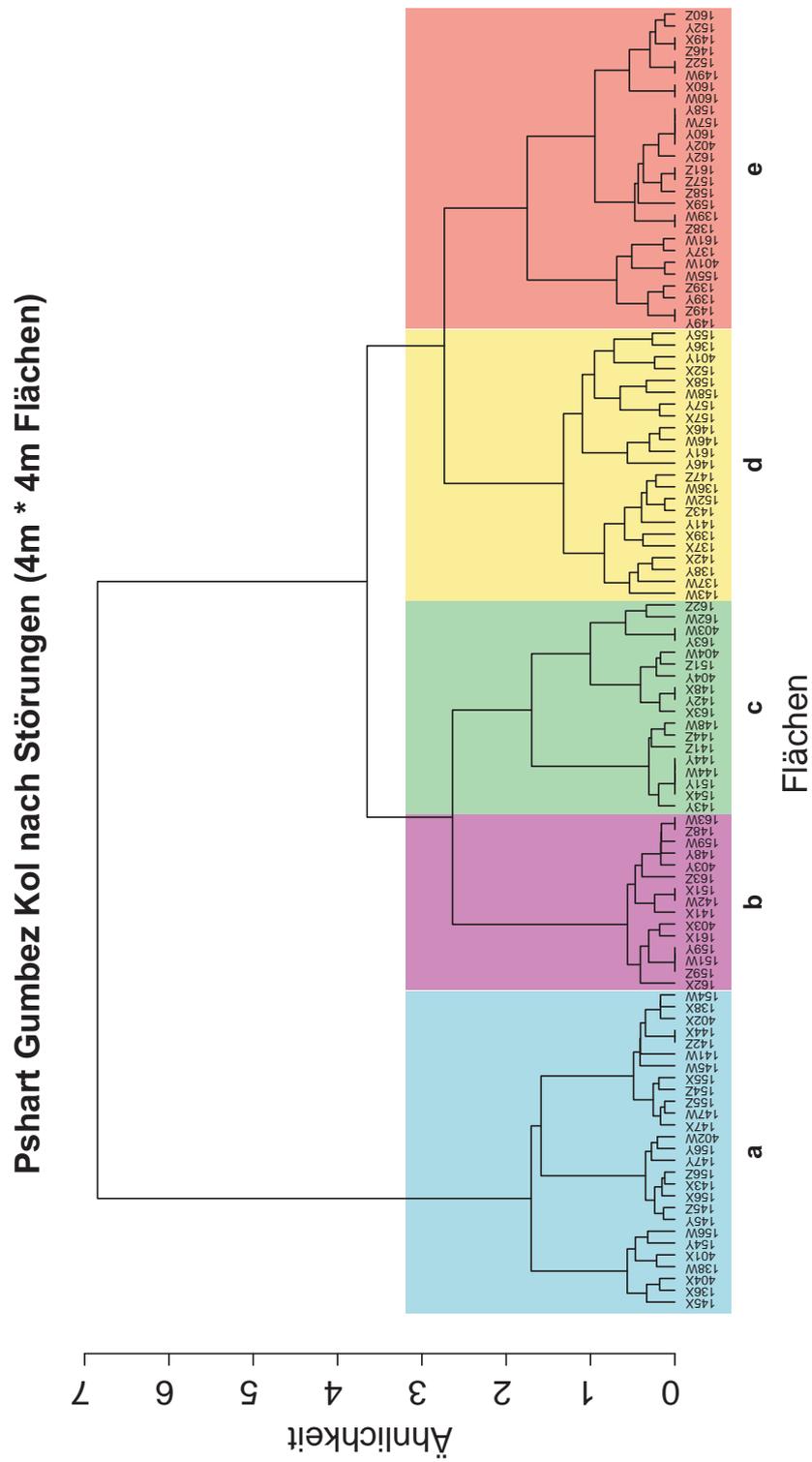


Abbildung 5.51: Pshart Gumbez Kol nach Störungen
 Ähnlichkeitskoeffizient = gower; Methode = ward
 a-e: Gruppen eingeteilt nach Störungen

In der Gruppe d bilden 4 der 23 Flächen ebenfalls eine Ausnahme im Exkrementbereich, welcher bei der Mehrzahl der Flächen im Bereich 1–2 liegt. Die Nutzung der Flächen ist schwach. Murmeltiere gibt es auf mehr als 50% der Flächen. Zusammen mit Gruppe a bilden diese Gruppen die einzigen Flächen, auf welchen Murmeltiere vorkommen. Hier finden sich als einziges Flächen mit Wühlereinfluss. Nur fünf der Flächen bilden Gangeln aus.

Gruppe e hat keine Ausreißer bei den Exkrementen. Alle Werte liegen zwischen 0 und 1. Auf 8 der 27 Flächen finden sich Spuren von Rutschungen oder Solifluktion. Tiere lassen sich auf keiner der Flächen nachweisen.

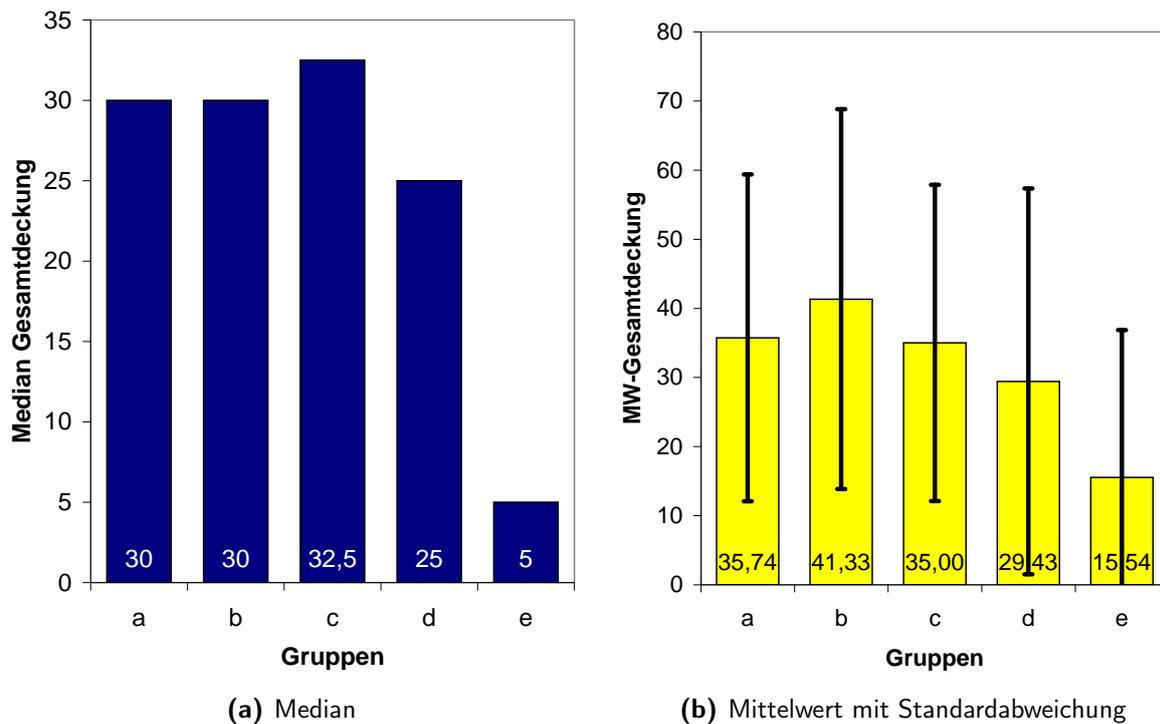


Abbildung 5.52: Vergleich der Gesamtdeckung der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Pshart Gumbez Kol

Wie schon an den Fehlerbalken der Mittelwertsdarstellung der Gesamtdeckung aus Abbildung 5.52 zu erkennen, ist die Standardabweichung für alle Gruppen sehr groß. Eine Verteilung der Werte in Gruppe a über den Deckungsraum 5-90% erlaubt es nicht Ausreißerwerte zu entfernen, da eine eindeutige Klassifikation dieser nicht möglich ist. Es liegt eine sehr heterogene Verteilung der Gesamtdeckung vor. Gruppe b verhält sich diesbezüglich ähnlich. In den weiteren Gruppen ist ebenfalls ein heterogenes Muster vorzufinden, was in Tabelle A.11 dargestellt ist. Eine Interpretation der Gesamtdeckung ist auf Grund der Heterogenität der Gruppen schwierig. Einzig in Gruppe e ist eine Tendenz im unteren Bereich zu erkennen, da hier die Werte 90% und 65% Einzelfälle im oberen Drittel darstellen und zwischen diesen und den nachfolgenden Werten (beginnend bei 40%) eine Lücke besteht. Die heterogene Verteilung der Gesamtdeckung in den Gruppen könnte sich durch die, eventuell in verschiedenen Gruppen verstreuten Quellrasen oder durch die, im Pshart Gumbez Kol als Sonderfall auftretende Pflanzenformation der Alpinen Matten, kommen. Dieser Punkt soll unter der räumlichen Verortung der Störungsmuster wieder aufgegriffen werden. Ein Vergleich der Artenzahl der verschiede-

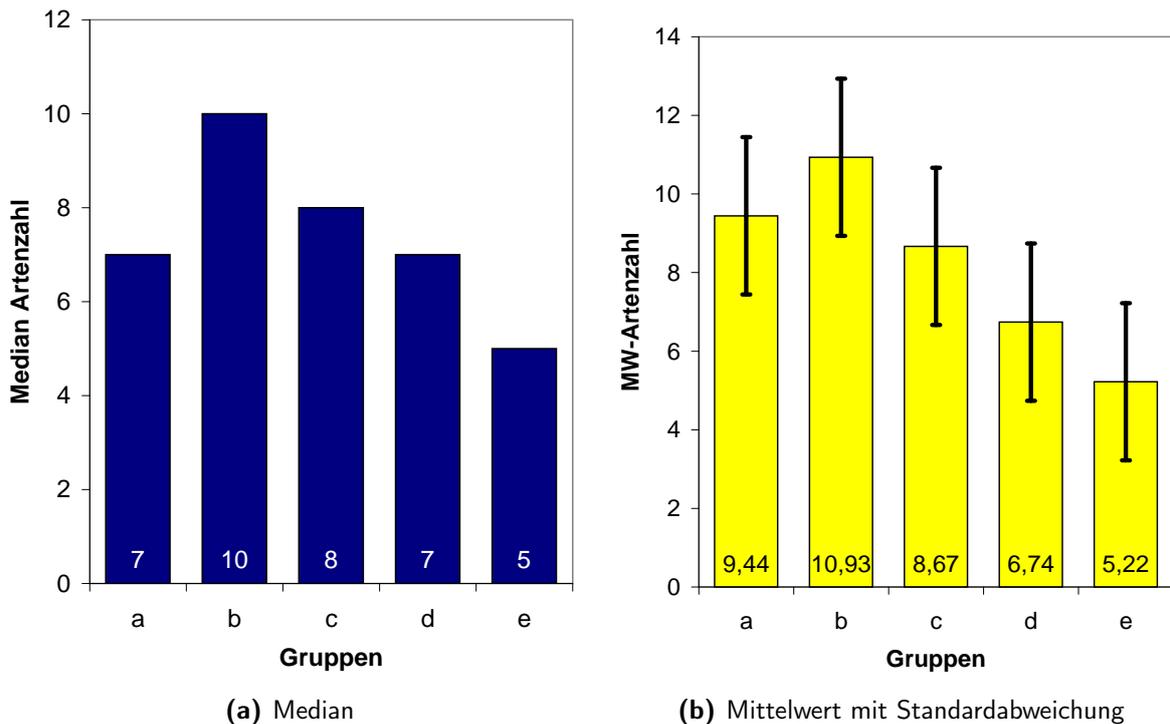


Abbildung 5.53: Vergleich der Artenzahl der einzelnen Gruppen der Störungsklassifikation für das Tal Pshart Gumbez Kol

nen Gruppen wie in Abbildung 5.53 zu sehen, liefert ähnliche Eindrücke wie die Betrachtung der Gesamtdeckung. Wie auch bei der Gesamtdeckung bildet Gruppe e das einheitlichste Bild und kann, mit Ausnahme der Artenzahlwerte für die Flächen 138Z mit 16 und 139W mit 12 Arten im unteren Bereich angesiedelt werden. Die durch den Median vermittelte Tendenz der Artenzahl der Gruppe kann beibehalten werden und die Gruppe e als Cluster der niedrigsten Artenzahl ausgewiesen werden. Ein Vergleich der Gesamtdeckung der einzelnen Flächen mit der Artenzahl zeigt, dass nicht die Flächen mit der höchsten Deckung, sondern Flächen im Bereich 35–75% die höchste Artenzahl in den jeweiligen Gruppen hervorbringen. Eine Ausnahme davon bildet Fläche 142X in Gruppe d mit einer Gesamtdeckung von 85% bei der höchsten Artenzahl der gesamten Gruppe. Auch die schon erwähnte Fläche 138Z aus Gruppe e, welche mit 90% Deckung aufwarten kann, bildet mit 16 Arten das Maximum dieser Gruppe.

Die mit Ausnahme von fünf Flächen an geneigten Hängen über 20° liegenden Flächen der Gruppe a befinden sich alle in der Nähe von zumindest saisonal auftretenden Wassereinflüssen. Den fünf Ausnahmeflächen gemeinsam ist, dass diese sich zusätzlich zu saisonal auftretendem Wasser auch in der Nähe ganzjährigen Wassereinflusses befinden. Mehr als die Hälfte der Flächen der Gruppe a sind westexponiert und alle haben eine weite Entfernung zur Siedlung, zwischen 1800 und 2830 m gemeinsam. In Gruppe b beträgt die maximale Entfernung zu einem ganzjährig fließendem Gewässer 400 m, liegt aber im Durchschnitt mit ca. 130 m weit darunter. Viele der in dieser Gruppe befindlichen Flächen lassen sich als Quellrasen und Alpine Matten einordnen. Die Flächen der Gruppe c lassen sich mit Ausnahme einer Fläche am Talboden und zweien, auf einem alluvialen Schwemmfächer gelegenen, alle an den Hängen finden. Die Entfernung zum Wasser ist auch in dieser Gruppe relativ gering. Gruppe d weist hinsichtlich aller betrachteten Faktoren ein sehr gemischtes Bild auf. Die überwiegend westexponierten

Flächen der Gruppe e haben, mit Ausnahme von vier Flächen, eine Hangneigung über 20°. Mit 3980 m befinden sich in dieser Gruppe jene Flächen, die die höchsten Entfernungen zur nächsten Ansiedlung aufweisen können.

5.5 Diskriminanzanalyse

Die Diskriminanzanalyse stellt ein multivariates Verfahren zur Analyse von Gruppenunterschieden dar. Das strukturprüfende Verfahren stellt dabei die Abhängigkeit einer nominal skalierten Variable von mehreren, in der Regel metrisch skalierten Variablen dar. Der Diskriminanzanalyse geht zumeist eine Klassifikationsmethode voraus, welche eine Einteilung des Datensatzes in Gruppen vornimmt. Das Prinzip, welches hinter der Diskriminanzanalyse steckt, ist es, die Unterschiede der Ausprägungen der Merkmalsvariablen zwischen den Gruppen zu maximieren und innerhalb der Gruppen zu minimieren. Die errechneten Gradienten, entlang derer dies versucht wird, werden als Diskriminanzfunktion oder auch kanonische Diskriminanzfunktion bezeichnet. Diese prüft die diskriminatorische Bedeutung der zu erklärenden Variablen anhand einer Linearkombination der Variablen nach der Formel:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} Y &= \text{Diskriminanzwert} \\ b_1 \dots b_p &= \text{Diskriminanzkoeffizienten} \\ x_1 \dots x_p &= \text{erklärende Variablen} \end{aligned}$$

Nach Backhaus (2006) kann die Diskriminanzanalyse in sechs Schritte aufgeteilt werden:

1. Festlegung der Gruppen
Die Definition der Gruppen, welche einer Klassifikation nachgeschaltet sein kann, legt zugleich die maximale Gruppenanzahl fest. Je höher die Zahl der Gruppen, desto komplexer wird die nachfolgende Diskriminanzanalyse.
2. Formulierung der Diskriminanzfunktion
Die Diskriminanzfunktion, welche für eine optimale Trennung zwischen den Gruppen und eine Prüfung der diskriminatorischen Bedeutung der Merkmalsvariablen sorgen soll, ist in Formel 5.5 festgelegt. Zur Formulierung der Funktion ist die Auswahl der Merkmalsvariablen erforderlich. Diese sollte in der Regel höher sein als die Anzahl der zu untersuchenden Gruppen. Die Auswahl erfolgt dabei auf Grund theoretischer oder sachlogischer Überlegungen. Es sollen nur Merkmale miteinbezogen werden, von welchen ein gewisser Erklärungswert erwartet werden kann.
3. Schätzung der Diskriminanzfunktion
Die Diskriminanzfunktion soll optimal zwischen den Gruppen trennen. Dabei wird wenn

mehr als zwei Gruppen vorliegen und die Streuung innerhalb der Gruppen nicht gleich ist, folgendes Diskriminanzkriterium angewendet:

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{SS_b}{SS_w} = \frac{\text{Streuung zwischen den Gruppen}}{\text{Streuung in den Gruppen}} = \\ &= \frac{\sum_{g=1}^G I_g (\bar{Y}_g - \bar{Y})^2}{\sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^{I_g} (\bar{Y}_{gi} - \bar{Y}_g)^2} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Es ergeben sich immer $n - 1$ Diskriminanzfunktionen, wobei n die Anzahl der Gruppen symbolisiert. Die Wichtigkeit der sukzessiv ermittelten Diskriminanzfunktionen nimmt schnell ab, was zur Folge hat, dass auch große Gruppen mit vielen Merkmalsvariablen häufig mit wenigen Funktionen auskommen.

4. Prüfung der Diskriminanzfunktion

Zur Prüfung der Güte der Diskriminanzfunktion gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen können die klassifizierten Ergebnisse und die damit verbundene Gruppenzugehörigkeit der eigenen Klassifikation mit den Ergebnissen der Gruppeneinordnung der Diskriminanzanalyse verglichen werden. Die Diskriminanzanalyse ist dabei nur als vorteilhaft einzustufen, wenn ihre Trefferquote deutlich über einer zufälligen Trefferquote liegt. Eine zweite Möglichkeit zur Prüfung der Güte kann durch Prüfung des Diskriminanzkriteriums erfolgen. Gebräuchlich ist dabei die Prüfung der Diskriminanz mit Wilks'Lambda:

$$\Lambda = \frac{\text{nicht erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} = \frac{1}{1 + \gamma} \quad (5.7)$$

$$\gamma = \max\{\Gamma\} = \frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{nicht erklärte Streuung}} = \text{Eigenwert}$$

Da Wilks'Lambda ein inverses Gütemaß ist, bedeuten kleinere Werte eine höhere Trennkraft der Diskriminanzfunktion und umgekehrt.

5. Prüfung der Merkmalsvariablen

Die Prüfung der Merkmalsvariablen stellt einen wichtigen Schritt in der Analyse dar. Zum einen werden auf diese Weise die unwichtigen Variablen aus der weiteren Analyse entfernt und des weiteren kann die Unterschiedlichkeit der Gruppen dadurch erklärt werden. Mit Hilfe von Wilks'Lambda und einer Streuungszersetzung wird jede Variable isoliert auf deren Trennfähigkeit überprüft. Mit dem F-Test wird die Signifikanz der einzelnen Merkmalsvariablen geprüft.

6. Klassifikation neuer Ergebnisse

Die Klassifikation neuer Ergebnisse kann nach dem Distanz-, dem Wahrscheinlichkeitskonzept oder den Klassifizierungsfunktionen erfolgen. Auf Grund der Komplexität sei hier nur das Distanzkonzept, welches bei der Klassifizierung der eigenen Daten Anwendung fand, genannt. Dabei werden die Flächen den Gruppen zugeordnet, bei welchen der Abstand des Elements vom Gruppenmittel (Centroid) minimal wird.

Die Analyse der eigenen Daten erfolgte in SPSS unter der Wahl der schrittweisen Analyse nach Wilks' Lambda. Dies bedeutet, dass nach einer Prüfung aller Merkmalsvariablen nur diejenigen Verwendung finden, welche zu einer Verbesserung des Wilks' Lambda und somit zu einer höheren Trennschärfe beitragen. Die Wahl des Funktionskoeffizienten erfolgte nicht standardisiert. Für die Klassifikation wurde als Klassifikationsmaß die Möglichkeit gewählt, alles aus der Gruppengröße zu berechnen. Fehlende Werte in der Analyse wurden durch Mittelwerte ersetzt (Backhaus et al. , 2006; Brosius, 2008; Leyer & Wesche, 2007).

Die Diskriminanzanalysen bauen auf der Klassifikation nach Vegetationseinheiten, nachzulesen unter 5.4.2, auf.

5.5.1 Diskriminanzanalyse Mesoflächen 2008

Analyse auf Basis der Vegetationsklassifikation

Von den 301 klassifizierten Mesoflächen finden 298 Eingang in die Diskriminanzanalyse. Die drei Teilflächen der Nummer 137 werden auf Grund fehlender Bodendaten von der Analyse ausgeschlossen. Neben den Bodendaten werden Umweltvariablen als beschreibende Merkmale miteinbezogen, so dass insgesamt 26 Merkmalsvariablen zur Verfügung stehen. Diese werden auch für die nachfolgenden Diskriminanzanalysen nach Tälern verwendet. In Tabelle A.12 erfolgt eine Darstellung der 26 Variablen getrennt nach Boden- und Umwelt- bzw. Störungsparametern. Auf Grund fehlender Werte werden innerhalb der Analyse 35 weitere Fälle ausgeschlossen, so dass schlußendlich eine Diskriminanzanalyse mit 263 Aufnahmen, welche zuvor in 20 Gruppen unterschiedlicher Größe eingeteilt wurden, vorgenommen werden kann.

Der Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte, dargestellt in Tabelle A.12, stellt das Potential der einzelnen Merkmalsvariablen zur Trennung von Gruppen dar. Desto niedriger der Wilks' Lambda-Wert, desto höher das Potential der einzelnen Variablen. So stellt sich in der hier aufgeführten Tabelle A.12 Humus als wichtigstes Merkmal heraus. Auf Grund der Wahl der schrittweisen Statistik werden nun, ausgehend von Humus, weitere Merkmale hinzugenommen, welche das gesamte Wilks' Lambda minimieren. Die Abfolge der aufgenommenen Variablen ist in Tabelle A.12 zu sehen. Dabei ist festzustellen, dass die Signifikanz bereits nach 12 Variablen so hoch ist, dass durch Einbezug der Parameter Hangneigung, C_{org} und Artenzahl kaum Veränderungen der Signifikanz beschrieben werden können. Humusgehalt, Skelettanteil und Südllichkeit sind die Variablen mit der höchsten Aussagekraft bezüglich der Trennung der Gruppen.

Die in Tabelle A.13 dargestellte A-priori-Wahrscheinlichkeit, beschreibt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer neuen Fläche ist, in die jeweiligen 20 Einzelgruppen zu fallen. Dabei ist die A-priori-Wahrscheinlichkeit das Volumen, welches die Gruppe in einem 15-dimensionalen Raum einnimmt. Gruppen mit einer niedrigen A-priori-Wahrscheinlichkeit liegen bezüglich der Merkmalsausprägungen in einem sehr engen Bereich zusammen, wohingegen Gruppen mit einer hohen A-priori-Wahrscheinlichkeit über einen weiten Bereich innerhalb der einzelnen Merkmale streuen. Ein Vergleich der den Gruppen zugeteilten Vegetationseinheiten mit den Wahrscheinlichkeiten zeigt, dass der Bereich der Merkmalsausprägungen innerhalb der Felsvegetation sehr klein ist. Auch Wüsten- und Zwergstrauchwüsten weisen mit 0,030 und 0,015 einen sehr kleinen

Wert auf. Den meisten Raum nehmen die Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ *Krascheninnikovia* ein. Eine Darstellung der Mittelwerte mit Standardabweichung der einzelnen Parameter, wie in den Abbildungen 5.54, 5.56, 5.55 und 5.57 zu sehen, zeigt, dass die Werte der ZPSK stark schwanken und Variationen in einem großen Bereich tolerieren. Die Schwankungen betreffen dabei sowohl Umwelt- als auch Bodenparameter. Die geringste Standardabweichung lässt sich bezüglich der Höhe der einzelnen Flächen feststellen, die in einem Bereich zwischen 4000 und 4200 m ü. NN liegt.

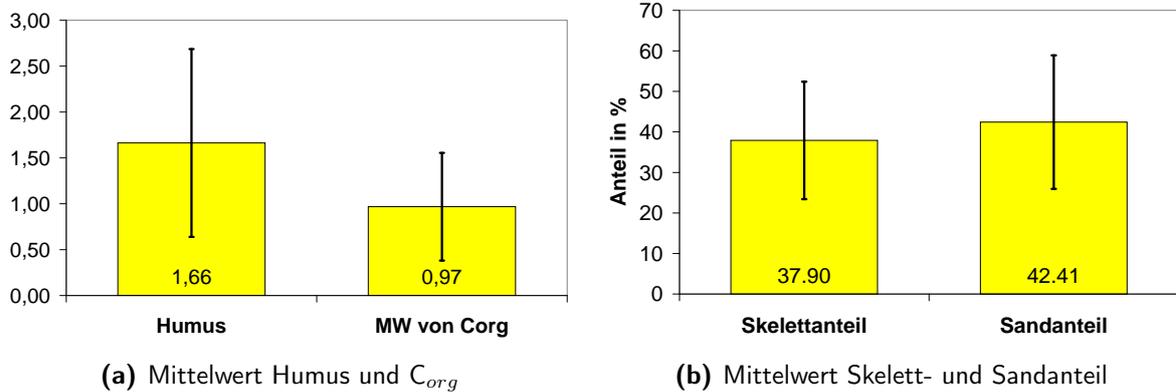


Abbildung 5.54: Mittelwerte mit Standardabweichung der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen

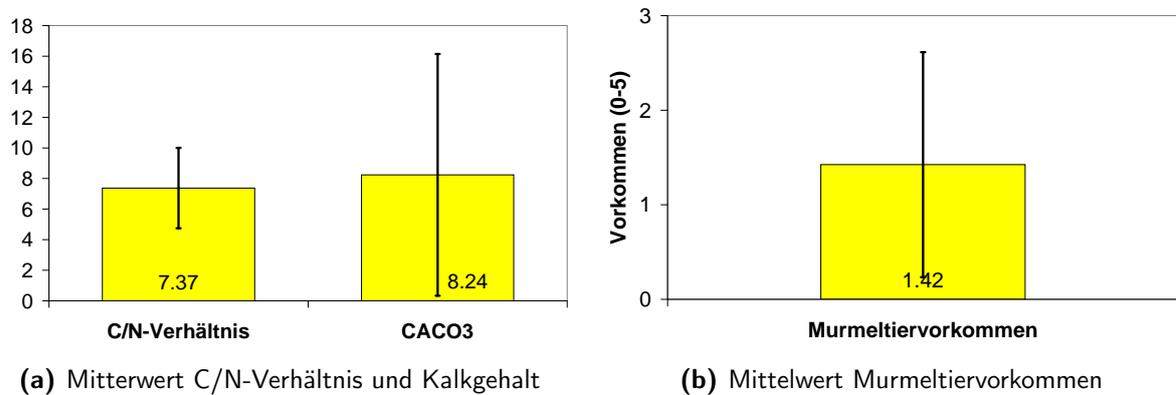


Abbildung 5.55: Mittelwerte mit Standardabweichung der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen

Die Klassifizierungsergebnisse aus Tabelle A.14 zeigen, dass 62,4% der gruppierten Fälle korrekt klassifiziert wurden. Ein Blick auf die eingeteilten Gruppen zeigt, dass die Felsvegetationsgruppen mit Ausnahme von Gruppe o immer 100% richtig zugewiesen wurden. Die stärksten Abweichungen gibt es, wie zu erwarten war, in Gruppe j, welcher keine Formationszuordnung möglich war. Die Flächen der Gruppe b schwanken zwischen Gruppe b und Gruppe e. In beiden Fällen entspricht die Gruppe dem Typ der ZPSS. Bei den Quellrasen konnte eine richtige Klassifikation von über 76% erzielt werden. Problematisch gestalten sich in der Darstellung die bereits schon erwähnten ZPSK-Gruppen. Eine Umgruppierung innerhalb der verschiedenen ZPSK-Gruppen ist hier häufig der Fall. Die Wüsten wurden mit 100% und 62% ebenfalls gut klassifiziert.

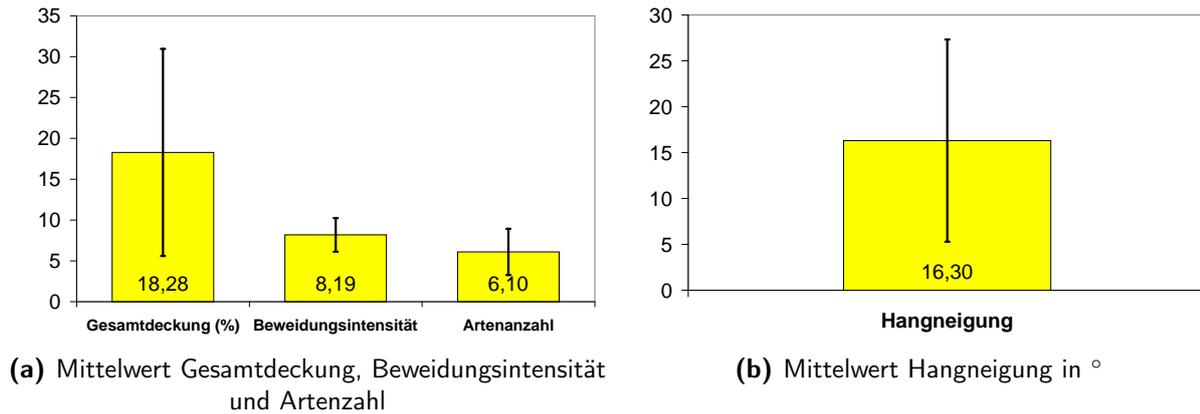


Abbildung 5.56: Mittelwerte mit Standardabweichung der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen

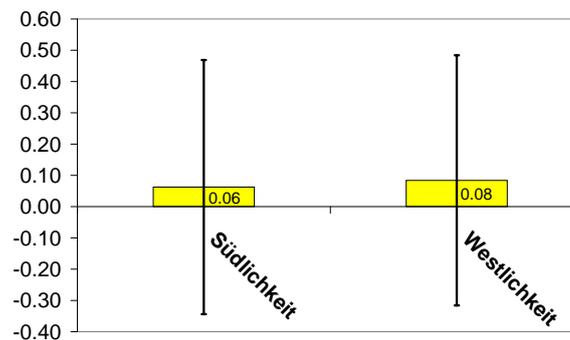


Abbildung 5.57: Mittelwert Südlichkeit und Westlichkeit
Mittelwert mit Standardabweichung der einzelnen Parameter der ZPSK-Gruppen

Analyse auf Basis selbst eingeteilter Gruppen

Alle aufgenommenen Mesoflächen wurden in acht Gruppen eingeteilt. Basis bildet die Vegetationsklassifikation. Differenzen in der Artenzusammensetzung oder Einfluss weiterer Faktoren führte zu einer Umgruppierung von Aufnahmeflächen. Um die Übersichtlichkeit zu erhöhen wurden die Gruppen weiter zusammengefasst. Die acht ausgewiesenen Gruppen der eigenen Klassifikation sind:

1. Felsvegetation
2. Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Seriphidium
3. Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Krascheninnikovia
4. Alpine Matten
5. Elymussteppen
6. Quellrasen
7. Wüsten- und Zwergstrauchwüsten
8. Leymusflächen

Eine homogene Gruppengröße konnte nicht erzielt werden, da, wie bereits zuvor festgestellt, die Gruppe der ZPSK deutlich größer ist als die der übrigen Flächen. Insbesondere die Gruppen der Sondertypen, Elymussteppen, Leymusflächen und Alpine Matten sind kleiner als die übrigen, sollen aber auf Grund ihrer auffälligen Besonderheiten extra gruppiert werden. Von den 299 Flächen der Analyse konnten 267 Aufnahmen verwendet werden, während 32 auf Grund mindestens einer fehlenden Variablen ausgeschlossen werden mussten. Eine Tabelle mit Darstellung der alten und neuen Gruppenstruktur findet sich unter A.15 im Anhang. Die Gruppe der Alpinen Matten musste auf Grund fehlender Werte von der Analyse ausgeschlossen werden.

Im Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte weist die Variable Gesamtdeckung den niedrigsten Wilks'Lambda Wert (Tab. A.16) auf. In die schrittweise Diskriminanzanalyse finden 15 Variablen Eingang. Im Gegensatz zu der Diskriminanzanalyse unter Punkt 5.5.1 wird hier nicht bereits nach einem der früheren Schritte ein sehr hohes Signifikanzniveau erreicht, so dass manche Variablen nicht zwingend für eine sehr gute Klassifikation nötig sind. Unter Verwendung aller 15 ausgewählten Faktoren kommt es zur Annahme eines 2%-Signifikanzniveaus. Die beschreibenden Variablen unterscheiden sich von denen aus der ersten Diskriminanzanalyse. Gesamtdeckung steht an erster Stelle und statt der Hangneigung wird UTM-Easting miteinbezogen.

Die in Tabelle A.17 dargestellte A-priori-Wahrscheinlichkeit zeichnet ein ähnliches Bild ab wie schon die Analyse unter 5.5.1. Die ZPSK-Formation nimmt auch hier mit 0,4 das größte Volumen ein. Die geringsten Werte bilden die Sondergruppen Leymus- und Elymussteppe aus. Die Aufnahmen der Quellrasen schwanken stärker.

Im Gegensatz zu den 62% bei vorbestimmter Gruppeneinteilung konnte das Ergebnis der richtigen Klassifikation durch die eigene Gruppeneinteilung auf 73,8% aller Fälle verbessert werden. Eine Übersicht ist in Tabelle A.18 gegeben. Die beste Klassifikation konnte bei der Gruppe der Felsvegetation mit über 91% erzielt werden. Probleme ergaben sich bei der Klassifikation der Elymus- und Leymusflächen. Beide konnten nur mit Werten knapp unter 50% ihrer eigenen Gruppe zugewiesen werden. Eine Zuteilung zu den Zwergstrauch-Polster-Gruppen ergänzt in beiden Fällen die falsch klassifizierten Flächen. Erstaunlich ist das Ergebnis der Wüstenklassifikation. Nur 51,6% aller Flächen dieser Gruppe wurden richtig klassifiziert. Die übrigen 48,4 % teilen sich auf die Zwergstrauch-Polster-Formationen auf. Hier zeigt sich, dass die Gruppe der Wüsten- und Zwergstrauchwüsten genauer differenziert werden muss, da hier signifikante Unterschiede zu liegen scheinen.

5.5.2 Diskriminanzanalyse Bash Gumbes

Die 52 Flächen im Bash Gumbes konnten alle berücksichtigt werden, da die Daten vollständig vorliegen. Den niedrigsten Wilks'Lambda Wert erzeugt im Gruppenmittelwertvergleich der mittlere Stickstoffgehalt im Boden. Für die schrittweise Analyse sind lediglich neun Variablen bzw. Schritte nötig um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Schon nach fünf Schritten wird eine Annahme auf einem Signifikanzniveau von 1% erzeugt. Die Parameter Hangneigung, Südlichkeit, Glühverlust und Kalkgehalt werden lediglich zur Optimierung des Ergebnisses miteinbezogen. Der höhere Erklärungsanteil liegt bei den Variablen mittleren Stickstoffgehaltes,

Skelettanteil, Höhe in m ü. NN, Entfernung zur nächsten Jurte und dem Vorkommen von Murmeltieren auf der Fläche.

Die typischen Leymusflächen nehmen zusammen mit den Quellrasenflächen das geringste Volumen bezüglich der A-priori-Wahrscheinlichkeit ein. Die Variablen zur Berechnung dieser Grenzen sind auf einen relativ engen Bereich festgelegt. Bei den ZPSS ist zu differenzieren. Gruppe 2 weist, wie in Tabelle A.19 gezeigt, ebenfalls einen kleinen Wert auf und hat daher speziellere Anforderungen als die ZPSS-Formationen der Gruppen 5 und 6.

Den A-priori-Wahrscheinlichkeiten ähnlich sind die Ergebnisse der Klassifizierung aus Tabelle A.20. Allgemein lässt sich eine richtige Klassifizierung von 86,5% der ursprünglich klassifizierten Fälle feststellen. Dabei sind die Gruppen 1–4 alle zu 100% richtig klassifiziert. Lediglich die ZPSS-Formationen der Gruppen 5 und 6 schwanken zwischen diesen beiden Gruppen sowie der ZPSK-Gruppe. Die Tatsache, dass die Gruppe der Leymussteppen zu 100% richtig klassifiziert wurde lässt erwarten, dass diese sich zumindest auf kleinräumiger Ebene stark von den anderen Formationen differenzieren lassen.

5.5.3 Diskriminanzanalyse Madian Gumbez Kol

Im Madian Gumbez Kol wurden 64 Flächen der Größe 4 m × 4 m aufgenommen. Auf Grund einzelner fehlender Variablen konnten nur 42 Flächen (65,4%) in der Diskriminanzanalyse verwendet werden. Grundsätzlich erfolgte eine Einteilung in neun Gruppen. Auf Grund des Ausschlusses von 22 Flächen wurden die Gruppen 2 und 3, in welcher diese Flächen liegen, nicht verwendet.

Mit nur fünf Umwelt- bzw. Bodenparametern kann ein Signifikanzniveau von 1% erzielt werden. Neben dem Skelettanteil spielen besonders Südlichkeit und Westlichkeit eine entscheidende Rolle. Die exakten Werte können aus Tabelle A.21 abgelesen werden. Insgesamt erfolgt die Diskriminanzanalyse in sieben Schritten.

Ein Blick auf Tabelle A.22 lässt Schlußfolgerungen auf die Gradientenlänge und die Trennschärfe der einzelnen Gruppen zu. Die Gruppe der Felsvegetation weist das niedrigste Volumen im 7-dimensionalen Raum auf. Dem schließt sich die eher seltene Gruppe der Alpinen Matten an. Einen sehr großen Toleranzbereich räumen die Gruppen der ZPSK-Formation ein. Die Elymussteppen unterscheiden sich in ihrer Toleranz. So nimmt Gruppe 7 mit 0,142 ein deutlich größeres Volumen ein als Gruppe 8 mit einem Wert von 0,093.

Mit nur 60,7% richtig klassifizierten Flächen weist die Analyse für das Tal Madian Gumbez Kol die schlechtesten Werte im Gruppenvergleich auf. Ein Grund dafür kann die prozentual hohe Zahl ausgeschlossener Aufnahmen und damit zusammenhängend das Wegfallen von zwei vollständigen Gruppen sein. Als Parallele zu den bisherigen Analysen lässt sich feststellen, dass wieder die Gruppe der Felsvegetation diejenige ist, welche mit 100% Übereinstimmung am besten klassifiziert wurde. Neben der Felsvegetation wurden die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten sowie eine der beiden Elymusgruppen ebenfalls zu 100% richtig ausgewiesen. Die Unterschiede zwischen den beiden Elymusgruppen sind erstaunlich. So wurden die Flächen von Gruppe 8 zu 100% richtig klassifiziert während die Klassifikation mit Gruppe 7 nur zu 33,3% übereinstimmt. Einen Überblick über das Klassifikationsergebnis liefert Tabelle A.23.

5.5.4 Diskriminanzanalyse Pshart Gumbes Kol

88,8% der Flächen des Pshart Gumbes Kol konnten für die Analyse verwendet werden, so dass diese auf 95 Aufnahmen basiert. Gruppe 1 musste auf Grund fehlender Werte ausgeschlossen werden.

Während in den bisher betrachteten Diskriminanzanalysen immer lediglich pro Schritt eine Variable, die das gesamte Wilks'Lambda minimiert, dazu gekommen ist, stellt sich hier ein Sonderfall ein. Die Beweidungsintensität wird schon in Schritt 2 von 21 aufgenommen, jedoch in Schritt 21 zur Minimierung des Wilks'Lambda-Wertes entfernt. Dies kann in Zusammenhang mit der letzten Variable, welche direkt mit der Beweidungsintensität korreliert ist, stehen: Der Aufnahme des Störungsparameters Verbiss. Die weiteren Variablen und ihr Beitrag zur Minimierung des Wilks'Lambda sind in Tabelle A.24 dargestellt. Bereits nach dem 9.Schritt ist das Signifikanzniveau so niedrig, dass durch die weiteren Schritte nur minimale Verbesserungen eintreten.

Die betrachtete A-priori-Wahrscheinlichkeit liefert ein ähnliches Bild wie in den bereits angeführten Diskriminanzanalysen. Die ZPSK-Formation nimmt das größte Volumen im 21-dimensionalen Raum ein. Allerdings liegen die Werte näher zusammen als in vergleichbaren Analysen anderer Täler. Sehr niedrig zeichnen sich auch hier wieder die Werte der Fels- und Wüstenvegetation ab, was bedeutet, dass hier die speziellen Anforderungen an einen oder mehrere Parameter am größten ist. Zu sehen ist die Darstellung der Wahrscheinlichkeiten und ihrer zugehörigen Gruppenformationen in Tabelle A.25. Die nicht in die Analyse miteinbezogene Gruppe 1 gehört der Gesellschaft der Alpinen Matten an.

Das Klassifizierungsergebnis bestätigt, dass 83,7% aller klassifizierten Aufnahmen in die richtige Gruppe eingeordnet wurden. Wie Tabelle A.26 zeigt, liegt die Klassifikation in 100% aller Fälle bei den Wüsten- und Zwergstrauchwüsten, bei den Alpinen Matten und bei den Quellrasen richtig. Die Felsvegetation, welche bisher immer ein klares Klassifizierungsbild abgegeben hat, weist hier Besonderheiten auf. Zwei der Gruppen gelten als zu 100% richtig klassifiziert, während in den anderen beiden Gruppen das Ergebnis der ersten Zuordnung nur bei 57,1 bzw. 42,9% richtiger Einordnung liegt. Eine Einordnung der falsch klassifizierten Flächen sollte, nach Tabelle A.26 nicht nur in die Gruppen der weiteren Felsvegetationen, sondern auch in die Gruppe der Wüsten- und Zwergstrauchwüsten erfolgen. Innerhalb der ZPSK-Formationen sind ebenfalls Fehlklassifikationen zu verzeichnen, allerdings in einem wesentlich niedrigeren Wertebereich als die eben genannte Felsvegetation.

5.6 Detrended Correspondence Analysis (DCA)

Die DCA, eine der am häufigsten verwendeten Ordinationsmethoden gehört zur Gruppe der indirekten Gradientenanalysen und stellt eine Weiterentwicklung der Correspondence Analysis (CA) dar. Es wird davon ausgegangen, dass sich ein großer Teil der Arten unimodal und nicht linear entlang der wichtigsten Umweltgradienten verhält. Im Gegensatz zu einer CA, welche insbesondere mit dem Problem des Arch-Effektes zu kämpfen hat, korrigiert die DCA diesen Fehler. In der Regel erfolgt die Fehlerkorrektur durch detrending by segments.

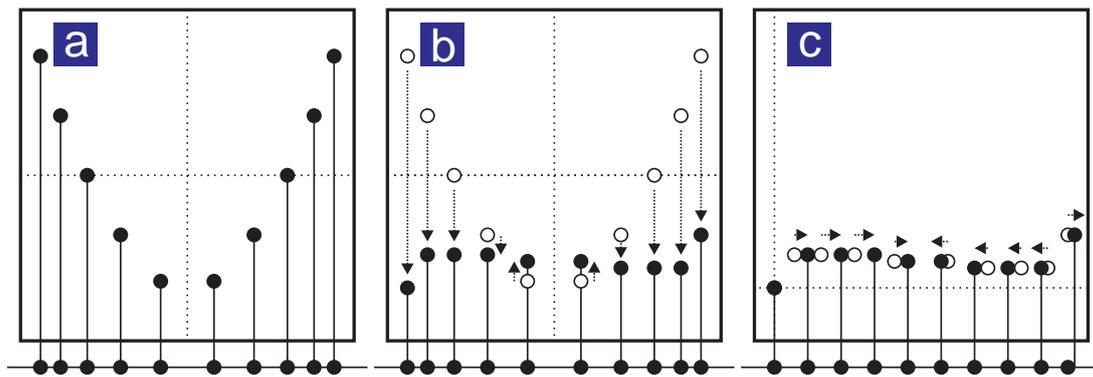


Abbildung 5.58: Methode des detrending zur Verringerung des Arch-Effektes

(a) Beispielhafte CA-Ordinationsdiagramm

(b) Erster Schritt detrending: Zentrierung der Werte um die erste Achse

(c) Zweiter Schritt detrending: Standardisierung der ersten Achse in gleiche Intervalle

Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:77

Dabei werden in zwei Schritten erst die Werte um die erste Achse zentriert und in einem zweiten Schritt in gleichmäßigen Intervallen entlang der ersten Achse standardisiert. Zur Veranschaulichung sei auf Abbildung 5.58 verwiesen. Für die Interpretation des Datensatzes ist die Gradientenlänge ein wichtiger Kennwert. Eine kurze Gradientenlänge spricht für einen homogenen, eine lange Gradientenlänge für einen heterogenen Datensatz. Kurze Gradientenlängen der Umweltvariablen deuten zudem darauf hin, dass wahrscheinlich kein unimodaler, sondern nur ein linearer Zusammenhang besteht, weshalb lineare Methoden geeigneter scheinen um entsprechende Unterschiede herauszuarbeiten. Bei einer Gradientenlänge >4 bieten sich unimodale Modelle an. Längenwerte <3 weisen auf lineare Modelle hin. Der Bereich zwischen 3 und 4 sollte sowohl für lineare als auch für unimodale Modelle gute Ergebnisse liefern (Leyer & Wesche, 2007).

Die Basis der nachfolgenden Ordinationen bilden die $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen. Die einbezogenen Umweltvariablen lassen sich aus den jeweiligen DCA-Tabellen ablesen. Neben den drei Beispieltälern wurde auch eine DCA für den gesamten Ostpamir mit allen Mesoflächen durchgeführt. Dargestellt wird nicht das Verhalten der einzelnen Arten, sondern das der Flächen im Ordinationsraum.

5.6.1 DCA Pamir 2008

Ein Blick auf Tabelle A.27 zeigt, dass sich die erste Achse mit einem Wert von 0,858 deutlich von den anderen drei Achsen unterscheidet. Der hohe Wert der ersten Achse bedeutet, dass diese deutlich höheres Erklärungspotential aufweist als die übrigen. Innerhalb der Gradientenlänge ist der Unterschied weniger extrem ausgeprägt. Hier dominiert ebenfalls DCA1 mit einem Wert von 8,57 Standardgradientenlängen (SD) und wird von DCA2, welche eine Länge von 6,81 hat, ergänzt. Die Länge der Achsen gibt Aufschluss darüber, dass hier ein unimodales Modell herangezogen werden muss.

Die in Tabelle A.28 beschriebenen Variablen werden im Anschluss an die DCA in Beziehung zu den Flächen gesetzt und darüber gelegt. Auf Grund des Fehlens mancher Werte im Pshart

Gumbez Kol wird der Skelettanteil für diese DCA ausgeschlossen. In Abbildung 5.59 sind die signifikanten Variablen rot dargestellt. Neben Westlichkeit und UTM-Easting stellt besonders die Entfernung zu perennierenden Gewässern eine höchst signifikante Umweltvariable dar.

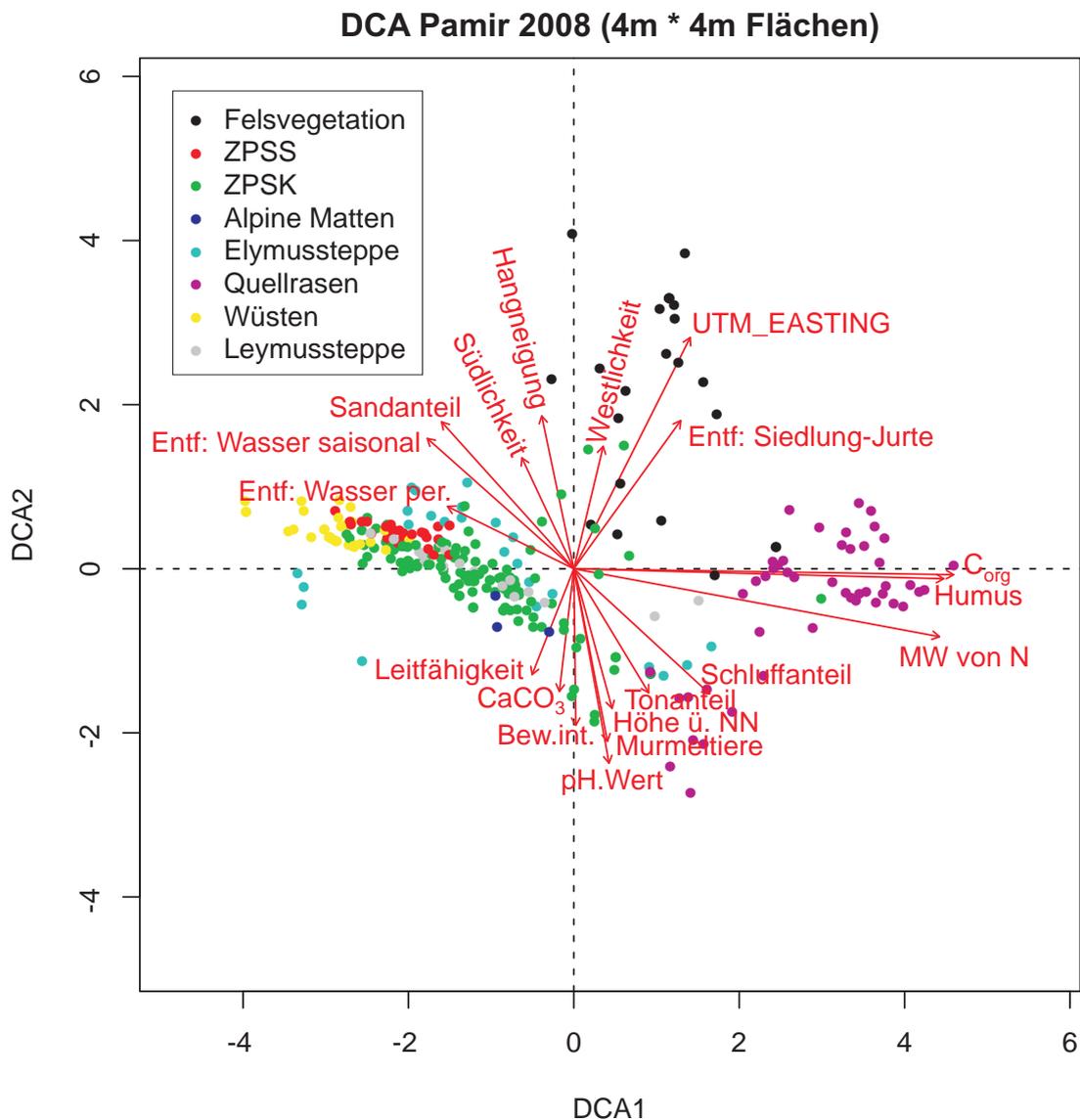


Abbildung 5.59: DCA Pamir 2008 unter Darstellung der Vegetationsformationen

Die auf Basis der eigenen Gruppierung eingeführte Gruppenstruktur ist in der Ordination farblich gekennzeichnet und wird unter Punkt 5.5.1 genauer dargelegt. Auffällig ist, dass die lila Gruppe der Quellrasen besonders durch die Variablen Humus und C_{org} beeinflusst scheint. Fast entgegengesetzt ausgerichtet scheint die Entfernung zum Wasser (perennierend und saisonal), was rückschließen lässt, dass die Entfernung der Quellrasenflächen zum Wasser minimal sein muss. Die Gruppe der Felsvegetation lässt sich am besten durch die Merkmale UTM-Easting, Hangneigung und Westlichkeit beschreiben. Die Gruppe der Wüsten lässt, ebenso wie die der ZPSS-Formation, eine Tendenz zur Entfernung vom Wasser und einem erhöhten Sandanteil im Boden erkennen. Wie bereits bei der Diskriminanzanalyse bemerkt, ist die Zuordnung von

Umweltvariablen bei den ZPSK-Formationen am schwierigsten und daher die Streuung im Ordinationsraum am größten.

5.6.2 DCA Bash Gumbez

Die DCA der 52 Flächen für das Tal Bash Gumbez zeigt eine deutliche Dominanz der Eigenwerte in der ersten Achse. Wie in Tabelle A.29 gezeigt, liegt der Eigenwert der ersten Achse mit 0,792 fast doppelt so hoch wie der Wert der nachfolgenden Achse mit 0,435. Die Länge der Achsen variiert ebenso stark. So hat Achse 1 hier eine SD von 7,62, während Achse 2 lediglich eine SD von 3,60 anführen kann. Die Erklärung über die erste Achse ist für das Tal sehr hoch.

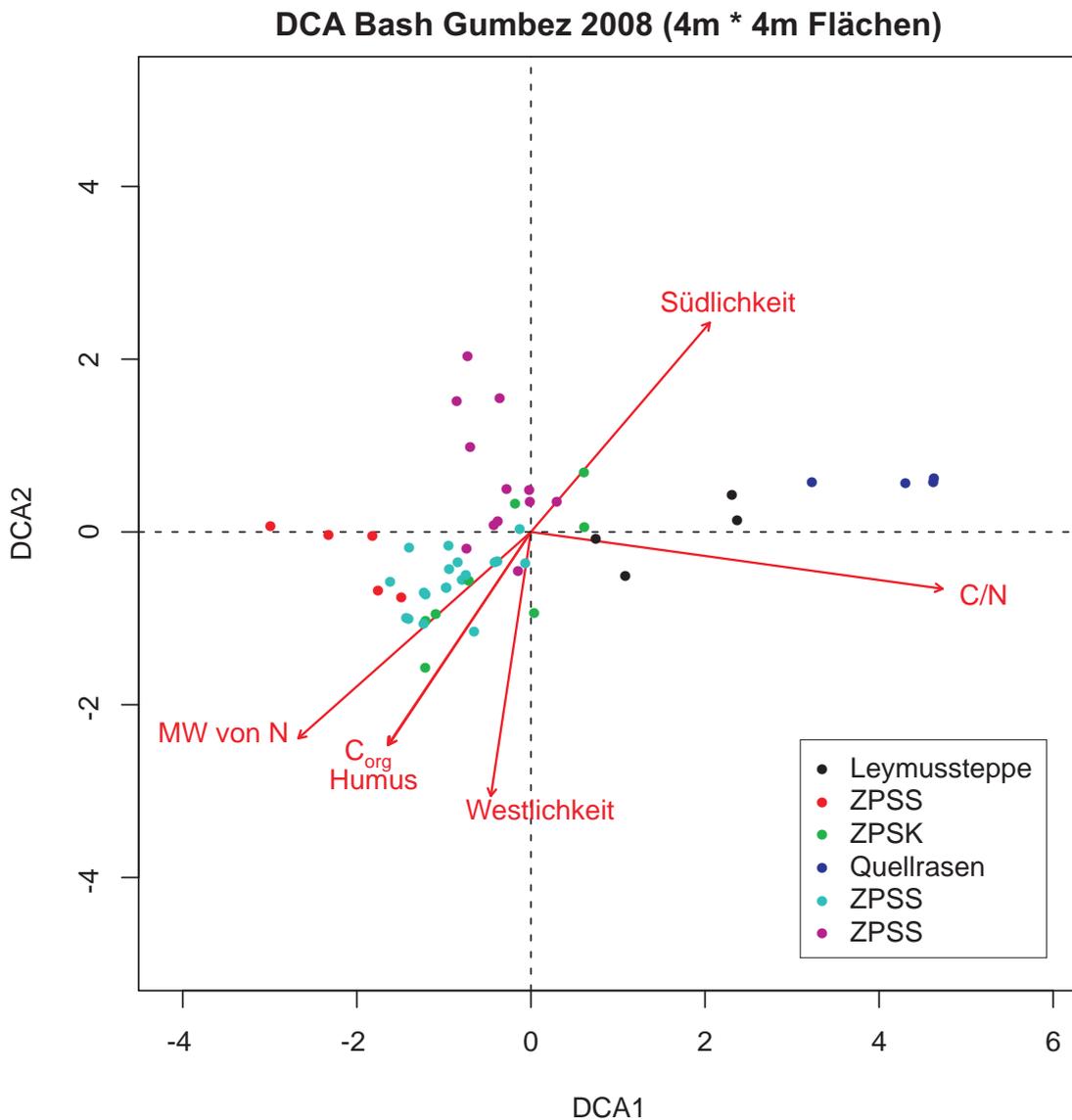


Abbildung 5.60: DCA Bash Gumbez unter Darstellung der Vegetationsformationen

Von den 21 Umwelt- und Bodenparametern (Tab. A.30), sind lediglich sechs signifikant. Dazu gehören neben Stickstoff, Kohlenstoff, C/N-Wert und Humus auch die beiden Raumeigen-

schaften Südlichkeit und Westlichkeit. Die hier ebenfalls farblich dargestellte Gruppenstruktur aus der Vegetationsklassifikation Bash Gumbez lässt kaum gruppenbeschreibende Aussagen aus den Umweltvariablen ablesen. Festzuhalten ist, dass die ZPSS-Formationen einen geringen C/N-Wert aufweisen, wohingegen die Leymussteppen und Quellrasen durch hohe C/N-Werte gekennzeichnet sind. Eine Differenzierung der drei ZPSS-Gruppen kann hinsichtlich des Stickstoffgehalts im Boden vorgenommen werden. Die hellblau gefärbte Gruppe, zu sehen in Abbildung 5.60, liegt im Ordinationsdiagramm deutlich näher an der beschriebenen Achse. Erkennlich an der Länge der eingezeichneten Pfeile, hat das C/N-Verhältnis das höchste Potential bezüglich der Beschreibung der Flächen.

5.6.3 DCA Madian Gumbez Kol

Im Vergleich zu den beiden bisherigen DCAs streuen die Eigenwerte innerhalb des Tals Madian Gumbez Kol weniger stark. Der Wert 0,655 bildet das Maximum. Die zweite Achse weist, im Vergleich zum ersten Wert, mit 0,501 einen ebenfalls relativ hohen Wert auf. Diese sowie die übrigen Werte können aus Tabelle A.31 abgelesen werden.

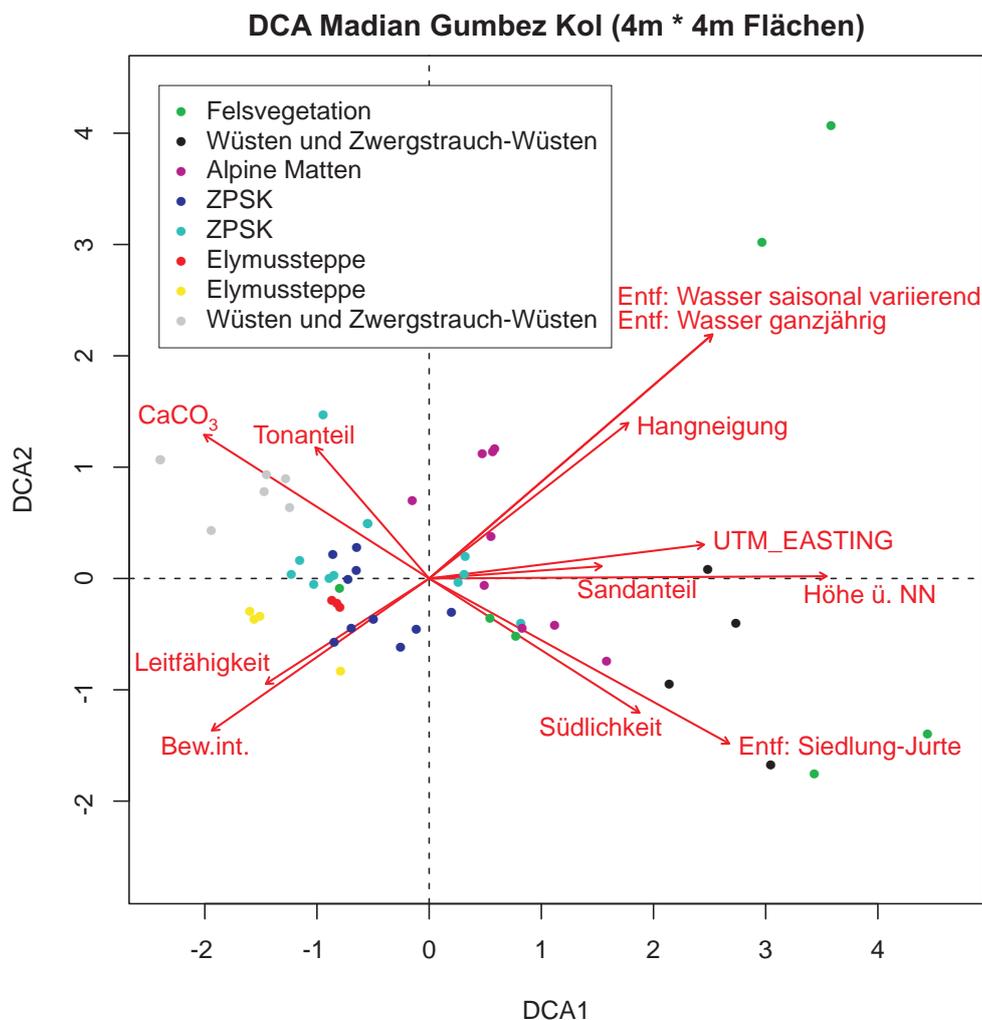


Abbildung 5.61: DCA Madian Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen

Die Achsenlänge beträgt 6,84 SD bei DCA1 und 8,82 SD bei DCA2. Damit ist keine Dominanz der ersten Achse zu erkennen und die Arten bzw. Aufnahmen werden nicht in erster Linie durch eine Achse erklärt. Eine stärkere Verteilung der Punkte im Ordinationsraum ist zu erwarten.

Von den 21 Variablen, zusammengestellt in Tabelle A.32, sind 12 signifikant. Auffällig ist, dass unter den hoch signifikanten Variablen keine Boden- sondern lediglich Umweltparameter sind, mit Ausnahme des Kalkgehalts. Die Distanz zum Wasser und zur nächsten anthropogenen Ansiedlung spielt eine wichtige Rolle. Ersteres hat sogar den höchsten Erklärungsgehalt. Die in das Diagramm 5.61 projizierten Gruppen aus der Vegetationsklassifikation des Tals lassen eine klare Beschreibung mancher Gruppen zu. Einzige Abweichung der zuvor beschriebenen Klassifikation ist, dass die zwei Gruppen der Felsvegetation zur Vereinfachung und auf Grund der kleinen Gruppengröße zu einer zusammengefasst wurden. Insbesondere die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten und die Elymussteppen sind klar gekennzeichnet. Die hell grau gefärbten Wüsten- und Zwergstrauchwüsten werden durch einen hohen Gehalt von CaCO_3 sowie einen tonigen Boden gekennzeichnet. Durch eine erhöhte Leitfähigkeit und eine starke Beweidungsintensität lassen sich die dunkelblauen Flächen der ZPSK-Formation charakterisieren. Die gelb gefärbten Elymussteppen unterstehen ebenso dem Einfluss dieser beiden Faktoren. Die schwarze Gruppe der Wüsten- und Zwergstrauchwüsten charakterisiert, neben der zunehmenden UTM-Easting-Werte, auch eine Zunahme im Sandgehalt, der Höhe und der Entfernung zu den anthropogenen Siedlungsplätzen. Die Felsvegetation, welche für diese Ordination in einer Gruppe zusammengefasst wurde, zeigt eine klare Spaltung in zwei Richtungen. Zum einen werden sie durch die Entfernung zum Wasser und der Hangneigung beeinflusst und zum anderen gibt es Flächen, bei welchen die Entfernung zur Siedlung bzw. Jurte den entscheidenden Faktor spielt.

5.6.4 DCA Pshart Gumbez Kol

Wie bereits bei der DCA der Aufnahmen Pamir 2008 erwähnt, gibt es im Pshart Gumbez Kol Flächen, von welchen der Skelettgehalt fehlt. Daher wird dieser Faktor aus der nun folgenden DCA ausgeschlossen. Der Eigenwert 0,867 der ersten Achse beschreibt einen großen Teil des Datensatzes. Der Wert der Achse 2 beträgt 0,599. Die hohe Gradientenlänge erzwingt eine unimodale Betrachtungsweise. Diese liegt bei DCA1 bei 8,76 SD und bei DCA2 bei 6,33 SD. Eine Darstellung aller DCA Eigen- und Achsenwerte erfolgt in Tabelle A.33.

Eine Signifikanz zeigen 9 der 20 betrachteten Variablen. Die Höhe und der CaCO_3 -Gehalt im Boden (Tab. A.34) bilden dabei die signifikantesten Merkmale. Für die Darstellung der Clustergruppen in der Ordination wird die Vegetationsklassifikation als Basis herangezogen. Zur Vereinfachung werden einige Gruppen zusammengefasst. Die Felsvegetationsgruppen d und e werden zu einer Gruppe, ebenso wie die zwei verschiedenen Quellrasengruppen f und i. Eine weitere Zusammenfassung der Felsvegetation findet mit den Gruppen g und h statt. In der Ordination 5.62 bilden sich die einzelnen Gruppen gut ab. Die Quellrasen scheinen stark durch den C/N-Wert sowie Humusgehalt und Höhe beeinflusst. Die Alpinen Matten werden, ebenso wie die ZPSK, von den Faktoren Murmeltier und Leitfähigkeit beschrieben, liegen aber eher im unteren Bereich dieser Parameter, während sich die ZPSK im oberen Wertebereich befindet. Die Gruppe der Felsvegetation kann durch keine Umweltvariable direkt beschrieben werden.

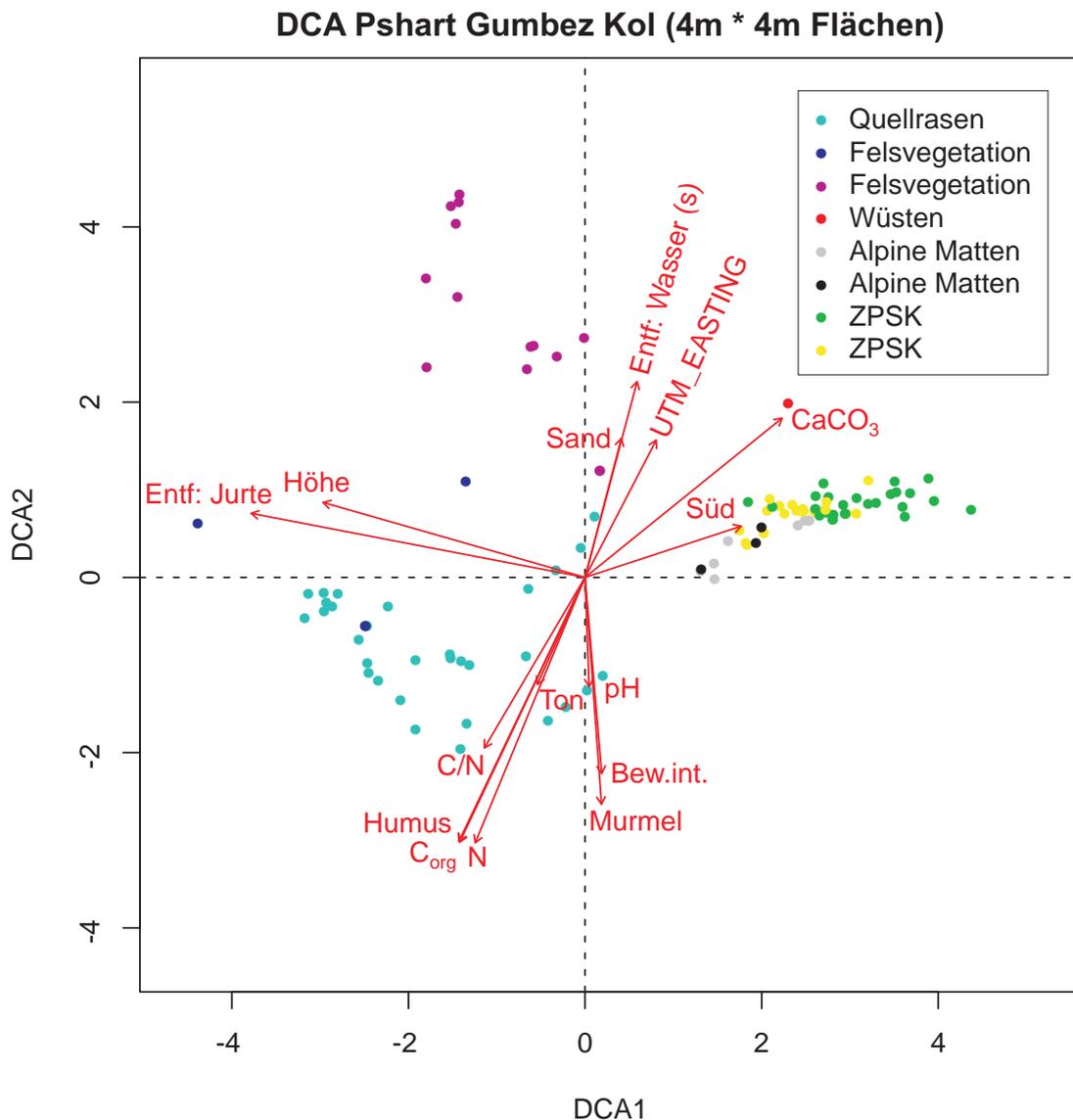


Abbildung 5.62: DCA Pshart Gumbes Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen

5.7 Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS)

Die DCA hat, wie alle Ordinationsverfahren, das Problem, komplexe und veränderliche Beziehungen zwischen Arten und ihrer Umwelt in einem wenig dimensionierten Raum effektiv und einfach darzustellen. In der univariaten Statistik dient die Bildung von Rängen dazu, möglichst wenig Annahmen über Zusammenhänge und Daten zu machen. So muss eine rangbasierte multivariate Analyse versuchen, „die Beziehungen zwischen Objekten hinsichtlich vieler Variablen abzubilden“ (Leyer & Wesche, 2007:142). Nach Berechnung einer Unähnlichkeits- oder Distanzmatrix wird eine Rangfolge der paarweisen Abstände zwischen den Objekten abgeleitet. Eine NMDS bildet die sich daraus ergebende Rangfolge in einem wenig dimensionalen Raum ab. Als Unähnlichkeitskoeffizient wird bei ökologischen Fragestellungen häufig die Bray-Curtis-Unähnlichkeit und bei Verwendung vieler ordinalskaliert Variablen der Gower-

Koeffizient genutzt. Prinzip der Vorgehensweise ist es im Folgenden die Objekte zufällig im Raum zu verteilen, um anschließend zu prüfen, ob die neue Anordnung im Raum gut oder schlecht mit der Rangstruktur der ursprünglichen Dreiecksmatrix übereinstimmt. Mit Hilfe der euklidischen Distanz werden hier die Distanzen der Objekte im dreidimensionalen Raum berechnet. Der Idealfall der Ordination tritt ein, wenn paarweise Abstände von Objekten, welche in der ursprünglichen Matrix sehr klein waren, auch im neuen Ordinationsraum sehr eng beieinander liegen. Eine Überprüfung der Qualität dieser Verteilung ist mittels des Shepard-Diagramms möglich. Bei ähnlicher Rangfolge in der Ursprungsmatrix und der NMDS ergibt sich im Diagramm eine monoton steigende Beziehung. Als Maß der Güte einer NMDS wird der sogenannte Stress-Faktor herangezogen. Dabei wird der aktuelle Wert im Ordinationsraum mit dem Wert der Objekte in der Ursprungsmatrix verglichen. Mit jedem weiteren Mal bei welchem die NMDS durchgeführt wird, soll dieser Stressfaktor gesenkt werden (Backhaus et al., 2006). Für die anschließend betrachteten NMDS wurde eine 20fache Wiederholung, d.h. 20 Versuche, den Stressfaktor zu reduzieren, gewählt. Eine Bewertung der jeweiligen Stresswerte ist in Tabelle 5.1 zu sehen.

Tabelle 5.1: Einschätzung der Stresswerte einer NMDS
Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:149

Stress	Bewertung
< 1	unrealistisch, Ergebnis überprüfen
1–5	hervorragend, Ergebnis zuverlässig
5–10	gut, Ergebnis höchstwahrscheinlich zuverlässig
10–15	Ergebnis wahrscheinlich noch brauchbar, aber Details des Plots evtl. nicht interpretierbar
15–20	Ergebnis möglicherweise brauchbar, aber Gefahr von Fehlinterpretation hoch
> 20	wahrscheinlich wertlos

Die im Folgenden betrachteten Nichtmetrischen Multidimensionalen Skalierungen wurden für die Gebiete Bash Gumbes, Madian Gumbes Kol und Pshart Gumbes Kol sowie die gesamten Mesoflächen des Pamir durchgeführt. Ausgangsflächen bilden, ebenso wie bei der DCA, die $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen. Im Unterschied zur DCA werden hier nicht die transformierten Braun Blanquet Werte verwendet, sondern die im Gelände verwendete Skala. Die folgenden NMDS wurden unter Verwendung des Gower-Koeffizienten als Distanzmaß durchgeführt (Backhaus et al., 2006). Neben einer NMDS nach Flächen ist für jedes Gebiet ebenfalls eine NMDS nach Arten dargestellt. Als Störfaktoren werden unter den Umweltvariablen die Faktoren Beweidungsintensität, Tritt, Verbiss und Murmeltiervorkommen geführt.

Abschließend werden unter Punkt 5.7.5 und 5.7.6 für die Täler Bash Gumbes und Pshart Gumbes Kol aus der Störungsklassifikation einige Gruppen herausgegriffen und bezüglich der beeinflussenden Umweltvariablen näher erläutert. Eine daran anschließende NMDS stellt charakterisiert die einzelnen Störungen genauer.

NMDS Pamir 2008 (4m * 4m Flächen)

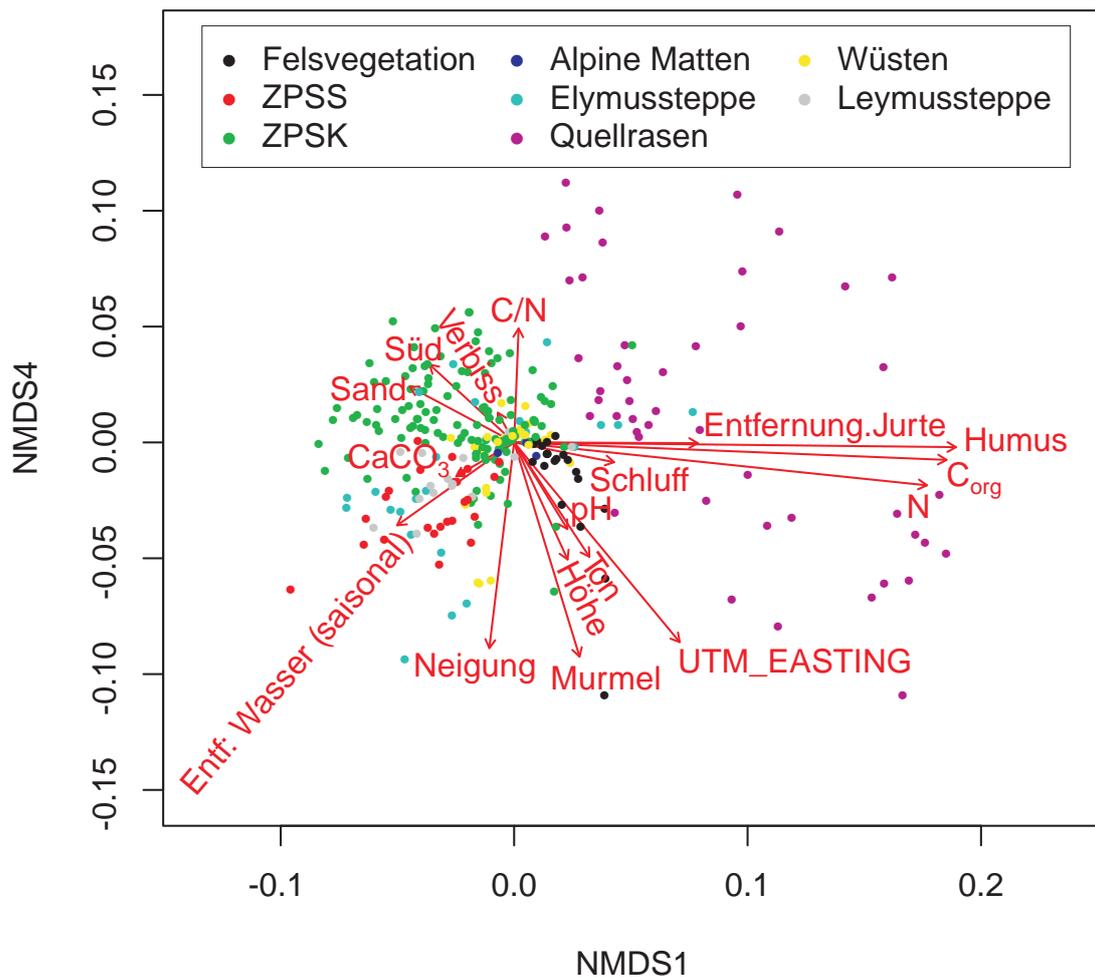


Abbildung 5.63: NMDS Pamir 2008 unter Darstellung der Vegetationsformationen

5.7.1 NMDS Mesoflächen Pamir 2008

Für den gesamten Pamir liegt das beste Stressergebnis im 6.Durchgang bei 12,669. Es wurden vier Dimensionen berechnet. Eine Erhöhung auf fünf Dimensionen zeigte keine merkliche Verbesserung des Stresswertes. Auf Grund der leichteren Interpretierbarkeit wurden daher vier Dimensionen gewählt. Am besten erklären die Achsen NMDS1 und NMDS4 den Datensatz. Tabelle A.38 zeigt die 22 verwendeten Umweltfaktoren und deren NMDS Werte für die vorliegende NMDS. Im Unterschied zur DCA werden hier zusätzlich die Faktoren Tritt und Verbiss miteinbezogen. Hohe Werte des R^2 lassen sich für den Humusgehalt und die damit in Verbindung stehenden Variablen ablesen.

In Abbildung 5.63 ist die NMDS nach Aufnahmen dargestellt. Der Teil der NMDS1-Achse, welcher >0 ist, wird von Quellrasenflächen dominiert. Entlang der NMDS4-Achse sind diesbezüglich keine Auffälligkeiten zu erkennen. Die Umweltfaktoren, welche eindeutig den rechten Teil der Abbildung beschreiben, sind neben dem Humusgehalt und seinen beeinflussenden Faktoren auch die Entfernung zur nächsten Siedlung und der Schluffanteil. Für die Gruppe der Quellrasen

ist besonders der Humusgehalt entscheidend. Ein erhöhter Schluff- und Tonanteil sowie höhere UTM-Easting Werte beschreiben die Gruppe der Felsvegetation. Die ZPSK-Flächen streuen, werden aber in erster Linie durch die Umweltvariablen Sandgehalt, Südlichkeit, Verbiss und C/N-Verhältnis beschrieben. Ein Blick auf die Störfaktoren zeigt, dass von den betrachteten Beweidungsfaktoren lediglich Verbiss eine gewisse Signifikanz aufweist. Davon beeinflusst zeigen sich insbesondere ein Teil der Gruppe ZPSK. Au Flächen der Felsvegetation lässt sich, auf Grund der geringen Deckung, kaum Verbiss nachweisen. Das Vorkommen von Murmeltieren hat eine relativ hohe Signifikanz. Allerdings fallen nur wenige Flächen in den direkten Einflussbereich.

NMDS Pamir 2008 (Arten 4m * 4m Flächen)

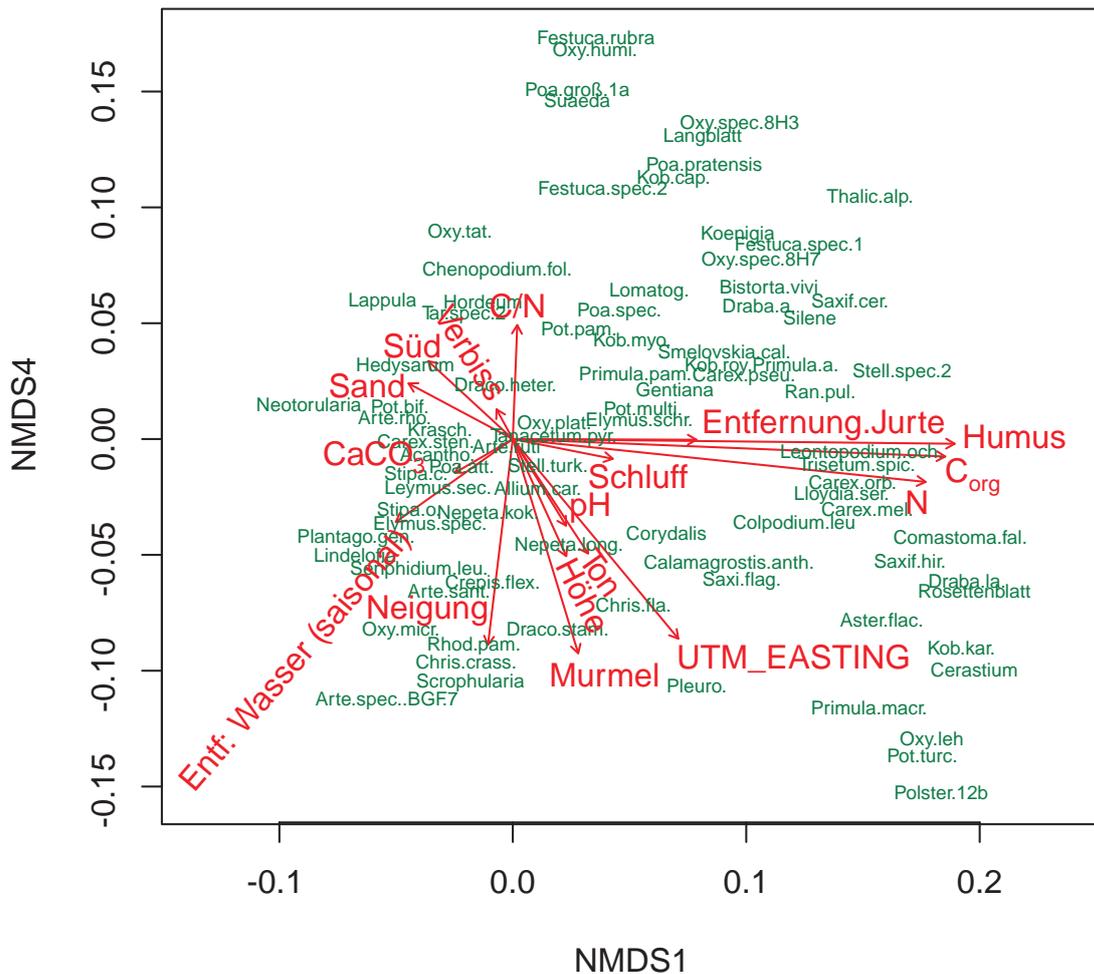


Abbildung 5.64: NMDS Pamir 2008 - Beziehung der Arten zu den Umwelt- und Bodenparametern

In der Darstellung der NMDS nach Arten, zu sehen in Abbildung 5.64 wurde ein Teil aus Gründen der Übersichtlichkeit aus der Abbildung entfernt. Die folgende kurze Darstellung wichtiger Arten oder auffälliger Besonderheiten erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und soll lediglich einen kurzen Überblick geben:

- Der C/N-Gehalt beeinflusst das Vorkommen der Arten *Hordeum turkestanicum* und *Chenopodium foliosum*.

- Südllichkeit und Sandgehalt nehmen starken Einfluss auf *Hedysarum mjanense* und *Dracocephalum heterophyllum*.
- Mit zunehmender Neigung und steigendem Murmeltiereinfluss werden *Nepeta kokanika*, *Dracocephalum stamineum*, und *Rhodiola pamiroalaica* beschrieben.
- Höhe, pH-Wert und tonige Böden sind auf den Flächen zu finden, welche von den Arten *Stellaria turkestanika*, *Nepeta longibracteata* und *Christolea flabellata* gekennzeichnet werden.
- Relativ im Zentrum gelegen mit Tendenz zu CaCO_3 befinden sich *Krascheninnikovia ceratoides*, *Carex stenophylla* und *Acantholimon diapensioides*.
- Die typischen Quellrasenarten richten sich entlang der organischen Bodenbestandteile aus. Dazu gehören unter anderem *Primula algida*, *Kobresia royleana* und *Leontopodium ochroleucum*.

5.7.2 NMDS Bash Gumbez

Bereits der 1. Durchgang liefert mit 7,785 das beste Stressergebnis für das Tal Bash Gumbez. Auf Grund der Regelung der Dimensionsreduktion wurden im Bash Gumbez vier Dimensionen gewählt. Die betrachteten Achsen in der Abbildung sind die NMDS3 und NMDS4. Die sich aus der NMDS ergebenden Werte für die Umweltvariablen und die daraus errechnete Signifikanz lässt sich aus Tabelle A.39 ersehen. Es zeigen sich viele Variablen als hoch signifikant.

Die Abbildung 5.65 zeigt eine starke Streuung der Aufnahmen im aufgespannten Raum. Die Leymusflächen lassen eine Ausrichtung mit zunehmender Entfernung zum Wasser erkennen. Westlichkeit und Höhe kennzeichnen die Gruppe der ZPSK. Die rote ZPSS-Gruppe wird in erster Linie durch Ton- und Skelettgehalt beschrieben.

Abbildung 5.66 zeigt die Anordnung der Arten im Raum in Beziehung zu deren Umweltvariablen. Nachfolgend sollen die wichtigsten Arten und deren Auffälligkeit genannt werden:

- Entlang des CaCO_3 -Gradienten richten sich insbesondere Arten aus, die häufig mit den Quellrasen in Verbindung gebracht werden. Der bekannteste Vertreter ist dabei *Kobresia royleana*. Des weiteren richtet sich *Lomatogonium thomsonii* entlang des Kalkgehaltes aus.
- Die organischen Bodenparameter wie Humus und organischer Kohlenstoff spielen für *Carex melanthea* die entscheidende Rolle.
- *Stipa caucasica*, *Poa atteuata* und *Krascheninnikovia ceratoides* kommen mit steigender Höhe vermehrt vor.
- *Potentilla pamirica* erscheint als murmeltiertolerante bzw. murmeltierphile Pflanze.
- Relativ zentrumsnah und dadurch durch keinen Faktor sehr stark betroffen sind wichtige Vertreter wie *Seriphidium leucotrichum*, *Stipa orientalis* und *Acantholimon diapensioides* zu finden.

NMDS Bash Gumbez (4m * 4m Flächen)

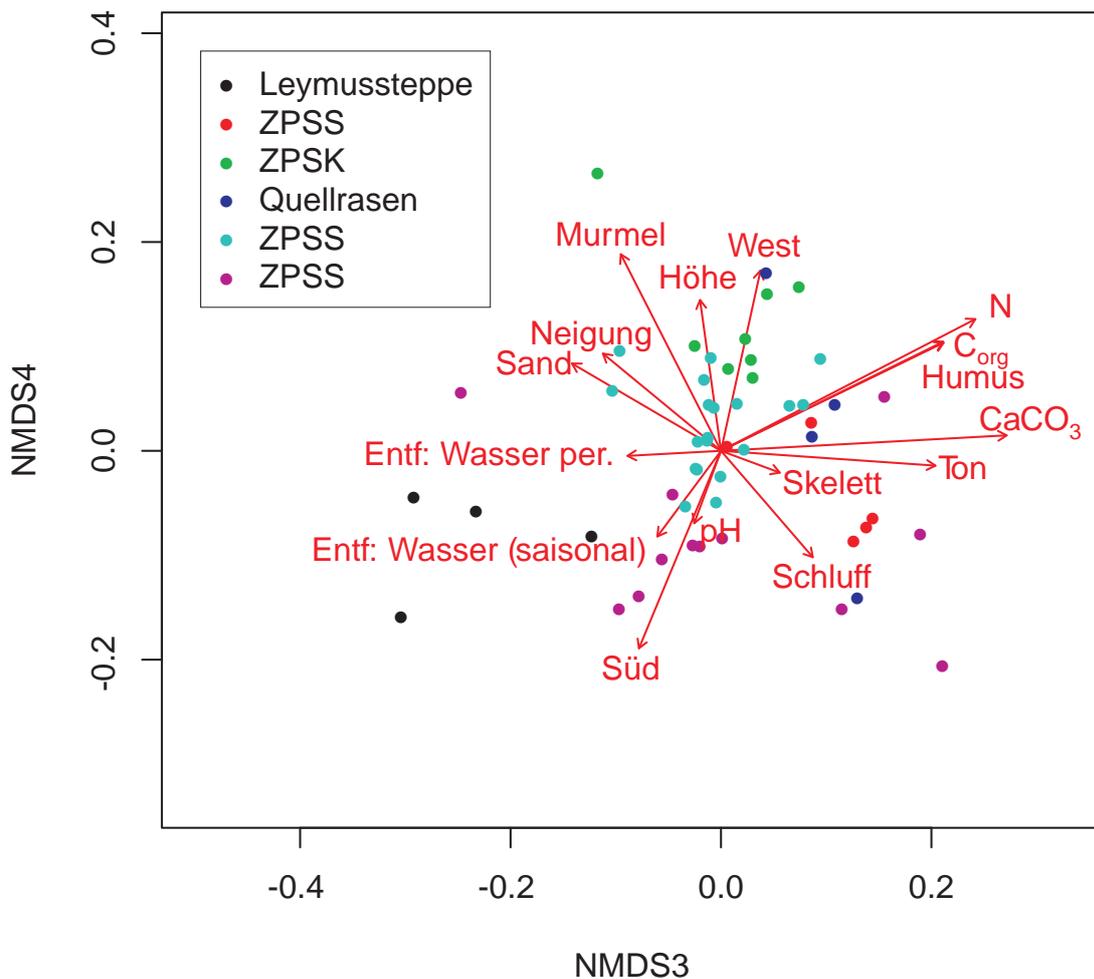


Abbildung 5.65: NMDS Bash Gumbez unter Darstellung der Vegetationsformationen

5.7.3 NMDS Madian Gumbez Kol

Einen Stresswert von 9,193 erreichte die NMDS für das Gebiet Madian Gumbez Kol, unter Verwendung von 56 Flächen, beim 3. Durchlauf. Ebenso wie bei den beiden bisher betrachteten NMDS liefert der vierdimensionale Ansatz den besten Kompromiss zwischen Stressergebnis und Interpretationspotential. NMDS3 und NMDS4 liefern die beste Beschreibung des Datensatzes. Nahezu alle verwendeten Variablen erweisen sich als signifikant. Tabelle A.40 liefert eine Übersicht der NMDS-Werte der jeweiligen Umweltvariablen.

Das Bild der Aufnahmeflächen, dargestellt unter 5.67, ist heterogen und lässt lediglich hinsichtlich vier, in der Clusteranalyse ausgewiesener Gruppen, eine Aussage treffen. Die hellblaue Gruppe der ZPSK findet sich besonders in weiter Entfernung zur nächsten anthropogenen Siedlung. Die rot gefärbte Gruppe der Leymussteppen orientiert sich ebenso wie die hellgraue Gruppe der Wüsten- und Zwergstrauchwüsten entlang des Westlichkeitsgradienten. Die schwarze Gruppe der Wüsten- und Zwergstrauchwüsten wird von pH-Wert und Tritt gesteuert.

NMDS Bash Gumbez (Arten 4m * 4m Flächen)

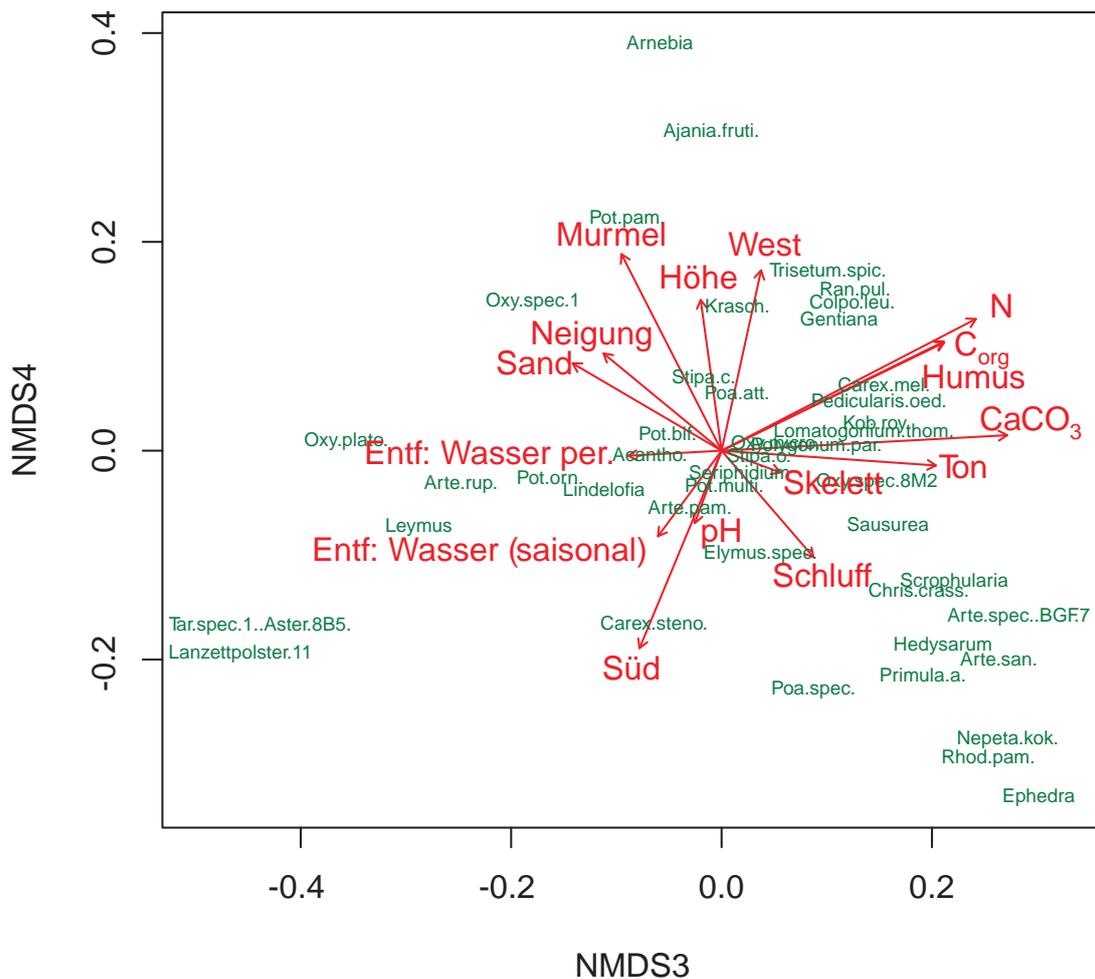


Abbildung 5.66: NMDS Bash Gumbez - Beziehung der Arten zu den Umwelt- und Bodenparametern

Der Zusammenhang der wichtigsten Arten mit den Umweltfaktoren ist in Abbildung 5.68 dargestellt. Die wichtigsten sollen hier kurz aufgeführt werden:

- Trittresistent erweisen sich *Artemisia rupestris* und *Nepeta longibracteata*.
- *Acantholimon diapensioides*, *Stipa orientalis* und *Poa attenuata* richten sich entlang der Westlichkeit aus .
- Die Höhe steuert das Vorkommen von *Ephedra glauca*, *Hedysarum mjanjense* und *Salsola spec..*
- In weiter Entfernung zur Jurte bzw. Siedlung finden sich *Ajania fruticulosa* und *Serratula procumbens*.
- Dem Murmeltiereinfluss sowie einem steigenden C/N-Verhältnis unterliegen *Stipa caucasica*, *Potentilla bifurca*, *Elymus spec.* und *Draba altaica*.

NMDS Madian Gumbes Kol (4m * 4m Flächen)

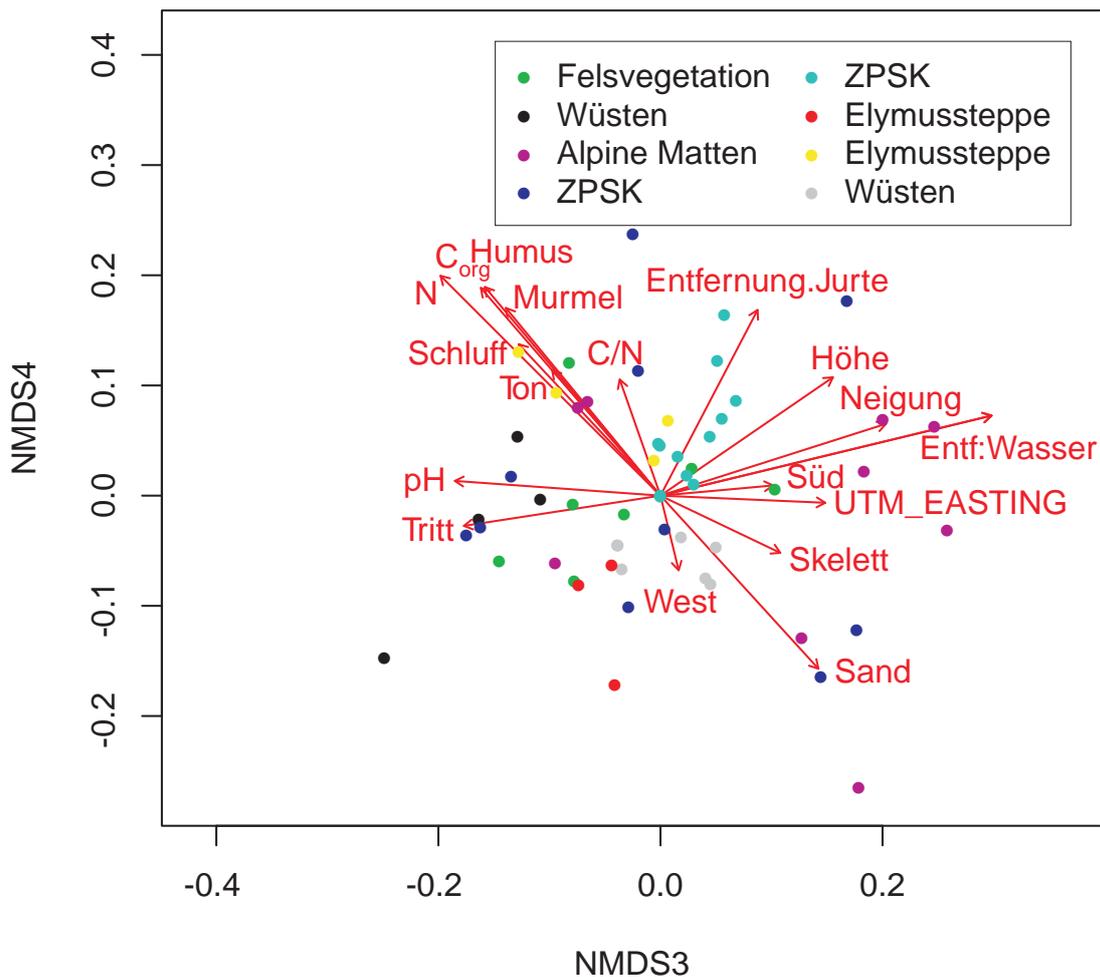


Abbildung 5.67: NMDS Madian Gumbes Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen

5.7.4 NMDS Pshart Gumbes Kol

Die vierdimensionale Darstellung des Tales Pshart Gumbes Kol hat als besten Stresswert 9,252 erzeugt. Für die Darstellung werden die NMDS Achsen NMDS1 und NMDS4 gewählt. In Tabelle A.41 sind die Umweltvariablen mit ihren Signifikanzwerten dargelegt. Auffällig bei den vielen signifikanten Werten ist, dass von den Störungen lediglich das Murmeltiervorkommen hohen signifikanten Einfluss zu haben scheint.

In der Anordnung der Flächen im Ordinationsraum, dargestellt in Abbildung 5.69, ist eine Gruppenstruktur erkennbar. Die grüne Gruppe der ZPSK richtet sich in zunehmender Entfernung zum Wasser (saisonal) aus. Die gelben ZPSK-Flächen richten sich in eine ähnliche Richtung aus, zeigen sich aber durch CaCO₃ und UTM-Easting stärker beeinflusst. Südlichkeit und hoher Verbiss prägen die Formation der Alpinen Matten. Die Felsvegetation lässt eine eindeutige Zuordnung zu den Variablen Neigung und steigender pH-Wert erkennen. Die rechte Hälfte der Abbildung wird fast vollständig von der streuend verteilten Gruppe der Quellrasen

NMDS Madian Gumbez Kol (Arten 4m * 4m Flächen)

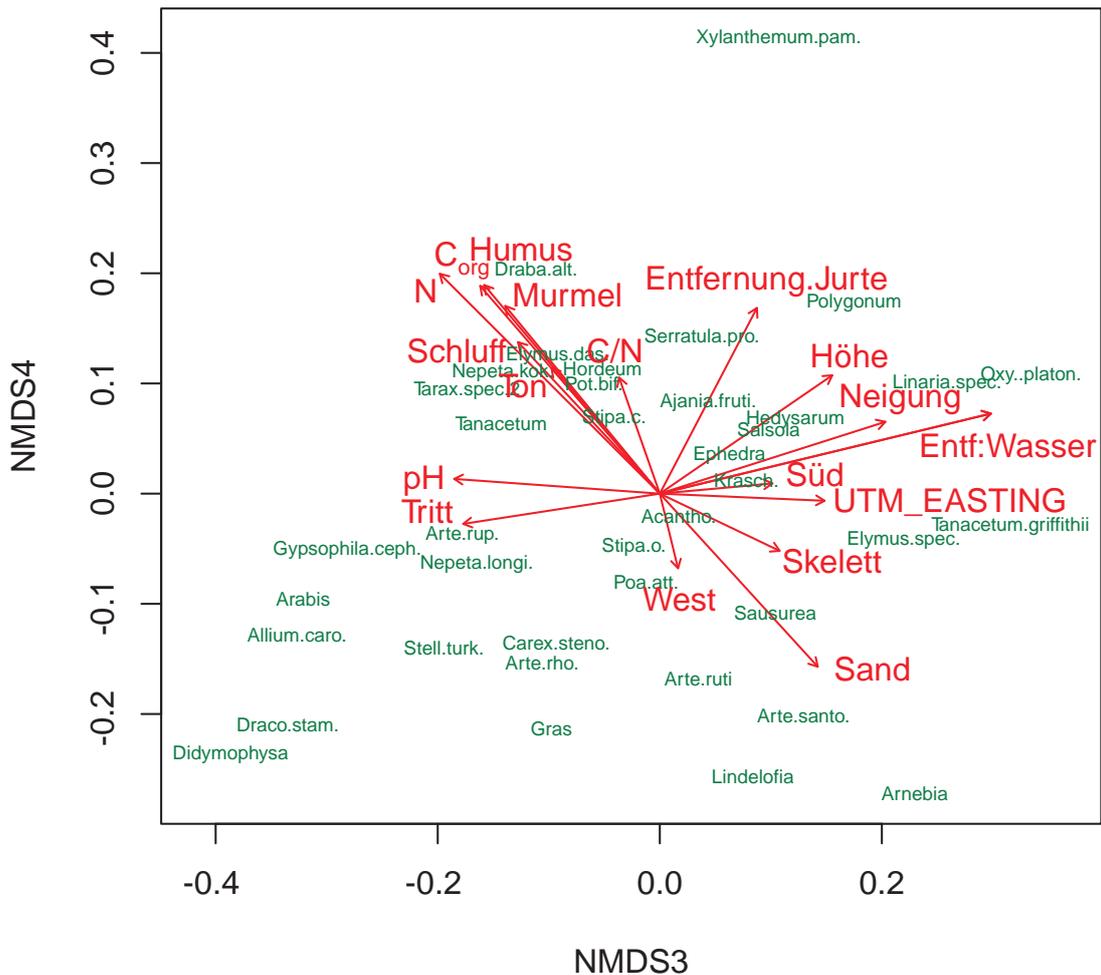


Abbildung 5.68: NMDS Madian Gumbez Kol - Beziehung der Arten zu den Umwelt- und Bodenparametern

eingenommen. Neben Humusgehalt, Höhe, Beweidungsintensität und C/N-Verhältnis spielt die Entfernung zur Jurte eine wichtige Rolle.

Die Darstellung der Arten erfolgt in Abbildung 5.70. Eine Kurzzusammenfassung der wichtigsten Arten sei hier gegeben:

- *Krascheninnikovia ceratoides*, *Acantholimon diapensioides* und *Stipa caucasica* richten sich mit zunehmender Entfernung zu saisonalem Wasservorkommen aus.
- CaCO_3 beeinflusst das Vorkommen von *Poa attenuata*, *Carex stenophylla*, *Hedysarum mjanense* und *Artemisia rhodantha*.
- Verbisstolerant erscheinen *Stellaria spec.1* und *Hordeum tukestanicum*.
- Im zuvor beschriebenen Sektor der Quellrasen richten sich insbesondere entlang der Faktoren Humusgehalt, C/N-Verhältnis und Entfernung zur Jurte die Arten *Carex melantha*, *Smelovskia calycina* und *Colopodium leucolepis* aus. .

NMDS Pshart Gumbez Kol (4m * 4m Flächen)

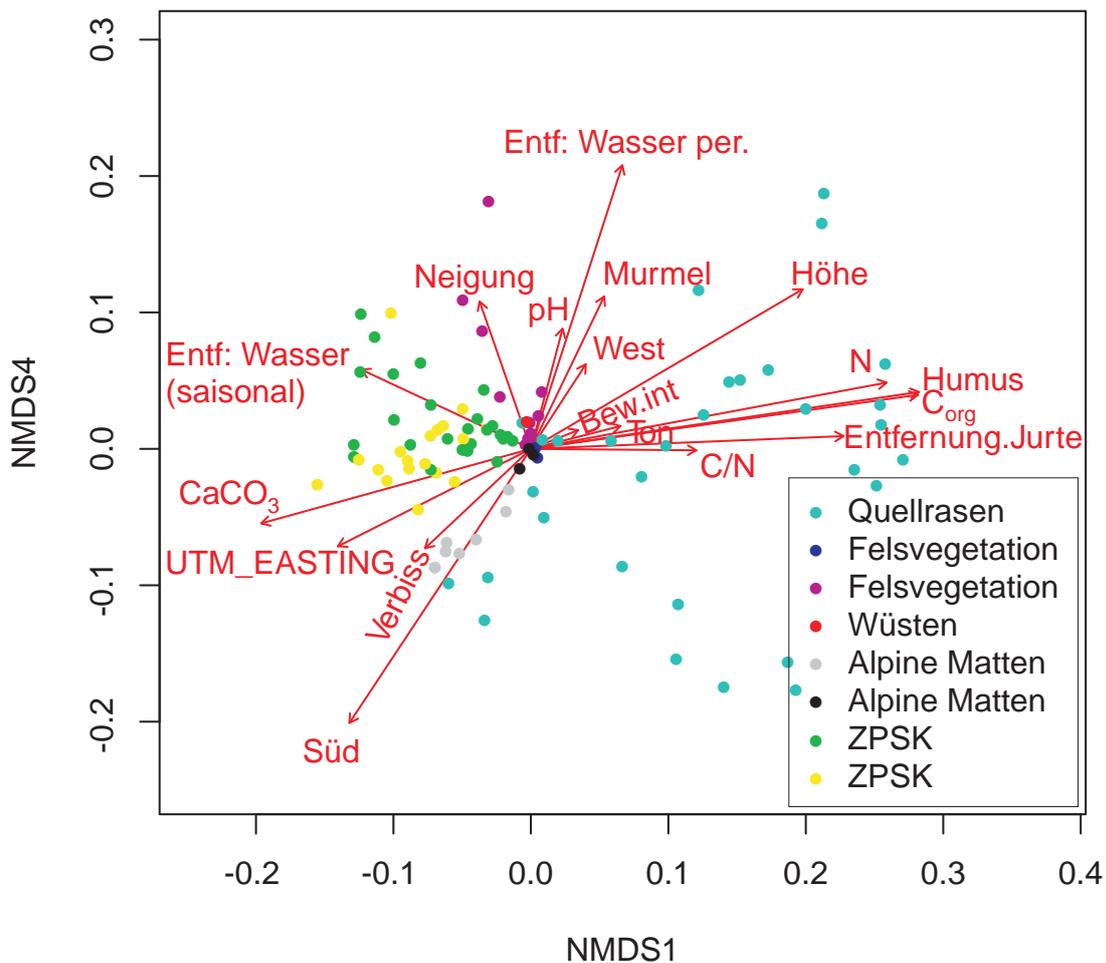


Abbildung 5.69: NMDS Pshart Gumbez Kol unter Darstellung der Vegetationsformationen

- Unter Murmeltiereinfluss lassen sich im Pshart Gumbez Kol Arten wie *Oxytropis platonychia* und *Saxifraga flagellata* finden. Auffällig ist, dass hier, im Gegensatz zum Bash Gumbez, keine *Potentilla pamarica* zu finden ist. Diese richtete sich eher entgegen des Murmeltiereinflusses aus.
- Durch Neigung beschrieben werden können insbesondere die Arten *Nepeta longibractea*, *Leiospora pamarica*, *Christolea flabellata* und *Didymophysa fedtschenkoana*.

5.7.5 NMDS nach Störungen Bash Gumbez

Für die NMDS des Tales Bash Gumbez (Abb. 5.71) wurden drei Gruppen aus dem Störungscluster verwendet. Die erste Gruppe ist vornehmlich durch Ziegen und Schafe charakterisiert, in der zweiten treten Yak und Schaf in der Regel gleichzeitig in Erscheinung und die dritte Gruppe weist ein hohes Vorkommen von Murmeltierstörfleichen auf.

NMDS Pshart Gumbez Kol (Arten 4m * 4m Flächen)

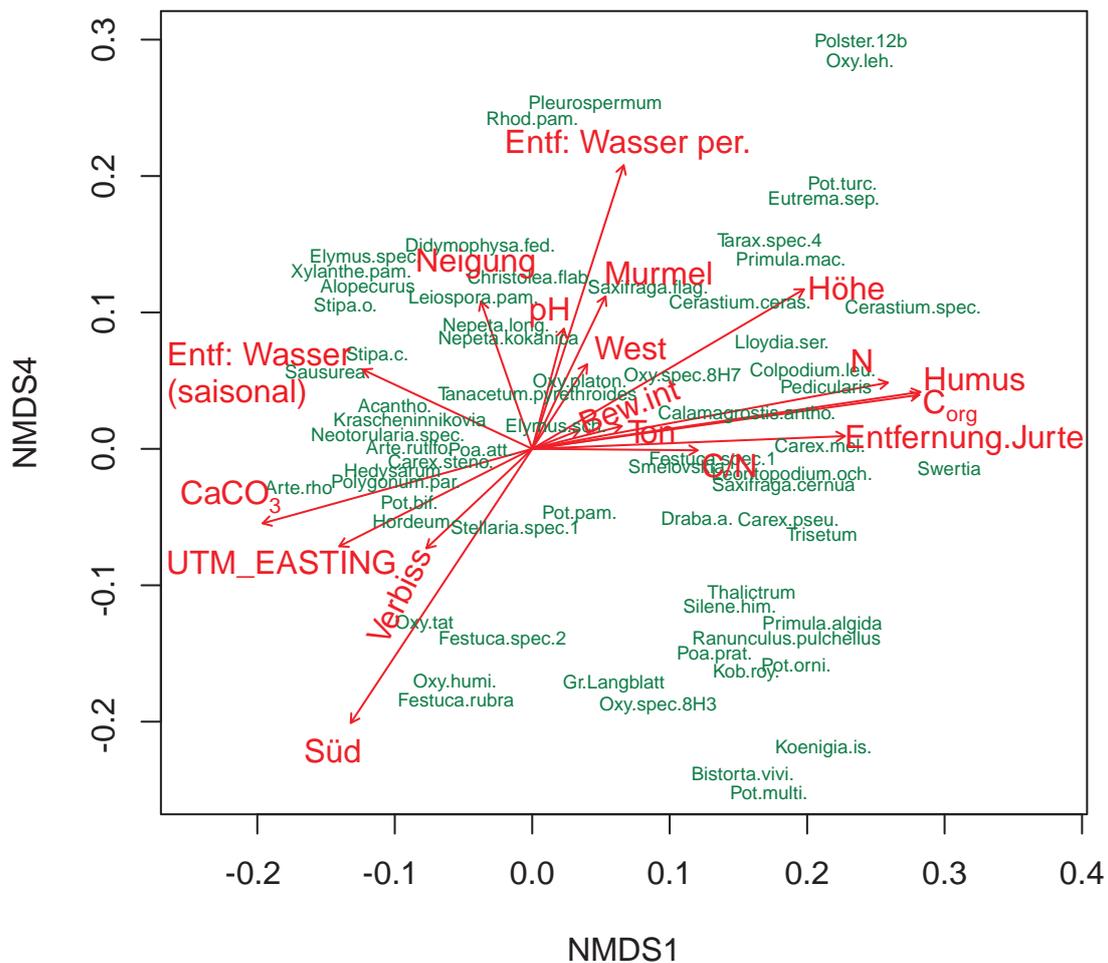


Abbildung 5.70: NMDS Pshart Gumbez Kol - Beziehung der Arten zu den Umwelt- und Bodenparametern

Die NMDS konnte auf vier Dimensionen reduziert werden. Das beste Stressergebnis lag dabei bei einem Wert von 6,58. Als hoch signifikant erweisen sich die Variablen Stickstoff, Murmeltiervorkommen, CaCO_3 und Südlichkeit.

Bei der Ausrichtung der Gruppen im Raum fällt auf, dass Murmeltierflächen keine Tendenz zu bestimmten Umweltvariablen zeigen und daher gestreut auftreten. Die Gruppe der Flächen unter dem Einfluss von Yak und Schaf richtet sich eher in der rechten Hälfte der Abbildung aus und wird daher unter anderem von den Faktoren Südlichkeit, Neigung, Murmeltiervorkommen und Sandgehalt beeinflusst. In der linken Hälfte dominant vertreten scheinen die von N, CaCO_3 , Humusgehalt und Höhe beeinflussten Aufnahmen der Kategorie Ziege und Schaf.

Nachfolgend werden die drei eben genannten Störungsgruppen des Tales Bash Gumbez einzeln in einer NMDS unter Darstellung der Flächen und der Arten gezeigt. Die Darstellung der Flächen soll zeigen, ob es innerhalb einzelner Störungen zu einer fokussierten Ausbildung bestimmter Vegetationsformationen kommt. Basis der Vegetationsgruppierung bildet das Ergebnis der Vegetationsklassifikation.

NMDS Bash Gumbez (4m * 4m Flächen)

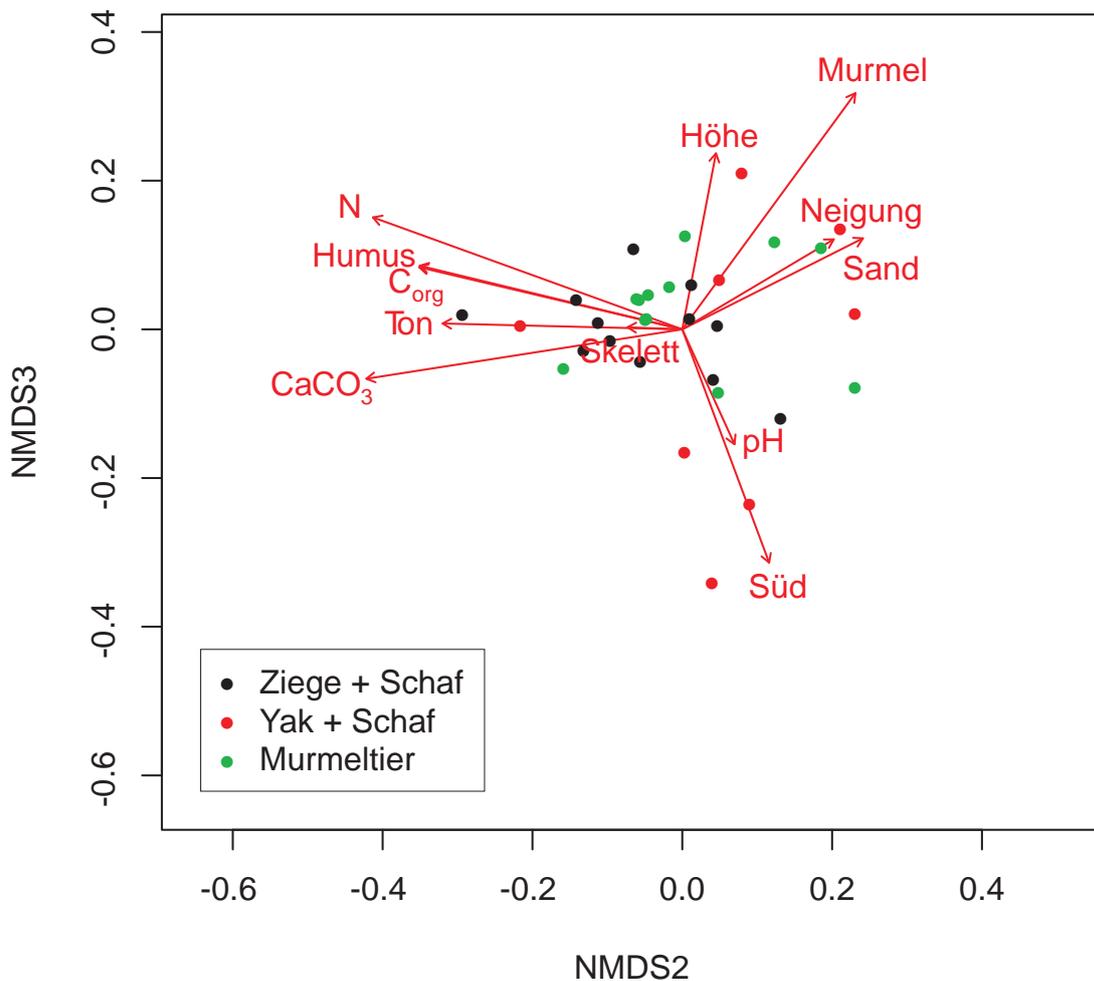


Abbildung 5.71: NMDS Bash Gumbez - Darstellung der drei Störungsgruppen und deren Beziehung zu den Umwelt- und Bodenparametern

NMDS Bash Gumbez nach Störungen: Ziege und Schaf

Die NMDS errechnet bei einer dreidimensionalen Darstellung den besten Stresswert mit 3,657. Die Achsen NMDS2 und NMDS3 liefern die höchste Aussagekraft. Die Darstellung der von Ziegen und Schafen beeinflussten Aufnahmen erfolgt unter Abbildung 5.72. Mit Ausnahme einer Fläche gehören alle Flächen der ZPSS-Formation an. Neben der Korngröße spielt vor allem die Höhe eine wichtige Rolle. In der Abbildung der Arten fällt auf, dass es eine geklump- te Ausrichtung in der Mitte gibt. Eine Gruppe zeigt Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt im Boden.

Zu den Arten im Zentrum gehören z.B. *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa orientalis*, *Acantholimon diapensioides* und *Seriphidium leucotrichum*. *Carex stenophylla*, *Christolea crassifolia* und *Potentilla pamirica* sind wichtige Vertreter der Ausrichtung entlang zunehmende N-Gehaltes im Boden. Allgemein fällt auf, dass die Anzahl der vorkommenden Arten eher gering ist.

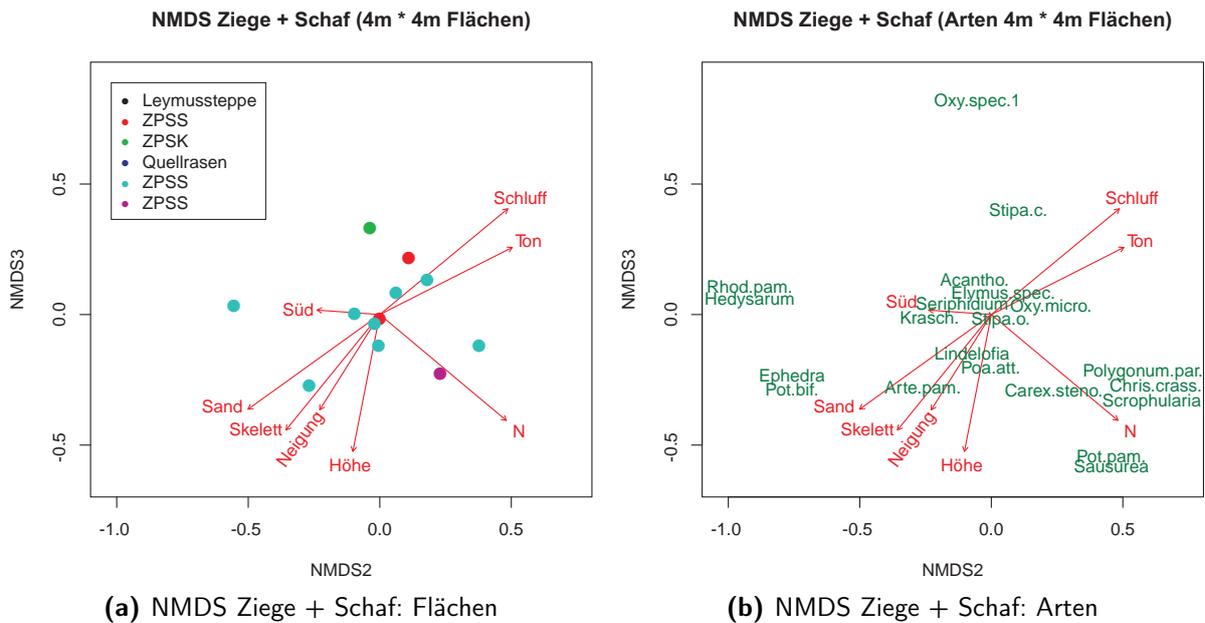


Abbildung 5.72: NMDS der Störungsgruppe Ziege + Schaf des Tales Bash Gumbez

NMDS Bash Gumbez nach Störungen: Yak und Schaf

Für die NMDS der Yak und Schaf Aufnahmen (Abb. 5.73) konnte sogar eine Dimensionsreduktion auf zwei Dimensionen durchgeführt werden. Der Stresswert erreicht in diesem Fall einen Wert von 2,270. Die Vektoren Murmeltiervorkommen, Tritt und Tonanteil sind hoch signifikant. Vorzufindende Vegetationsformationen sind Quellrasen, Leymussteppen, ZPSK und eine ZPSS Aufnahme. Problem bei der Auswertung der Flächen ist, dass es von den meisten Formationen für diese Gruppe nur 2–3 Aufnahmen gibt.

Trotz der geringen Aufnahmeanzahl fällt eindeutig auf, dass die NMDS mehr Arten aufweist als unter dem Einfluss von Ziege und Schaf. Auch richten sich die Arten stärker verteilt im Ordinationsraum und weniger von einzelnen Faktoren gesteuert aus. So finden sich entlang von Humus und Stickstoff die typischen Quellrasenvertreter wie *Kobresia royleana* oder *Gentiana spec.* wieder. Tritt tolerant erscheinen *Hedysarum mjanense* und *Krascheninnikovia ceratoides*. Mit zunehmenden Sandgehalt finden sich Arten wie *Acantholimon diapensioides* oder *Seriphidium leucotrichum*. Ein hoher Tonanteil scheint positiv für *Lomatogonium thomsonii* und *Ranunculus pulchellus*. *Carex stenophylla* und *Oxytropis platonychia* kommen auf Murmeltierflächen vor.

NMDS Bash Gumbez nach Störungen: Murmeltier

Die Dimensionen der dritten (Abb. 5.74) konnten auf drei reduziert werden. Der Stresswert liegt bei 1,273. Die Verwendung der NMDS1 und NMDS3 erscheint sinnvoll. Zu den signifikanten Vektoren gehören Stickstoff, Humusgehalt und CaCO_3 sowie die Umweltvariablen Entfernung zum Wasser (saisonal) und Höhe. Es lassen sich nur Aufnahmen der ZPSS und ZPSK Formationen finden.

5.7 Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS)

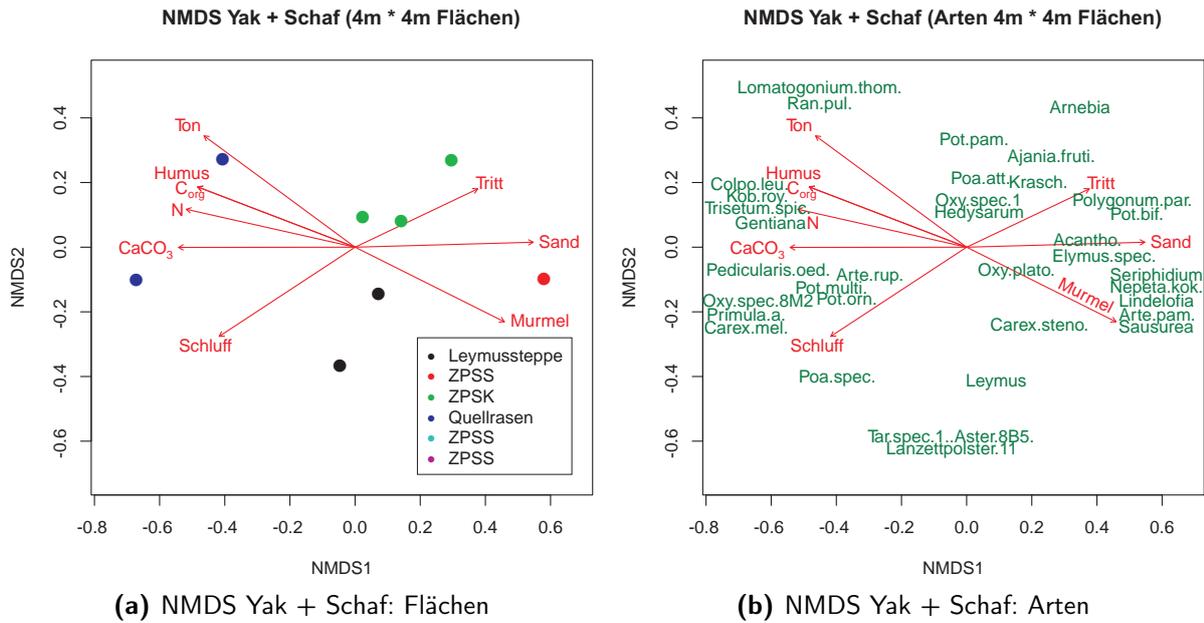


Abbildung 5.73: NMDS der Störungsgruppe Yak + Schaf des Tales Bash Gumbez

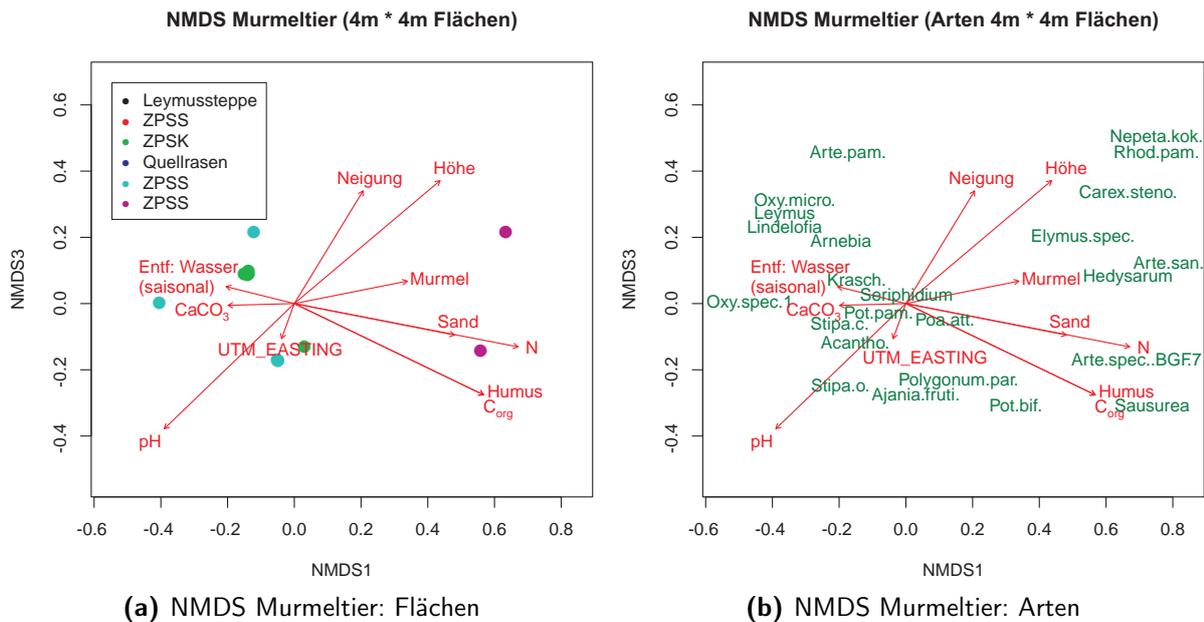


Abbildung 5.74: NMDS der Störungsgruppe Murmeltier des Tales Bash Gumbez

Auffällig ist auch hier, dass sich insgesamt deutlich weniger Arten für die Flächen charakteristisch zeigen als in der NMDS unter Yaks und Schafen. Die Arten zeigen sich verteilt im Raum. Eine Konzentration vieler Arten im Zentrum ist nicht zu finden. Einzig *Seriphidium leucotrichum* und *Poa attenuata* zeigen eine Tendenz zur Ansiedlung im Zentrum der Ordination. Unter Murmeltiereinfluss und zunehmender Höhe finden sich Arten wie *Elymus spec.*, *Hedysarum mjanajense*, *Artemisia santolinifolia*, *Carex stenophylla* und *Rhodiola pamiroalaica*. Der Kalkgehalt im Boden beeinflusst vor allem *Potentilla pamirica*, *Stipa caucasica* und *Ox-*

tropis spec.1. Die bekannten Vertreter *Acantholimon diapensioides* und *Stipa orientalis* zeigen sich durch steigenden pH-Wert beeinflusst. Der Humusgehalt wirkt sich in erster Linie auf *Saussurea salsa* aus.

NMDS Pshart Gumbez Kol (4m * 4m Flächen)

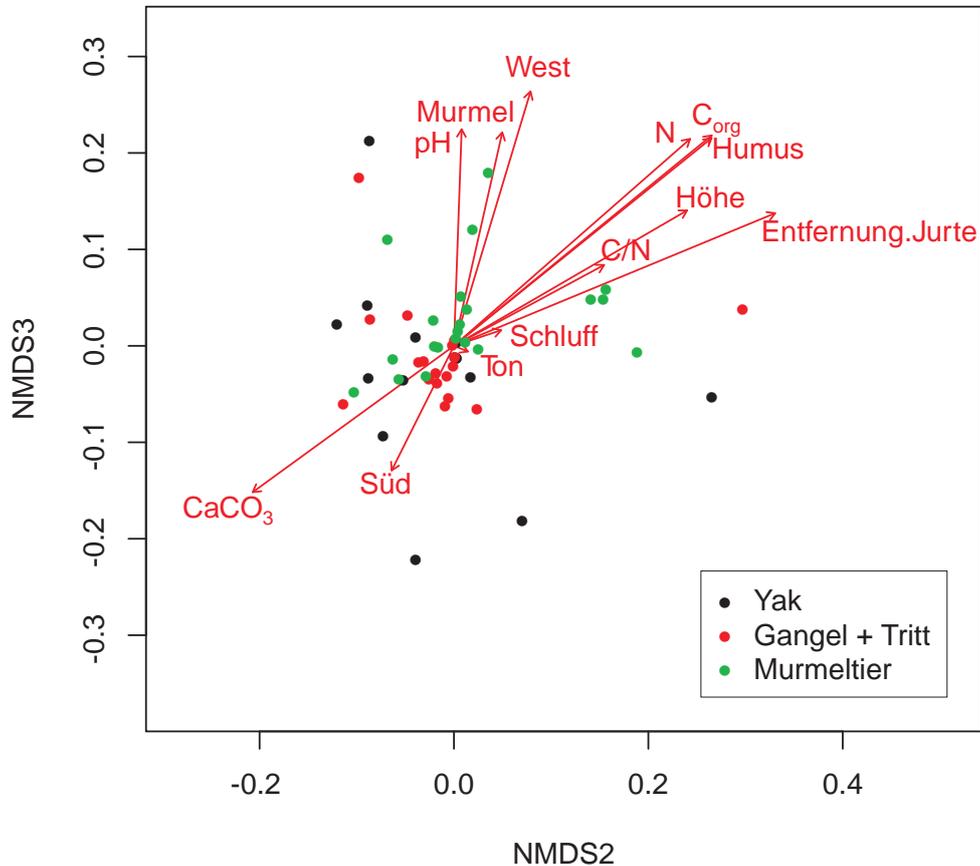


Abbildung 5.75: NMDS Pshart Gumbez Kol - Darstellung der drei Störungsgruppen und deren Beziehung zu den Umwelt- und Bodenparametern

5.7.6 NMDS nach Störungen Pshart Gumbez Kol

Aus der Klassifikation nach Störungsparametern für das Tal Pshart Gumbez Kol wurden die drei Gruppen Yak, Gangel und Tritt sowie Murmeltierstörung ausgewählt.

Für die NMDS war eine Wahl von vier Dimensionen nötig. Der Stresswert liegt bei 7,547. Die beste Darstellung liefern die NMDS Achsen NMDS2 und NMDS3. Sieben Variablen erwiesen sich als hoch signifikant. Neben den Umweltvariablen Höhe und Entfernung zur Jurte spielen die Bodenparameter Tonanteil, N, C_{org}, Humus und CaCO₃ eine Rolle.

Wie schon im Bash Gumbez zu beobachten, kann hinsichtlich der Gruppe der Murmeltiere keine Tendenz erkannt werden. Die Aufnahmen die dieser Gruppe zu Grunde liegen streuen stark im Raum. Gangel und Tritflächen konzentrieren sich im Bereich der Variablen Südlichkeit und CaCO₃. Die Flächen, die unter der Störung Yak zusammengefasst wurden, tendieren ebenfalls zu einer Anordnung im Bereich CaCO₃ und Südlichkeit, streuen aber deutlich stärker.

Wie bereits für die NMDS nach Störungen im Bash Gumbes durchgeführt, folgen nun die NMDS des Tales Pshart Gumbes Kol nach den einzelnen Störungsgruppen. Auch hier erfolgt eine getrennte Darstellung nach Flächen, mit Fokus auf die Vegetationsklassifikation, und nach Arten.

NMDS Pshart Gumbes Kol nach Störungen: Yak

Die NMDS der Yakflächen ist unter Abbildung 5.76 dargestellt. Eine Analyse mit drei Dimensionen lieferte den besten Stresswert bei 3,649. Die Darstellung erfolgt unter Verwendung der Achsen NMDS1 und NMDS3. Hoch signifikante Vektoren sind Höhe, Entfernung zur Jurte, Tonanteil und Kalkgehalt. Die Flächen gehören den Formationen der Quellrasen und der ZPSK an, wobei eine leichte Verschiebung zu den Quellrasen zu erkennen ist. Die Quellrasen zeigen sich in erster Linie durch die Entfernung zur Jurte, Höhe und Humusgehalt beeinflusst. Bei den ZPSK-Flächen spielen UTM-Easting und CaCO_3 eine wichtige Rolle.

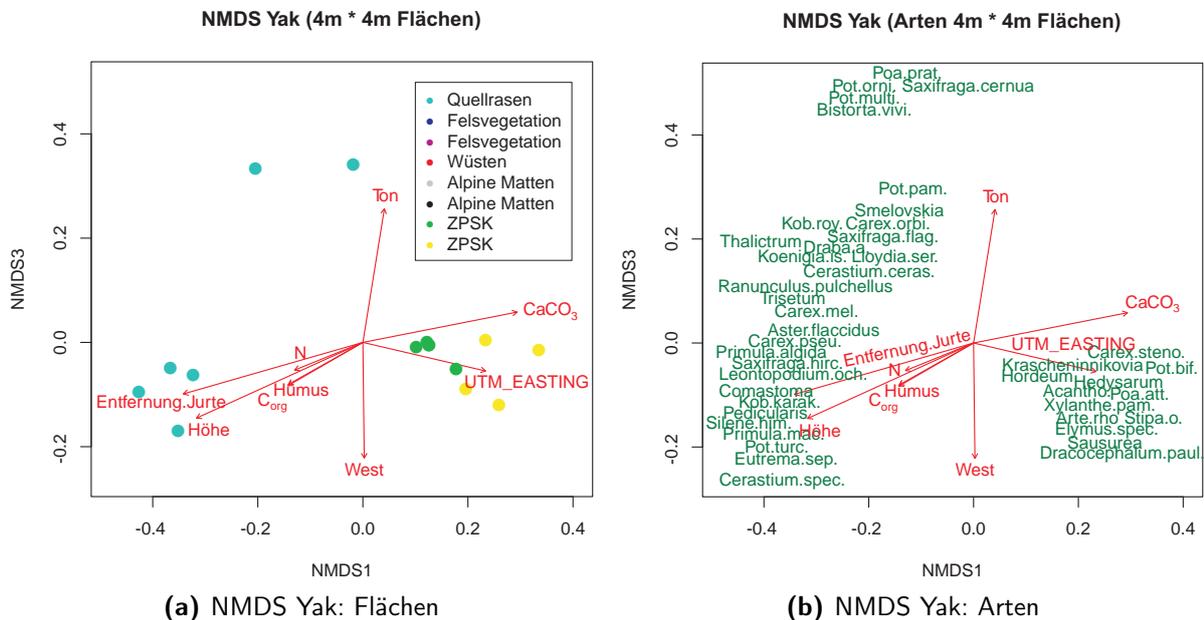


Abbildung 5.76: NMDS der Störungsgruppe Yaks des Tales Pshart Gumbes Kol

Eine Betrachtung der Arten zeigt eine klare links-rechts Aufteilung. Auf der linken Seite ordnen sich typische Quellrasenarten an. Beispielhaft dafür wären zu nennen *Kobresia karakorumensis*, *Primula algida*, *Carex melanthea* und *Ranunculus pulchellus*. Die rechte Seite, die eindeutig der ZPSK-Formation zugeordnet werden kann, wird durch Arten wie *Carex stenophylla*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Hordeum turkestanicum* und *Poa attenuata* beschrieben.

NMDS Pshart Gumbes Kol nach Störungen: Tritt und Gangel

Abbildung 5.77 zeigt Flächen unter starkem Einfluss von Tritt und Gangelbildung. Eine Berechnung von vier Dimensionen war nötig. Das beste Stressergebnis erzielte einen Wert von

2,901. Hoch signifikante Vektoren der NMDS sind die Entfernung zur Jurte und der Gehalt von CaCO_3 im Boden. Die Formation der Vegetation unter Gangel und Tritteinfluss wird von ZPSK-Flächen dominiert. Einzelne Quellrasenflächen und Alpine Matten ergänzen das Bild. Es lässt sich keine klare Struktur der Flächen bezüglich des Einflusses der Umweltvariablen erkennen. Es besteht eine Tendenz der Flächen in der Nähe der Jurten und nicht in höheren Lagen zu liegen.

Die vielen, in die Aufnahmen eingegangenen Arten, zeigen eine stark zentrumsorientierte Strukturierung aus. Der Einfluss einzelner Variablen auf die Arten ist daher nur schwer festzulegen. Das klarste Bild zeichnet sich entlang der Entfernung zur Jurte und des CaCO_3 -Gehaltes im Boden ab. *Stipa caucasica* und *Stellaria spec.* richten sich entlang des Vektors Entfernung zur Jurte aus. Steigendem Einfluss von CaCO_3 unterliegen *Hordeum turkestanicum*, *Potentilla pamirica* und *Lappula spec.*.

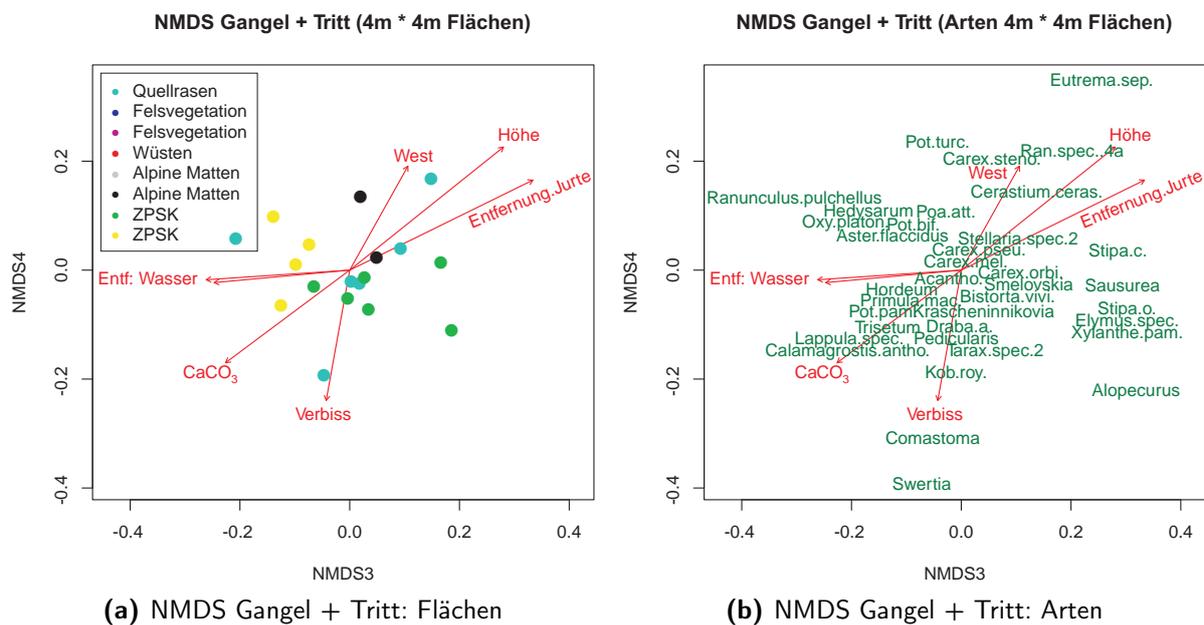


Abbildung 5.77: NMDS der Störungsgruppe Gangel + Tritt des Tales Pshart Gumbez Kol

NMDS Pshart Gumbez Kol nach Störungen: Murmeltier

Eine vierdimensionale Analyse erzeugte für die in Abbildung 5.78 dargestellte NMDS unter dem Einfluss von Murmeltieren das beste Ergebnis. Mit einem Stresswert von 5,581 konnte ein gutes Ergebnis erzielt werden. Die beste Darstellung erfolgte unter Verwendung von NMDS1 und NMDS3. Die dargestellten Umweltvariablen zeigten sich nur auf einem 5%-Niveau signifikant. Dazu gehören Höhe, elektrische Leitfähigkeit, Stickstoff und Humus (und damit in Verbindung stehend C_{org}). Neben der Ausweisung der meisten Flächen als Teil der ZPSK-Formation wurden zusätzlich Flächen der Gruppe der Felsvegetation und der Quellrasen ausgewiesen. Die Quellrasen zeigen eine Tendenz zu den Variablen Humusgehalt und Stickstoff. Die Felsvegetation steht in Zusammenhang mit der Höhe. Die ZPSK-Aufnahmen lassen keine Ausrichtung entlang bestimmter Umwelteinflüsse erkennen.

Obwohl bisherige Auswertungen ergeben haben, dass sich auf Murmeltierflächen sehr wenig Arten befinden, liefert das Gesamtbild für alle Flächen im Pshart Gumbez Kol ein anderes Bild. Dies lässt sich aber mit dem Einfluss der wenigen Quellrasenflächen begründen. Mit zunehmender elektrischer Leitfähigkeit treten Arten wie *Hordeum turkestanicum* und *Festuca rubra* in Erscheinung. Durch den Stickstoffgehalt beeinflusst zeigen sich *Potentilla pamirica* und *Saxifraga cernua*. Eindeutig dem Humusvektor zuzuordnen ist *Draba altaica*.

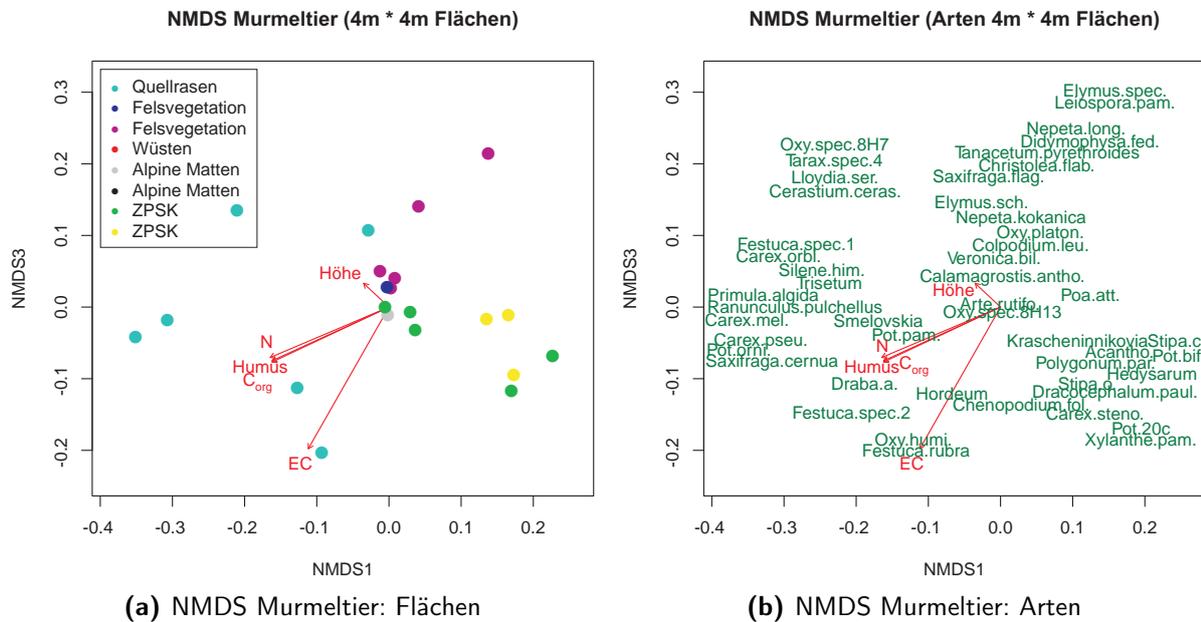


Abbildung 5.78: NMDS der Störungsgruppe Murmeltier des Tales Pshart Gumbez Kol

5.8 Canonical Correspondence Analysis (CCA)

Die Kanonische Ordination ist eine Weiterentwicklung der indirekten Gradientenanalyseverfahren zu welchen die DCA und die NMDS zählen. Eine Kombination aus den Verfahren der indirekten Gradientenanalyse mit Methoden der univariaten direkten Gradientenanalyse liefert das Ergebnis der CCA. Wie in der DCA werden die Positionen der Aufnahmen in einem ersten Schritt durch gewichtete Mittel der Artwerte gebildet. In der CCA müssen die Ordinationsachsen Linearkombinationen der Umweltvariablen darstellen und werden daher mittels eines multiplen linearen Regressionsmodells in die CCA-Analyse miteinbezogen. Unter Abbildung 5.79 ist der Iterationszyklus einer CCA vereinfacht dargestellt. Die in der CCA genutzten Achsen müssen nicht nur aus Sicht der Arten, sondern aus Sicht der Arten und Umweltvariablen ideal sein. Mittels einer Hauptkomponentenanalyse können in einem vorbereitenden Schritt redundante Umweltvariablen herausgefiltert werden. In der folgenden CCA wurde dieser Schritt nicht durchgeführt, da an späterer Stelle die Güte und der Nutzen der drei hier durchgeführten Ordinationen miteinander verglichen werden soll. In der jeweiligen Abbildung ist neben der Anordnung der Flächen, welche farblich nach der Vegetationsklassifikation gekennzeichnet sind, ebenfalls eine Darstellung der wichtigsten Arten im Raum geplottet. Verwendet wurden

die 4 m × 4 m Flächen. Die Artwerte gehen als transformierte Braun-Blanquet Werte in die Analyse ein.

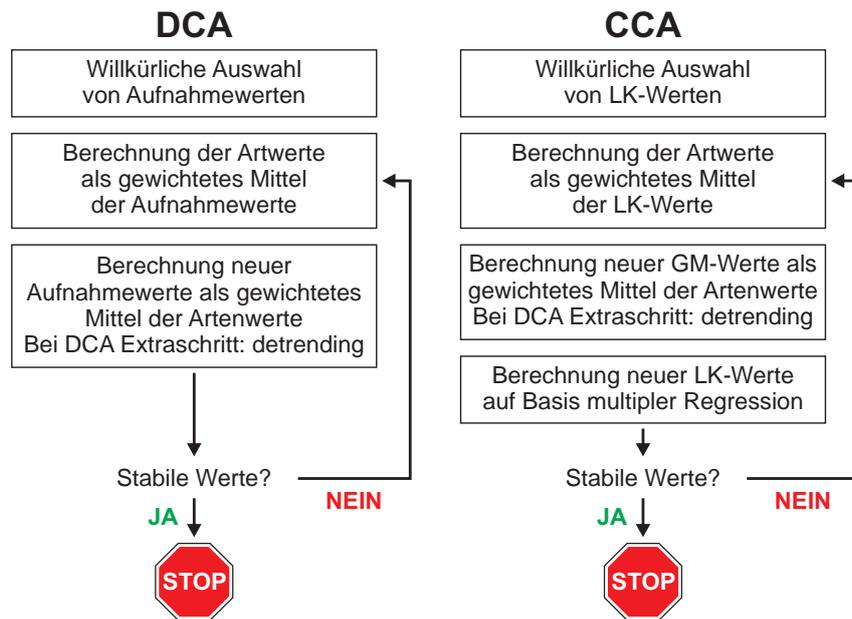


Abbildung 5.79: Darstellung des Iterationszyklus von DCA und CCA im Vergleich
Quelle: nach Leyer & Wesche, 2007:93

5.8.1 CCA Bash Gumbes

Die Werte der CCA Bash Gumbes können in Tabelle A.35 eingesehen werden. Der Eigenwert der ersten Achse beträgt 0,654. 31,5% der Werte werden durch die erste Achse bereits erklärt. Die Variablen Murmeltiervorkommen und Höhe fließen zu großen Teilen in die 1. Achse ein. Die 2. Achse weist nur noch einen Eigenwert von 0,301 auf und erklärt lediglich noch 14,5% der Daten. Beschrieben wird diese Achse durch die Variablen Beweidungsintensität, Westlichkeit und Entfernung zur Siedlung bzw. Jurte.

In der CCA unter Abbildung 5.80 zu sehen ist ein klarer Trend der in der Clusteranalyse als Quellrasen ausgewiesenen Flächen entlang der ersten Achse zu erkennen. Die an der Achse links ausgerichteten Arten wie *Kobresia royleana* oder *Primula algida* entsprechen typischen Vertretern dieser Vegetationseinheit. Südlichkeit und Sand sind die Umweltvariablen mit dem höchsten Erklärungsgehalt. Die drei Gruppen der ZPSS konzentrieren sich entlang der 2. Achse und lassen sich vor allem durch die Umweltvariablen Entfernung zur Jurte, Beweidungsintensität, Westlichkeit, Höhe und ferner Murmeltiervorkommen beschreiben. In der Mitte des Diagramms finden sich „Allrounderarten“ wie *Krascheninnikovia ceratoides* oder *Carex stenophylla*. *Acantholimon diapensioides* und *Seriphidium leucotrichum* befinden sich im ZPSS dominierten Segment. ZPSS-Flächen mit schluffigem Untergrund oder dem Vorkommen von *Artemisia rhodantha* oder *Rhodiola pamiroalaica* orientieren sich in die entgegengesetzte Richtung.

CCA Madian Gumbez Kol (4m * 4m Flächen)

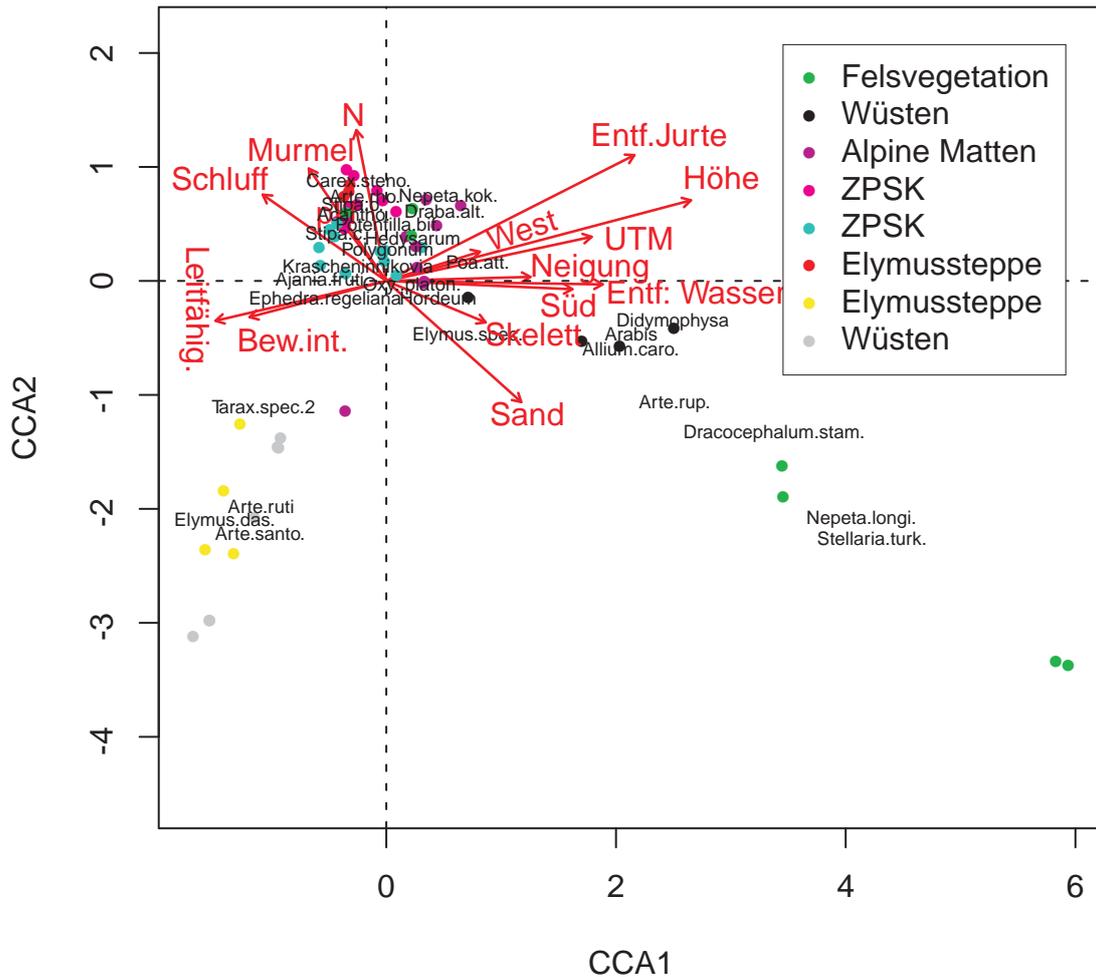


Abbildung 5.81: CCA Madian Gumbez Kol

5.8.3 CCA Pshart Gumbez Kol

Die erstmals in die CCA aufgenommenen 74 Achsen wurden auf 20 Achsen reduziert. Der höchste Teil der Gesamtvarianz stieg dabei für die 1.Achse von ca. 6% auf 18% und für die 2.Achse von 4% auf 10,7% an. Der Eigenwert der beiden Achsen liegt bei 0,672 und 0,397. Die Variablen CaCO_3 , Murmeltier und Leitfähigkeit beschreiben die erste Achse gut. Die 2.Achse wird durch den Sandgehalt als dominante Variable beschrieben. Die Darstellung der CCA erfolgt unter Abbildung 5.82.

Die Verteilung der Flächen im Ordinationsraum erfolgt entlang der zweiten Achse. Die Anordnung der Flächen aus der Vegetationsklassifikation stimmt in den meisten Fällen mit den kennzeichnenden Arten überein. So befinden sich beispielsweise entlang der türkisen Quellrasenflächenpunkte insbesondere Arten wie *Kobresia royleana*, *Carex orbicularis* oder *Ranunculus pulchellus*. Die ZPSK-Formationen werden im Gegenzug von Arten wie *Elymus spec.*, *Poa attenuata*, *Acantholimon diapensioides* oder *Krascheninnikovia ceratoides* beschrieben.

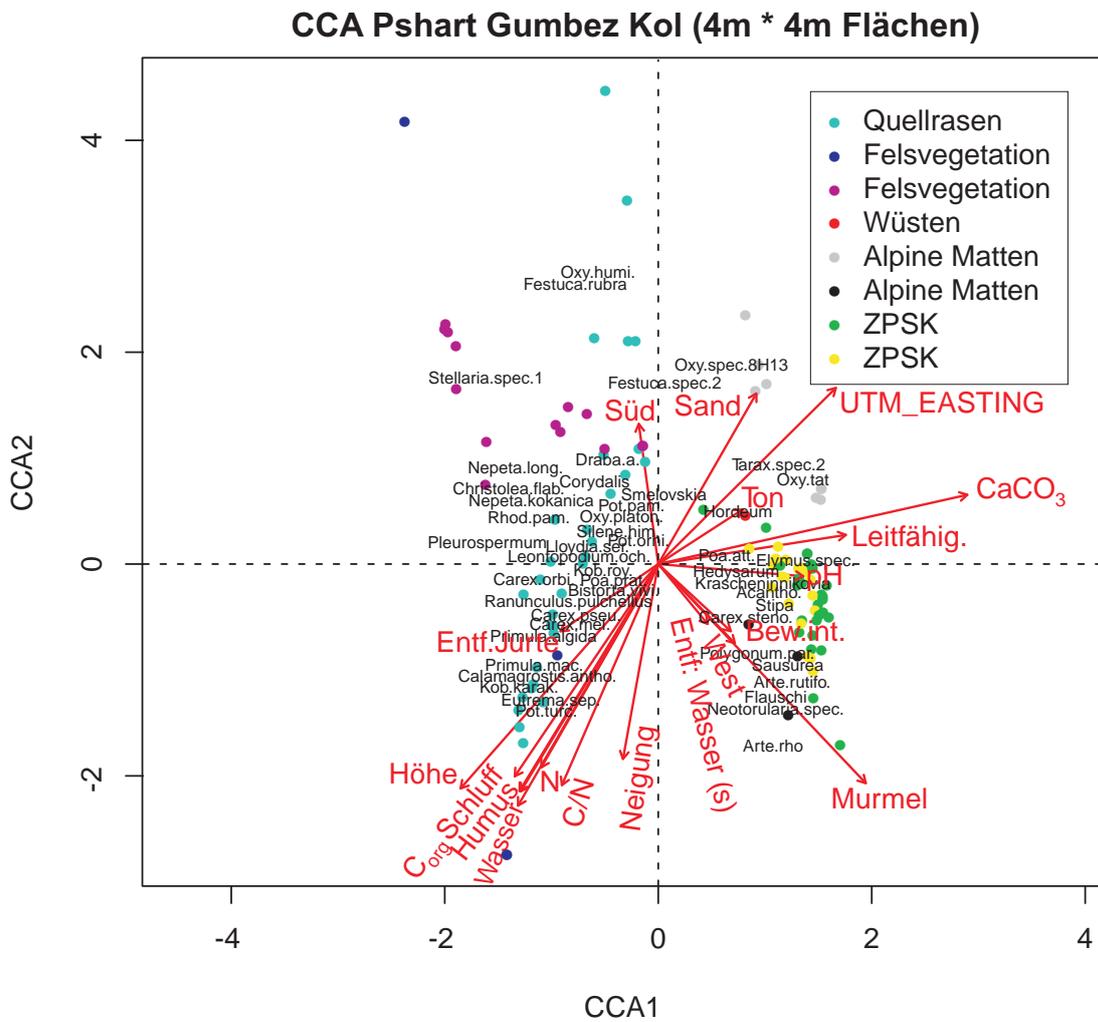


Abbildung 5.82: CCA Pshart Gumbez Kol

5.9 Linientransekte

Die aufgenommenen Linientransekte wurden mittels des Jaccard-Index ausgewertet. Dieser berechnet sich nach folgender Form:

$$SI_J = \frac{a}{a + b + c} \quad (5.8)$$

- a = gemeinsam vorkommende Arten
- b = Arten, die nur in Fläche 1 vorkommen
- c = Arten, die nur in Fläche 2 vorkommen

Der Jaccard-Index, ein Index zur Berechnung der Betadiversität, berechnet die Unterschiede in der Artzusammensetzung zwischen zwei Flächen. Im Fall der Linientransekte wird der Jaccard-Index immer für die zwei benachbarten Abschnitte berechnet. Auf homogenen Linien wurde, wie bereits in der Aufnahmemethodik erwähnt, nur jeden Meter eine Aufnahme gemacht, d.h. es kommt zu Lücken von 50 cm zwischen den Aufnahmen, bei denen davon ausgegangen wird, dass keine merkliche Veränderung zur vorigen Fläche zu verzeichnen ist. Heterogene Linien wurden durchgängig aufgenommen. Lücken in der Darstellung symbolisieren Lücken der Aufnahmen im Gelände, die bewusst, auf Grund fehlender Veränderung, ausgelassen wurden. Die Länge der ausgelassenen Abschnitte variiert stark, kann aber, wie bereits erwähnt, an Hand der einzelnen Auswertungen ersehen werden. Der Jaccard-Index nimmt immer Werte zwischen 0 und 1 an. Ein Wert von 1 bedeutet dabei, dass im Vergleich zur vorherigen Fläche keine Veränderung in der Artzusammensetzung stattgefunden hat, wohingegen ein Wert von 0 aussagt, dass zwischen den beiden Flächen keine Art gleich ist.

Zusätzlich zur Betadiversitätsberechnung erfolgt in den Abbildungen jeweils auch noch die Darstellung der Gesamtdeckung sowie der Beweidungsintensität entlang der Linie.

Im Unterschied zum bisherigen Vorgehen verschiebt sich bei Betrachtung der Linien der Fokus der drei Täler ein wenig. Es werden weiterhin Bash Gumbez und Pshart Gumbez Kol fokussiert, jedoch tritt an Stelle des Madian Gumbez Kol das Madian Seitental, welches direkt von Murghab aus mit Ziegen und Schafen beweidet wird. Im Madian Gumbez Kol wurde nur eine Linie aufgenommen, die mit den Transekten aus dem Madiantal (Heuwiesen am Fluss) und der Linie neben der Tereskenstechfläche in der Alichur-Range nachfolgend unter der Gruppe sonstige Gebiete zusammengefasst wird.

5.9.1 Transekte Pshart Gumbez Kol

Die erste Linie, dargestellt in Abbildung 5.83, stellt ein Transekt vom Bach hangaufwärts dar. Die Linie hat eine Gesamtlänge von 175 m und wurde mit Lücke aufgenommen. Bei Betrachtung des Jaccard-Index fällt auf, dass dieser entlang der Linie sehr stark schwankt. Insbesondere im letzten Drittel lässt sich häufig ein vollständiger Artwechsel verzeichnen. Die Beweidungsintensität schwankt in diesem Bereich sehr stark, während die Gesamtdeckung als niedrig eingestuft werden muss. Zu den wenigen vertretenen Arten gehören hier *Hordeum turkestanicum* und *Poa attenuata* sowie im letzten Abschnitt *Krascheninnikovia ceratoides*. Der

Bereich zwischen 75 m und 100 m variiert sehr stark in der β -Diversität. Mit sinkender Beweidungsintensität lässt sich in diesem Bereich ein Anstieg in der Gesamtdeckung verzeichnen. Allgemein ist die Beweidungsintensität in diesem Bereich hoch. Es dominieren Arten wie *Poa attenuata*, *Potentilla pamarica* oder *Carex orbicularis*. Der Abschnitt direkt am Bach zeigt nach einem kurzen Rückgang in der Gesamtdeckung eine Erhöhung dieser auf zumeist über 60%. Gerade der Bereich, in welchem sich die Gesamtdeckung, ebenso wie die Beweidungsintensität, stark erhöht, nimmt die Variation im Jaccard-Index zu.

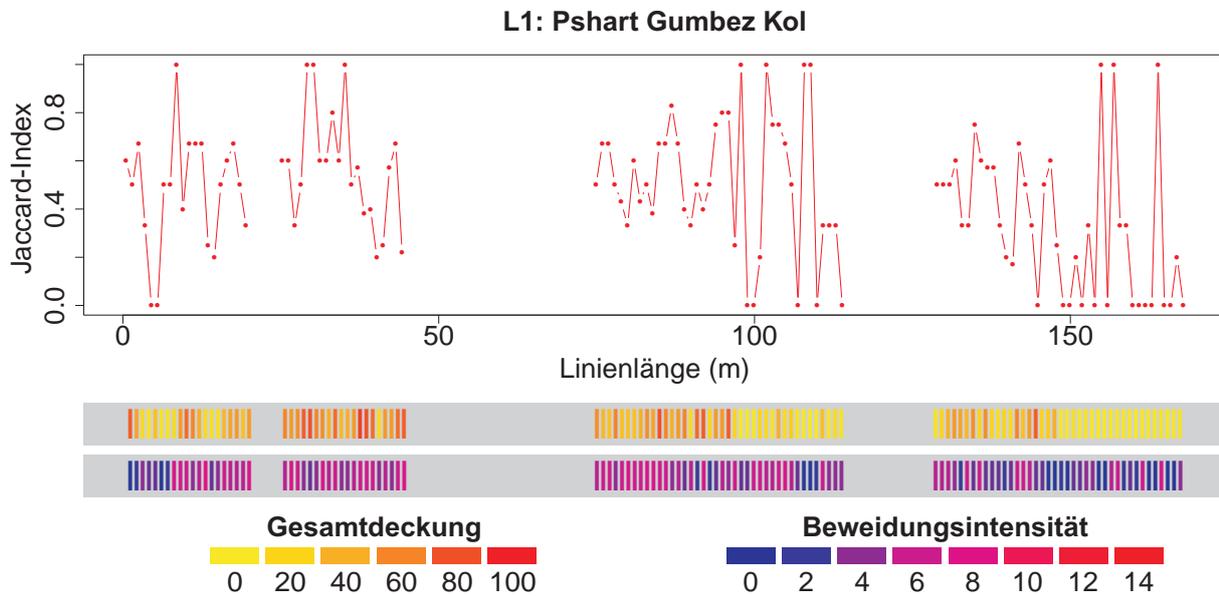


Abbildung 5.83: Linientransekt L1 Pshart Gumbez Kol mit zunehmender Entfernung zum Wasser

Die etwas kürzere Linie L2, zu sehen in Abbildung 5.84, hat eine Gesamtlänge von 100 m und wurde ebenfalls mit Lücke aufgenommen. Nicht aufgenommen wurde in diesem Fall der Bereich 60 m–80 m. Entlang der Linie lassen sich regelmäßige Variationen in der β -Diversität erkennen. Die Beweidungsintensität ist im Allgemeinen hoch. Lediglich vier Abschnitte haben eine Beweidungsintensität die kleiner ist als vier. Die hohe Gesamtdeckung geht nur zwischen 10 m–15 m, 30 m–35 m und 55 m–60 m zurück. Neben verschiedenen *Potentilla*-Arten kommen *Oxytropis platonychia*, *Poa attenuata* und *Hordeum turkestanikum* häufig auf der Linie vor.

Im Gegensatz zu den ersten beiden Transekten, welche jeweils am Talboden beginnen und durch zunehmende Entfernung zum Wasser gekennzeichnet sind, zeigt L7 (Abb. 5.85), eine Linie, welche hangaufwärts durch verschiedene Viehgangeln hindurch verläuft. Mit nur 40 m ist die Linie deutlich kürzer als die beiden vorher betrachteten, hat dafür aber weder Lücken in der Aufnahme als auch innerhalb der Abschnitte. Der Jaccard-Index schwankt sehr stark zwischen den Werten 0 und 1. Ein Blick auf die Gesamtdeckung, welche ebenfalls sehr niedrig bzw. nicht vorhanden ist, lässt vermuten, dass diese Schwankungen durch das Auftreten deckungsfreier Flächen im Wechsel mit Flächen mit nur einer Art zusammenhängen. Die Beweidungsintensität ist hoch und erreicht stellenweise Werte über 10. *Krascheninnikovia ceratoides* ist auf vielen Flächen vorzufinden und wird durch Arten wie *Hordeum turkestanikum* oder *Acantholimon diapensioides* ergänzt. Auffällig ist, dass zwischen 750 m und 1750 m lediglich *Krascheninnikovia ceratoides* oder gar keine Deckung auftritt.

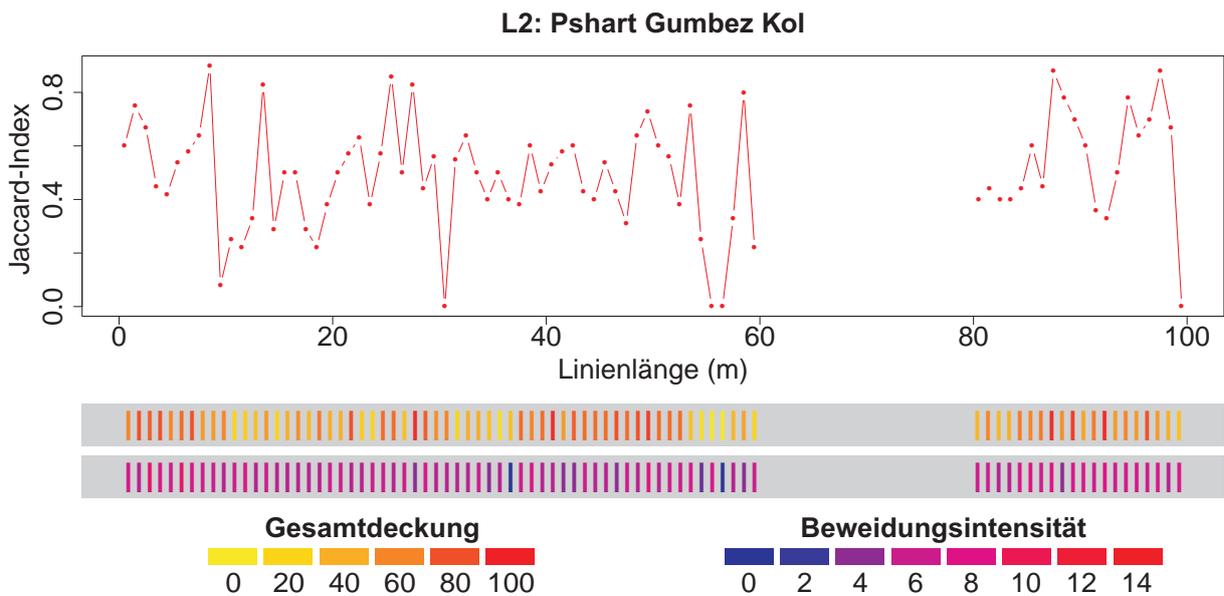


Abbildung 5.84: Linientranspekt L2 Pshart Gumbez Kol mit zunehmender Entfernung zum Wasser

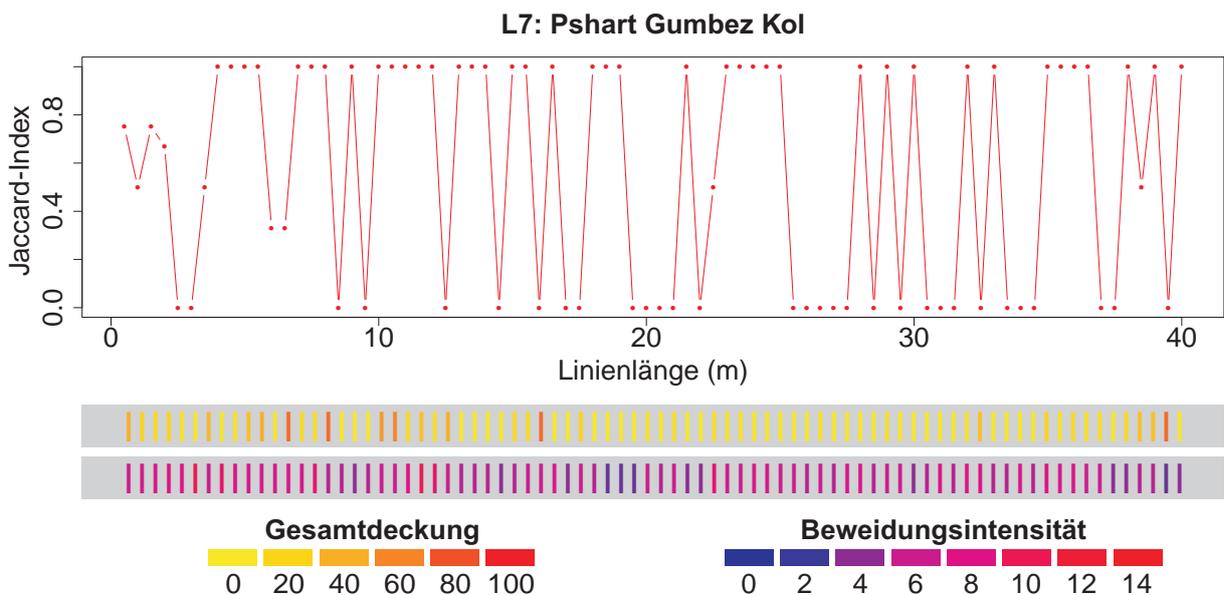


Abbildung 5.85: Linientranspekt L7 Pshart Gumbez Kol hangaufwärts durch Viehgangeln

5.9.2 Transekte Bash Gumbez

Im Bash Gumbez wurde fokussiert, die Transekte senkrecht zu Tiefenlinien zu legen. Diese sind in der Regel durch erhöhte Bodenfeuchte im Vergleich zur Umgebung gekennzeichnet. Eine solche Linie ist in Abbildung 5.86 zu sehen.

Die in Abbildung 5.87 dargestellte Linie L3 hat eine Länge von 20 m. Sie wurde ohne Lücke aufgenommen und es sollte versucht werden den Wechsel zur Tiefenlinie darzustellen. Der Geländeaufbau gliedert sich wie folgt: 8 m bis zur Tiefenlinie, welche dann eine Breite von 4 m



Abbildung 5.86: Linientranspekt durch Tiefenlinie

einnimmt dem sich die folgenden 8 m außerhalb der Tiefenlinie anschließen. Der beschriebene Bereich der Tiefenlinie lässt sich in Abbildung 5.87 sehr gut erkennen. Während innerhalb der Deckung und der Beweidungsintensität ein Anstieg zu verzeichnen ist, lässt sich für den Jaccard-Index die Aussage treffen, dass es mit Beginn der Tiefenlinie zu einem plötzlichen Komplettwechsel der Arten kommt. Anschließend pendelt der Index zwischen verschiedenen Werten, bis es am Ende der Tiefenlinie erneut zu einem vollständigen Artwechsel kommt. Die Beweidungsspuren innerhalb der Tiefenlinie stammen von Ziegen. Arten des Transekts gehören der ZPSS an. Dazu gehören neben *Seriphidium leucotrichum* auch *Krascheninnikovia ceratoides* und *Stipa orientalis*. *Acantholimon diapensioides* fehlt vollständig. Dafür wächst *Oxytropis* an manchen Stellen polsterförmig.

Die unter Abbildung 5.88 zu betrachtende Linie L5 stellt ebenfalls ein Transekt durch eine Tiefenlinie dar und hat eine Länge von 15 m. Der Teil innerhalb der Tiefenlinie befindet sich im Bereich zwischen 5,5 m und 10 m. Im Gegensatz zu L3 lässt sich hier kein so auffälliger Wechsel innerhalb der Beweidungsintensität und der Gesamtdeckung verzeichnen. Ein minimaler Anstieg ist allerdings zu beobachten. Das absolute Maximum der Gesamtdeckung liegt ebenfalls innerhalb der Tiefenlinie. Wie bereits in L3 zu beobachten war leitet die Tiefenlinie mit einem vollständigen Artwechsel ein, weshalb hier ein Jaccardwert von 0 anzutreffen ist. Das Ende wird auf die gleiche Weise bestimmt. Außerhalb der Tiefenlinie treten *Christolea crassifolia* und *Oxytropis microphylla* auf. Innerhalb der Tiefenlinie werden diese abgelöst durch *Seriphidium leucotrichum* und *Stipa caucasica* sowie *Stipa orientalis*.

Die unter Abbildung 5.89 dargestellte Linie führt gleichsam durch eine Tiefenlinie. Das Foto eines Ausschnitts der Linie L6 unter 5.91 veranschaulicht die Situation vor Ort. Die Linie ist mit 50 m deutlich länger als die bisher Betrachteten. Die Tiefenlinie selbst ist mit einer

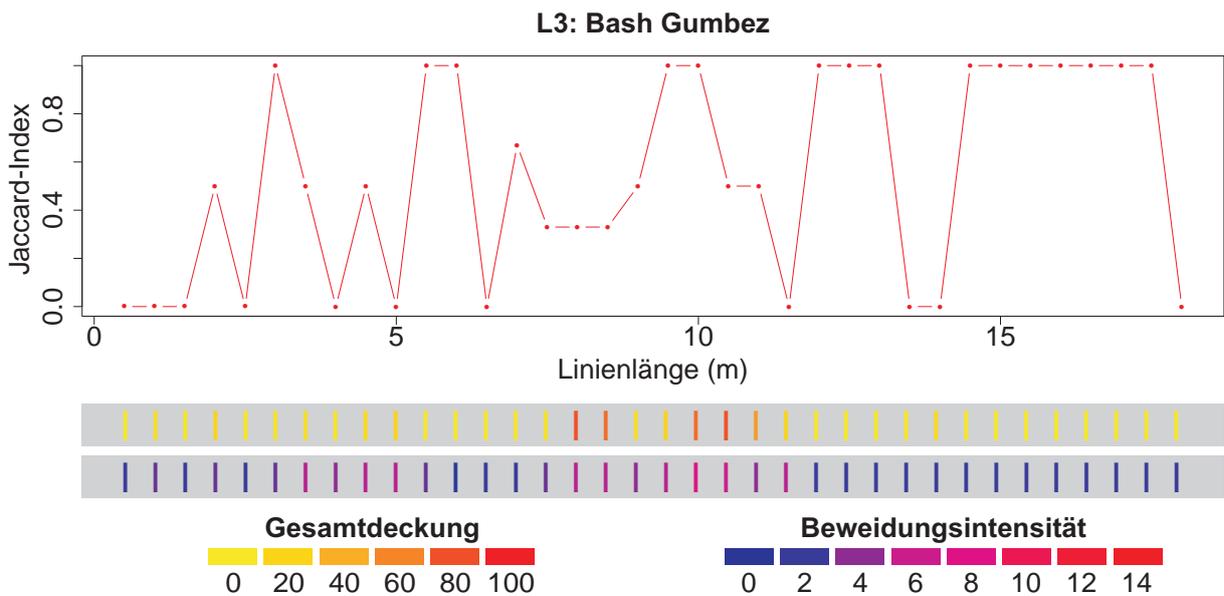


Abbildung 5.87: Linientransekt L3 Bash Gumbez durch Tiefenlinie

Breite von 10m deutlich breiter als die bisher betrachteten und liegt im Bereich zwischen 20 m und 30 m. Die Beweidungsintensität steigt in diesem Abschnitt merklich an. Innerhalb der Gesamtdeckung lässt sich ein langsamerer Anstieg verzeichnen. Wie bereits bei den Linien zuvor wird der Anfang und das Ende der Tiefenlinie durch einen Jaccard-Index von 0 kenntlich gemacht. Während *Krascheninnikovia ceratoides* entlang des ganzen Transekts vorkommt, ist *Acantholimon* und *Poa attenuata* nur in der Tiefenlinie zu finden.

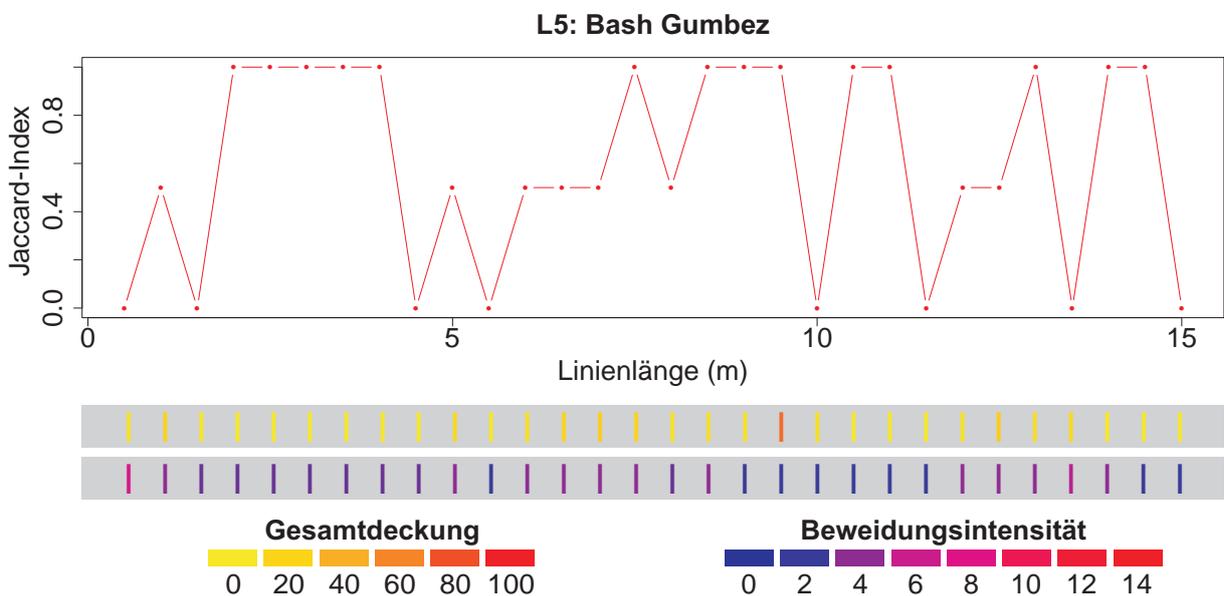


Abbildung 5.88: Linientransekt L5 Bash Gumbez durch Tiefenlinie

Das Transekt L4 (Abb. 5.90) hat eine Länge von 60 m und wurde mit Lücken, allerdings ohne Auslassen größerer Abschnitte, aufgenommen. Zwischen der Gesamtdeckung und der Beweidungsintensität lässt sich entlang des Transekts ein negativer Zusammenhang feststellen.

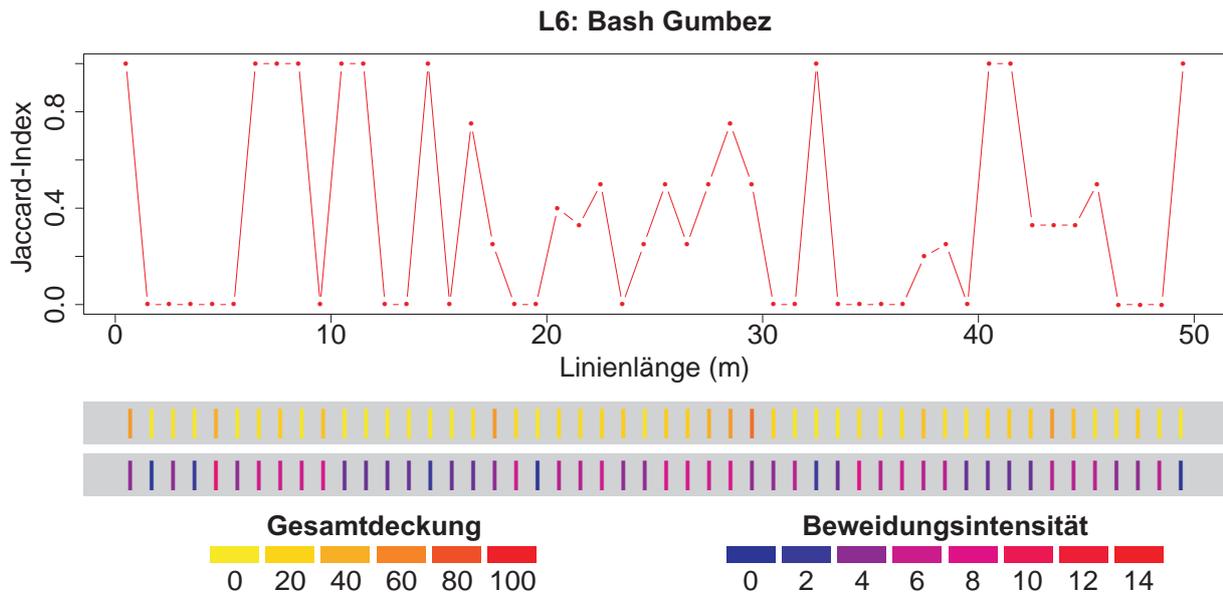


Abbildung 5.89: Linientransekt L6 Bash Gumbez durch Tiefenlinie

Mit steigender Beweidungsintensität, besonders durch die Variable Tritt bedingt, sinkt die Gesamtdeckung. Während der Jaccard-Index innerhalb der ersten 15 m stark variiert, pendelt er sich zwischen 20 m und 28 m auf einem unveränderlichen Niveau von 1 ein, was bedeutet, dass es zu keinem Wechsel in der Artzusammensetzung kommt. Ein Vergleich der Deckung für die gesamte Linie zeigt, dass in diesem Bereich das Minimum der Deckung, jedoch das Maximum der Beweidung zu vermerken ist. Die zwischen 28 m und 55 m häufiger auftretenden vollständigen Artwechsel sind gleichzusetzen mit den Stellen, an welchen die Linie Viehgangeln oder größere Trittsflächen schneidet.

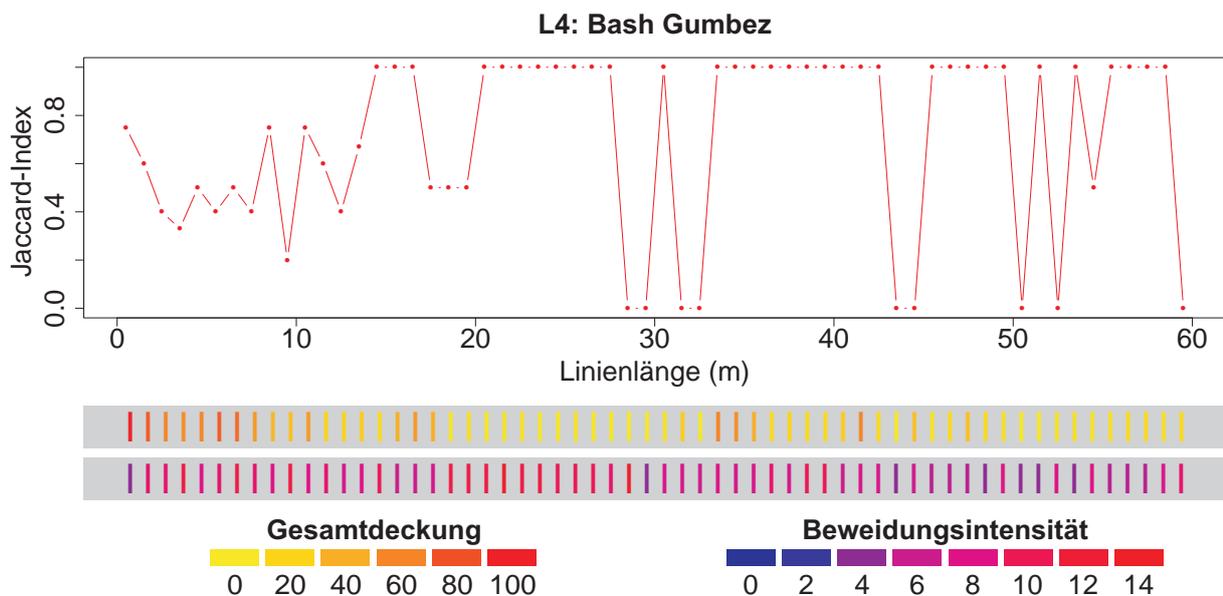


Abbildung 5.90: Linientransekt L4 Bash Gumbez über stark trittbelastete Fläche



Abbildung 5.91: Ausschnitt des Transekts L6 durch Tiefenlinie

5.9.3 Transekte Madian Seitental

L11, zu sehen unter Abbildung 5.92, unterscheidet sich von denen im Bash Gumbez sehr stark. Zwar ist hier ebenfalls ein Transekt durch eine Tiefenlinie dargestellt, allerdings ist die Bedeckung entlang des Transekts sehr gering. Die Beweidungsintensität und die Gesamtdeckung weisen einen positiven Zusammenhang auf. Flächen mit minimal ansteigender Gesamtdeckung weisen eine sehr viel höhere Beweidungsintensität als umliegende Bereiche auf. Zweimal kommt es innerhalb der 40 m Linie zu dieser Erscheinung. Damit einher geht ebenfalls eine Veränderung im Jaccard-Index, der innerhalb des Transekts fast immer auf einem Wert von 1 verharrt. Mit Ausnahme einer Stelle bei 27 m nimmt er neben den Werten von 1 nur noch den Wert 0 innerhalb der stärker beweideten Streifen an. Diese sogenannten Streifen entsprechen den zwei entlang des Transekts befindlichen Tiefenlinien. Während außerhalb der Tiefenlinie, mit Ausnahme einer *Christolea crassifolia*, kein Pflanzenwachstum verzeichnet werden kann, wachsen innerhalb der Tiefenlinie *Artemisia rhodantha*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa orientalis* und *Stipa caucasica*.

Hinter dem kleinen Pass, welcher das Madian Seitental von Murghab trennt, wurde das Transekt L12 aufgezeichnet. Zu sehen ist es unter Abbildung 5.93. Die Flächen um den Pass sind durch extrem breite Gangeln, die häufig als Autobahnvihangeln bezeichnet werden, sind in Abbildung 5.94 zu sehen, was bedeutet, dass es in diesem Bereich zu einer Anhäufung der Gangeln kommt, da die Hirten teilweise täglich ihr Kleinvieh über den Pass in das Nachbartal

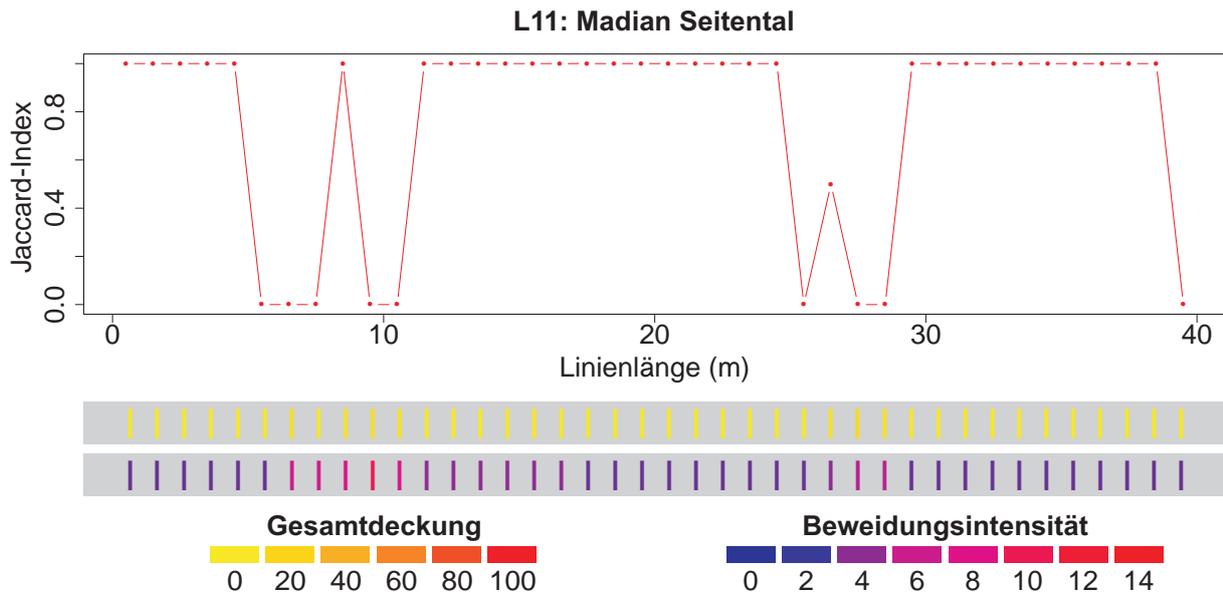


Abbildung 5.92: Linientransekt L11 Madian Seitental am Pass durch Tiefenlinie

treiben. Die Deckung ist auf den meisten Flächen 0%. Die wenigen Ausnahmen können aus der Veränderung des Jaccard-Index abgelesen werden. Zu den Pflanzen die hier vorkommen gehören *Christolea crassifolia*, *Krascheninnikovia ceratoides* und *Artemisia rhodantha*.

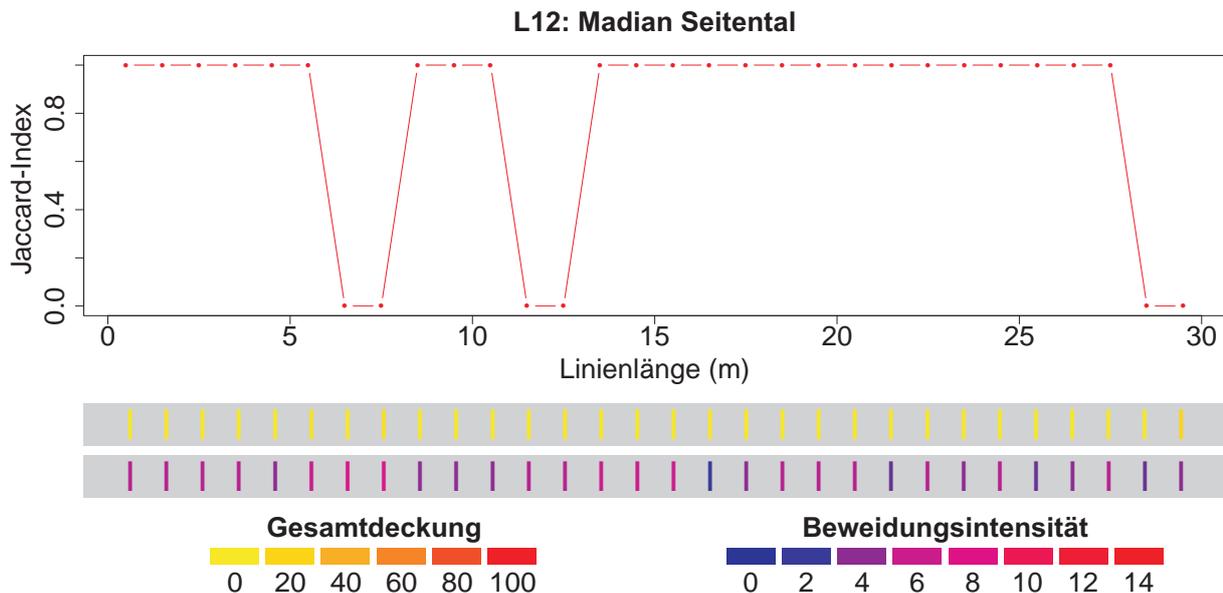


Abbildung 5.93: Linientransekt L12 Madian Seitental am Pass - Autobahnviehgangeln

Das lange Linientransekt L13 verläuft sowohl durch stark ausgebildete Viehgangeln, als auch durch eine Tiefenlinie. Insgesamt ist das Transekt 130 m lang. Im Gegensatz zu den Linientransekten aus dem Pshart Gumbez Kol oder Bash Gumbez sind hier die Variationen wieder sehr gering. Der Jaccard-Index verzeichnet meist eine vollständige oder überhaupt keine Veränderung in der Biodiversität zwischen den Flächen zu verzeichnen. Während die Unterschiede



Abbildung 5.94: Große Viehangeln (Autobahnviehangeln) hinter dem Pass bei Murghab

in der Gesamtdeckung eher gering sind, lassen sich bei der Beweidungsintensität zwei Maximalbereiche ersehen. Einer liegt zwischen 80 m und 95 m, der zweite zwischen 110 und 125 m. Abbildung 5.95 zeigt auch, dass die wenigen Maximalwerte der Deckung, die alle unter 50% liegen, liegen, sich in den Bereichen höchster Beweidungsintensität befinden. Die geringe α -Diversität erklärt, zusammen mit der niedrigen Deckung, die geringe β -Diversität. Arten der Fläche sind in erster Linie *Ajania fruticulosa*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa caucasica* und *Acantholimon diapensioides*. Ferner tritt *Leymus secalinus* und *Stipa orientalis* auf.

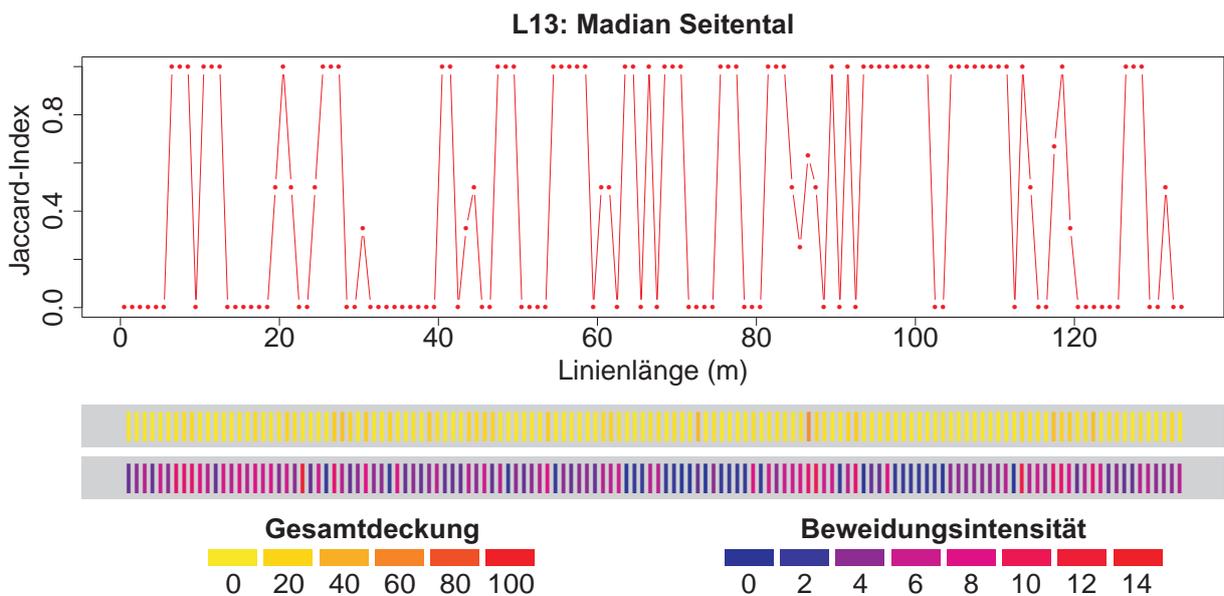


Abbildung 5.95: Linientransekt L13 Madian Seitental durch Tiefenlinie mit starker Viehangelbildung

5.9.4 Transekte sonstiger Gebiete

In der Alichur Range wurde das Transekt L8 in der Nähe einer Tereskenstechfläche aufgenommen. Mit einer Länge von nur 8 m stellt es das kürzeste Linientransekt (Abb. 5.96) dar. Besonderheiten bezüglich Gesamtdeckung und Beweidungsintensität sind nicht zu erkennen. Zwar finden sich auch hier nur wenige Arten und eine niedrige Deckung, jedoch sind die Verteilungen unterschiedlich, was bedeutet, dass es immer wieder zu einem Auftreten und Wegfallen der Arten kommt. Das zeichnet sich im Jaccard-Index ab. Die häufigst vertretene Art ist *Stipa caucasica*. Ihr Vorkommen wird ergänzt durch *Krascheninnikovia ceratoides*, *Acantholimon diapensioides* und *Xylanthemum pamiricum*.

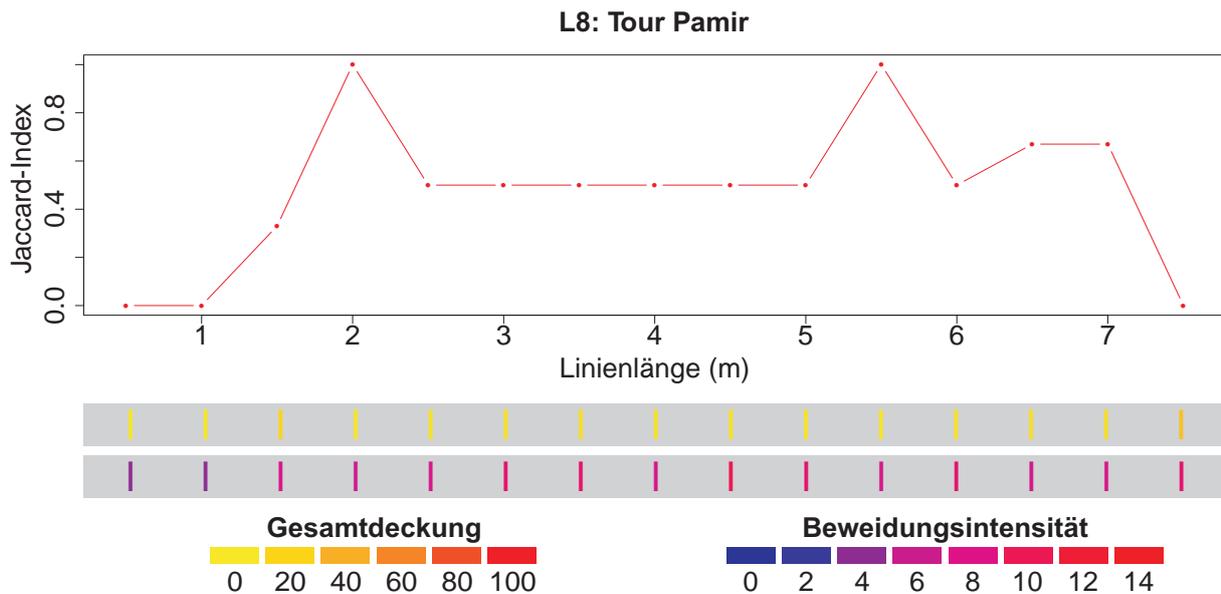


Abbildung 5.96: Linientransekt L8 Alichur Range in der Nähe der Tereskenstechfläche

Auf den Heuwiesen im Madiantal wurde ebenfalls ein Linientransekt (Abb. 5.97) aufgenommen. Hier soll der Übergang vom trockenen zum feuchteren Bereich dargestellt werden. Die Gesamtlänge des Transekts beträgt 60 m. Innerhalb des trockenen Bereichs kommt es über einen längeren Zeitraum zu keinem Wechsel in der Artenzusammensetzung, da die auf der ersten Aufnahme vorhandene *Christolea crassifolia* durch keine Deckung abgelöst wird. Innerhalb dieses Bereichs ist die Beweidungsintensität auf einem Minimum. Lediglich Tritts Spuren lassen sich stellenweise erkennen. Bis zur 20 m Markierung kommt vereinzelt *Christolea crassifolia* oder *Tanacetum* hinzu und verschwindet wieder. Erst ab 20 m kommt es dazu, dass die wenigen Arten länger als einen Abschnitt vertreten sind. Bei 29 m kommt erstmals *Leymus secalinus* hinzu. Bei 42 m tritt die erste *Kobresia* in Erscheinung. Der feuchte Bereich, welcher sich durch eine steigende Artenvielfalt auszeichnet, wird von einer steigenden Gesamtdeckung begleitet. Mit Stabilisierung der Vegetationseinheit steigt der Jaccard-Index auf durchschnittlich 0,8 an, was zur Folge hat, dass es nur noch zu einem Wechsel einzelner Arten kommt.

Im Madian Gumbes Kol wurde der Versuch unternommen, eine Linie direkt auf der Gangel entlang zu legen, um feststellen zu können, welche Arten sich überhaupt auf einer Gangel ausbilden und ob es Veränderungen in der Gesamtdeckung entlang dieser gibt (Abb. 5.98). Entlang der 35 cm breiten Gangel wurde ein 14 m langes Transekt gelegt. Die Gesamtdeckung

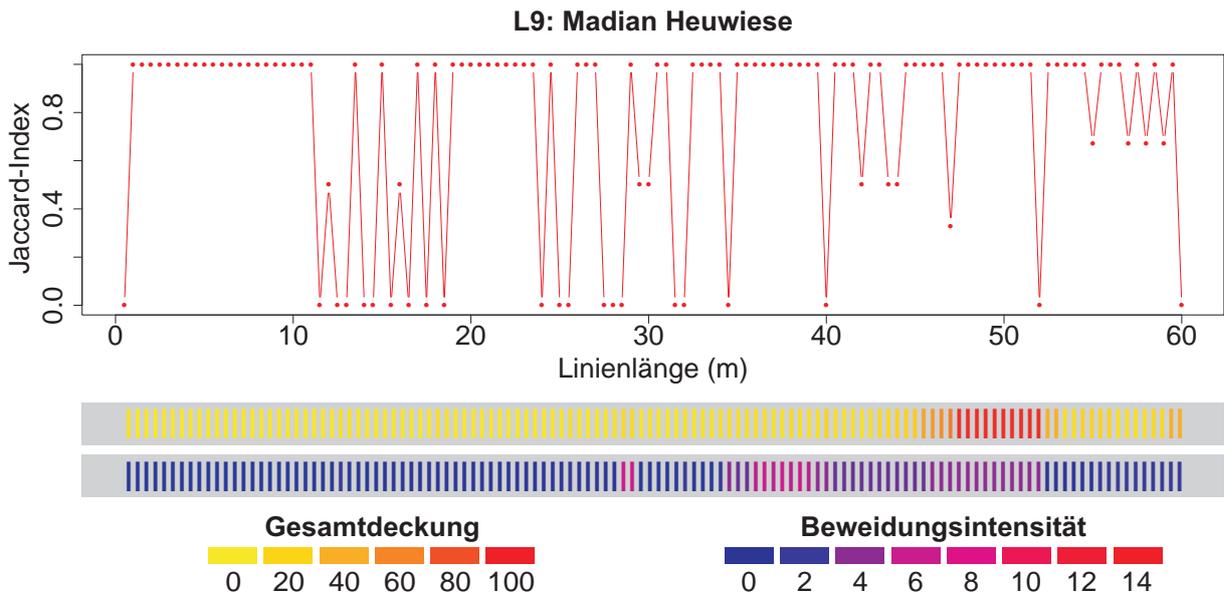


Abbildung 5.97: Linientransekt L9 Madian im Übergang von der Leymusfläche zum Quellrasen

variiert minimal mit einem Maximum von 50% im letzten Abschnitt. Die Beweidungsintensität ist, abgesehen vom Tritt, niedrig, steigt aber mit zunehmender Deckung an. Der Jaccard-Index hat relativ niedrige Werte, was auf einen häufigen Artwechsel hindeutet. Neben *Artemisia ruti-folia* treten *Potentilla bifurca* und *Krascheninnikovia ceratoides* sowie *Stipa orientalis* häufiger in Erscheinung.

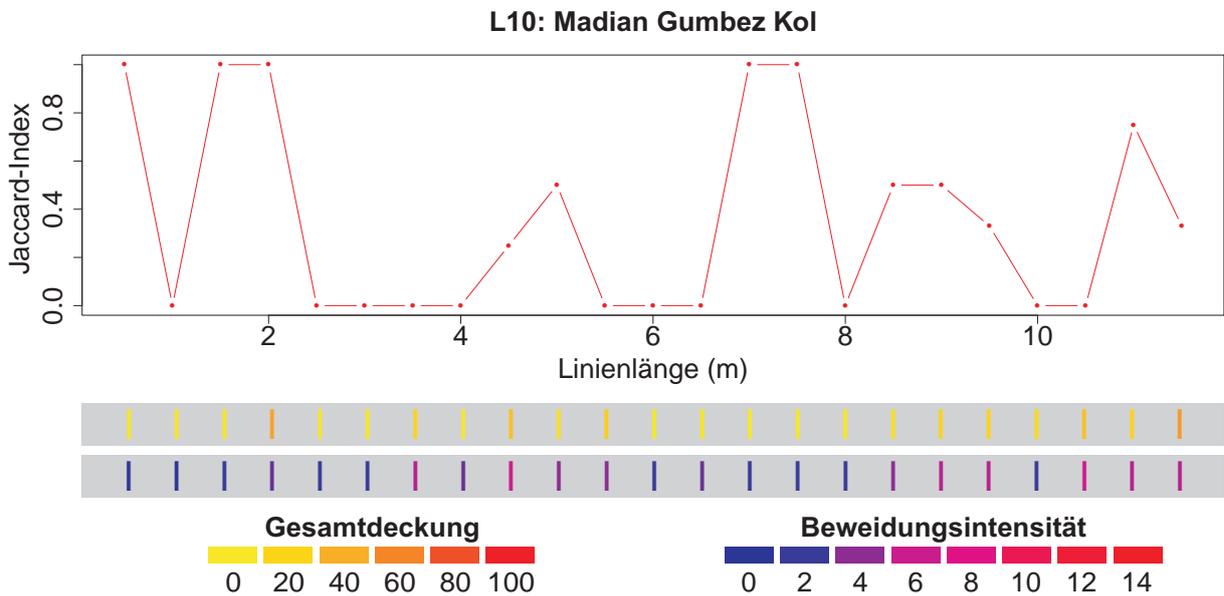


Abbildung 5.98: Linientransekt L10 Madian Gumbez Kol auf einer Gangel

5.10 Zusammenfassung

1. Der Einfluss von *Marmota caudata*

- Bash Gumbez:

Die mittlere Gesamtdeckung ist innerhalb der von Murmeltieren beeinflussten Flächen der Deckung aller Flächen ähnlich. Die Artenzahl spiegelt ein äquivalentes Muster wieder. Innerhalb der vertretenen Arten bestehen Unterschiede. Während beispielsweise *Potentilla pamirica* für die Murmeltierflächen von Bedeutung ist, hat es für die Betrachtung aller Flächen des Tales keinen hohen Stellenwert. Umgekehrt verhält es sich mit Arten wie *Oxytropis microphylla* und *Lindelofia stylosa*, die auf Gesamtebene eine Rolle spielen. Besonders wichtig ist die Tatsache, dass *Acantholimon diapensioides* für die Murmeltierflächen eine deutlich geringere Bedeutung hat als für das gesamte Tal.

- Madian Gumbez Kol:

Die Gesamtdeckung der Mesoflächen verhält sich ähnlich. Innerhalb der Mikroflächen weisen diejenigen, die unter Murmeltiereinfluss stehen, eine geringere Deckung auf. Differenzen bezüglich der mittleren Artenzahl sind zu vernachlässigen. Auch hier spielt *Acantholimon diapensioides* auf den Murmeltierflächen eine geringere Rolle. Für die Murmeltiermesoflächen sind insbesondere *Krascheninnikovia ceratoides* und *Potentilla bifurca* von Bedeutung.

- Pshart Gumbez Kol:

Der Mittelwert verhält sich sowohl bezüglich der Gesamtdeckung als auch bei Betrachtung der Artenzahl ähnlich. Bei Betrachtung aller Flächen sind die Schwankungen deutlich größer. *Acantholimon diapensioides* und *Krascheninnikovia ceratoides* sind für die Gesamtflächen deutlich weniger bedeutend.

2. Mikroskizzenauswertung

- Murmeltierskizzen:

Viele Murmeltierflächen weisen eine relativ hohe Gesamtdeckung auf. Allerdings ist häufig ein hoher Teil der Biomasse bereits tot und liegt als Nekromasse vor. Eine Toleranz gegenüber aufgeworfenem Schotter zeigen *Seriphidium leucotrichum* und *Stipa*.

- Skizzen unter Schafsbeweidung:

Unter Einfluss von Schafen kommt es häufig zu einer Ausbildung von Polstern und Zwergsträuchern.

- Skizzen unter Ziegenbeweidung:

Innerhalb der Beweidung der Ziegen entstehen kleine, zerpfückte Strukturen. Tolerante Arten gegenüber Ziegenbeweidung scheinen *Krascheninnikovia ceratoides*, *Stipa orientalis* und *Stipa caucasica* zu sein.

- Skizzierter Tritteinfluss:

Entlang ausgeprägter Gangeln ist die Gesamtdeckung sehr gering. *Krascheninnikovia ceratoides* hält dem Druck durch Tritt am besten stand. Bei Ausbildung kleiner Trittfleichen kommt es zur Ausbildung kleiner Artenstrukturen.

3. Korrelationsanalyse

Die Korrelationsanalyse erfolgt unter Anwendung des Spearman-Korrelationskoeffizienten. Im Folgenden kurz zusammengefasst die wichtigsten Ergebnisse der Korrelation:

- Mit zunehmender Beweidungsintensität steigt die Gesamtdeckung. Bodenparameter, die den Humusgehalt beschreiben, beeinflussen die Gesamtdeckung ebenso positiv.
- Mit steigender Beweidungsintensität kommt es zu einem Rückgang von *Artemisia rhodanta*.
- *Carex pseudofetida* nimmt mit steigender Beweidungsintensität sowie Kalkgehalt zu.
- Bei *Oxytropis platonychia* fällt besonders der positive Zusammenhang mit den Bodenparametern Humusgehalt, Stickstoff und Schluffanteil auf.

4. Klassifikation nach Bodeneigenschaften

- Gruppe a besteht in erster Linie aus ZPSS-Flächen. Die Flächen haben einen niedrigen Skelettanteil, hohen Sandgehalt, niedrige Kalk- und pH-Werte gemeinsam.
- Gruppe c gehört der Felsformation an. Sowohl der Anteil organischen Materials als auch C/N-Verhältnis, pH-Wert und Leitfähigkeit nehmen in dieser Gruppe minimale Werte an. Der Skelettanteil liegt deutlich über dem der anderen Gruppen.
- Flächen der Gruppe f, die der Quellrasenformation angehört, liegen alle in der Nähe perennierender Gewässer. Ein hoher Schluffgehalt sowie hohe Werte organischen Materials kennzeichnen diese Böden.
- Die Alpinen Matten (Gruppe g) ähneln in ihren Bodeneigenschaften der Gruppe f, nehmen jedoch keine so hohen Werte bezüglich der Bodenparameter ein. Auch ist der Abstand zum nächsten perennierenden Gewässer deutlich größer.
- Die der ZPSK-Formation zugehörige Gruppe h weist hinsichtlich der Bodencharakteristika keine Besonderheit auf. Der geringe Sandanteil wird innerhalb dieser Gruppe durch einen hohen Schluffanteil ergänzt.

5. Vegetationsklassifikation

Da die Klassifikation der Vegetation mittels Clusteranalyse nach Gebieten getrennt stattfand, soll im folgenden eine Auflistung der Vegetationseinheiten und der mit diesen verbundenen wichtigsten Ergebnisse aus der Klassifikation stattfinden.

- Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ *Seriphidium leucotrichum* (ZPSS): Neben *Seriphidium leucotrichum* treten die Arten *Oxytropis microphylla* und *Stipa caucasica* sowie *Acantholimon diapensioides* häufig auf. Die Flächen finden sich oft auf Moränenmaterial oder Resten alluvialer Schwemmfächer. Alle Flächen sind im Bash Gumbes zu verorten.
- Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ *Krascheninnikovia ceratoides* (ZPSK): Den meisten Flächen gemeinsam ist ein Vorkommen der Arten *Acantholimon diapensioides*, *Carex stenophylla*, *Leymus secalinus*, *Elymus spec.*, *Poa attenuata* und *Krascheninnikovia ceratoides*. Die Leymussteppen, die sich als Untergruppe der

ZPSK ausbilden, haben eine geringe Deckung. Innerhalb der ZPSK schwanken die Deckungswerte ebenso wie die Artenzahl stark.

- **Wüsten- und Zwergstrauchwüsten:**
Die Wüstenflächen liegen in den Talböden und weisen eine hohe Leitfähigkeit auf. Neben einer geringen Artenzahl sind die Wüstenflächen durch eine niedrige Gesamtdeckung gekennzeichnet. Als kennzeichnende Arten werden *Krascheninnikovia ceratoides*, *Artemisia rutifolia* und *Stipa orientalis* sowie *Stipa caucasica* ausgewiesen.
- **Quellrasen:**
Die Gruppe der Quellrasen wird durch eine hohe Gesamtdeckung und Artenzahl gekennzeichnet. Zu den wichtigen Arten gehören *Carex pseudofetida*, *Trisetum spicatum*, *Carex melanthea*, *Colopodium leucolepis* und verschiedene *Primula*arten.
- **Felsvegetation:**
Alle Flächen der Felsvegetation weisen eine geringe Artenzahl und Gesamtdeckung auf. Zu den typischen Arten gehören *Stellaria turkestanica*, *Didymophysa fedtschenkoana* und *Nepeta longibracteata*.
- **Alpine Matten:**
Ähnlich den Quellrasen haben die Alpinen Matten auch eine hohe Deckung. Typische Arten sind *Poa attenuata*, *Carex stenophylla*, *Acantholimon diapensioides* und verschiedene *Potentilla*arten.

6. Klassifikation nach Störungen

- Die Gesamtdeckung ist in den von Murmeltieren und Schafen zusammen mit Ziegen beeinflussten Gruppen am niedrigsten.
- Die Artenzahl ist auf Flächen unter dem Einfluss von Murmeltieren niedrig.
- Eine Beweidung mit Yaks und Schafen bringt die höchste Artenzahl, nicht aber die maximale Deckung hervor.
- Flächen, die dem Einfluss von Rutschungen oder Solifluktion unterliegen, haben neben einer geringen Artenzahl auch eine niedrige Gesamtdeckung.

7. Diskriminanzanalyse (DA)

- Die DA auf Basis der Vegetationsklassifikation der Pamirmesoflächen ergab eine richtige Klassifikation der Flächen mit einer Wahrscheinlichkeit von 62,4%.
- Zum Vergleich wurden die Vegetationseinheiten weiter zusammengefasst und dabei erreichte die DA richtige Gruppeneinteilungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 73,8%.
- Die DA nach Tälern lieferte ebenfalls gute Ergebnisse. Im Bash Gumbez wurden 86,5% der Flächen richtig klassifiziert und im Pshart Gumbez Kol waren es 83,7%. Das schlechteste Ergebnis liefert die DA für das Tal Madian Gumbez Kol mit nur 60,7% richtig klassifizierten Flächen.
- Probleme in der Klassifikation traten in den meisten Fällen innerhalb der ZPSK-Gruppe auf.

8. Detrended Correspondence Analysis (DCA)

■ DCA Pamir 2008:

Die DCA aller Mesoflächen zeigt, dass die Gruppe der Felsvegetation besonders durch UTM-Easting, Westlichkeit, Hangneigung und Entfernung zur Siedlung beschrieben wird. Die Quellrasen scheinen besonders durch Humus beeinflusst. Mit erhöhtem Sandanteil und zunehmender Entfernung zum Wasser kommt es zur Ausbildung der ZPSS und Wüstenformationen. Die ZPSK-Flächen streuen am stärksten im Ordinationsraum.

■ DCA Bash Gumbez:

Nur Stickstoff, Kohlenstoff, C_{org} , Humus, C/N-Verhältnis, Südlichkeit und Westlichkeit sind signifikant. Leymussteppen und Quellrasen sind durch hohe C/N-Werte gekennzeichnet.

■ DCA Madian Gumbez Kol:

Die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten werden durch einen hohen Gehalt an $CaCO_3$ gekennzeichnet. Ein Teil der ZPSK-Flächen weist eine erhöhte Leitfähigkeit und starken Beweidungseinfluss auf.

■ DCA Pshart Gumbez Kol:

C/N-Verhältnis und Humusgehalt beeinflussen in erster Linie die Quellrasen. Murmeltier und Leitfähigkeit haben sowohl auf die Alpinen Matten als auch auf die ZPSK-Flächen einen starken Einfluss.

9. Nichtmetrische Multidimensionale Skalierung (NMDS)

■ NMDS Pamir 2008 (Flächen):

Die Quellrasenflächen ordnen sich klar gruppiert auf einer Seite an. Prägend sind Humusgehalt und die Entfernung zur Jurte. UTM-Easting sowie ein hoher Schluff- und Tonanteil beschreibt die Gruppe der Felsvegetation. Die ZPSK-Flächen streuen. Hier lässt sich eine Tendenz zur Toleranz von Verbiss erkennen.

■ NMDS Pamir 2008 (Arten):

Hordeum turkestanicum und *Chenopodium foliosum* zeigen eine Ausrichtung mit zunehmenden C/N-Verhältnis. Durch Neigung und Murmeltier werden *Nepeta kokanika*, *Dracocephalum stamineum* und *Rhodiola pamiroalaica* gesteuert.

■ NMDS Bash Gumbez (Flächen):

Die Leymusflächen zeichnen sich deutlich ab. Der entscheidende Faktor ist dabei neben der zunehmenden Entfernung zum Wasser ein abnehmender Stickstoffgehalt im Boden. Bei den Flächen der ZPSS-Formation lässt sich eine Tendenz zur Südlichkeit erkennen.

■ NMDS Bash Gumbez (Arten):

Quellrasenarten wie *Kobresia royleana* richten sich entlang des $CaCO_3$ -Gradienten aus. *Potentilla pamirica* zeigt sich gegenüber dem Einfluss von Murmeltieren tolerant.

- NMDS Madian Gumbez Kol (Flächen):
Aufgrund der heterogenen Verteilung lässt sich lediglich für die hellblau gekennzeichnete Gruppe der ZPSK-Flächen eine beschreibende Umweltvariable ausweisen, die in diesem Fall die Entfernung zur Jurte ist.
- NMDS Madian Gumbez Kol (Arten):
Tritt tolerierend scheinen die Arten *Nepeta longibracteata* und *Artemisia rupestris* zu sein. Mit steigendem Murmeltiereinfluss finden sich insbesondere *Elymus spec.*, *Draba altaica*, *Stipa caucasica* und *Potentilla bifurca*.
- NMDS Pshart Gumbez Kol (Flächen):
Eine klare Abzeichnung der Gruppen ist gegeben. Die Quellrasen richten sich vor allem entlang der Gradienten Humus, Entfernung zur Jurte und C/N-Verhältnis aus. Die Alpinen Matten sind durch Verbiss und Südlichkeit geprägt.
- NMDS Pshart Gumbez Kol (Arten):
Auf Flächen mit hohen Verbisswerten kommt vor allem *Hordeum turkestanicum* vor. Unter dem Einfluss von Murmeltieren können die Arten *Oxytropis platonychia* und *Saxifraga flagellata* bestehen.
- NMDS Bash Gumbez nach Störungen
Die Gruppe Ziege und Schaf wird durch N, Humus und CaCO₃ gesteuert. Auf die zweite Gruppe, Yak und Schaf, haben Südlichkeit, Neigung und Sandgehalt Einfluss. Murmeltierflächen streuen im Ordinationsraum.
 - a) Ziege und Schaf
Alle Flächen gehören der ZPSS-Formation an. Korngröße und Höhe sind die entscheidenden Variablen. Allgemein finden sich eher wenig Arten auf den Flächen. Von N beeinflusst zeigen sich vor allem *Carex stenophylla*, *Christolea crassifolia* und *Potentilla pamirica*.
 - b) Yak und Schaf
Eine eindeutige Formationszuordnung ist nicht möglich. Die meisten Flächen gehören der Gruppe der Leymussteppen, Quellrasen oder ZPSK an. Die typischen Quellrasenarten zeigen sich durch Humus und Stickstoff beeinflusst. Murmeltiere steuern das Vorkommen von *Seriphidium leucotrichum* und *Nepeta kokanika*.
 - c) Murmeltier
Neben Stickstoff spielen Humus und CaCO₃ eine wichtige Rolle. Die Flächen gehören der ZPSS und ZPSK-Formation an. *Hedysarum* richtet sich entlang des Murmeltiergradienten aus.
- NMDS Pshart Gumbez Kol nach Störungen
Die Gruppen Yak und Murmeltier streuen im Raum. Einzig die zweite Gruppe, die durch Gangel und Tritt gekennzeichnet ist, lässt sich durch bestimmte Variablen wie Ton- und Schluffanteil beschreiben.
 - a) Yak
Die Flächen teilen sich in Quellrasen- und ZPSK-Aufnahmen auf. Die ZPSK-Flächen richten sich in erster Linie entlang der Gradienten UTM-Easting und

CaCO₃ aus. Bei den Quellrasen dominieren die Faktoren Humusgehalt und Entfernung zur Jurte. Hinsichtlich der Arten ist eine Verlagerung in den linken Teil des Diagramms, welcher die Quellrasenflächen beschreibt, zu erkennen.

b) Gangel und Tritt

Die Aufnahmen werden in erster Linie der ZPSK-Formation zugeordnet. Signifikante Vektoren sind die Entfernung zur Jurte und CaCO₃. Die Arten weisen eine zentrumsorientierte Struktur auf. *Hordeum turkestanicum* und *Potentilla pamirica* werden durch CaCO₃ beeinflusst.

c) Murmeltier

Neben Felsvegetation und Quellrasen finden sich vor allem ZPSK-Aufnahmen in Gruppe 3. Höhe, EC, N und Humus sind die entscheidenden Parameter. Die Leitfähigkeit nimmt Einfluss auf das Vorkommen von *Hordeum turkestanicum* und *Festuca rubra*. *Potentilla pamirica* richtet sich entlang des Stickstoffgehaltes aus.

10. Canonical Correspondence Analysis (CCA)

■ CCA Bash Gumbez:

Die Flächen der ZPSS-Formation orientieren sich insbesondere entlang der zweiten Achse und werden durch Umweltvariablen wie Entfernung zur Jurte, Beweidungsintensität, Westlichkeit und Höhe beschrieben. *Krascheninnikovia ceratoides* und *Carex stenophylla* orientieren sich in der Mitte des Diagramms.

■ CCA Madian Gumbez Kol:

Die ZPSK-Flächen stehen unter Einfluss der Variablen Schluffgehalt, Murmeltier-vorkommen und Stickstoff. Tolerant gegenüber Beweidungsintensität und hoher Leitfähigkeit zeigen sich die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten sowie die Elymussteppen.

■ CCA Pshart Gumbez Kol:

Die meisten Flächen orientieren sich entlang der zweiten Achse, welche durch Sandgehalt als dominanter Variable beschrieben wird. Zugehörige Arten der ZPSK sind *Elymus spec*, *Poa attenuata*, *Acantholimon diapensioides* und *Krascheninnikovia ceratoides*.

11. Linientransekte

■ Linien Pshart Gumbez Kol:

L1, ein Transekt vom Bach weg, zeigt, dass in der Nähe des Wassers sowohl die Gesamtdeckung als auch der Jaccard-Index hoch ist. Ebenfalls durch die Entfernung zum Wasser gekennzeichnet ist L2, die einen Zusammenhang zwischen der Beweidungsintensität und der Gesamtdeckung erkennen lässt. Der Jaccard-Index der Linie L7 zeigt deutlich, wie sich der Index verhält, wenn es entlang einer Linie nur zu einem Wechsel zwischen keiner Deckung und dem Vorkommen einer einzelnen Art kommt.

■ Linien Bash Gumbez:

Die im Bash Gumbez betrachteten Transekte verlaufen durch Tiefenlinien. Während außerhalb der Tiefenlinie die Bedeckung meist 0% ist, kommt es mit Beginn

der Tiefenlinie zu einem starken Anstieg der Gesamtdeckung und damit zu einem Wechsel im Jaccard-Index. Innerhalb des Tiefenbereichs zeigen kleine Schwankungen innerhalb des Index, dass es zu leichten Veränderungen in der Artzusammensetzung kommt.

- Linien Madian Seitental:

Die Transekte im Madian Seitental wurden in der Regel in der Nähe des Passes, der Murghab und das Seitental trennt, aufgezeichnet. Hohe Trittwerte und ausgeprägte Viehgangeln sowie eine sehr niedrige Gesamtdeckung prägen das Bild. Auf Grund der wenigen Pflanzen und der geringen Deckung kommt es meist zu einem Wechsel in der Jaccard-Index-Werten zwischen 0 und 1.

- Linien sonstiger Gebiete:

Das Transekt der Alichur Range L8 zeigt trotz weniger Arten einen regen Wechsel in der Zusammensetzung. Das Transekt entlang der Gangel weist einen sehr niedrigen Jaccard-Index auf, was auf einen häufigen Artwechsel und nicht die Dominanz einzelner Arten schließen lässt.

Kapitel 6

Diskussion

6.1 Feldmethoden - Evaluierung und notwendige Modifikationen in der Zukunft

Die dieser Arbeit zu Grunde liegenden Daten wurden in Zusammenarbeit mit Kim Vanselow und Carolin Bimüller aufgenommen und mussten die Ansprüche dreier verschiedener Arbeiten erfüllen, weshalb in manchen Bereichen der Aufnahmemethodik Kompromisse geschlossen werden mussten. Einige kleinere Probleme, die bei der Auswertung aufgefallen sind, sollten zukünftig durch individuelle Spezialisierung bei der Aufnahmemethodik behoben werden.

6.1.1 Aufgenommene Daten der Flächen

Die Umweltparameter wurden lediglich für die Makroflächen aufgenommen. Da innerhalb der Plots auf Homogenität geachtet wurde, scheint dies ausreichend. Hinsichtlich der Bodenparameter muss eine Differenzierung vorgenommen werden. Die Mischprobe, welche für die Makrofläche aufgenommen wurde, musste später für alle Mesoflächen angenommen werden. Der Grund, warum bisher keine Proben der kleineren Einheiten genommen wurden, liegt darin, dass sowohl Kosten als auch Zeitaufwand sehr hoch wären und damit das Kosten-Nutzen-Verhältnis sinken würde. Was jedoch zukünftig sinnvoll erschiene und einen Kompromiss darstellen würde, wäre, die Mischprobe weiterhin innerhalb der Makrofläche zu nehmen und durch kleine Mischproben der $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen zu ergänzen. Diese Proben würden keiner vollständigen Analyse unterzogen werden, jedoch hinsichtlich Stickstoff, Kohlenstoff, Humusgehalt, pH und Leitfähigkeit untersucht werden. Insbesondere die ersten drei treffen für das Pflanzenwachstum wichtige Aussagen, da beispielsweise Stickstoff eines der Hauptnährelemente der Pflanzen darstellt (Ayuba, 2001; Scheffer & Schachtschabel, 2002). Die Analyse der Korngrößenzusammensetzung wäre wegzulassen, da sie zeitintensiv ist und innerhalb einer homogenen Fläche wohl nur geringe Veränderungen hervorbringen würde. Aus Kosten- und Zeitgründen müsste auch die Kationenaustauschkapazität lediglich für die Mischprobe durchgeführt werden.

6.1.2 Scale matters - Abhängigkeit von der Flächengröße

Nach Weiher und Howe ist der Einfluss der Plotgrößen entscheidend für die Aussage bezüglich Artenvielfalt und Einfluss der Umweltvariablen. Viele Umweltparameter wirken sich nur auf

kleinster Ebene wie der Mesofläche aus während beispielsweise Niederschlagseinflüsse regionale Auswirkung zeigen. Insbesondere hinsichtlich Störungen ist ein Zusammenhang mit den veränderten Auswirkungen, je nach betrachteter Ebene, zu bemerken. Ähnlich verhält es sich mit der Artenvielfalt. Starke Differenzen der Artenvielfalt zwischen den unterschiedlichen Aufnahmegrößen konnten bei Betrachtung der Mikro- und Mesoflächen gemacht werden. Artenvielfalt auf Mikro- oder Mesoebene kann durch Zufallsereignisse oder ein gezieltes sampling beeinflusst sein. Zur Vermeidung dieser Effekte empfiehlt es sich, neben verschiedenen Flächengrößen, Linientransekte zu legen, welche eine großräumige Abdeckung erreichen. Kritisch anzumerken sei jedoch, dass Linientransekte sehr zeitaufwendig sind und ebenfalls durch kleinräumige Strukturen stark beeinflusst werden (Weiher & Howe, 2003). Problematisch könnte auch die Tatsache sein, dass sich Vegetation nach Couteron et al. (2003) nur selten homogen verhält und daher keine Annahme homogener Plotgrößen ohne Überprüfung gemacht werden darf. Er schlägt zur Lösung des Problems eine Berechnung der idealen Plotgröße vor, die in erster Linie die Anzahl der einzelnen Arten in jedem Aufnahmequadrat in Verhältnis zur aufgenommen Fläche setzt. Der Aufwand der Methode scheint für Ökosysteme wie sie im Ostpamir vorherrschen, nicht angemessen. Eine Überprüfung sich verändernder Arten entlang von verschiedenen platzierten Linientransekten erscheint sinnvoller.

6.1.3 Qualitätssicherung aufgenommener Vegetationsdaten

Kercher et al. (2003) stellten heraus, dass eine Qualitätssicherung aufgenommener Vegetationsdaten unerlässlich ist. In einem Versuch mit drei verschiedenen Teams, und leicht differenzierter Aufnahmemethodik zwischen zwei der Gruppen, kam es zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen in der Auswertung. Die Präzision von Vegetationsaufnahmen wird zum einen durch den Bearbeiter selbst und zum anderen durch die Methodik der Aufnahme stark beeinflusst. Für spätere Nachvollziehbarkeit müssen letztere gut dokumentiert sein. Um die Qualität des Bearbeiters zu erhöhen wurden die Vegetationsaufnahmen der Mesoflächen, die das Herzstück der Arbeit bilden, im Gelände von zwei unabhängigen Personen aufgenommen und abgeglichen. Dies führt insbesondere bezüglich aufgenommener Arten zu einer erhöhten Sicherheit. Sollen Aufnahmen in einem Gebiet von unabhängigen Bearbeitern durchgeführt werden, empfiehlt es sich, dass alle Bearbeiter zuerst mehrere gleiche Flächen aufnehmen und anschließend die Ergebnisse vergleichen, um Unterschiede ausschließen zu können, die beispielsweise Auswirkungen auf die Clusteranalyse haben könnten (Kercher et al., 2003).

6.2 Grenzen und Möglichkeiten der statistischen Auswertung

Ein grundsätzliches Problem der statistischen Auswertung stellen die im Gelände aufgenommenen Braun-Blanquet Werte dar. Die Arbeitsweise in der Vegetationsökologie lässt sich in vier Schritte gliedern: Aufnahme, Datenstrukturierung, Wahl der Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit und daran anschließend statistische Auswertung mittels Klassifikation und/oder Ordination. Schon der erste Schritt legt fest, ob man sich im weiteren nur für Ordinalmethoden entscheiden darf. Nach Podani (2005; 2006) dürfen Ordinaldaten grundsätzlich nicht in metrische

Daten umgewandelt werden. Die Braun-Blanquet Skala ist als Ordinalskala zu werten. Zu den Hauptgründen, die Podani für die weitere Verwendung ordinaler Daten anführt, gehört die Wahl eines sinnvollen Unähnlichkeitsmaßes. Die Transformation in metrische Daten würde Distanz- und Ähnlichkeitsmaße erlauben, die schlussendlich zu einer Verzerrung des Datensatzes führen können. Ricotta und Giancarlo (2006) hingegen versuchen, in Bezugnahme auf Podani, die Verwendung ordinalskalierter Variablen für weitere Verfahren zu rechtfertigen die teilweise metrische Daten und damit eine Umwandlung der Daten voraussetzen. Wichtig ist dabei sich zuvor zu überlegen, ob der metrische Raum oder aber der topologische Raum von höherer Bedeutung für das jeweilige Projekt ist. Bei Präferenz des metrischen Raumes ist eine Umwandlung der ordinalen Braun-Blanquet-Werte nicht erlaubt. Die Umwandlung der Ordinaldaten in die richtigen Ränge ist dann von hoher Bedeutung.

In der nachfolgenden Statistik wurde die Position von Ricotta und Giancarlo (2006) bevorzugt und eine Umwandlung der Ordinaldaten der Vegetationsaufnahmen in metrische Daten zugelassen. Ausnahme bildet die NMDS, in welcher mit Braun-Blanquet Werten gerechnet wurde, da die NMDS ein Verfahren ist, das speziell für ordinalskalierte Variablen geeignet ist. Des Weiteren sind in den hier zu Grunde liegenden Aufnahmen die Abstände der Braun-Blanquet-Skala gleichmäßiger, was eine Transformation erleichtert. Es muss jedoch bei der Wahl der Parameter der jeweiligen Analyse immer bedacht werden, ob es mit dem vorhandenen Datensatz sowohl mathematisch als auch ökologisch sinnvoll erscheint.

6.2.1 Klassifikation der Flächen mittels Clusteranalyse

Den Vegetationsklassifikationen liegt eine hierarchische Clusteranalyse zu Grunde. Die zuvor schon diskutierte Frage, ob es sinnvoll ist Ordinaldaten vor der Klassifikation zu transformieren versuchten Ziberna et al.(2004) zu klären. Das Ergebnis verschiedener Vergleiche war, dass Ordinaldaten keinesfalls als Nominaldaten behandelt werden dürfen. Die Frage ob Intervallskalierung oder Rangbildung sinnvoller ist, konnte nicht geklärt werden. In Anlehnung an gängige Standardverfahren. z.B. beschrieben in Leyer und Wesche (2007) werden die eigenen Ordinaldaten durch dummy-Variablen ersetzt.

Umstritten ist bei der Klassifikation immer die Wahl der geeigneten Methode. In der Vegetationsklassifikation wurde die Methode des complete linkage gewählt. Nach Legendre und Legendre (2000) liegt das Problem des Verfahrens darin begründet, dass es, je größer die Gruppen werden, schwieriger wird für einzelne Aufnahmen in die Gruppe aufgenommen zu werden, da sie in der Ähnlichkeit mit jeder einzelnen Aufnahme der Gruppe verglichen werden.

Für den hier vorliegenden Datensatz erschien mir das Verfahren durchaus geeignet. Zum einen, da es schon sehr lange in der Vegetationsökologie verwendet wird und sich daher in gewisser Weise bewährt zu haben scheint und zum anderen weil es für die Klassifikationen wichtiger war, dass die Ähnlichkeit innerhalb der Gruppe hoch ist. Die Abstände der einzelnen Gruppen bzw. eine höhere Unähnlichkeit waren von geringerer Bedeutung.

6.2.2 Vergleich der Ordinationsmethoden: Aussage, Anwendung und Probleme

In dieser Arbeit wurden drei verschiedene Ordinationsmethoden dargestellt. Grund dafür ist die starke Diskussion der richtigen Methode für den individuellen Datensatz und der Versuch, durch Anwendung der drei verschiedenen Methoden die für den Ostpamir am ökologisch sinnvollsten und vom mathematischen Standpunkt am besten vertretbare Ordinationsmethode herauszufiltern. In einem Vergleich hat Minchin (1987) herausgestellt, dass die DCA, solange kein Rauschen im Datensatz existiert, die Daten perfekt wiedergibt. Die NMDS zeigt sich Rauschen bzw. Störungen im Datensatz gegenüber deutlich robuster. Die Positionen, welche die NMDS für die Aufnahmen angibt, sind exakter als bei der DCA. Sowohl DCA als auch NMDS zeigen sich gegenüber quantitativen Rauschen weniger anfällig als gegenüber qualitativen Störungen wie z.B. dem bloßen Vorhandensein von presence-absence Daten. Die NMDS erweist sich insbesondere unter Anwendung der Bray-Curtis-Ähnlichkeit als robuste und exakte Ordinationsmethode.

Ein Vergleich der NMDS und der DCA des Tales Pshart Gumbes Kol zeigt, dass die DCA der kleinen Gruppe der Felsvegetation (blau eingefärbt) gegenüber deutlich stärker reagiert als die NMDS. Folge ist eine leichte Verzerrung und Übergewichtung der Ausreißergruppe. Der Pfeil Entfernung zur Jurte nimmt beispielsweise bei der DCA auf die Quellrasen kaum Einfluss, was sich in der Realität durch Beobachtungen und in der NMDS aus Berechnungen anders abzeichnet. Der Trend der Aufnahmen stimmt in der DCA mit der NMDS überein, jedoch muss insbesondere bei kleinen Gruppen mit Extremwerten beachtet werden, dass es dadurch zu einer Verzerrung innerhalb der DCA kommen kann.

Im Unterschied zu NMDS und DCA beschreibt die CCA eine direkte Gradientenanalyse. Die Verortung im Raum wird nicht mehr nur durch die Pflanzenaufnahmen, sondern auch durch die Umweltvariablen bestimmt (Wagner, 2004). Die CCA stellt ein geeignetes Verfahren dar, „wenn die Variation der Artdaten, die in Zusammenhang mit den verfügbaren Umweltvariablen steht, interessant ist“ (Leyer & Wesche, 2007:92). Bei der CCA handelt es sich also nicht um eine Alternative zu DCA und NMDS, da das Ziel ein anderes ist (Okland, 1996).

Zusammenfassend lässt sich für den eigenen Datensatz sagen, dass eine DCA gut ist, um einen kurzen Überblick zu bekommen, eine NMDS aber insgesamt zu bevorzugen ist. Bei Verwendung der NMDS entgeht man auch dem Problem der ordinalskalierten Datentransformation. Die CCA birgt in sich Probleme auf die im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden kann. Sie stellt aber sicher ein gutes, ergänzendes Instrument zur NMDS dar.

6.2.3 Die Verwendung der Diskriminanzanalyse (DA) für ökologische Fragestellungen

Die Diskriminanzanalyse findet bisher in der Ökologie vergleichsweise wenig Verwendung. Bekannter ist diese Methode linearer Modellierung eher aus Bereichen wie Wirtschaft oder Finanzmathematik. Legendre und Legendre (2000) haben die Anwendung der Diskriminanzanalyse für ökologische Fragestellungen geprüft und erkannt, dass sich diese eignet zu zeigen, welche Variablen eines Datensatzes eine gegebene Gruppenstruktur erklären.

Ziel der Diskriminanzanalyse dieser Arbeit ist es in erster Linie, die aus der Vegetationsklassifikation erhaltene Gruppenstruktur zu verifizieren. Die Variablen, die dabei eine Rolle spielen, sind nur am Rande interessant, können aber mit den signifikanten Umweltvariablen der Ordination verglichen werden. Interessantes Ergebnis der DA ist, dass eine auf Basis der Vegetationsklassifikation durchgeführte eigene Gruppenstrukturierung (vgl. Abschnitt 5.5.1) ein besseres Gruppierungsergebnis für das gezeigte Beispiel liefert. Diese Tatsache stellt die Bedeutung der nötigen fachlichen Kenntnisse bei Durchführung statistischer Auswertungsmethoden heraus.

6.2.4 Die Beta-Diversität als Maß für räumliche Vielfalt

Die in der Arbeit aufgenommenen Linientransekte wurden mittels presence-absence Verfahren aufgenommen. Kohleff et al. haben 2003 in einer Studie die Verwendung der Beta-Diversität für presence-absence Daten dargelegt. Sie legen der Beta-Diversität die Eigenschaft zugrunde Veränderungen in der Artzusammensetzung entlang verschiedener Umweltgradienten identifizieren zu können. Sie kann sowohl zur Identifizierung ähnlicher Flächen als auch für die Festlegung biogeographischer Grenzen und der Ausweisung von Übergangszonen genutzt werden. Transekte eignen sich zur Messung des Jaccard-Index besonders gut. Auf Grund der, durch direkt aneinander grenzende Minimalflächen entlang der Transekte, Empfindlichkeit der Messung, wird die Beschreibung durch zusätzliche Werte häufig gefordert. Der Artwechsel bzw. Veränderungen in der Artenzusammensetzung sind oftmals das Ergebnis räumlicher Distanz. Der Vergleich der beiden extremsten Aufnahmequadrante entlang der Linie kann, auf Grund der damit implizierten Annahme der Vergleichbarkeit, im Falle einer Ähnlichkeit dazu führen, dass eine Scheinähnlichkeit in die nicht untersuchten, dazwischenliegenden Flächen impliziert wird.

Den aufgenommenen Linientransekten lag in den meisten Fällen ein Umwelt- oder Aufnahmegradient zu Grunde. So wurden beispielsweise im Pshart Gumbez Kol Linien mit zunehmender Entfernung zum Wasser oder im Bash Gumbez durch eine Tiefenlinie hindurch gelegt. Die Ausweisung lokaler Grenzen scheint mittels der Beta-Diversität teilweise möglich. So lässt sich in einem markanten Wechsel der Werte des Jaccard-Index beispielsweise der Beginn und das Ende einer Tiefenlinie erkennen. Die zusätzlich betrachteten Faktoren Beweidungsintensität und Gesamtdeckung können zumindest hinsichtlich der Identifizierung von Übergangsbereichen oder Grenzen als Zusatzwerte zu Rate gezogen werden.

Nach Jurasinski und Kreyling (2007) kann ein Anstieg der Alpha-Diversität zu einem Rückgang der Beta-Diversität führen. Eine Veränderung der Beta-Diversität kann zwei Gründe haben: Zum einen kann es zu einem allgemeinen Verlust der Biodiversität kommen und zum anderen ist es möglich, dass Arten durch dominant vertretene, ubiquitäre Exemplare ersetzt werden. Die Beta-Diversität ist insbesondere hinsichtlich Ökosystemfunktion, Ökosystemmanagement und Bewahrung der Biodiversität von Bedeutung.

Um Aussagen dieser Art treffen zu können, bedarf es mehrjähriger Experimente. Gerade mit Blick auf den letzten Punkt und der dargestellten Bedeutung der Beta-Diversität für das Ökosystem, wäre es lohnenswert Forschungen in diesem Bereich über längere Beobachtungszeiträume hinweg zu vertiefen.

6.3 Equilibrium versus non-equilibrium Ökosystem?

Die Einordnung der Systeme in den Zustand des equilibrium (EQ) oder non-equilibrium Ökosystems (NEQ) hat in den letzten 20 Jahren in der Geoökologie eine entscheidende Stellung eingenommen. Daher ist es nicht verwunderlich, dass insbesondere hinsichtlich dessen zahlreiche Einordnungsversuche und Diskussionen bekannt sind.

Nach der in Kapitel 3.3 dargelegten Faktoren zur Einordnung in ein NEQ oder EQ muss für die eigens aufgenommenen Flächen festgestellt werden, dass, soweit es mit der Prüfung eines einjährigen Datensatzes möglich war, ein Zwischenzustand vorliegt. Dieser wird durch nachfolgende Faktoren begründet:

- **Artenunabhängigkeit**
Innerhalb der Flächen besteht eine Unabhängigkeit der Arten voneinander. Wettbewerb bildet nicht den entscheidenden Faktor für die Artzusammensetzung. Daher sind nicht bestimmte Arten für die Ausbildung der Artzusammensetzung nötig.
- **ungesättigt**
Eine Prüfung der Bodenparameter ergibt, dass kein gesättigter Zustand vorliegt. Daher spielen pflanzenverfügbare Nährstoffe wie organischer Kohlenstoff oder Stickstoff für die Ausbildung der Flächen häufig eine wichtige Rolle. Ein Beispiel für die Bedeutung des N-Gehaltes im Boden liefert die Diskriminanzanalyse des Tales Bash Gumbes, bei welcher Stickstoff als der entscheidende Faktor zur Trennung der Gruppen herangezogen wird. Auch ein Blick auf die DCA im Pshart Gumbes Kol zeigt, dass C_{org} , Humusgehalt und N einen großen Teil der Flächen charakterisieren bzw. entscheidend für diese sind. In einem gesättigten System wäre ein Rückgang der Bedeutung dieser Faktoren zu erwarten.
- **abiotische Limitierung**
Besonders in ariden Gebieten spielen die Niederschläge eine entscheidende Rolle für die Biomasse und Artzusammensetzung. Die Ausprägung der Abhängigkeit von abiotischen Faktoren ist allerdings, je nach Gebiet, differenziert zu betrachten.
- **Opportunismus**
In NEQ wird davon ausgegangen, dass eine geeignete Anpassung an die Lage gegeben ist. Bei vielen Arten im Ostpamir kann, zumindest hinsichtlich einiger Faktoren, eine Anpassung nachvollzogen werden. So haben z.B. viele Arten tiefreichende Wurzeln und bewahren den größten Teil ihrer Biomasse unter der Erdoberfläche, um so einen Schutz der Pflanze vor äußeren Einwirkungen sicher zu stellen.
- **lockere Muster**
Mit Ausnahme der Quellrasen ist die Ausbildung der Vegetationsmuster locker. Innerhalb der Quellrasenformation herrscht eine Dominanz einzelner Arten vor, deren Ausbreitungsmuster aber immer wieder durch andere Arten unterbrochen wird.

Iglesias und Kothmann (1997) vertreten die Ansicht, dass Beweidung der entscheidende Faktor ist um Systeme in einen sogenannten Zustand zwischen EQ und NEQ zu bringen. Begründet wird dies durch die Unregelmäßigkeit, die Variation in der Intensität und die Unabhängigkeit der Intensität der Beweidung von anderen Faktoren. Eine Prüfung der NMDS zeigt, dass im Bash Gumbes keine Abhängigkeit von der Beweidungsintensität besteht. Im Pshart Gumbes

Kol und im Gesamtpamir spielt Beweidung, zumindest wenn die zunehmende Entfernung zur Siedlung als Abnahme der Beweidungsintensität gewertet wird, eine Rolle für die Herausbildung der Quellrasenflächen. Da diese nicht das Paradebeispiel für ein System zwischen den beiden Zuständen sind, unterstützt einzig die NMDS des Tals Madian Gumbes Kol die These, dass Beweidung entscheidend ist für die Ausbildung von Zwischenzuständen. Im Madian Gumbes Kol ordnen sich entlang des Gradienten der Beweidungsintensität in erster Linie ZPSK-Formationen an, welche beispielhaft für ein System zwischen den beiden Zuständen sind.

Im Gegensatz zu Iglesias und Kothmann sieht Ho (2001) Beweidung nicht als entscheidenden Faktor um den Zustand eines Systems zu verändern. Neben der Beweidung wird nach Ho die Agrarnutzung häufig als entscheidender Systemwandelfaktor herangezogen. Bei ariden Gebieten ist dies nicht korrekt, da hier Niederschlag und Verdunstung die entscheidendere Rolle spielen. Nach der konventionellen Idee des NEQ wird bei konstanter Temperatur und gleichbleibendem Niederschlag davon ausgegangen, dass das Vorhandensein von Futter durch negatives Feedback zur Ausbildung von steady states führt. Als steady states werden dabei die Systeme bezeichnet, bei welchen die Biomasseproduktion in Balance mit dem Beweidungsdruck ist. Nach Behnke und Scoones (1993) sind sandige und nährstoffarme Böden stabil in der Produktivität, da sie nicht anfällig durch Viehfraß sind. Hinsichtlich der eigenen Daten muss dabei eine differenzierte Betrachtung vorgenommen werden. Zu den sandigen Böden gehören, nach der NMDS, insbesondere Böden der Felsvegetation und der Zwergstrauch-Polster-Steppe. Bei ersterem ist der Verbiss nicht entscheidend. Für letztere kann der Verbiss eine Rolle spielen wie die NMDS des Pshart Gumbes Kol zeigt. Die meisten EQ-Strategien vernachlässigen nach Ho

- die Variabilität der Pflanzenproduktion auf Grund der Landschaftsheterogenität
- die unterschiedliche Zusammensetzung der beweidenden Herden und der damit verbundenen unterschiedlichen Futternutzungsstrategien
- die verschiedenen Anpassungsstrategien der Pflanzen an Beweidung

Diese Faktoren führen allerdings nicht zu großen Veränderungen, da große Fluktuationen in der Zusammensetzung das Charakteristikum trockener Ökosysteme darstellt.

Das Studium dynamischer Systeme hat nach Walker et al. (1981) ergeben, dass die Widerstandsfähigkeit von Systemen mit steigender Stabilität zurück geht. Holling (1973; 1981) geht dabei davon aus, dass Resilienz der lokalen Stabilität nahe dem EQ-Zustand gegenüber steht. Das kann in der Folge zu einer Resistenz bei kleinen Störungen und einer schnelleren Erholung bei größeren Störungsereignissen führen, wobei eine lokale Stabilität mit einer geringen Variabilität verbunden ist. Quellrasen, welche stabil erscheinen, wären demnach weniger widerstandsfähig. Die aus der Vegetationsklassifikation ersichtlichen Werte der Gesamtdeckung der Quellrasengruppen bestätigen dies, da innerhalb der Gesamtdeckung der Quellrasen die Standardabweichung am höchsten ist.

Nach DeAngelis und Waterhouse (1987) spielen hinsichtlich des Equilibrium in Ökosystemen insbesondere jene Mechanismen die den Feedback-Mechanismus widerlegen eine wichtige Rolle. Die dahinter stehenden Theorien sind unter anderem:

1. Die funktionelle Interaktion zwischen Arten führt zu Stabilität.
2. Störungsmuster, welche den Ablauf unterbrechen, widerlegen die Feedback-Effekte.

3. Durch die Integration kleinräumiger Strukturen in große Landschaften entstehen stabilisierende Effekte.
4. Auf niedrigem Populationsniveau kommt es zu ausgleichenden Mechanismen.
5. Räumliche Ausdehnung und Heterogenität haben mäßigende Effekte.

Der Equilibriumszustand wird nach Walker und Wilson (2002) nur erreicht, wenn der Wandel in der Anzahl für alle Arten null ist und wenn nach einer Störung alle Arten in ihren stabilen Zustand zurückkehren.

An dieser Stelle muss hinsichtlich der betrachteten Störungen eine Unterscheidung vorgenommen werden. Arten, welche durch Tritt oder Verbiss gestört wurden können häufig in ihren Ausgangszustand zurückkehren. Auf Flächen, die dem Einfluss von Murmeltieren unterliegen, ist eine Rückkehr der Arten in ihren Ursprungszustand nicht möglich, weshalb es, wie unter Betrachtung der Murmeltierstörung gezeigt, häufig zu einer veränderten Zusammensetzung der Arten auf den Murmeltierbauten kommt. Der stabile Zustand, welcher als Bedingung gesehen wird, setzt voraus, dass stabile Gleichgewichtsbedingungen und Störungen vorherrschen. Ein Problem in der Praxis ist, dass eine Gesellschaft nie genug Zeit hat um in einen stabilen Gleichgewichtszustand zu kommen. In der traditionellen Equilibriumstheorie wird aber davon ausgegangen, dass stabilisierende Prozesse bestehen, welche es Gesellschaften ermöglichen in den Gleichgewichtszustand mit der Umwelt zurückzukehren. Für die Arten im Ostpamir wäre das beispielsweise die Überdauerung der Pflanze mittels ihrer Wurzeln unter der Oberfläche.

Für semi-aride und aride Ökosysteme spielen EQ und NEQ eine wichtige Rolle, da sie auf Grund der zeitlichen Variabilität besonders anfällig für Störungsereignisse sind. Wie die Störungsklassifikation gezeigt hat, gibt es nur sehr wenig Flächen, die gar nicht bzw. wenig unter dem Einfluss von Störungen stehen. Kennzeichnend für NEQ ist unter anderem auch, dass Wettbewerb nur eine geringe Rolle spielt und die Artenzusammensetzung in erster Linie durch abiotische Faktoren bestimmt wird (Walker & Wilson, 2002).

Wie bereits Eingangs erwähnt, weist ein Blick auf die durchgeführten Ordinationen hinsichtlich dieses Charakteristikums ein heterogenes Bild auf. Zwar gibt es Flächen oder Gruppen, wie z.B. die Gruppe der Quellrasen im Bash Gumbuz, welche nach der NMDS stärker durch biotische Faktoren geprägt sind. Doch zeigt die gleiche NMDS ebenfalls eine Abhängigkeit der ZPSS von der Südlichkeit. Es lässt sich aber aus den NMDS eine Tendenz der Quellrasen zu biotischen und einen Trend der Zwergstrauch-Polster-Steppen zu abiotischen Faktoren erkennen, was eine Vermutung auf eher equilibrium-Bedingungen bei Quellrasen und non-equilibrium-Bedingungen bei Steppeneinheiten zulässt.

Eine Einteilung an Hand von Vegetationseinheiten haben Fernandez-Gimenez und Allen-Diaz (1999) vorgenommen. Dabei wurden für die Mongolei die drei Einheiten Wüstensteppen, Gebirgssteppen und Steppen ausgewiesen. Der entscheidende Faktor der zur Einteilung nach EQ oder NEQ herangezogen wurde, war der Beweidungsdruck. Dabei weist die Wüstensteppe als einzige keine Variation in Artenzahl, Biomasse, Gesamtdeckung und ähnlichem entlang von steigendem Beweidungsdruck auf und wird daher dem NEQ zugeordnet, da nach Wiens, DeAngelis und Ellis für ein NEQ folgende Faktoren charakteristisch sind:

- Die Bindung der Interaktion zwischen Pflanzen und Herbivoren ist locker.
- Die Populationsgröße wird von dichteunabhängigen Faktoren kontrolliert.

6.4 Der Einflusses von Tieren auf die Vegetation - eine differenzierte Betrachtung

- Die Pflanzenmasse ist abiotisch kontrolliert.
- Wettbewerb zwischen den Arten stellt keine bedeutende Kraft dar.

In Gegensatz dazu werden für EQ folgende Theorien formuliert:

- Es bestehen enge Beziehungen zwischen Pflanze und Tier.
- Die Herbivorpopulationen sind dichtekontrolliert.
- Die Tierpopulationen fluktuieren als Antwort auf veränderte Tragekapazitäten.
- Die Biomasse ist von Tieren kontrolliert.
- Konkurrenz stellt einen wichtigen Faktor für die Zusammensetzung der Arten dar.

Nach dem Konzept von Fernandez-Gimenez und Allen-Diaz (1999) lässt sich für NEQ feststellen, dass sich Biomasse, Gesamtdeckung, Artenzusammensetzung, Artenreichtum und Diversität mit zunehmendem Beweidungsdruck nicht verändern. In ariden und variablen Ökosystemen zeigen abiotische Faktoren einen stärkeren Einfluss auf die Zusammensetzung der Arten und die Biomasse als Beweidung. Für die Produktivität der Vegetation spielt Beweidung eine wichtige Rolle. Daraus folgt für die drei Vegetationseinheiten, dass Wüstensteppen und Steppen abiotisch kontrolliert sind und Gebirgssteppen entlang des Beweidungsdrucks variieren. Generell kann mit zunehmendem Beweidungsdruck ein Rückgang der Gräser und eine Ausbreitung verschiedener Kräuter beobachtet werden. Die letzte Aussage konnte im Arbeitsgebiet nicht bestätigt werden. Ein Blick auf die Korrelation der wichtigsten Arten mit den Umweltfaktoren und der Beweidungsintensität zeigt eine schwach positive Korrelation von *Stipa orientalis* mit der Beweidung, welches der Gruppe der Gräser angehört. Da innerhalb der eigenen Aufnahmen eine Einteilung in andere Vegetationseinheiten vorgenommen wurde und keine genaue Definition der von Fernandez-Gimenez und Allen-Diaz ausgewiesenen Vegetationsformationen vorliegt, kann diese Tatsache nicht an Hand eigener Daten überprüft werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im Arbeitsgebiet ein Zustand zwischen dem EQ und NEQ vorliegt. Eine genauere Differenzierung an Hand der einzelnen Vegetationseinheiten ist für zukünftige Forschungen ratsam. Ein weiteres Problem bei der Ausweisung als EQ oder NEQ stellt der kurze Beobachtungszeitraum dar. Nach Connell und Sousa sollte die Beobachtung zur Einschätzung des Status mindestens einen kompletten turnover sämtlicher Individuen aller Arten andauern (Walker & Wilson, 2002).

6.4 Der Einflusses von Tieren auf die Vegetation - eine differenzierte Betrachtung

Den Einfluss der im Rahmen dieser Arbeit genauer betrachteten Säugetiere zusammenzufassen, scheint bei näherer Betrachtung nicht gerechtfertigt. Es muss in erster Linie eine Differenzierung zwischen dem Einfluss von Yaks - Ziegen und Schafen - und Murmeltieren vorgenommen werden. Die Flächen unter dem Einfluss kleiner Wühler, wie z.B. der Spitzmaus (*Sorex buchariensis*), werden auf Grund der geringen Anzahl der Aufnahmen vernachlässigt.

6.4.1 Yaks versus Murmeltier - Transport oder Nischenbildung zur Erhöhung der Artenvielfalt?

Bakker und Olf (2003) haben herausgestellt, dass die Auswirkungen von Herbivoren auf die Artenverteilung bzw. -diversität nach Art, Größe und Populationsdichte des jeweiligen Herbivors differenziert werden müssen. Der in der Studie durchgeführte Vergleich zwischen Rindern und Kaninchen hat gezeigt, dass große Herbivore besonders für die weite Verbreitung der Pflanzen eine wichtige Rolle spielen, wohingegen die Bauten der Kaninchen häufig größere Stellen freilegen, die anschließend Raum für die Besiedlung durch neue Arten darstellen. Allgemein vertreten Bakker und Olf die These, dass der Einfluss von Herbivoren auch nach Gebiet und Habitat unterschiedlich zu betrachten ist. In schwach produktiven Systemen führt der Einfluss von Herbivoren zu einer Reduzierung der Artenzahl wohingegen in produktiven Systemen ein Anstieg der Artenzahl beobachtet werden kann. Die Verbreitung von Samen via großer Herbivore ist erleichtert, da diese zum einen eine deutlich größere Anzahl Samen konsumieren und zum anderen meist größere Distanzen zurücklegen auf welchen es zu einer Verteilung von Dung und damit verbunden der Samen kommen kann. Die Stellen, die von den Herbivoren durch Tritt beeinflusst werden, legen neue Nischen für die im Dung befindlichen Samen frei.

Der Versuch einer Übertragung der Thesen von Bakker und Olf auf den Ostpamir würde eine Gleichsetzung der Rinder mit den hier dominierenden Yaks und der Kaninchen mit den im Pamir weit verbreiteten Murmeltieren voraussetzen. Hinsichtlich der Yaks stellt dies kein Problem dar. Sie fressen größere Futtermassen und bewegen sich innerhalb eines Tages in einem relativ großen Gebiet. Murmeltier und Kaninchen hingegen können nur bedingt gleichgesetzt werden. Zwar kennzeichnen beide ihr Gebiet durch den Bau unterirdischer Bauten, doch ist der Aushub bei Murmeltierbauten deutlich größer als bei vergleichbaren Kleinsäugetern. Der Aushub enthält manchmal zum Teil Muttergestein, was eine Ansiedlung neuer Arten auf Grund des Fehlens nährstoffreichen Substrats erschwert. Durch das Sammeln von Yakdung im näheren Umkreis der Jurten kommt es zu keiner Neuansiedlung von Arten in diesen Bereichen. Langsame Zersetzungsprozesse im Hochgebirge auf Grund der kurzen frostfreien Zeit erschweren die Ansiedlung neuer Arten auf diese Weise ebenso. Ein Vergleich der aus der Störungsklassifikation geclusterten Gruppe unter Yakeinfluss und deren Verteilung zeigt, dass Yakbeweidung besonders häufig auf den Quellrasenflächen zu finden ist. Da die Quellrasenflächen als sehr produktiv eingestuft werden, kann davon ausgegangen werden, dass sich hier durch Yakbeweidung positive Effekte bezüglich der Artendiversität abzeichnen. Die ZPSK-Flächen, die nach der NMDS ebenfalls zu den von Yaks beeinflussten Gebieten gehören, schwanken hinsichtlich der Artendiversität stark. Das Vegetationscluster des Pshart Gumbes Kol zeigt, dass in einer der beiden ZPSK-Gruppen eine Deckung bis zu 25% erreicht werden kann, wohingegen sich der Deckungsbereich der zweiten ZPSK-Gruppe auf einen Wertebereich von 20–65% ausdehnt. Die Artenzahl ist in der zweiten Gruppe im Mittel, nicht aber im Maximum höher. Die Beweidungsintensität hat in der zweiten Gruppe höhere Werte. Eine Betrachtung weiterer Umweltvariablen scheint nötig um den Einfluss der Störung genauer zu differenzieren. Die Auswertung der Murmeltierflächen hat ergeben, dass es zu keiner Erhöhung der Artenzahl auf den Bauten kommt. Zwar lässt sich in einigen Fällen eine hohe Deckung verzeichnen, doch wie die Auswertung der Mikroskizzen ergab, ist ein großer Teil der Biomasse häufig bereits abgestorben, was zum Teil an den Schäden, die Murmeltiere unterirdisch an den Pflanzen verursachen, liegt.

Für den Pamir lässt sich daher zusammenfassend sagen, dass der Transport durch Yaks eine wichtige Rolle spielen kann, auf Grund des Dung sammelns aber nur teilweise zur Anwendung kommt. Der Einfluss zoochorer Verbreitung für die Arten im Ostpamir bedarf weiterer Untersuchung. Die durch Murmeltiere freigelegten Nischen eignen sich nur in wenigen Fällen für eine Neubesiedlung durch Arten.

6.4.2 Yak, Ziege und Schaf, Murmeltier: Differenzierung in Umfang und Auswirkung der Beweidung

Nach Tsuyuzaki und Tsujii (1990) verursachen Yaks im Vergleich mit anderen Nutztieren den größten Schaden an der Vegetation. Flächen, die regelmäßig dem Einfluss von Yaks unterliegen, zeigen einen Rückgang der Gräser, da diese nicht in der Lage sind Yakbeweidung zu tolerieren. Der Rückgang der Gräser lässt sich mit ihrer Schmackhaftigkeit für Yaks begründen und erhöht daher auf intensiv beweideten Flächen die Anzahl der Kräuter. Eine wenig intensive Beweidung wird daher von Tsuyuzaki und Tsujii als optimale Beweidungsintensität für Hochgebirgsökosysteme abgeleitet. Nur innerhalb wenig beweideter Gebiete kann es zu einer Erhöhung der Biomasse und einer veränderlichen Artenzusammensetzung kommen.

Eigene Beobachtungen zeigen ein anderes Bild der Situation im Ostpamir. Die Beweidung durch Yaks hat, im bisherigen Vergleich, sowohl die Flächen mit höchster Biomasse als auch mit den meisten Arten hervorgebracht. Gräser zeigen sich auf den beobachteten Flächen in der Regel als stark verbissen. Neben den Gräsern gibt es aber auch viele Kräuter die einem hohen Verbiss unterliegen. Stark beweidete Quellrasen durch Yaks zeigen eher, dass sich ein Rückgang in der Artenvielfalt auf die Kräuter, nicht auf die Gräser auswirkt. Arten wie *Carex melantea* oder *Kobresia royleana* sind weiterhin vorhanden während z.B. *Ranunculus pulchellus* oder *Primula algida* in ihrer Verbreitung abnehmen.

Schafe lassen eine Präferenz junger Pflanzen in ihrer Beweidung erkennen. Dies führt zum Altern des Bestandes von intensiv mit Schafen beweideten Flächen. Olson et al.(1997) konnten ebenfalls einen Anstieg der unbedeckten Bodenflächen feststellen. Innerhalb der Beweidung durch Kleinvieh lässt sich, bei ausreichendem Futterangebot, ein Rückgang bestimmter Arten verzeichnen.

Insbesondere die Auswertung der Mikroskizzen hat Aufschluss darüber gegeben, welche Auswirkungen die Beweidung von Schafen und Ziegen auf die Vegetation haben. Ziegen neigen, stärker als Schafe, dazu, Pflanzen anzugraben und damit die Wurzeln freizulegen. Damit verbunden kommt es bei Pflanzen wie *Acantholimon diapensioides* häufig zu einem Absterben von Teilen der Pflanze. Eine Präferenz junger Pflanzen kann nicht herausgestellt werden. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass insbesondere die von Kleinvieh beweideten Flächen zumeist stark übernutzt und eine Ausbildung von Jungpflanzen nicht beobachtet werden kann. Allerdings zeigen besonders die Zwergsträucher einen erhöhten Verbiss an jungen Trieben. Die Beweidung der Schafe unterscheidet sich in ihrem Ergebnis dadurch, dass es zur Herausbildung kleiner Vegetationsstrukturen und weniger zur Freilegung von Wurzeln kommt. Die NMDS unter 5.72 zeigt, dass die für das Tal Bash Gumbez mittels der Störungsklassifikation als Schaf- und Ziegenflächen identifizierten Aufnahmen in erster Linie der ZPSS-Formation angehören.

Nach Studien von Detling (1998) zeigen stark von Präriehunden genutzte Flächen einen Rückgang in der Pflanzenbiomasse und eine Dominanz von Sträuchern im Gegensatz zu Gräsern. Untersuchungen haben auch ergeben, dass der Stickstoffgehalt der Pflanzen auf den von Präriehunden bewohnten Flächen deutlich über dem der außerhalb liegenden Exemplare lag. Die Vegetationsstruktur auf den Flächen wird zudem dadurch beeinflusst, dass sich die Humusaufgabe innerhalb eines kurzen Zeitraumes reduziert und stattdessen ein Anstieg freiliegender Flächen zu beobachten ist. So konnte innerhalb der Studie ein Rückgang in der Deckung um 60% und ein Ersatz der Gräser und Kräuter durch Zwergsträucher und Stauden beobachtet werden.

Unter der Annahme, dass sich Präriehunde und Murmeltiere ähnlich auswirken, sollen die von Detling postulierten Thesen hinsichtlich des Einflusses von *Marmota caudata* im Ostpamir geprüft werden. Da auf den Murmeltierflächen keine Biomasse geerntet wurde, kann über die Biomasse nur hinsichtlich der Gesamtdeckung eine Aussage getroffen werden. Diese ist, im Vergleich der Mesoflächen, im Mittel im Bash Gumbes ähnlich hoch wie für das gesamte Tal. Allerdings liegen die Maximalwerte die erreicht werden können auf den von Murmeltieren beeinflussten Flächen deutlich niedriger. Die ebenfalls in Kapitel 5.1.1 dargestellte Verteilung der Arten zeigt, dass auf den von Murmeltieren beeinflussten Flächen die Zwergsträucher *Seriphidium leucotrichum* und *Krascheninnikovia ceratoides* eine wichtige Rolle spielen. Weitere auf den Murmeltierflächen im Bash Gumbes vorkommende Arten sind in der NMDS 5.74 dargestellt. Ein Rückgang der Kräuter ist hier zu bemerken. Im Pshart Gumbes Kol befinden sich nach der NMDS, dargestellt in Abbildung 5.78, viele Flächen in der Gruppe der ZPSK. Diese Tatsache unterstützt die These Detlings, dass unter Murmeltiereinfluss Zwergsträucher von Bedeutung sind.

6.5 Der Mensch - Zerstörer des Ökosystems oder bloßer Nutzer?

6.5.1 Das Tereskenproblem - Grund fortschreitender Desertifikation?

Seit der Unabhängigkeit Tadschikistans hat sich für die Bevölkerung neben der fehlenden Versorgung mit Lebensmitteln ein weiteres großes Problem ergeben: Die ausbleibenden Zulieferungen von Kohle aus der Sowjetunion führten im Ostpamir zu einem Engpass in der Energieversorgung. Elektrische Energie ist nur zu einem sehr geringen Anteil und unzuverlässig vorhanden. Alternativ wird in den letzten Jahren immer stärker auf die Energiegewinnung aus Dung und dem Zwergstrauch *Krascheninnikovia ceratoides* zurückgegriffen. Die starke Nutzung des Zwergstrauches führt dazu, dass behauptet wird, dass in einem Umkreis von 100 km um Murghab kein Teresken (*Krascheninnikovia ceratoides*) mehr zu finden sei (Doempke, 2008).

Diese Behauptung konnte, wie die Aufnahmen zeigen, widerlegt werden. Die Täler Pshart Gumbes Kol und Madian Gumbes Kol befinden sich in direkter Nähe zu Murghab und zeigen Vorkommen von Teresken.

Nach Breckle und Wucherer (2006) werden durch die Ernte der Zwergsträucher Desertifikationsprozesse gefördert. Davon sind im Ostpamir in besonderem Maße Winderosion, der Verlust von Biodiversität und der Verlust der Produktivität betroffen. Die Löcher, die durch das Tereskenstechen verursacht werden, können Ansatz zu Gullyerosion bieten.

Das in der Nähe einer Tereskenstechfläche aufgenommene Linientranssekt L8, zu sehen unter 5.96, zeigt eine relativ niedrige Gesamtdeckung entlang des Transekts. Auch die Artenvielfalt ist begrenzt. Es kommen nur vier verschiedene Arten entlang der Linie vor. Da diese aber verteilt entlang der Linie auftreten, zu sehen am mittleren Jaccard-Index, kann davon ausgegangen werden, dass nicht allein das Stechen der Tereskenpflanzen sondern in erster Linie die Umweltbedingungen für die geringe Artenzahl verantwortlich sind. Würde das Tereskenstechen allein für die geringe Artenzahl verantwortlich sein, wäre eine Beta-Diversität wie sie hier zu finden ist wahrscheinlich nicht gegeben, sondern es käme zu einem vollständigen Auslöschen einzelner Arten. Es ist jedoch dennoch möglich, dass die Entnahme von Teresken Desertifikationsprozesse wie Winderosion fördert. Eigene Beobachtungen von Hirten beim Tereskenstechen sind dem entgegen zu halten. Es findet keine flächenhafte, sondern eine selektive Entnahme der Sträucher statt. Dadurch bleiben weiterhin Zwergsträucher auf den Flächen bestehen, die die Auswirkungen von Winderosion verhindern bzw. eindämmen. Neben Teresken findet im Ostpamir ebenfalls die Nutzung anderer Zwergsträucher wie *Seriphidium leucotrichum* statt. Die Folgen der Entnahme dieser langsam wachsenden Sträucher für das Ökosystem müssen künftig noch genauer untersucht werden.

6.5.2 Auswirkungen der aktuellen Weidenutzung

Weidenutzung kann nach Belsky (1986) dazu führen, dass es zu einem beiderseitigen Anstieg der Produzenten und auch der Konsumenten kommt. Ab einem bestimmten Punkt intensiver Beweidung fällt die Produktivität unter das Niveau unbeweideter Flächen. Belsky geht also davon aus, dass sich durch Beweidung die Produktivität grundsätzlich erhöht. Direkte Auswirkungen auf die Arten haben nach Belsky (1992) gezeigt, dass Störungen wie z.B. Beweidung zu einer Förderung einjähriger bzw. kurzlebiger und zu einem Rückgang größerer, langlebiger Pflanzen beiträgt. Mehrjährige Studien haben gezeigt, dass die Biomasse jährlich in Abhängigkeit der Beweidungsintensität und des Niederschlags variiert. Je länger der Zeitraum der Beweidung andauert, desto mehr Arten werden dadurch beeinflusst. Einwandernde größere Arten verdrängen und ersetzen kleinere Arten.

Der von Belsky angesprochene Punkt des gegenseitigen Anstiegs der Produzenten und Konsumenten ist bezüglich der Nutztiere nicht direkt nachzuvollziehen. Dies liegt unter anderem an der Abhängigkeit der Zufütterung in den Wintermonaten. Für Wildtiere wie *Marmota caudata* trifft dies allerdings zu. Zumindest steigt die Anzahl der Murmeltiere wenn mehr Futter vorhanden ist. Ein Anstieg der Produktivität der Biomasse in Zusammenhang mit den Murmeltieren konnte allerdings nicht beobachtet werden. Eher ein Rückgang wäre hier zu verzeichnen. Ein Rückgang langlebiger Pflanzen kann auf den durch Beweidung gestörten Flächen nicht beobachtet werden. Intensiv beweidete Flächen zeigen weiterhin das Vorkommen von Arten wie *Krascheninnikovia ceratoides* oder *Seriphidium leucotrichum*. Auf Murmeltierbauten hingegen kommen häufig vermehrt Gräser oder kleinere Kräuter wie *Hordeum turkestanicum* oder *Potentilla pamirica* vor. Auch entlang von Rutschungen und Solifluktion (die in dieser Arbeit nur am Rande bearbeitet wurden) finden sich eher Arten wie *Nepeta longibracteata* wieder.

Nicht nur auf die Vegetation, sondern auch auf die natürliche Fauna nimmt der Mensch mit seinen Nutztieren Einfluss. Verändertes Konkurrenzverhalten der Arten beispielsweise, hervorgerufen durch Beweidung, beeinflusst schlussendlich sowohl Nutztiere als auch Wildtiere. So kann es durch eine Erhöhung der Anzahl der Nutztiere zu einer Verdrängung von Wildtieren kommen (Retzer & Reudenbach, 2005).

Innerhalb der betrachteten Täler ist kein ersichtlicher Rückgang von *Marmota caudata* zu beobachten gewesen. Nahe der Jurten kommt es in einzelnen Fällen zur Jagd auf die Tiere, da deren Fett zu medizinischen Zwecken genutzt wird. Die Verdrängung des Marco Polo Schafs ist nicht in erster Linie durch Futterkonkurrenz, sondern durch die Jagd begründet. Eine Verdrängung herbivorer Wildtiere durch die anthropogene Nutzung der Weidegründe ist zu beobachten und muss künftig näher untersucht werden.

Kommt es zu einem Überbesatz an Tieren, so sind damit Veränderungen innerhalb der Arten verbunden. Sturm (1995) beschreibt, dass es „sowohl eine qualitative Veränderung - also eine Verschiebung der Artenzusammensetzung von guten Weidepflanzen zu nicht fressbaren oder gemiedenen Arten - als auch eine quantitative Veränderung“ (Sturm, 1995:164) mit Übernutzung der Weiden geben kann. Pastorale Nutzung führt in der Regel immer zu Überbesatz. Ein vergleichsweise stabiles System kann nur dann bestehen, wenn die Zahl der Tiere durch das Futtervorkommen und das Pflanzenwachstum durch die Anzahl der Tiere limitiert wird.

Stark übernutzte Gebiete finden sich im betrachteten Arbeitsgebiet in erster Linie nahe der Jurten und im Madian Seitental direkt hinter Murghab. Die dort aufgenommenen Linien zeigen, dass nur wenige Arten dem Druck der starken Beweidung standhalten können. Die Linien L11 und L12 zeigen daher auch kaum Variationen im Jaccard-Index. Der über weite Distanzen gleichbleibende Jaccard-Index von 1 beschreibt Flächen, die keine Artenvariation aufweisen. Häufig liegt das auch an der gänzlich fehlenden Deckung.

Neben der Nutzung von Teresken als Brennmaterial spielt er besonders im Winter eine wichtige Rolle als Futterpflanze. Die geringe Biomasse im Winter und die aktuell hohen Viehzahlen führen in langen Wintern zum Verlust vieler Nutztiere. Die Beweidung wie sie aktuell im Pamir durchgeführt wird, hat zu einer Vegetations- und Bodendegradation geführt, die, solange keine Veränderungen in der Nutzung zu erkennen sind, weiter fortschreiten werden (Breckle & Wucherer, 2006). Die Folgen sind innerhalb der Vegetation deutlich stärker ausgeprägt als im Boden, was auf eine verlangsamte Reaktion des Bodens auf Einflüsse wie Beweidung schließen lässt (Bimüller, 2009).

6.6 Die Rolle postulierter Störungshypothesen für die Biodiversität im Ostpamir

Die unter Punkt 3.1 dargestellten Störungshypothesen sollen im Folgenden in Bezugnahme der beobachteten Erscheinungen und eigenen Ergebnisse diskutiert werden.

6.6.1 *Krascheninnikovia ceratoides* als Beispiel der key-species Hypothese

Nimmt die Artenzahl ab, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass eine der wegfallenden Arten eine Schlüsselart ist. Davon ausgehend, dass diese Arten von höherer Bedeutung für das Ökosystem sind als andere Arten, kann es durch den Wegfall zum Zusammenbruch des Ökosystems kommen.

Die key-species Hypothese steht in direktem Zusammenhang mit der aktuellen Tereskendebatte. Breckle und Wucherer (2003) stellten heraus, wie wichtig die Rolle von *Krascheninnikovia ceratoides* für das Ökosystem im Ostpamir ist. Folgen des Wegfallens dieser Art wären neben dem Verlust an Biomasse, Produktivität und Biodiversität auch eine zunehmende Winderosion. Diese hätte wiederum Einfluss auf eventuell noch vorhandene Arten wie *Stipa orientalis* und könnte, auf Grund des fehlenden Schutzes des Zwergstrauches, zu einem Niedergang dieser Arten führen. Im Arbeitsgebiet konnte der Rückgang von *Krascheninnikovia ceratoides* im Madian Seitental bei der Auswertung der Linientransekte beobachtet werden. Davon ausgehend, dass am Pass vor Jahren die gleichen bzw. ähnliche Arten wie an den Hängen gleicher Ausrichtung gewachsen sind, kann heute eine Reduzierung der Arten auf zwei bis drei entlang des Passes bemerkt werden. Entlang der Transekte des Passes musste festgestellt werden, dass entlang der Linien, in denen keine *Krascheninnikovia ceratoides* mehr zu finden war, auch keine Deckung durch andere Arten mehr stattfand. Dafür war die Ausprägung und Verbreiterung der Viehgangeln in diesem Bereich besonders stark. Das Ökosystem scheint an diesen Stellen zerstört. Mit zunehmender Entfernung zum Pass ist *Krascheninnikovia ceratoides* die erste Art, die wieder auftaucht, bevor das System durch Arten wie *Stipa orientalis* oder *Christolea crassifolia* ergänzt wird.

6.6.2 Anwendung der insurance-Hypothese

Unter stabilen Bedingungen sind nur wenige Arten für die Funktion eines Ökosystems nötig. Treten plötzliche Veränderungen ein, können bisher zweitrangige Arten einspringen, um das System unter veränderten Bedingungen weiterzuführen.

Das Problem der insurance-Hypothese ist, dass sie von einem System mit stabilen Bedingungen ausgeht. Wie bereits unter 6.3 diskutiert, kann im Ostpamir nicht übergreifend von einem System stabiler Bedingungen gesprochen werden. Wird die insurance-Hypothese unter Vernachlässigung der Voraussetzung stabiler Systeme betrachtet, kann festgestellt werden, dass sie beispielsweise auf Murmeltierstörflächen zutrifft. Bisher zweitrangige Arten ersetzen häufig zuvor dominante Arten und halten das Ökosystem aufrecht.

6.6.3 Der Bezug stark beweideter Flächen und der redundant-species Hypothese

Die meisten Arten eines Ökosystems sind unwichtig für den Erhalt dieses Systems, solange diejenigen, welche an den funktionellen Prozessen beteiligt sind, erhalten bleiben. Ist dies der

Fall, kann das Ökosystem bis zu einem Minimum verarmen und dennoch aufrecht erhalten werden.

Die redundant-species Hypothese steht in direktem Zusammenhang mit der key-species Hypothese. Zu beobachten waren beispielsweise auch Artenverarmungen auf Quellrasenflächen, die aber, auf Grund des dominanten Vorkommens von Kobresiaarten weiterhin als intaktes System bestehen blieben. Auf überweideten Flächen ist ein starker Rückgang von Arten zu verzeichnen. Solange die key-species bzw. redundant-species Arten erhalten bleiben, bleibt das Ökosystem bestehen.

6.7 Die intermediate disturbance Hypothese und ihr Potential

In Anlehnung an Wilson (1990) liefert die intermediate disturbance hypothesis (IDH) häufig den größten Erklärungsgehalt für non-equilibrium-Konditionen und die damit zusammenhängende Artenvielfalt. Wie bereits in der einführenden Theorie erwähnt, gibt es auch Autoren wie Roxburgh et al.(2004), die den Begriff der IDH deutlich begrenzter fassen und darunter nur verstehen, was zu einer langfristig stabilen Diversität führt. Über den räumlichen Ansatz betrachtet setzt die Koexistenz von Arten voraus, dass die Störungen ungleichmäßig im Raum verteilt sind. Im Ausgleich dazu soll Arten durch die Störung die Möglichkeit eingeräumt werden sich in den an die Störung anschließenden Sukzessionsstadien durchzusetzen.

Insbesondere unter Betrachtung des ersten Falls kann die These bestätigt werden. Wie die Auswertung der Linientransekte ergab, brachten diejenigen Linien, welche dauerhafter und über weite Distanzen verteilter Beweidungsintensität unterworfen waren keine hohen Artenzahlen bzw. Differenzen in der Artenzahl entlang des Transekts. Es fehlte die Unterschiedlichkeit zu den angrenzenden Flächen und somit die Möglichkeit einzelner Arten im Fall von Störungen in andere Flächenabschnitte weiter zu wandern. Für den zweiten Teil der Voraussetzung, dass sich die IDH nur positiv auf die Artenvielfalt auswirkt wenn sich Stabilität dadurch einstellt, dass durch die Störung bei Arten das Potential geweckt wird sich durchzusetzen, sollte ein Blick auf die NMDS nach Arten im Pshart Gumbez Kol ein klareres Bild zeigen. Die NMDS zeigt, dass sich zum einen ein großer Teil der Arten insbesondere in zunehmender Entfernung zur Jurte entwickelt. Das bedeutet, dass hier Beweidungsintensität wohl eher einen negativen Einfluss hat und dass zudem andere Faktoren wie Humusgehalt im Boden oder Höhe ebenfalls ganz entscheidende Faktoren für das Wachstum vieler Pflanzen sind. Diese Faktoren werden nicht automatisch durch das Auftreten von Störungen erhöht, und ermöglichen so kein schnelles und konkurrenzfähiges Wachstum. Häufig wird die IDH als Möglichkeit der Koexistenz von Arten missverstanden. Richtig ist es die IDH nicht als Mechanismus der Koexistenz zu verstehen, sondern als Vereinigung verschiedener Mechanismen die zur Existenz von Arten unter mittlerem Störungsniveau führen.

Connell (1978) geht, im Gegensatz zu Roxburgh, von der eher klassischen IDH aus, welche neben der Intensität der Störung auch die Frequenz der Ereignisse und den Zeitpunkt berücksichtigt.

Unter Anwendung dieser Annahmen kann davon ausgegangen werden, dass die Artendiversität im Ostpamir nicht auf Grund der IDH bezüglich der Beweidungsintensität als Störfaktor ihr Maximum erreicht. Zwar treten die Störungen relativ regelmäßig innerhalb der Sommermonate auf, doch ist die Zeit nach der Störung meist zu kurz innerhalb der aktiven Wachstumsperiode. Flächen, die im September oder Ende August durch Tritt oder Verbiss gestört werden, liefern keine Lücken innerhalb derer sich noch im gleichen Jahr neue Arten ansiedeln können, da die aktive Wachstumsperiode im E-Pamir häufig bereits im September bzw. Anfang Oktober beendet ist und daher nicht, wie in der IDH postuliert, in der Phase nach der Störung zwangsweise die Artenvielfalt am höchsten ist. Eine weitere Tatsache, warum insbesondere hinsichtlich der Beweidung die IDH nicht unbedingt zutrifft, ist, dass die Pflanzen hier einen großen Teil ihrer Biomasse unterhalb der Erdoberfläche haben. Verbiss schädigt zwar den Teil über der Oberfläche, doch der größte Teil der eigentlichen Pflanze befindet sich unterhalb und kann somit die Schädigung überdauern. Bei Tritt ist das Ganze differenziert zu betrachten. Einzelne Trittschäden haben den gleichen Effekt wie Verbiss. Größere Trittschäden können zu einer so starken Bodenverdichtung führen, dass es der schon geschwächten Pflanze nicht möglich ist, ihr unter der Oberfläche ruhendes Potential zu aktivieren. Ziegenbeweidung kann zudem, wie anfangs in 3.5.2 und unter Betrachtung der Mikroflächen unter Punkt 5.2 gezeigt, dazu führen, dass Wurzeln freigelegt werden und es dadurch zum Absterben der ganzen Pflanze kommt. Murmeltierstörungen müssen hinsichtlich Connells These differenziert betrachtet werden. Die Auswirkung der Störung ist in jedem Fall hoch. Es werden größere Oberflächen durch die Anlage der Bauten umgestaltet. Auch der Verbiss durch Murmeltiere ist nahe der Bauten hoch. Da bei der Anlage von Bauten nicht selten eine vollständige Umschichtung des Materials erfolgt, können hier häufig keine Sukzessionsstadien anschließen, da ein zu hoher Skelettgehalt bzw. ein Mangel an humosen Boden das verhindert. Ein weiteres Problem stellt der unterirdische Verbiss von Murmeltieren dar, der, wie in 5.1.1 gezeigt, zu einem erhöhten Absterben von Arten auf den Flächen führt. Die dadurch frei werdenden Flächen bieten Potential für flach wurzelnde Arten.

Zusammenfassend lässt sich für den Ostpamir eine Anwendung der IDH nur bedingt nachweisen. Beweidung kann die Artenzahl erhöhen und damit die IDH bestätigen, muss sich dafür allerdings nicht nur aus hohem Tritt, sondern auch aus Verbisswerten zusammensetzen, da zu starker Tritt zu einer Bodenverdichtung führen könnte. Bezüglich der Murmeltierbauten lässt sich keine Bestätigung der IDH finden. Es kommt nicht zu einer Artenvielfalt sondern zu einer Artenumgestaltung, so dass schlussendlich eine differenzierte Betrachtung bei Anwendung der IDH nötig ist.

6.8 Kleinräumige Vegetationsstrukturen - der Einfluss von Störungen und Umweltparametern

6.8.1 Der Konkurrenz-Druck im Ostpamir

Nach Malkinson et al.(2003) spielen für die Verbreitung der Vegetation besonders die Faktoren Konkurrenz und positive Ausgangsbedingungen, die insbesondere durch ausreichende Ressourcen gekennzeichnet sind, eine Rolle. Bei Konkurrenz um limitierende Ressourcen kommt es zu

einer regelmäßigen Verteilung im Raum, wohingegen erleichterte Ausgangsbedingungen für eine geklumpfte Anordnung sorgen können. Je nach Umweltstress gewinnen die beiden Faktoren an Bedeutung. Bei guten Umweltbedingungen, zu denen insbesondere ausgewogene Niederschlagsverhältnisse und ausreichend Bodennährstoffe zählen, würde Konkurrenz als Einflussgröße dominieren. Schwierige Umweltbedingungen führen zu einer Dominanz des Faktors der erleichterten Bedingungen. Dadurch würde es nicht, wie unter Konkurrenzdruck vorausgesagt, zu einer regelmäßigen Verteilung der Pflanzen im Raum kommen.

Die in der Vegetationsklassifikation herausgebildeten Gruppen lassen sich in ihrer Gruppierung zumeist im Raum wiederfinden. Die Gruppe der Quellrasen liegt meist dicht zusammen entlang der Fluss- bzw. Bachläufe, während die Gruppe der Felsvegetation an den oberen Hängen anzutreffen ist. Auf Maßstabsebene des kompletten Tals kann, auf Grund des hohen Umweltstress, festgestellt werden, dass es bedingt zu einer geklumpten Verteilung kommt. Es lässt sich eindeutig eine Häufung der Biomassevorkommen entlang der Quellrasen beobachten. Innerhalb der Zwergstrauch-Polster-Steppen erscheint die Verteilung im Raum auf den ersten Blick homogen. Ein Gesamtbild des Tales Pshart Gumbez Kol, das eine Herausbildung der Quellrasen zeigt sowie eine fokussierte Aufnahme einer ZPSK-Hanges, sind in Abbildung 6.1 dargestellt. Eine gleichmäßige Verteilung der Pflanzen innerhalb der Steppen trifft zu, wenn die Bedingungen für die ganze Fläche homogen sind. Kommt es zu einer Erleichterung innerhalb der Fläche, tritt auch hier eine Klumpung auf. Die dargestellten Linientransekte aus Kapitel 5.9.2 zeigen eine starke Dominanz der Vegetation innerhalb der Tiefenlinien der Flächen.



(a) Ausschnitt aus dem Tal Pshart Gumbez Kol; gut zu erkennen: Klumpung der Vegetation entlang des Bachlaufes



(b) ZPSK-Hang

Abbildung 6.1: Übersicht und fokussierter Ausschnitt des Tales Pshart Gumbez Kol mit deutlicher Abzeichnung einer Klumpung der Quellrasenflächen auf höherem Skalenniveau und gleichmäßig scheinender Verteilung der Zwergsträucher bei Fokussierung auf einen einzelnen Hang

Wie Malkinson et al. (2003) ebenso erwähnt haben, müssen die Faktoren in Abhängigkeit von Umweltbedingungen und Skalenniveau betrachtet werden. Daher ist es beispielsweise möglich, dass innerhalb der Gruppe der Quellrasen, die auf Grund des höheren Nährstoffgehalts und der Feuchtigkeit im Boden die besseren Ausgangsbedingungen hat, zu Konkurrenz kommt. Dieses Phänomen kann bei einigen Quellrasen beobachtet werden, in welchen einige wenige Arten dominieren und andere zurückdrängen. Zu den dominierenden Arten gehören zumeist *Kobresia royleana* und *Carex pseudofetida*. Eine Dominanzstruktur einzelner Arten auf den Quellra-

senflächen lässt sich für die beobachteten Flächen in Zusammenhang mit einer niedrigeren Beweidungsintensität als auf Vergleichsflächen bringen.

6.8.2 Die Rolle von Wasser und Stickstoff als limitierende Faktoren

Eine Studie in Arizona von Huebner und Vankat (2003) hat gezeigt, dass für semi-aride Bereiche Wasser und Stickstoff limitierend sind.

Das aride Ökosystem des Ostpamir soll auf diese These hin überprüft werden. Da diese Arbeit nur Feldaufnahmen eines Jahres beinhaltet, kann keine direkte Aussage über den Wassereinfluss bezüglich der Niederschläge gemacht werden. Der in die Ordinationen Eingang gefundene Faktor der Entfernung zum Wasser kann als Tendenz herangezogen werden. Ein Blick auf die durchgeführten Detrended Correspondence Analyses (DCA) zeigt, dass im Bash Gumbes und im Pshart Gumbes Kol Stickstoff als wichtiger Faktor herausgestellt wird. Im Bash Gumbes beeinflusst dieser v.a. die ZPSS-Formation wohingegen im Pshart Gumbes Kol die Gruppe der Quellrasen entlang des Stickstoffgradienten ausgerichtet ist. Im Bash Gumbes scheint die Entfernung zum Wasser für keine der vorgestellten Gruppen eine entscheidende Rolle zu spielen. Im Madian Gumbes Kol lässt sich die Ausrichtung einer ZPSK-Gruppe in der Nähe perennierender und saisonaler Gewässer erkennen. Die Gruppe der Quellrasen im Pshart Gumbes Kol ist nicht nur, wie bereits erwähnt, durch erhöhten N-Gehalt, sondern auch, wie zu vermuten, durch eine kurze Distanz zum Wasser geprägt. Es kann daher festgehalten werden, dass diese Faktoren zwar einen großen Einfluss auf die Vegetation im Ostpamir haben, aber nicht als alleinige entscheidende Faktoren betrachtet werden dürfen. Des Weiteren muss eine differenzierte Betrachtung nach Vegetationseinheiten bezüglich des Einflusses der unterschiedlichen Parameter durchgeführt werden. Der Einfluss der Niederschläge bleibt als interessanter Faktor bestehen und bedarf weiterer Untersuchungen, da, nach Breckle (1999), insbesondere für aride Gebiete wie den Pamir wenige Starkregenereignisse einen sehr hohen Einfluss auf die Vegetationszusammensetzung haben.

Fahnenstock und Detling (1999) haben ebenfalls gezeigt, dass sich ein Vergleich des Einflusses von Niederschlag bzw. Wasserzufuhr und Beweidung zu Gunsten des Wassereinflusses auswirkt. Es kann zu einer Beeinflussung der Artenvielfalt durch beide Faktoren kommen, aber in ariden Systemen sind die Veränderungen, die durch einen Input an Wasser entstehen, deutlich höher als diejenigen, die durch Störungen wie Beweidung hervorgerufen werden.

6.8.3 Artenreichtum im System - gegeben oder gesteuert?

Für den Artenreichtum ist neben verschiedenen Umwelt- und Störungsfaktoren auch die Anzahl unterschiedlicher Arten im Gesamtspeziespool entscheidend. Durch Einwirkungen von Umweltfaktoren und Störungen verändert sich die Artenzahl im System. Entscheidend für die Veränderung erscheinen die Gradienten Produktivität und Störungen. In Studien von Dickson und Forster (2008) konnte beobachtet werden, dass sich viele Arten in Gebieten mit mäßiger Produktivität und Störungsintensität ansiedeln. Solange die Intensität der Artinteraktion mit steigender Produktivität und Bodenfruchtbarkeit erhöht wird, und mit zunehmender Störung

fällt, hängt die Artendiversitätskontrolle von der Artinteraktion ab. Daraus kann gefolgert werden, dass sich die Artendiversität entlang der Gradienten Produktivität und Störung verändert. Eine Limitierung des Artenreichtums wird in erster Linie durch die Größe des Speziespools, die Intensität der Artinteraktion und die Bewegung von mäßiger zu hoher Produktivität erreicht. In Ökosystemen mit schwierigen Ausgangsbedingungen kontrollieren v.a. limitierende Ressourcen den Artenreichtum. So kann zusammengefasst die These formuliert werden, dass insbesondere Prozesse innerhalb der Arten die Artenvielfalt kontrollieren. Bei moderaten Störungen und mäßiger Produktivität öffnen sich Habitats für Neukolonisationen und es kann zu einem Anstieg in der Artenvielfalt kommen.

Die Ergebnisse der Vegetationsklassifikation über verschiedene Gebiete zeigen, dass es immer zu einer Gruppierung ähnlicher Arten, unabhängig des Untersuchungsraumes, kommt. Dies lässt darauf schließen, dass entweder die Artinteraktionen zwischen diesen Arten gut funktionieren oder die Arten ähnliche Ansprüche haben. Ein Blick auf die NMDS nach Arten zeigt, dass Differenzen in den Ansprüchen zwischen klassifizierter Arten bestehen, was auf eine positive Artinteraktion schließen lässt. Dem Argument, dass eine hohe Produktivität den Artenreichtum minimieren würde, kann nicht zugestimmt werden. Wie Versuche mit dem Ten-Point-Frame und ein anschließendes Ernten der Biomasse gezeigt haben, ist auf den Quellrasen die Biomasse in der Regel am höchsten. Trotz dieser hohen Biomasse finden sich hier, wahrscheinlich auf Grund der positiven Feuchtebedingungen, die meisten Arten vor. Einzelne ZPSK-Flächen und Alpine Matten weisen ähnlich hohe Artwerte auf.

6.8.4 Störungen als steuernder Faktor

Arten sind, nach Fraterrigo und Rusak (2008), kleinräumig besser verteilt wenn sie nur eine limitierte Verbreitungskapazität haben. Mit der Möglichkeit zu weiter Verbreitung kommt es zu einer Häufung von Arten an begünstigten Standorten. Es gibt Arten, die durch Störungen stimuliert werden und nach dem Eintreten eines Störungsereignisses in der Lage sind ein Gebiet zu dominieren. Beweidung fördert die Verteilung von Bodennährstoffen im Raum.

Untersuchungen zur Verbreitungskapazität von Arten wurden im Jahr 2008 nicht durchgeführt. Wie aber bereits durch Breckle und Walter (1998) erkannt, verbreiten sich die meisten Arten im Pamir eher langsam und durch das Wurzelsystem, so dass nicht von weiten Verbreitungen ausgegangen wird. Durch Störungen stimulierte Arten konnten nicht sicher belegt werden. Es stellte sich bei Beobachtungen im Feld die Vermutung, dass *Chenopodium foliosum*, zu sehen in Abbildung 6.2, besonders durch Schotter stimuliert wird. So konnte diese Art entlang von Rutschungen und Murmeltierbauten häufig identifiziert werden. Für genaue Aussagen sind allerdings weitere Studien nötig. Die Verteilung von Bodennährstoffen im Raum durch Beweidung kann für das Arbeitsgebiet nicht direkt nachvollzogen werden. Dies liegt zum einen an der zu geringen Probenzahl pro Fläche und zum anderen an der Tatsache, dass im Ostpamir Dung der Tiere häufig gesammelt und als Brennmaterial genutzt und somit dem System wichtige Nährstoffe entzogen werden. Der positive Effekt der Beweidung auf den Boden bleibt somit zu großen Teilen aus.

Frank und McNaughton (1992) haben festgestellt, dass der Einfluss großer Herbivore auf den Artenreichtum keine bzw. eher positive Auswirkungen hat.



Abbildung 6.2: *Chenopodium foliosum*

Die Betrachtung der Störungsklassifikation des Tales Pshart Gumbes Kol unter Punkt 5.4.3 ergibt für Gruppe b eine Nutzung nur durch Yaks. Sowohl der Mittelwert der Gesamtdeckung als auch der Mittelwert der Artenzahl bilden für diese Gruppe das Maximum im Talvergleich aus, so dass eine Zustimmung der These von Frank und McNaughton erfolgen kann.

Bei Betrachtung der durchgeführten Ordinationen fällt auf, dass die Beweidungsintensität und das Vorkommen von Murmeltieren für fast alle Gebiete eine wichtige Rolle spielen. Von höherer Aussagekraft sind aber in den meisten Fällen die Faktoren Stickstoff, C/N-Verhältnis, Humusgehalt, Entfernung zum Wasser und in einigen Fällen auch Südlichkeit und Westlichkeit. Daraus lässt sich ableiten, dass Störungen einen steuernden Faktor darstellen, nicht aber die Vegetationssteuerung im Pamir dominieren.

6.9 Exkurs: Modellierung der Weidenutzung

Um Feststellungen darüber machen zu können, was passiert, wenn sich die Viehzahlen verändern, muss die heutige Situation dargestellt werden. Interessant ist dabei das Verhalten der Gesamtdeckung sowie der Artenzahl in Abhängigkeit von der Intensität der Beweidung. Dem Modell zugrunde liegt die Annahme, dass eine Glockenkurve den Datensatz beschreibt, welche der Formel nach Gauß folgt:

$$y = \frac{A}{s\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2s^2}\right] \quad (6.1)$$

Dabei steht x für die Beweidungsintensität und y für die Gesamtdeckung oder die Artenzahl. Mittels der Methode der kleinsten Quadrate (least squares fit) soll eine Anpassung der Parameter:

- Fläche der Glockenkurve A ,
- Standardabweichung s

- und Mittelwert m

für diese beiden Fälle getrennt erfolgen. Die Summe der quadrierten Abweichung des eigenen Datensatzes vom Modell wird dabei minimiert.

Der eigene Datensatz wird vor der Anpassung vorbereitet, indem innerhalb jeder Beweidungsintensität der Mittelwert der Gesamtdeckung und der Artenzahl gebildet wird. Die Parameter A , s und m wurden jeweils für die Täler Bash Gumbez, Madian Gumbez Kol und Pshart Gumbez Kol auf Basis der Aufnahmen der $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ Flächen bestimmt. Für den gesamten Datensatz der Mesoflächen (Pamir2008) wurden ebenfalls Parameter berechnet.

6.9.1 Entwicklung eines Universalmodells

Ziel des Universalmodells ist es, die Gesamtdeckung und Artenzahl in Abhängigkeit der Beweidungsintensität für den gesamten Pamir darzustellen und auf nicht untersuchte Gebiete zu übertragen.

Neben der Darstellung der ist-Situation sollen aus dem Universalmodell Aussagen über Auswirkungen der Veränderung in der Beweidung getroffen werden können.

Das Universalmodell wurde nach folgendem Schema erstellt:

- Berechnung der Parameter A , s und m jeweils für die Täler Bash Gumbez, Madian Gumbez Kol und Pshart Gumbez Kol.
- Vernachlässigung der Parameter aus dem Modell Pamir2008 (Datensatz aller aufgenommenen Mesoflächen) um eine Doppelgewichtung zu vermeiden.
- Die sich für die einzelnen Täler ergebenden Werte für m und s werden zu Werten für das Universalmodell gemittelt:

$$m_{uni} = \frac{m_{bash} + m_{madian} + m_{pshart}}{3}$$

$$s_{uni} = \frac{s_{bash} + s_{madian} + s_{pshart}}{3}$$

- Die Verteilungen in den einzelnen Tälern besitzen unterschiedlichen Standardabweichungen s . Daher kann ein für das Universalmodell gültiges A_{uni} nicht durch Mittelung der aus den Einzelmodellen gewonnenen Kurvenflächen A berechnet werden. Vielmehr muss die maximale Höhe der Verteilung für jedes Tal errechnet werden. Durch Mittelung dieser Höhen kann dann mit der gemittelten Standardabweichung s_{uni} die Kurvenfläche A_{uni} des Gesamtmodells berechnet werden:

$$A_{uni} = \frac{1}{3} \left(\frac{A_{bash}}{s_{bash} \cdot \sqrt{2\pi}} + \frac{A_{madian}}{s_{madian} \cdot \sqrt{2\pi}} + \frac{A_{pshart}}{s_{pshart} \cdot \sqrt{2\pi}} \right) \cdot (s_{uni} \cdot \sqrt{2\pi})$$

Insgesamt ergeben sich damit für den Zusammenhang zwischen Gesamtdeckung (GD) Artenzahl (AZ) von der Beweidungsintensität (BI) folgende Universalmodelle:

$$y = \frac{A_{uni}}{s_{uni}\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x - m_{uni})^2}{2s_{uni}^2}\right] \quad (6.2)$$

$$GD = \frac{290,2}{3,559 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(BI - 9,386)^2}{2 \cdot (3,559)^2}\right] \quad (6.3)$$

$$AZ = \frac{83,97}{3,876 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(BI - 8,547)^2}{2 \cdot (3,876)^2}\right] \quad (6.4)$$

Nachfolgend soll eine Betrachtung der einzelnen Täler unter Darstellung der Modellierung des Datensatzes sowie des prognostizierten Verhaltens unter Anwendung des Universalmodells erfolgen.

6.9.2 Modell Bash Gumbez

Das Verhalten der Gesamtdeckung und Artenzahl bezüglich der Beweidungsintensität, geprüft an den 52 Aufnahmen des Tals Bash Gumbez, ist in Abbildung 6.3 dargestellt. Für die Modellierung der Gesamtdeckung wurde der Wert unter Beweidungsintensität 4 und 5 aus dem Modell entnommen, da diese Ausreißer bilden und nur jeweils eine Fläche pro Beweidungsintensitätsstufe vorhanden ist. Die maximale Gesamtdeckung ist bei einer Beweidungsintensität von 8,96 vorzufinden und kann einen Wert von 34,11% erreichen. Die nahe Streuung der Punkte um die modellierte Kurve zeigt, dass eine Annahme des Modells durchaus gerechtfertigt ist. Die Artenzahl bildet ihren Maximalwert von 8,75 Arten bei einer Beweidungsintensität von 8,40 aus. Die Streuung der Punkte um die simulierte Kurve ist deutlich geringer als die der Gesamtdeckung.

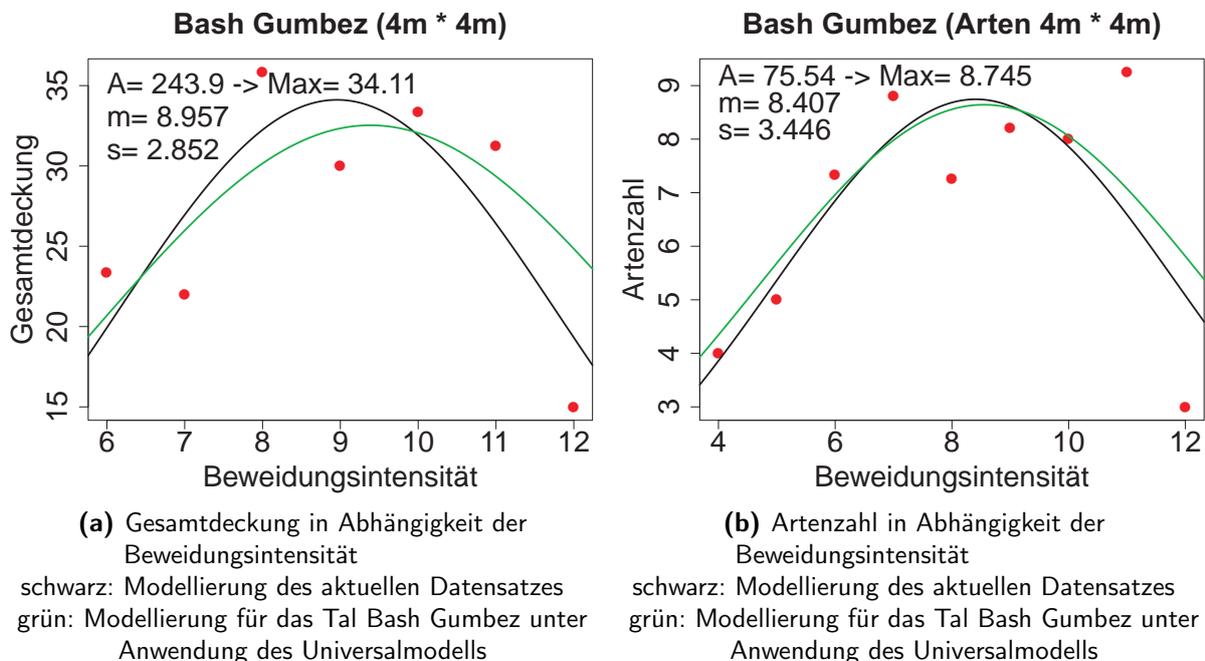


Abbildung 6.3: Modell des Einflusses der Beweidungsintensität für das Tal Bash Gumbez

Ein Vergleich mit der Kurve, welche über das Universalmodell erstellt und auf den Datensatz Bash Gumbes angewandt wurde, zeigt, dass hinsichtlich der Deckung eine leichte Verschiebung nach rechts sowie eine Abschwächung der Steilheit der Kurve stattfindet. Die prognostizierte Kurve der Artenzahl hingegen scheint nahezu identisch mit der aktuellen Kurve.

6.9.3 Modell Madian Gumbez Kol

Für das Tal Madian Gumbez Kol wurde der Wert der Gesamtdeckung und Artenzahl bei einer Beweidungsintensität von 4 ausgeschlossen. Insgesamt fanden 56 Flächen Eingang in das Modell. Die errechnete maximale Gesamtdeckung liegt bei 20,46% bei einer Beweidungsintensität von 10,09 und kann aus Abbildung 6.4 ersehen werden. Die Artenzahl hat ihr Maximum mit 7,33 Arten bei einer Beweidungsintensität von 8,17. Bezüglich der Gesamtdeckung fällt auf, dass ein sehr flacher Anstieg der Deckung mit steigender Beweidungsintensität zu verzeichnen ist, welcher im Vergleich zum maximal anzunehmende Wert auf einem erhöhten Level von ca. 10% Deckung bei einer Intensität von 15 endet.

Die speziell für das Madian Gumbez Kol modellierte Kurve weicht von der Universalkurve stark ab. Hinsichtlich der Gesamtdeckung sind die Abweichungen deutlich stärker als im Vergleich zur Artenzahl. Die prognostizierten Kurvenverläufe weisen beide sowohl auf eine höhere Deckung als auch auf eine höhere Artenzahl hin.

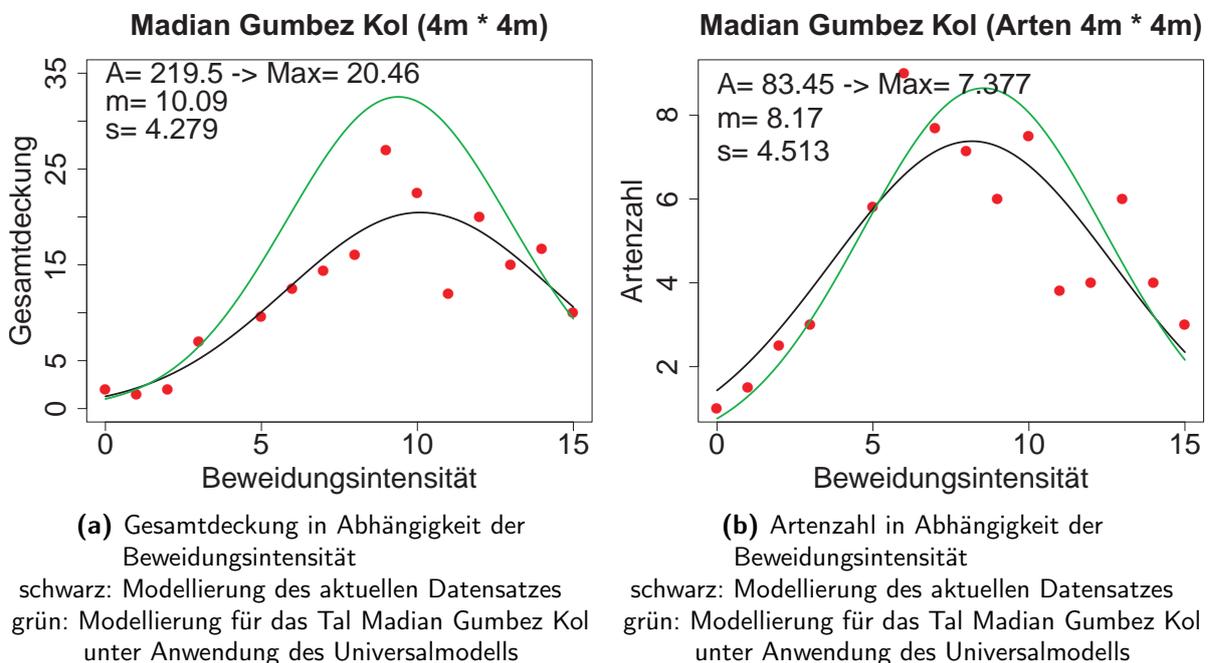


Abbildung 6.4: Modell des Einflusses der Beweidungsintensität für das Tal Madian Gumbez Kol

6.9.4 Modell Pshart Gumbez Kol

Die 108 Flächen des Pshart Gumbez Kol lassen keine eindeutigen Ausreißer erkennen und finden daher alle im Modell Verwendung. Während die tatsächliche maximale Gesamtdeckung bei 52% liegt, wird im Modell ein maximaler Deckungswert von 43,02% ermittelt. Die Beweidungsintensität nimmt unter diesem Wert einen Betrag von 9,11 an. Die Artenzahl wird nach dem Modell einen maximalen Wert von 10,11 bei einer Beweidungsintensität von 9,064 annehmen. Dargestellt ist der Kurvenverlauf in Abbildung 6.5.

Der Vergleich der modellierten Kurve mit der universal modellierten Kurve zeigt, dass der Verlauf der Kurven in beiden Fällen zwar gleich, jedoch im Wertebereich verschoben ist. So liegt die Universalkurve immer unter den tatsächlichen Werten, kann aber, auf Grund der relativ geringen Differenzen und des sehr ähnlichen Verlaufs als gültig angenommen werden.

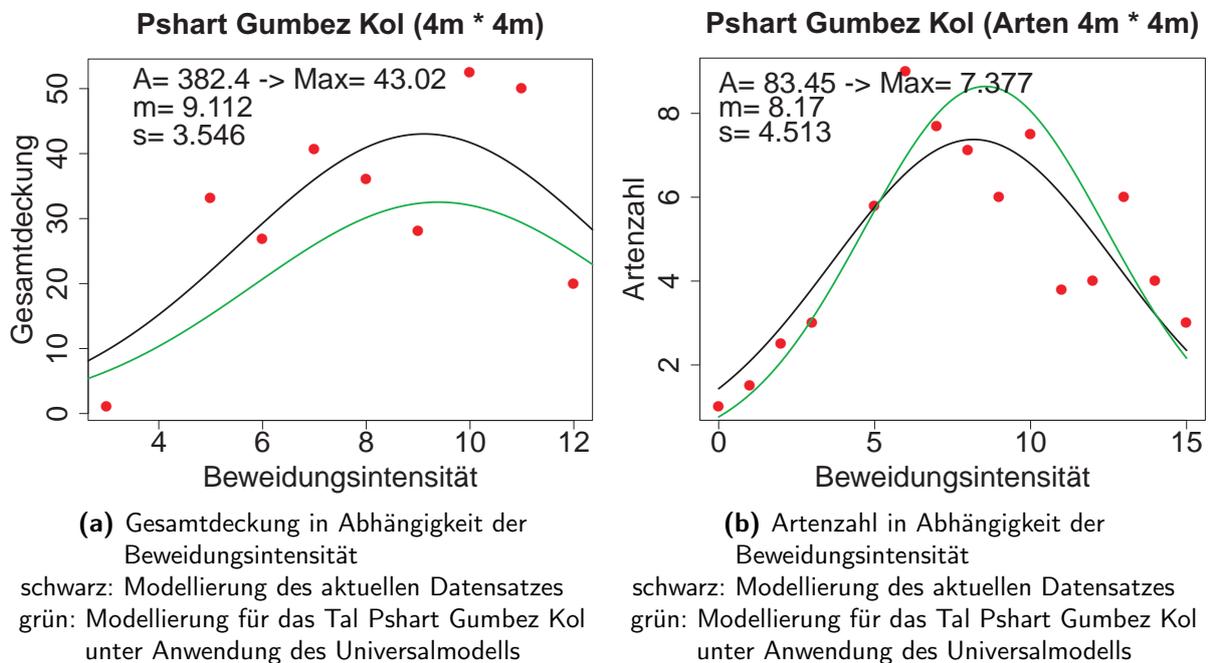


Abbildung 6.5: Modell des Einflusses der Beweidungsintensität für das Tal Pshart Gumbez Kol

6.9.5 Modell Pamir 2008

Unter Einbezug der 301 Mesoflächen wurde ein Modell erstellt, welches hier, auf Grund der regionalen Verteilung über das Arbeitsgebiet, als Modell Pamir 2008 gehandelt wird. Neben den drei Eingangs vorgestellten Tälern finden insbesondere Flächen aus dem Chong Pamir und den kleinen Seitentälern in der Nähe von Murghab hier Verwendung. Die Gesamtdeckung liegt gemittelt bei einer Beweidungsintensität von 8,83 mit einem Wert von 30,11%. Die Artenzahl erreicht bei einer Beweidungsintensität von 8,66 durchschnittlich maximal 7,9 Arten.

Der Vergleich mit der Universalkurve, welche unter Einbezug der Faktoren der drei vorgestellten Täler erfolgte, zeigt, dass das Modell Potential hat. Die Abweichungen der tatsächlichen Kurve sind relativ gering.

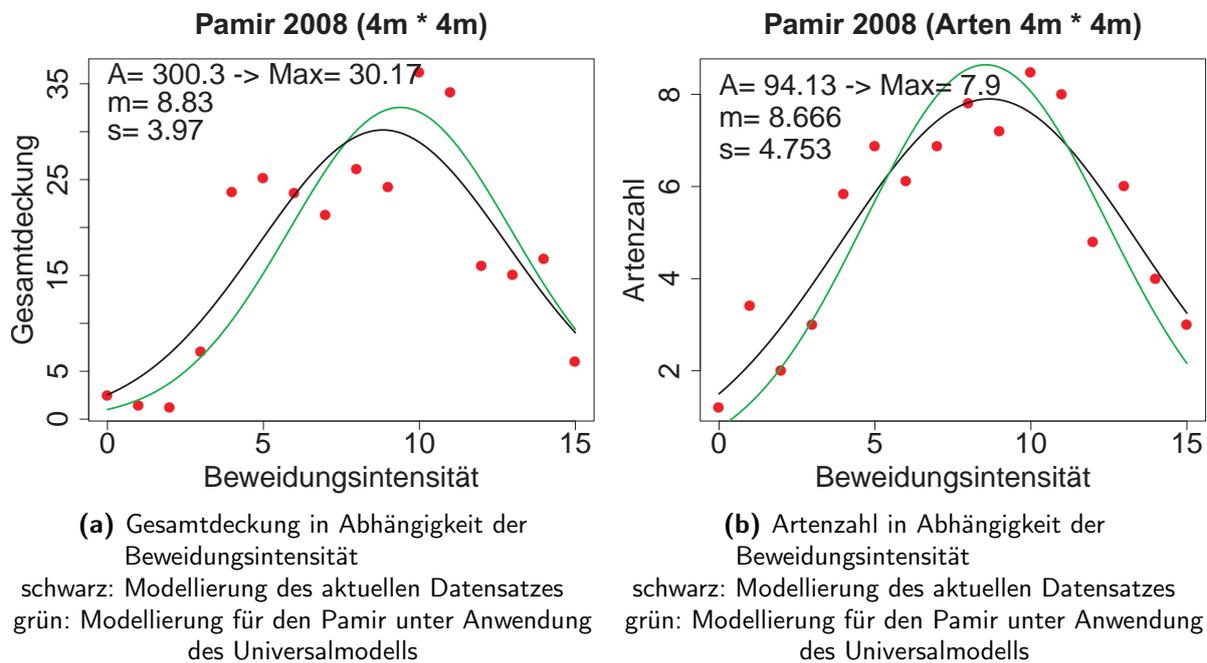


Abbildung 6.6: Modell des Einflusses der Beweidungsintensität für die Mesoflächen Pamir 2008

6.9.6 Diskussion des Modells - Probleme und Nutzen

Nach Guisan und Zimmermann (2000) ist „Nature [...] too complex and heterogenous to be predicted accurately in every aspect of time and space from a single, although complex, modell“ (Guisan & Zimmermann, 2000). Wie sich an dem sehr vereinfachten Modell gezeigt hat, ist die Anwendbarkeit des Modells nicht immer gegeben. Während es im Pshart Gumbez Kol, im Bash Gumbez und für den gesamten Pamir zu passen scheint, entstehen im Madian Gumbez Kol unter Anwendung des Modells starke Differenzen zwischen der Kurve des Jahres 2008 und der Universalkurve für das Tal. Ein Vergleich der Flächentypen des Tals mit den übrigen Gebieten zeigt, dass im Madian Gumbez Kol die Wüsten- und Zwergstrauchwüsten die weiteste Verbreitung haben. Um den Einfluss dieser Vegetationsgruppe darzulegen, wurde ein Modell aller über das Gebiet aufgenommen Flächen dieses Typs berechnet und anschließend das Universalmodell entsprechend angepasst und in das Modell miteinbezogen. Unter Abbildung 6.7 zeigt sich, wie vermutet, dass das Modell auf Wüsten nicht anwendbar ist, da hier der Kurvenverlauf eher flach und ohne ausgeprägtes Maximum von Gesamtdeckung und Artenzahl ist.

Somit lässt sich für das Modell festhalten, dass es geeignet scheint, um allgemeine Trends der Entwicklung der Artenzahl und der Gesamtdeckung aufzuzeigen, jedoch keine Gültigkeit für Gebiete mit hohem Wüsteneinfluss hat. Diese Tatsache bestätigt das Postulat von Guisan und Zimmermann, nach welchem die Natur zu vielfältig und komplex ist um ein allgemein gültiges

Modell dafür zu entwerfen. Für kleinere Ausschnitte des Ökosystems ist eine Entwicklung von Modellen aber durchaus sinnvoll.

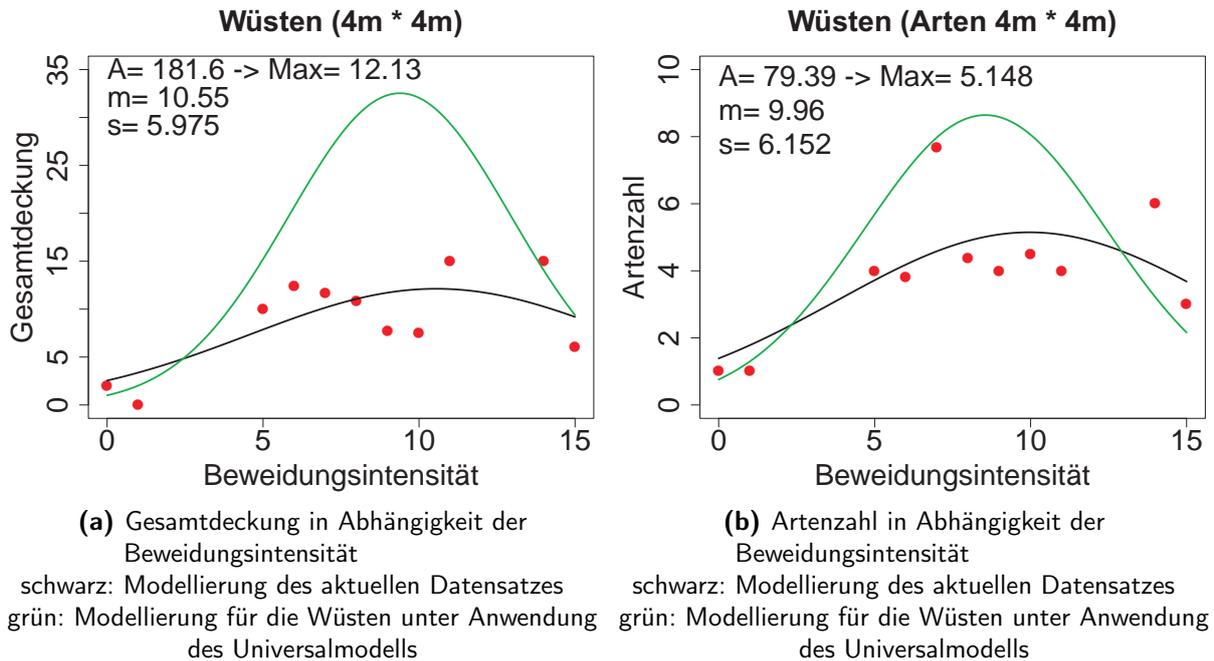


Abbildung 6.7: Modell des Einflusses der Beweidungsintensität für die Wüstenflächen

6.10 Zusammenfassung

- Die Aussage der Mesoflächen könnte durch die Entnahme und Teilanalyse kleiner Bodenmischproben erhöht werden. Insbesondere die Analyse von Kohlenstoff und Stickstoff steht in enger Verbindung mit der Ausbreitung, Ansiedlung und Lebensweise von Pflanzen.
- Insbesondere kleine Aufnahmen sind häufig Fehler behaftet bezüglich der Wahl der Aufnahmeflächen. Zur Unterstützung der Datenbasis müssen zusätzliche Linientransekte im Feld aufgenommen werden.
- Aktuelle Diskussionen in der statistischen Auswertung ökologischer Daten befassen sich immer wieder mit der Problematik der Auswertung ordinal skalierten Daten. Nach Podani (2005; 2006) ist eine Transformation ordinalskalierten Variablen in metrische Daten mathematisch nicht erlaubt. Ricotta und Giancarlo (2006) hingegen vertreten den Standpunkt einer möglichen Transformation. Soweit die statistischen Verfahren sinnvoll und die mathematischen Regeln nicht gravierend verletzt wurden, konnte im Rahmen dieser Arbeit eine Transformation ordinalskalierten Braun-Blanquet Werte in metrische Zahlen durchgeführt werden.
- Als geeignete Methode der Clusteranalyse wurde für die Vegetationsklassifikation das complete linkage Verfahren gewählt. Wichtiger in dieser Arbeit ist es, dass die Abstände innerhalb statt zwischen den Gruppen klein sind.

- Ein Vergleich der Ordinationsmethoden DCA, CCA und NMDS hat gezeigt, dass für den vorliegenden Datensatz die NMDS die geeignetere Methode der statistischen Auswertung darstellt. Die DCA zeigt sich anfällig gegenüber Ausreißerflächen.
- Da die Diskriminanzanalyse auf Basis eigens eingeteilter Gruppen das bessere Ergebnis bezüglich der richtigen Gruppierung erzielte, kann daraus geschlossen werden, dass statistische Auswertung neben der Kenntnis mathematischer Auswertungsmethoden immer ökologische Fachkenntnis voraussetzt.
- Auf Grund der Bedeutung der Beta-Diversität hinsichtlich Ökosystemfunktion, Ökosystemmanagement und Bewahrung der Biodiversität scheint sie ein geeignetes Mittel zur Auswertung der Linientransekte zu sein.
- Eine Prüfung der equilibrium-Hypothese weist dem Ostpamir einen Zustand zwischen equilibrium und non-equilibrium zu. Genauere Untersuchungen bedürfen längerer Zeiträume und einer differenzierten Betrachtungsweise nach Vegetationseinheiten.
- Davon ausgehend, dass Yaks täglich größere Mengen Samen bei der Futteraufnahme zu sich nehmen, kann angenommen werden, dass der Transport mittels Yaks über weite Strecken zu einer Erhöhung der Artenvielfalt führt. Dem gegenüber stehen Beobachtungen im Gelände, die belegen, dass insbesondere in der Nähe von Siedlungen der Yakdung eingesammelt und dadurch keine Verbreitung der Arten stattfinden kann.
- Das Fehlen nährstoffreichen, humosen Bodens erschwert die Ansiedlung neuer Arten auf Murmeltierbauten. Auf den Murmeltierflächen spielen Zwergsträucher eine wichtige Rolle.
- Nach Tsuyuzaki und Tsujii (1990) soll es unter Yakbeweidung zu einem Rückgang der Gräser, der Biomasse und auch der Artenvielfalt kommen. Eigene Beobachtungen konnten, unter Annahme mittelstarker Beweidungsintensitäten, dies widerlegen.
- Intensiv mit Schafen beweidete Flächen unterliegen häufig einer Überalterung des Vegetationsbestandes, da insbesondere bei Schafen ein Verbiss junger Arten zu verzeichnen ist.
- Ziegen graben Pflanzen häufig an und schädigen diese durch Verbiss an freiliegenden Wurzeln. Daher kommt es, ähnlich wie bei Murmeltieren, zu einem großen Anteil Nekromasse im System.
- Die Entnahme von Zwergsträuchern geschieht in der Regel selektiv und nicht flächenhaft. Durch das Stechen von Teresken kann es verstärkt zu Winderosion kommen. Auf Grund der selektiven Entnahme älterer Exemplare ist ein Rückgang produktiver und verholzter Zwergsträucher zu beobachten.
- Belskys These (1992) besagt, dass ein Anstieg in der Weidenutzung zu einem Rückgang mehrjähriger und einer Förderung kurzlebiger Arten beiträgt. Dieser These kann nicht zugestimmt werden. Stark beweidete Flächen zeigen noch immer ein Vorkommen von *Krascheninnikovia ceratoides* oder *Seriphidium leucotrichum*.

- Die nahe der Jurten und in der Nähe größerer Siedlungen befindlichen Gebiete zeigen starke Spuren von Übernutzung. Dies hat sowohl auf die Vegetation als auch auf den Boden gravierende Auswirkungen. Letzterer reagiert allerdings langsamer auf Veränderungen in der Beweidungsintensität als die Vegetation.
- Am Pass des Madian Seitentals konnte *Krascheninnikovia ceratoides* als Schlüsselart identifiziert werden.
- Die insurance-Hypothese findet insbesondere auf Murmeltierstörflächen Anwendung. Bisher zweitrangige Arten wie z.B. *Potentilla pamirica* gewinnen an Bedeutung.
- Die redundant-species Hypothese steht im Ostpamir im direkten Zusammenhang mit der key-species Hypothese. Häufig ist die redundant-species und die key-species die gleiche Art.
- Die IDH kann bezüglich des Einflusses der Beweidungsintensität weitgehend bestätigt werden. Störungen durch Murmeltiere bestätigen die IDH nicht.
- Der Versuch einer Modellierung der Weidenutzung zeigt ein Maximum der Diversität und Gesamtdeckung im oberen mittleren Bereich. Die Anwendung eines Modells für den gesamten Ostpamir hat ergeben, dass Wüstenflächen hinsichtlich des Modells Probleme bereiten und eine differenzierte Betrachtungsweise fordern.
- Auf weniger intensiv beweideten Quellrasenflächen wird der Faktor der Konkurrenz von Bedeutung und es kommt zu einer Artenverarmung.
- Für aride Ökosysteme wie den Ostpamir spielen neben dem Einfluss der Niederschläge und der Entfernung zum Wasser besonders Bodennährstoffe wie Stickstoff eine wichtige Rolle.
- Eine positive Artinteraktion kann als steuernde Größe der Quellrasenarten angenommen werden. Im Untersuchungsgebiet sind es nicht die Orte mäßiger Produktivität, welche die höchste Artenvielfalt hervorbringen, sondern die Quellrasenflächen, die die höchste Produktion von Biomasse nachweisen können.
- Störungen spielen für die untersuchten Flächen eine wichtige Rolle, bilden jedoch nicht die dominante Steuerungsgröße.

Kapitel 7

Synthese

Eine Klassifikation der Flächen ergab eine Zuordnung zu den sechs innerhalb des Projekts festgelegten Vegetationseinheiten Quellrasen, Alpine Matten, Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Krascheninnikovia, Zwergstrauch-Polster-Steppen Typ Seriphidium, Wüsten- und Zwergstrauchwüsten und Felsvegetation. Auf den Mesoflächen konnten zusätzlich Untereinheiten der ZPSS und ZPSK klassifiziert werden. Dazu gehören die Leymus- und die Elymussteppen. Die Alpenen Matten zeichnen sich in der Regel in erster Linie auf den Mesoflächen aus.

Die Vegetation des Ostpamir wird von unterschiedlichsten Faktoren beeinflusst. Die Abhängigkeit von unterschiedlichen Umwelt- und Bodenparametern muss nach Gebiet differenziert betrachtet werden. Allgemein lässt sich eine starke Abhängigkeit der Vegetation von C_{org} und dem damit in Verbindung stehenden Humusgehalt feststellen. Der Gehalt von $CaCO_3$, hoher Stickstoffanteil, die Entfernung zum Wasser und die Südlichkeit sind weitere, nach Gebiet unterschiedlich ausgeprägte Parameter, die einen stark steuernden Einfluss auf die Vegetation haben. Mit Ausnahme des Tales Bash Gumbez, in welchem die Beweidung keinen signifikanten Einfluss auf die Vegetation zu haben scheint, lassen sich Beweidung (in Form von Tritt oder Verbiss) und der Einfluss von Murmeltieren in den Ordinationen der fokussierten Täler nachweisen. Zwergstrauch-Polster-Steppen zeigen sich häufig durch Murmeltiere beeinflusst.

In der Nähe der Murmeltierbauten besteht nur ein geringes Potential für die Ansiedlung neuer Arten. Es lässt sich auf Flächen mit Murmeltierbauten ein Rückgang der Kräuter verzeichnen. Die Artenstruktur auf den Flächen verändert sich und es kommt zu einem Verlust von Biomasse. Die Bedeutung von Zwergsträuchern auf Murmeltierflächen ist hoch. Bezüglich der Biomasse der von Murmeltieren beeinflussten Flächen muss zwischen Nekromasse und Biomasse unterschieden werden. Insbesondere an den Zwergsträuchern kann ein Verbiss der Wurzeln beobachtet werden. Dieser Verbiss führt zum Absterben ganzer bzw. großer Teile der Pflanze.

Im Gegensatz zu den Murmeltieren kommt es auf Flächen die überwiegend von Yaks beweidet werden, zu einem Anstieg in der Artenvielfalt, solange eine moderate Beweidungsintensität vorliegt. Bei Ziegen konnte ein Angraben und Verbiss der Wurzeln beobachtet werden, so dass hier, ebenso wie bei den Murmeltieren, neben dem Biomasseverlust durch das Fressen auch der Faktor der Nekromasse eine Rolle spielt. Der Verbiss von Schafen insbesondere an jungen Pflanzen führt zu einer Überalterung der Vegetation. Die Zwergsträucher verzeichnen hinsichtlich junger Triebe einen hohen Verbiss durch Schafe.

Eine Übernutzung der Weideflächen konnte besonders hinsichtlich der Beweidung durch Ziegen und Schafe beobachtet werden. Die großen Viehherden sind häufig für die kleinen Täler wie im Pshart Gumbez Kol festgestellt, nicht tragbar. Ähnliche Beobachtungen konnten auch im Madian Gumbez Kol gemacht werden, in welchem ein hoher Anteil an Kleinvieh vorzufinden ist. Besonders betroffen von der Überweidung sind Flächen nahe der Jurten. Im Madian Gumbez Kol beispielsweise beträgt die Deckung dieser Flächen weniger als 5%.

Der Versuch einer Modellierung der Abhängigkeit der Gesamtdeckung und der Artenzahl von der Beweidungsintensität lieferte für den Aufnahmezeitraum gute Ergebnisse. Zukünftig muss das Modell um den Faktor Zeit erweitert und stärker differenziert werden. Auch eine Validierung des Modells steht noch aus. Dazu gehört z.B. eine Aufschlüsselung der Beweidungsintensität nach Nutztieren innerhalb des Modells.

Zusammengefasst lässt sich für die im Jahr 2008 untersuchten Aufnahmeflächen ein Zustand zwischen equilibrium und non-equilibrium Ökosystem ausweisen. Für künftige Untersuchungen wäre eine Differenzierung nach Vegetationseinheiten und eine Beschreibung des EQ bzw. NEQ Zustandes für die einzelnen Vegetationsformationen sinnvoll. Ein längerer Beobachtungszeitraum würde die Aussagekraft erhöhen. Nach Auffassung mancher Wissenschaftler wie Connell und Soussa muss der Beobachtungszeitraum sogar einen kompletten turnover aller Arten betragen.

Die Betrachtung von Störungseinflüssen sollte ebenfalls über mehrere Jahre angelegt durchgeführt werden. Der bisher nicht berücksichtigte Faktor des Niederschlag spielt für aride Ökosysteme eine entscheidende Rolle. In der hier vorliegenden Arbeit ist daher nie sicher zu sagen, ob Veränderungen auf Grund von Niederschlagsereignissen oder Störungen eintreten. Die Auswirkungen der Störungen lassen sich des weiteren häufig erst in der folgenden Vegetationsperiode abschätzen. Untersuchungen mittels enclosure-Flächen würden einen Vergleich und eine genauere Festlegung der Störintensität ermöglichen. Bodenproben aller Mesoflächen würden die Aussagekraft bezüglich Störungseinflüssen erhöhen. Eine Beobachtung der Betadiversität über einen längeren Zeitraum erscheint ebenfalls sinnvoll.

In der Nähe größerer Siedlungsflächen ist ein Rückgang von Teresken und Zwergsträuchern im allgemeinen zu verzeichnen. Zwar stimmen die in der Literatur gemachten Angaben wie z.B. dass es in einem Umkreis von 100 km um Murghab keinen Teresken mehr gibt (Doempke, 2008) nicht, doch ist ein Rückgang insbesondere bei den größeren und älteren Exemplaren zu verzeichnen. Das Tereskenproblem wird in naher Zukunft von noch größerer Bedeutung für die Region werden. Die Konkurrenz um die Pflanze als Energiequelle und Futterpflanze steigt stetig. Dies liegt in erster Linie an der ständigen Erhöhung der Viehzahlen und der veränderten Nutzung der Weideflächen.

Auch wenn eine Entzerrung bezüglich der Futternutzung stattfinden sollte, muss in naher Zukunft dennoch nach einer Lösung für die steigende Energieproblematik gesucht werden. Studien zur Etablierung alternativer Energiequellen und der Versuch, Umsetzungskonzepte für die lokale Bevölkerung zu entwickeln, stehen dabei an erster Stelle. Im Vorfeld dazu müssten allerdings Studien zum aktuellen Stand der Energieversorgung und der Entnahme von Teresken durchgeführt werden, um die Rolle anthropogener Störungen noch genauer zu beleuchten.

Literaturverzeichnis

- Agachanjanc, O.E.** (1965): Osnovnye problemy fizičeskoj geographii Pamira. [Grundprobleme der physischen Geographie des Pamirs]. Band 1. Dušanbe.
- Agachanjanc, O.E.** (1979): Besonderheiten in der Natur der ariden Gebirge der UdSSR. In: Petermanns Geographische Mitteilungen Band 123, H.2, S.73–77.
- Agachanjanc, O.E.** (1980): Die geographischen Ursachen für die Lückenhaftigkeit der Flora in den Gebirgen Mittelasiens. In: Petermanns Geographische Mitteilungen Band 124, H.1, S.47–52.
- Agachanjanc, O.E.** (1985a): Zum Problem der rezenten und früheren Vergletscherung des Pamir. In: Petermanns Geographische Mitteilungen Band 129, H.4, S.233–238.
- Agachanjanc, O.E.** (1985b): Ein ökologischer Ansatz zur Höhenstufengliederung des Pamir-Alai. In: Petermanns Geographische Mitteilungen Band 129, H.1, S.17–23.
- Agakhanjanz, O. & Breckle, S.-W.** (2003): Vegetation of the Pamirs – classification, cartography, altitudinal belts. In: Breckle, S.-W. (Hrsg.): Bielefelder Ökologische Beiträge Band 18, Bielefeld. S.17–19.
- Agakhanjanz, O. & Breckle, S.** (2004): Pamir. In: Burga, C.A, Klötzli, F. & Grabherr, G. (Hrsg.) Gebirge der Erde, S.151–157. Stuttgart.
- Agkhamadov, H.M.** (2003): Soil and desertification processes in the Pamirs. In: Breckle, S.-W. (Hrsg.): Bielefelder Ökologische Beiträge Band 18, Bielefeld. S.20–24.
- Armitage, K.B.** (1979): Food selectivity by yellow-bellied marmots. In: Journal of mamalogy Band 60, S.628–629.
- Ayuba, H.K.** (2001): Livestock Grazing Intensities and Soil Deterioraton in the Semi-Arid Rangeland of Nigeria: Effects on Soil Chemical Status. In: Discovery and Innovation Band 13, H.3, S. 150–155.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R.** (2006): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Heidelberg.
- Baker, K.** (2000): Indigenous Land Management in West Africa. Oxford.
- Bakker, E. & Olf, H.** (2003): Impact of different-sized herbivores on recruitment opportunities for subordinate herbs in grasslands. In: Journal of Vegetation Science Band 14, H.4, S.465–474.
- Behnke, R.H., Scoones, I & Kerven, C.**(Hrsg.) (1993): Range ecology at disequilibrium: New models of natural variability and pastoral adaption in African savannas. London.

Belsky, A.J. (1984): Small-scale pattern in grassland communities in the Serengeti national park, Tanzania. In: *Vegetatio* Band 55, H.3, S.141–151.

Belsky, A.J. (1986): Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. In: *The American Naturalist* Band 127, H.6, S.870–892.

Belsky, A.J. (1992): Effects of grazing, competition, disturbance and fire on species composition and diversity in grassland communities. In: *Journal of Vegetation Science* Band 3, H.2, S.187–200.

Berg, L.S. (1959): Die geographischen Zonen der Sowjetunion. Band 2. Leipzig.

Bimüller, C. (2009): Die Böden im Ostpamir Tadschikistans – Charakteristik und Einfluss unterschiedlicher Beweidungsintensitäten. Diplomarbeit. (unveröffentlicht)

Blume, H.-P., Deller, B., Leschber, R., Paetz, A., Schmidt, S. & Wilke, B.-M. (2000a): Handbuch der Bodenuntersuchung. Band 5. Berlin.

Blume, H.-P., Deller, B., Leschber, R., Paetz, A., Schmidt, S. & Wilke, B.-M. (2000b): Handbuch der Bodenuntersuchung. Band 7. Berlin.

Blumstein, D.T. & Foggin, J.M. (1997): Effects of vegetative variation on weaning success, over winter survival and social group density in golden marmots (*marmota caudata aurea*). In: *Journal of Zoology* Band 243, S.57–69.

Blumstein, D.T. & Arnold, W. (1998): Ecology and social behavior of golden marmots (*marmota caudata aurea*). In: *Journal of Mammalogy* Band 79, H.3, S.873–886.

BMZ (2005): Desertifikationsbekämpfung 2005
<http://www.gtz.de/de/dokumente/de-desert-projekte-tadschikistan.pdf>
(zuletzt aufgerufen 12.12.09)

Borisov, A.A. (1965): *Climates of the U.S.S.R.* Edinburgh/London.

Breckle, S. & Wucherer, W. (2006): Vegetation of the Pamir (Tajikistan): Land use and desertification problems. In: Spehn, E. Liberman, M & Körner, C. (Hrsg.): *Land use change and mountain biodiversity*. London. S.225–237.

Bresinsky, A., Körner, C., Kadereit, J.W., Neuhaus, G., Sonnewald, U. (2008): *Strasburger. Lehrbuch der Botanik*. Heidelberg.

Breu, T. & Hurni, H (2003): The Tajik Pamirs. Challenges of sustainable development in an isolated mountain region. Center for Development and Environment (Hrsg.).
http://www.cde.unibe.ch/CDE/PubMed_Detail2_CD.asp?ID=410
(zuletzt aufgerufen 16.12.09)

Brosius, F. (2008): *SPSS 16. Das mitp-Standardwerk*. Heidelberg.

CBD (2001–2005): *Convention on biological diversity*
<http://www.cbd.int/> (zuletzt aufgerufen 18.12.09)

Cherbar, V.V. (2001): Geographical distribution of soils in the Pamir Mountains as dependent on temperature and hydrothermic conditions. In: *Eurasian soil science* Band 34, Moscow, S.815–819.

- Chytrý, M & Otýpková, Z.** (2003): Plot sizes used for phytosociological sampling of European vegetation. In: *Journal of Vegetation Science* Band 14, H.6, S.563–570.
- Connell, J.H.** (1978): Diversity in tropical rain forest and coral reefs. In: *Science* Band 199, H.24, S.1302–1310.
- Couteron, P., Seghieri, J. & Chadœuf, J.** (2003): A test for spatial relationships between neighbouring plants in plots of heterogeneous plant density. In: *Journal of vegetation science* Band 14, H.2, S.163–172.
- Crawley, M.J. & Harral, J.E.** (2001): Scale dependence in plant biodiversity. In: *Science* Band 291, S.864–867.
- DeAngelis, D.L. & Waterhouse, J.C.** (1987): Equilibrium and nonequilibrium concepts in ecological models. In: *Ecological Monographs* Band 57, H.1, S.1–21.
- Dettling, J.K.** (1998): Mammalian herbivores: ecosystem-level effects in two grassland national parks. In: *Wildlife Society Bulletin* Band 26, H.3, S.438–448.
- DeWeerd, B.** (1995): Morphology of *marmota caudata*
<http://www.eol.org/pages/312106> (zuletzt aufgerufen am 2.11.09)
- Dickson, T.L. & Foster, B.L.** (2008): The relative importance of the species pool, productivity and disturbance in regulating grassland plant species richness: a field experiment. In: *Journal of Ecology* Band 96, S.937–946.
- Dierschke, H.** (1994): *Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden*. Stuttgart.
- Doempke, S.** (2008): *Pamir-Alai Transboundary Conservation Area (PATCA). Mission Report*. Berlin.
- Domeisen, M.** (2003): *Marginalized by the Impacts of Transformation. A Study of Post Soviet Livestock Breeding in the High Mountains of the Eastern Pamirs*. Diplomarbeit. Universität Bern.
- Douglas, A.F. & McNaughton, S.J.** (1992): The ecology of plants, large mammalian herbivores and drought in Yellowstone national park. In: *Ecology* Band 73, H.6, S.2043–2058.
- Fahnenstock, J.T. & Detling, J.K.** (1999): The influence of herbivory on plant cover and species composition in the Pryor Mountain Wild Horse Range, USA. In: *Plant Ecology* Band 144, S.145–157.
- eFloras** (2009): *Flora of China and Pakistan*.
<http://www.efloras.org/> (zuletzt aufgerufen 6.12.09)
- Encyclopedia Britannica** (2009)
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/496182/Regosol>
 (zuletzt aufgerufen 18.12.09)
- Fernandez-Gimenez, M.E. & Allen-Diaz, B.** (1999): Testing a non-equilibrium model of rangeland vegetation dynamics in Mongolia. In: *Journal of Applied Ecology* Band 36, S.871–885.
- Franz, H.-J.** (1973): *Physische Geographie der Sowjetunion*. Gotha/Leipzig.

- Fraterrigo, J.M. & Rusak, J.A.** (2008): Disturbance-driven changes in the variability of ecological patterns and processes. In: *Ecology Letters* Band 11, H.8, S.756–770.
- Frey, W. & Lössch, R.** (2004): *Lehrbuch der Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit.* München.
- Geographisch-Kartographisches-Institut Meyer**(Hrsg.) (1969): *Sowjetunion. Daten, Bilder, Karten.* Mannheim.
- Götz, R. & Halbach, U.** (1996): *Politisches Lexikon. GUS.* München.
- Grabherr, G.** (1997): *Farbatlas Ökosysteme der Erde: natürliche, naturnahe und künstliche Land-Ökosysteme aus geobotanischer Sicht.* Stuttgart.
- Grüninger, F.** (1999): *Vegetationsstruktur, Futterwert und Ertrag intensiv beweideter Flächen im semi-ariden Südosten Zimbabwes.* Erlangen. (unveröffentlicht)
- Grüninger, F.** (2005): Scale dependent aspects of plant diversity in semiarid high mountain regions. An exemplary top-down approach for the Great Basin (USA). In: Struck, E. et al. (Hrsg.): *Passauer Schriften zur Geographie. H.21.* Passau.
- Grüninger, F.**(2008): Ursachen, Muster und Wert der Biodiversität – Beispiele aus den Americas. In: Rothfuß, E. (Hrsg.): *Entwicklungskontraste in den Americas. Passauer Kontaktstudium Erdkunde 9, Band 9, S.193–210.* Passau.
- Guisan, A. & Zimmermann, N.** (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. In: *Ecological Modelling* Band 135, H.2-3, S.147-186.
- Gumpfenberg von, M.-C. & Steinbach, U.**(Hrsg.) (2004): *Zentralasien. Geschichte, Politik, Wirtschaft. Ein Lexikon.* München.
- Gundlach, K.** (1934): Das Pamir-System (auf Grund neuerer Literatur). In: *Geologische Rundschau* Band 25, H.5, S.330–355.
- Guriceva, N.P.** (1985): Die Beeinflussung der Steppenvegetation im östlichen Changai durch bodenbewohnende Nagetiere. In: *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* Band 25, H.1, S.47–56.
- Herbers, H.** (2001): Transformation im tadschikischen Pamir. Vom Proletariat zum Bauerntum. In: *Geographische Rundschau* Band 53, H.12, S.16–22.
- Herbers, H.** (2002): Ernährungs- und Existenzsicherung im Hochgebirge: der Haushalt und seine livelihood strategies – mit Beispielen aus Innerasien. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* Band 146, H.4, S.78–87.
- Herbers, H.** (2004): Berichte aus dem tadschikischen Pamir: Die Transformation der Gebirgs-Umland-Beziehungen. In: Gamerith, W., Messerli, P., Meusbürger, P. & Wanner, H. (Hrsg.): *Alpenwelt – Gebirgswelten. Inseln, Brücken, Grenzen. Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. 54. Deutscher Geographentag Bern 2003. 28.September bis 4.Oktober 2003. Heidelberg/Bern. S.199–207.*
- Ho, P.** (2001): Rangeland degradation in North China revisited? A preliminary statistical analysis to validate non-equilibrium range ecology. In: *The Journal of Development Studies* Band 37, H.3, S.99–133.

- Hölting, B.** (1998): Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Stuttgart.
- Holling, C.S.** (1973): Resilience and stability of ecological systems. In: Annual Review of Ecology and Systematics Band 4, S.1–23.
- Holtmeier, F.-K.** (2002): Tiere in der Landschaft. Einfluss und ökologische Bedeutung. Stuttgart.
- Huebner, C.D. & Vankat, J.L.** (2003): The importance of environment vs. disturbance in the vegetation mosaic of Central Arizona. In: Journal of Vegetation Science Band 14, H.1, S.25–34.
- Hurni, H., Breu, T., Ludi, E. & Portner, B.** (2004): Der Tadschikische Pamir. Entwicklungsprobleme und Perspektiven einer Hochgebirgsregion in Zentralasien. In: Geographische Rundschau Band 56, H.10, S.60–65.
- Iglesias, R.M.R. & Kothmann, M.N.** (1997): Structure and causes of vegetation change in state and transition model applications. In: Journal of Range Management Band 50, H.4, S.399–408.
- Jentsch, A. & Beierkuhnlein, C.** (2003): Global climate change and local disturbance regimes as interacting drivers for shifting altitudinal vegetation patterns. In: Erdkunde Band 57, H.3, S.216–231.
- Jurasinski, G. & Kreyling, J.** (2007): Upward shift of alpine plants increases floristic similarity of mountain summits. In: Journal of Vegetation Science Band 18, H.5, S.711–718.
- Jusufbekov, H.J.** (1968): Uluchshenie pastbish i senokosov Pamira i Alaiskoi dolini. [Verbesserung von Weiden und Heuflächen des Pamir und des Alai-Tales]. Dušanbe.
- Kappes, M.** (2006): Character and magnitude of correlation between vegetation patterns and grazing on the summer pastures in the Fergana Range, Tian Shan (Kyrgyzstan). Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Bayreuth.
- Kellner, P.** (1996): Fütterung und Haltung. In: Lensch, J. / Schley, P. / Zhang, Rong-Chang (Hrsg.): Der Yak (*Bos grunniens*) in Zentralasien. Berlin. S.119–169.
- Kercher, S., Frieswyk, C.B. & Zedler, J.B.** (2003): Effects of sampling teams and estimated methods on the assessment of plant cover. In: Journal of vegetation science Band 14, H.6, S.899–906.
- Kerzum, P.A.** (1968): Počvy [Boden]. In: Narzikulov, I. K. & K. V. Stanjucovič (Hrsg.): Atlas Tadžikskoj Sovetskoj Socialističeskoj Respubliki. Dušanbe. S.94–95.
- Khain, V.** (1994): Geology of northern Eurasia (Ex-USSR); Second part of the geology of the USSR; Phanerozoic fold belts and young platforms. In: Beiträge zur regionalen Geologie der Erde Band 24. Berlin.
- Koleff, P., Gaston, K.J. & Lennon, J.J.** (2003): Measuring beta diversity for presence-absence data. Journal of Animal Ecology Band 72, S.367–382.
- Kratochwil, A. & Schwabe, A.** (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften. Biozönologie. Stuttgart.

Kreeb, K.-H. (1983): Vegetationskunde: Methoden und Vegetationsformen unter Berücksichtigung ökosystemarer Aspekte. Stuttgart.

Kraudzun, T. (2005): Die institutionelle Dimension der Transformationsprozesse im Ost-Pamir, Tadschikistan. Diplomarbeit. (unveröffentlicht)

Kraudzun, T. (2009): freundliche mündliche Mitteilung bezüglich der Viehzahlen in den untersuchten Tälern.

Kreutzmann, H. (1995): Mobile Viehwirtschaft der Kirgisen am Kara Köl: Wandlungsprozesse an der Höhengrenze der Ökumene im Ostpamir und im westlichen Kun Lun Shan. In: Petermanns Geographische Mitteilungen Band 139, H.3, S.159–178.

Kreutzmann, H. (2002): Gorno-Badakhshan: Experimente mit der Autonomie – Sowjetisches Erbe und Transformation im Pamir. In: Internationales Asienforum Band 33. H.1–2, S.31–46.

Kreutzmann, H. (2003a): Ethnic minorities and marginality in the Pamirian knot. Survival of Wakhi and Kirghiz in a harsh environment and global contexts. In: The Geographical Journal Band 169. H.3, S.215–235.

Kreutzmann, H. (2003b): Yak-keeping in the Pamirs: Strategies under changing frame conditions. In: Breckle, S.-W. (Hrsg.): Bielefelder Ökologische Beiträge Band 18, Bielefeld. S.54–63.

Kreutzmann, H. (2007): Geographische Entwicklungsforschung in zentralasiatischen Hochgebirgen. Überlebensstrategien in Zeiten der Globalisierung. In: Fachbereich Geowissenschaften der FU Berlin (Hrsg.): Der belebte Planet II. Berlin. S.61–67.

Kreutzmann, H. (2008): Boundary-Making and Geopolitical Diversity in the Pamirian Knot In: Colloquium Geographicum, Band 31, S.155–175.

Legendre, P. & Legendre, L. (2000): Numerical ecology developments in environmental modeling 20. Amsterdam.

Leser, H.(Hrsg.) (2001): Wörterbuch Allgemeine Geographie. Braunschweig.

Leyer, I. & Wesche, K. (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie. Eine Einführung. Heidelberg/Berlin.

Lozán, J.L. & Kausch, H. (2004): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Hamburg.

McCune, B & Keon, D. (2002): Equations for potential annual direct incident radiation and heat load. In: Journal of Vegetation Science Band 13, H.4, S.603–606.

Malkinson, D., Kadmon, R. & Cohen, D. (2003): Pattern analysis in successional communities – an approach for studying shifts in ecological interactions. In: Journal of Vegetation Science Band 14, H.2, S.213–222.

Middleton, R. (2002): Pamirs history. <http://www.pamirs.org/history.htm> (zuletzt aufgerufen am 29.10.09)

Miehe, G., Winiger, M. & Böhner, J. (2001): The climatic diagram map of High Asia. Purpose and concepts. In: Erdkunde Band 55, H.1, S.94–97 + Anlage.

- Minchin, P.R.** (1987): An evaluation of the relative robustness of techniques for ecological ordination. In: *Vegetatio* Band 69, S.89–107.
- Nedzvedsky, A.P.** (1968): Tektonika [Tektonik]. In: Narzikulov, I.K. & K.V. Stanjucovič (Hrsg.): *Atlas Tadžikskoj Sovetskoj Socialističeskoj Respubliki*. Dušanbe. S.18–19.
- Novak, R.M. & Paradiso, J.L.** (1983): *Walkers mammals of the world*. Baltimore/London.
- Okland, R.H.** (1996): Are ordination and constrained ordination alternative or complementary strategies in general ecological studies? In: *Journal of Vegetation Science* Band 7, S.289–292.
- Olson, B.E., Wallander, R.T. & Lacey, J.R.** (1997): Effects of sheep grazing on a spotted knapweed infested Idaho fescue community. In: *Journal of Range Management* Band 50, H.4, S.386–390.
- Podani, J.** (2005): Multivariate exploratory analysis of ordinal data in ecology: pitfalls, problems and solutions. In: *Journal of Vegetation Science* Band 16, H.5, S.497–510.
- Podani, J.** (2006): Braun-Blanquet's legacy and data analysis in vegetation science. In: *Journal of Vegetation Science* Band 17, H.1, S.113–118.
- Retzer, V. & Reudenbach, C.** (2005): Modeling the carrying capacity and coexistence of pika and livestock in the mountain step of the South Gobi, Mongolia. In: *Ecological Modeling* Band 189, H.1–2, S.89–104.
- Richter, M.** (2001): *Vegetationszonen der Erde*. Gotha.
- Ricotta, C. & Avena, G.** (2006): On the evaluation of ordinal data with conventional multivariate procedures. In: *Journal of Vegetation Science* Band 17, H.6, S.839–842.
- Roxburgh, S.H., Shea, K. & Wilson, J.B.** (2004): The intermediate disturbance hypothesis: Patch dynamics and mechanisms of species coexistence. In: *Ecology* Band 85, H.2, S. 359–371.
- Rudolf, M. & Kuhlisch, W.** (2008): *Biostatistik. Eine Einführung für Biowissenschaftler*. München.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P. & Blume, H.** (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg.
- Schley, P.** (1996): Naturgeschichte und Domestikation. In: Lensch, J., Schley, P. & Zhang, R.-C. (Hrsg.): *Der Yak (Bos grunniens) in Zentralasien*. Berlin. S.17–37.
- Schlichting, E., Blume, H.-P. & Stahr, K.** (1995): *Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler*. 2. Auflage. Berlin.
- Schröder, W., Vetter, L. & Fränzle, O.** (Hrsg.) (1994): *Neuere statistische Verfahren und Modellbildungen in der Geoökologie*. Braunschweig/Wiesbaden.
- Schulze, E.H., Beck, E. & Müller-Hohenstein, K.** (2002): *Pflanzenökologie*. Heidelberg/Berlin.

Sponagel, H. (Hrsg.), Grottenthaler, W., Hartmann, K.-J., Hartwich, R., Janetzko, P., Joisten, H., Kühn, D., Sabel, K.-J. & Traidl, R. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover.

Sturm, H.-J. (1995): Das Überweidungsproblem in der westafrikanischen Savanne. Neue Ansätze und Perspektiven. In: Berichte des Sonderforschungsbereichs 268, Band 5, S.163–176.

Succow, M. (1989): Die Mittelasiatischen Hochgebirge. In: Klotz, G. (Hrsg.): Hochgebirge der Erde. Leipzig. S.187–204.

Succow, M. (2004): Schutz der Naturlandschaften in Mittelasien. In: Geographische Rundschau Band 56, H.10, S.28–34.

Tischler, W. (1990): Ökologie der Lebensräume. Meer, Binnengewässer, Naturlandschaft, Kulturlandschaft. Stuttgart.

Trempe, H. (2005): Aufnahme und Analyse vegetationsökologischer Daten. Stuttgart.

Townsend, C.R. (2008): Essentials of ecology. Malden.

Tsuyuzaki, S. & Tsujii, T. (1990): Preliminary study on grassy marshland vegetation, western part of Sichuan Province, China, in relation to yak grazing. In: Ecological Research Band 5, S.271–276.

Wagner, H.H. (2004): Direct multi-scale ordination with canonical correspondence analysis. In: Ecology Band 85, H.2, S.342–351

Walker, B.H., Ludwig, D., Holling, S. & Peterman, R.M. (1981): Stability of semi-arid savanna grazing systems. In: Journal of Ecology Band 69, H.2, S.473–498.

Walker, S. & Wilson, J.B. (2002): Tests for nonequilibrium, instability, and stabilizing processes in semiarid plant communities. In: Ecology Band 83, H.3, S.809–822.

Walter, H. (1968): Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung. Band 2. Die gemäßigten und arktischen Zonen. Stuttgart.

Walter, H. & Breckle, S.-W. (1986): Spezielle Ökologie der Gemäßigten und Arktischen Zonen Euro-Nordasiens. Zonobiom VI–IX. In: Ökologie der Erde, Band 3. Stuttgart.

Walter, H. & Breckle, S.-W. (1994): Spezielle Ökologie der Gemäßigten und Arktischen Zonen Euro-Nordasiens. Zonobiom VI–IX. In: Ökologie der Erde, Band 3. Stuttgart.

Walter, H. & Breckle, S.-W. (1999): Vegetation und Klimazonen: Grundriß der globalen Ökologie. Stuttgart.

Weiher, E. & Howe, A. (2003): Scale-dependence of environmental effects on species richness in oak savannas. In: Journal of Vegetation science Band 14, H.6, S.917–920.

Weischet, W. & Endlicher, W. (2000): Regionale Klimatologie Teil 2. Die Alte Welt. Europa, Afrika, Asien. Stuttgart/Leipzig.

White, P.S. & Jentsch, A. (2001): The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. In: Progress in botany Band 62, S.399–450

Wiegmann, G. (2007): Staatsversagen in Tadschikistan. Lokales Regieren nach dem Bürgerkrieg. In: Sapper, M., Weichsel, V. & Huterer, A. (Hrsg.): Machtmosaik Zentralasien. Traditionen, Restriktionen, Aspirationen. Bonn. S.225–235.

Wiens, J.A. (1984): On understanding a non-equilibrium world. Myth and reality in community patterns and processes. In: Strong, D. et al.: Ecological communities, conceptual issues and the evidence. Princeton. S.439–57.

Wilson, M.V. & Shmida, A. (1984): Measuring beta diversity with presence-absence data. In: Journal of ecology Band 72, H.3, S.1055–1064

Wilson, J.B. (1990): Mechanisms of species coexistence: twelve explanations for Hutchinson's 'paradox of the plankton': evidence from New Zealand plant communities. In: New Zealand Journal of Ecology Band 13, S.17–42.

Žiberna, A., Kejžar, N & Golob, P. (2004): A comparison of different approaches to hierarchical clustering of ordinal data. In: Metodološki zvezki Band 1, H.1, S.57–73

Nachwort

Der Moment, in dem man beginnt sich mit seiner Danksagung zu beschäftigen, läutet das Ende einer arbeitsintensiven, manchmal nervenaufreibenden aber auch spannenden Zeit ein. Die nachfolgende Danksagung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und so mögen es mir alle, die ich vergessen habe, verzeihen und sich gedanklich in die Reihe derer, denen mein Dank gilt, einreihen!

Besonderer Dank gilt. . .

- Herrn PD Dr. Cyrus Samimi für die Idee zu dieser Arbeit und die Unterstützung während der letzten eineinhalb Jahre. Ob bei der Feldarbeit in Tadschikistan, der Vorbereitung meines Vortrags oder der Auswertung meiner Daten - ich konnte mir immer sicher sein, Unterstützung und Anregung zu bekommen!
- Herrn Prof. Dr. Rupert Bäumler für die Übernahme der Zweitkorrektur dieser Arbeit sowie die Unterstützung in allen labortechnischen bzw. bodenrelevanten Angelegenheiten.
- Frau Dr. Ute Schmidt für die Hilfe im Labor bei der Suche nach dem ein oder anderen geeigneten Schritt bezüglich unserer widerspenstigen Pamirproben.
- der VW-Stiftung für die Finanzierung des Geländeaufenthaltes im Rahmen dieses Projektes.
- unseren Kooperationspartnern in Tadschikistan, insbesondere André Fabian von der GTZ, ohne dessen Einsatz unsere Pässe heute wohl immer noch in der Botschaft in Duschanbe liegen würden.
- meinen Eltern Martina und Manfred Dotter, die mich während meines Studiums finanziell unterstützt und mir bei der Umsetzung meiner Pläne zur Seite standen - auch wenn Ihnen anfangs ein europäisches Ausland für meine Diplomarbeit sicherer erschien und lieber gewesen wäre ;-)
- Jannes, der mir nicht nur bezüglich R, sondern auch durch zahlreiche hitzige Debatten in meiner Arbeit weitergeholfen hat.
- all meinen Freunden, die diese Arbeit im Vorfeld in Teilen gelesen und zahlreich kommentiert haben: Christina, Thommy, Melie, Nora und Julia.
- meinen besten Freundinnen Nici und Katha, die nicht nur die Arbeit gelesen und kommentiert haben, sondern auch sonst immer für mich da sind!
- den Kindern der dünnen Luft: Fanny, Caro, Stefan, Tob und Kim - ohne euch wäre das Projekt nicht das gewesen was es war. . .

- Tob, der mir besonders bezüglich der kulturgeographischen Aspekte Anregungen geliefert hat und ohne den der Geländeaufenthalt nicht nur in sprachlicher Hinsicht sicher sehr viel schwieriger gewesen wäre. . .

Drei Personen verdienen an dieser Stelle besonderer Erwähnung:

- Kim Vanselow, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand: Von der ersten Bestimmung der Arten im Gelände bis zum letzten Schliff der statistischen Auswertung konnte ich mich immer, auch wenn du selbst im größten Stress warst, an dich wenden und wurde nie enttäuscht. Auch in den letzten Wochen, als du wahrscheinlich selbst das ein oder andere mal nicht mehr wusstest, wo dir der Kopf steht, hast du dir die Mühe gemacht meine Arbeit zu lesen und um hilfreiche Tipps zu ergänzen. . . ich hätte mir keinen besseren Feldpartner und Betreuer vor Ort als dich vorstellen können!
- Carolin Bimüller: Als vor knapp zwei Jahren unser kleines Pamirprojekt ins Rollen kam, kannte ich dich kaum und hätte nie gedacht, dass du einmal zu einem so wichtigen Mensch in meinem Leben wirst - gemeinsame Tage auf dem jailoo, Nächte im Cip Pool und unzählige kleinere und größere Probleme in den letzten eineinhalb Jahren haben uns zusammengeschweißt und ich weiß heute, dass es keine bessere Diplomarbeitsschwester gibt als dich! Danke, für das Probehören meines Vortrags, aufbauende Worte, anregende Kritik zu meiner Diplomarbeit und einfach nur dafür, dass du immer für mich da warst, wenn ich mal wieder nicht weiter wusste weil sich R und alle Statistikprogramme der Welt gegen mich verschworen haben!
- Mein Freund Johannes Jobst, der in den letzten Wochen wohl ebenso wenig geschlafen hat wie ich: Vielen Dank, dass du immer für mich da bist und mich in allem unterstützt was ich tue. . .



Wahrheitsgemäße Erklärung

Ich erkläre hiermit wahrheitsgemäß, dass ich

- die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt habe
- außer den im Quellenverzeichnis angegebenen Stellen keine weiteren benutzt habe und alle Zitate, die aus dem Literaturverzeichnis ganz oder in Teilen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht und einzeln durch die Angabe des Urhebers und des Erscheinungsjahres nachgewiesen habe
- alle sonstigen Quellen als solche kenntlich gemacht und einzeln durch Angaben des Urhebers und des Erscheinungsjahres nachgewiesen habe
- alle Personen und Stellen, die mir bei der Durchführung und Erstellung der Arbeit geholfen haben, genannt habe
- die vorliegende Arbeit noch keiner anderen Stelle zur Prüfung vorgelegt habe.

Mir ist ferner bekannt, dass die Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg aufgrund der prüfungsrechtlichen Vorschriften einen Anspruch auf das Original der Arbeit hat. Die erforderlichen Dateien werde ich als Hardcover und pdf-Dokument dem Lehrstuhl zur Verfügung stellen. Dieser Anspruch bezieht sich jedoch nur auf das körperliche Eigentum an der Arbeit als solches und auf deren Verwendung zu den in der Prüfungsordnung festgelegten Zwecken. Unabhängig von vorstehender Erklärung und in Ergänzung hierzu erkläre ich Folgendes: Ich bin damit einverstanden, dass meine Arbeit ins Intranet des Lehrstuhls eingestellt und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Erlangen, den

Anhang A

Inhalt der CD

Die nachfolgenden Tabellen und Skripte befinden sich auf der beigelegten CD. Der Dateiname entspricht der Tabellennummer.

Tabelle A.1: Parameter der Bodenklassifikation

Tabelle A.2: Bodenparameter mit Umweltvariablen (gruppiert)

Tabelle A.3: Vegetationsklassifikation der Mesoflächen 2008 (gruppiert)

Tabelle A.4: Vegetationsklassifikation Madian Gumbez Kol (gruppiert)

Tabelle A.5: Vegetationsklassifikation Pshart Gumbez Kol (gruppiert)

Tabelle A.6: Vegetationsklassifikation Bash Gumbez A-Flächen (gruppiert)

Tabelle A.7: Vegetationsklassifikation Bash Gumbez B-Flächen (gruppiert)

Tabelle A.8: Vegetationsklassifikation Bash Gumbez C-Flächen (gruppiert)

Tabelle A.9: Bash Gumbez nach Störungsklassifikation sortiert

Tabelle A.10: Madian Gumbez Kol nach Störungsklassifikation sortiert

Tabelle A.11: Pshart Gumbez Kol nach Störungsklassifikation sortiert

Tabelle A.12: Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte der Mesoflächen

Tabelle A.13: A-priori-Wahrscheinlichkeit der Mesoflächen

Tabelle A.14: Klassifikationsergebnis Mesoflächen

Tabelle A.15: Gegenüberstellung alter und neuer Gruppenstrukturen der Mesoflächen

Tabelle A.16: Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte der eigenen Gruppeneinteilung

Tabelle A.17: A-priori-Wahrscheinlichkeit der eigenen Gruppeneinteilung

Tabelle A.18: Klassifikationsergebnis der eigenen Gruppeneinteilung

Tabelle A.19: A-priori-Wahrscheinlichkeit Bash Gumbez

Tabelle A.20: Klassifikationsergebnis Bash Gumbez

Tabelle A.21: Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte Madian Gumbez Kol

Tabelle A.22: A-priori-Wahrscheinlichkeit Madian Gumbez Kol

- Tabelle A.23:** Klassifikationsergebnis Madian Gumbez Kol
Tabelle A.24: Schrittweise Statistik Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.25: A-priori-Wahrscheinlichkeit Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.26: Klassifikationsergebnis Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.27: Eigenwerte der DCA Pamir2008
Tabelle A.28: Variablen der DCA Pamir2008
Tabelle A.29: Eigenwerte der DCA Bash Gumbez
Tabelle A.30: Variablen der DCA Bash Gumbez
Tabelle A.31: Eigenwerte der DCA Madian Gumbez Kol
Tabelle A.32: Variablen der DCA Madian Gumbez Kol
Tabelle A.33: Eigenwerte der DCA Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.34: Variablen der DCA Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.35: CCA Bash Gumbez
Tabelle A.36: CCA Madian Gumbez Kol
Tabelle A.37: CCA Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.38: NMDS-Werte der Vektoren Pamir2008
Tabelle A.39: NMDS-Werte der Vektoren Bash Gumbez
Tabelle A.40: NMDS-Werte der Vektoren Madian Gumbez Kol
Tabelle A.41: NMDS-Werte der Vektoren Pshart Gumbez Kol
Tabelle A.42: Bodenlaborwerte Bimüller und Dotter (2008/09)
Tabelle A.43: Pflanzanaufnahmen der 60 m × 60 m Flächen
Tabelle A.44: Pflanzanaufnahmen der 4 m × 4 m Flächen
Tabelle A.45: Pflanzanaufnahmen der 60 cm × 60 cm Flächen
Tabelle A.46: Pflanzensoziologische Aufnahmen der Linientransekte

Tabelle A.47: Auf der CD befinden sich ebenfalls folgende R-Skripte und Zusatzinformationen

Dateiname	Beschreibung
skript_a	R-Skript DCA
skript_b	R-Skript NMDS
skript_c	R-Skript CCA
skript_d	R-Skript Bodencluster
skript_e	R-Skript Vegetationscluster
skript_f	R-Skript Störungscluster
skript_g	R-Skript Modellierung des Beweidungseinflusses
skript_h	R-Skript Linientransektauswertung
cluster_chong	Klassifizierte Vegetationsaufnahmen Chong Pamir und Madi-an Seitental
mikroskizzen	Mikroskizzen Bash Gumbez für die Flächen 185W–191Z

Anhang B

Abkürzungsverzeichnis

A-Flächen	60 × 60 m Flächen
Bew.int.	Beweidungsintensität
B-Flächen	4 × 4 m Flächen
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
C/N	C/N-Verhältnis
C_{org}	organischer Kohlenstoff
CCA	Canonical Correspondence Analysis
C-Flächen	60 × 60 cm Flächen
DA	Diskriminanzanalyse
DCA	Detrended Correspondence Analysis
EC	elektrische Leitfähigkeit
EQ	equilibrium
fmM	freundliche mündliche Mitteilung
GBAO	Gorno-Badakhschan
GTZ	Gesellschaft für technische Zusammenarbeit
IDH	intermediate disturbance hypothesis
KAK	Kationenaustauschkapazität
Neigung	Hangneigung in °
NEQ	non-equilibrium
NMDS	Nichtmetrische multidimensionale Skalierung
ZPSK	Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Krascheninnikovia
ZPSS	Zwergstrauch-Polster-Steppe Typ Seriphidium