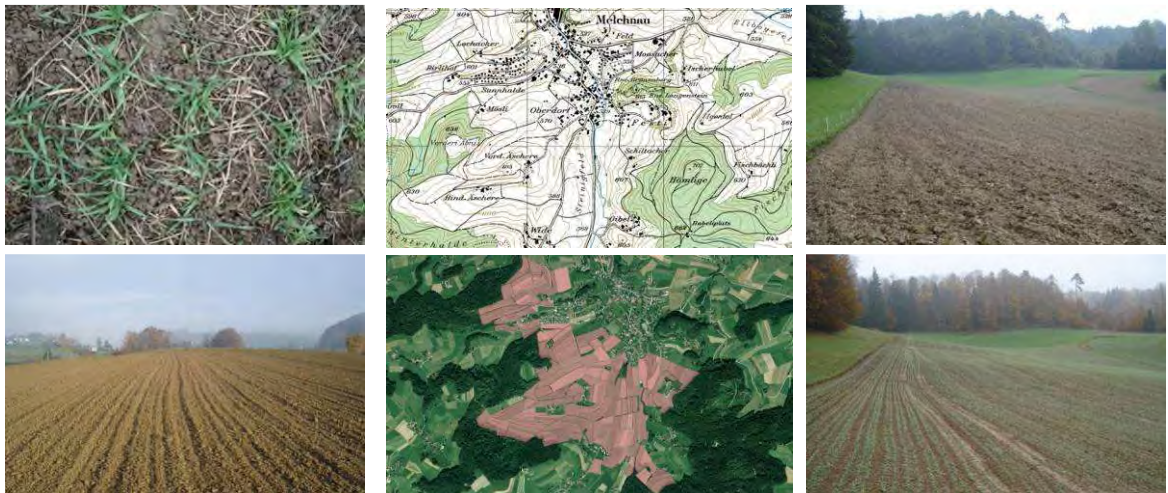


KARTIERUNG UND BEWERTUNG VON BODENDEGRADIERUNGEN UND NACHHALTIGEM LANDMANAGEMENT

Eine Fallstudie aus dem Schweizer Mittelland im Jahr 2008 mittels visuellen Feldbeobachtungsmethoden



Masterarbeit

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern

vorgelegt von

Urs Grob

2010

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. Hans Hurni
Dr. Hanspeter Liniger

Abteilung Integrative Geographie
Geographisches Institut der Universität Bern

Kontakt

Urs Grob
Waldstrasse 19
3082 Schlosswil
ursgrobch@yahoo.de

© Januar 2010, Urs Grob

Bildnachweis Titelblatt

Link Spalte: Direktsaat Melchnau II / Pflug intensiv Melchnau I

Mittlere Spalte: Topographie / eigene Karte (Luftbild und Parzellenpläne)

Rechte Spalte: Hindere Äschere Melchnau I, im Sommer und Herbst

Hinweis zu den Bezeichnungen

In dieser Arbeit werden vorwiegend maskuline Bezeichnungen verwendet. Ich möchte allerdings darauf hinweisen, dass die ausschliessliche Verwendung der maskulinen Formen nicht diskriminierend gegenüber der femininen gemeint ist und die Zuschreibungen geschlechterübergreifend gebraucht werden.

VORWORT

Seit der Immatrikulation an der Universität Bern verfolge ich mit Begeisterung den Themenbereich rund um den Boden. Vielleicht war es Zufall – vielleicht war es aber auch "familiäres Schicksal", dass ich ein bodennahes Thema für meine Masterarbeit gewählt habe. Der Boden bildet in seiner fruchtbaren und belebten Form eine unentbehrliche Grundlage für fast alle Ökosysteme der Erde. Aufgrund dieses Stellenwerts ist dem Boden besondere Beachtung und Aufmerksamkeit zu schenken. Mein persönliches Interesse besteht in dieser Beziehung speziell im Bereich der Bodenbeeinträchtigungen im globalen wie lokalen Massstab. Während der Bachelorarbeit setzte ich mich erstmals vertieft mit dem Boden, seiner Funktion und dessen Gefährdung auseinander. Mit der Unterstützung von Hans Hurni, Hanspeter Liniger und Karl Herweg wurde mir ermöglicht, mich in Form einer Masterarbeit weiter zu diesem Thema zu beschäftigen. Die Masterarbeit hat mir praxisrelevante Arbeitsmethoden in methodischer und inhaltlicher Weise sowie dem Verfassen einer wissenschaftlichen Arbeit näher gebracht. Die Gestaltung des Beitrags war nicht immer einfach; so mussten während der Untersuchung mehrere Unsicherheiten und Stolpersteine überwunden werden. In der Tat war das Erstellen des Konzepts, die Planung und Durchführung der Feldarbeit, die Herausforderung der Datendigitalisierung und -auswertung anspruchsvoll. Insgesamt konnten durch die Arbeit aber äusserst wertvolle und lehrreiche Erfahrungen gesammelt werden. Das Ergebnis motiviert mich, künftig weiter in diesem Themenfeld tätig zu bleiben.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während des Lernprozesses stets begleitet und unterstützt haben. Besonders bedanke ich mich bei den Leitern der Arbeit, Professor Dr. Hans Hurni und Dr. Hanspeter Liniger, welche die Arbeit von Anfang bis Ende begleiteten. Des Weiteren gilt mein Dank Dr. Karl Herweg und dem PhD Kandidaten Thomas Ledermann, welche mir besonders im Bereich des methodischen Vorgehens hilfreich zur Seite standen. Weiter geht mein Dankeswort an Judith Gasser, welche ihre Diplomarbeit über ein ähnliches Thema verfasste. Die intensiven Gespräche mit ihr über auftretende Probleme zur Methodik, Feldarbeit, Digitalisierung und Umsetzung waren hilfreich und bereichernd. Ebenso waren die absolvierten Feldbegehungen in Zusammenarbeit mit Hanspeter Liniger, Karl Herweg und Thomas Ledermann äusserst lehr- und aufschlussreich. Das Stichwort der "Feldbegehung" leitet zu den Bauern und Bäuerinnen aus dem Untersuchungsgebiet über, welchen ich ebenso meine Dankbarkeit ausdrücken möchte. Ihre Bereitschaft zu spontanen Diskussionen und die Offenheit war Basis für ein erfolgreiches Gelingen dieser Arbeit. Ihnen allen gebührt ein grosses Dankeschön! Weiter möchte ich

mich bei der gesamten GIS und IT-Abteilung des Centre for Development and Environment (CDE) für die geduldige und fachkompetente Beratung und Unterstützung bei GIS- und PC-Problemen bedanken. Unschätzbar war die Betreuung von Christoph Hösli, welchem ich besonders für den Support danke.

Nicht zuletzt gilt mein ganzer Dank meiner Familie und dem Freundeskreis. Sie haben mir den universitären Weg ermöglicht und mich während dieser Zeit erfolgreich begleitet und mir den nötigen Beistand geleistet. Ohne ihre unermüdliche Unterstützung wäre dieses Unternehmen nur schwer zu realisieren gewesen. Deswegen erneut ein MERCI an Alfred, Denise, Ueli, Jürg, Lisa, Ursula, Thierry, Neil, Costa & Mona und alle, die ich vergessen habe.

Urs Grob, Januar 2010

ZUSAMMENFASSUNG

Als "Kostgänger" und "Ausbeuter" natürlicher Ressourcen haben die Menschen in der Vergangenheit und Gegenwart erheblich in terrestrische Ökosysteme und deren Böden eingegriffen. Dabei wurden die Prinzipien der Nachhaltigkeit und der Umweltschonung häufig ausser Acht gelassen. Als Folgen dieser Eingriffe zeigen sich weltweit mehr oder weniger starke Bodendegradierungen. Obwohl diese schon vor Jahrzehnten als ernstes und weit verbreitetes Problem erkannt wurden, waren geographische Verbreitung sowie Intensität und Ursachen nur unvollständig bekannt (WBGU 1994: 50f).

Nach wie vor sind der Schutz und die Nutzung des Bodens nicht genügend geregelt. Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU 1994: 9ff) schreibt in seinem Bericht, dass die Wirkungen der globalen Bodendegradation schon heute sichtbar sind und sich in allernächster Zeit verstärken werden. Die vorliegende Arbeit bewegt sich im angesprochenen Bodengradations-Kontext. Die Untersuchung befasst sich mit den Bodendegradationen auf Kulturlächen in der Region Oberrhein des Schweizer Mittellandes. Die Methodik zur Beobachtung und Bewertung der Bodendegradationen basiert auf dem WOCAT/LADA Projekt, welches helfen soll, das Phänomen der Bodendegradation weltweit besser verstehen zu können. Die Arbeit ist ein WOCAT/LADA-Pilotprojekt für den Kulturräum des Schweizer Mittellandes. Parallel zum vorliegenden Bericht wurde von Gasser (2009) eine Untersuchung in Estavayer-le-Lac (Murten, FR) durchgeführt.

Insgesamt besteht die Untersuchung aus zwei übergeordneten Zielsetzungen. Im ersten Teil wurde die Methodik des WOCAT/LADA QM (Liniger et al. 2008) auf Schweizer Verhältnisse angepasst. QM steht für die Abkürzung "Questionnaire on the Map". Nebst dem Anpassen, Testen und Anwenden der Methodik sollten die verschiedenen überwachten Bodendegradationsindikatoren auf ihre Verwendbarkeit hin überprüft werden. Dazu mussten zu Beginn der Untersuchung spezifische Erhebungswerkzeuge zusammengestellt werden, die der neuen angepassten Methodik entsprachen. Da keine Expertenbefragungen, sondern visuelle Beobachtungen und Bewertungen durchgeführt wurden, musste ein spezielles Feldformular erstellt werden. Aufgrund der visuellen Bewertungstechnik wurde die räumliche Auflösung auf die Ebene der Gemeinde gesetzt, womit parzellenscharfe Bodendegradationsbewertungen errungen werden konnten. Die Durchführung der Feldbeobachtungen hat aufgezeigt, dass das WOCAT/LADA QM Indikatoren beinhaltet, welche sich für eine visuelle Bewertung nicht eignen. Ferner liefert die visuelle Bewertung in Tat und Wahrheit nur ein "oberflächliches" Abbild des Bodenzustands, da es eben nur eine Bewertung der Bodenoberfläche zulässt. Überdies konnten ohne Expertenbefragungen keine Aussagen bezüglich der Degradie-

rungsauswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen generiert werden. Hier liegt gegenwärtig allerdings ein beträchtliches globales Interesse. Zu den methodischen Zielsetzungen kann als Schlussfolgerung festgehalten werden, dass die visuelle Bewertungsmethodik sich zwar für einen raschen und groben Bodenzustands-Überblick eignet, jedoch aber eher oberflächlich bleibt.

Der zweite Block, die inhaltlichen Zielsetzungen, orientiert sich an den eingangs formulierten Hypothesen. Für die erste Hypothese konnten fünf verschiedene Landnutzungssysteme herauskristallisiert werden, welche sich in ihren Bodendegradierungsverhalten unterscheiden. Mittels einer Gesamtzustandsbewertung für jede Parzelle konnten die fünf Landnutzungssysteme weiter eingegrenzt werden. Es sind dies namentlich das konventionelle Bodenmanagement (setzt sich aus extensiver und intensiver Bearbeitung zusammen), die bodenschonenden Anbauverfahren (Direktsaat und Mulchsaat) sowie das Grasland. Hinsichtlich des Degradierungsverhaltens und -potentials heben sich die konventionell bewirtschafteten Parzellen am meisten ab. Als wesentlich weniger degradierungsanfällig haben sich die bodenschonenden Verfahren der Direktsaat und Mulchsaat herausgestellt. Ihre präventiven Wirkungen können aufgrund der Daten auf bis zu 50% geschätzt werden. Wenig bis gar nicht gefährdet sind Graslandparzellen. Bei der Graslandnutzung ist allerdings von entscheidender Bedeutung, wie intensiv sie bewirtschaftet wird. Sobald Viehweide auf Grasland betrieben wird, können leichte bis mässige Bodendegradierungen auftreten.

Für die zweite Hypothese wurden Parzellen mit exponierten Kulturen analysiert. Bezüglich der Degradierungsanfälligkeit stellte sich heraus, dass besonders Boden, auf welchem Wintergetreide kultiviert wird, von Bodendegradierungen heimgesucht wird. In der dritten Hypothese wurde die Effektivität der verschiedenen Konservierungsmassnahmen überprüft. Dabei haben sich die bodenschonenden Anbauverfahren als durchaus wirksam herausgestellt. Diese senken das Degradierungsrisiko nachweislich, allerdings nicht bis auf null. Bodenschonende Anbauverfahren senken die Degradierungsanfälligkeit, besonders den Gesamtzustand der Parzelle, im Vergleich zum konventionellen Ackerbauland deutlich. Die beste konservierende Wirkung hatte das Grasland bei einer geringen Nutzung inne.

Als Schlussfolgerung lässt sich insgesamt festhalten: Je intensiver die Bodenbearbeitung, desto gravierender sind das Ausmass und der Umfang der Bodendegradierungen.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	III
ZUSAMMENFASSUNG	V
INHALTSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	X
TABELLENVERZEICHNIS	XII
ABKÜRZUNGEN	XIII
TEIL I EINLEITUNG	1
1 EINLEITUNG	2
1.1 Allgemeine Ausgangslage	2
1.2 Problemstellung	3
1.2.1 Globale Perspektive	3
1.2.2 Regionale/Lokale Perspektive	3
1.3 Relevanz der Untersuchung	4
1.3.1 Das WOCAT/LADA Projekt	5
1.3.2 Absichten von WOCAT/LADA	6
1.3.3 COST 634	9
1.4 Hauptziel der Arbeit	10
1.4.1 Methodische Zielsetzungen	11
1.4.2 Inhaltliche Zielsetzungen	12
1.5 Aufbau der Arbeit	13
2 UNTERSUCHUNGSGEBIET	14
2.1 Oberaargau	14
2.1.1 Melchnau	15
2.1.2 Reisiswil	16
2.1.3 Gondiswil	16
2.2 Bewertung der Flächen im Untersuchungsgebiet	16
2.3 geologische und pedologische Bodeneigenschaften	20
TEIL II METHODOLOGIE	23
3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	24
3.1 Vorbemerkungen	24
3.2 Begriffe und Definitionen	24
3.2.1 Stofflich-chemische Bodenbelastungen	32
3.2.2 Physikalisch-mechanische Bodenbelastungen	32
3.2.3 Biologische Bodenbelastungen	35
3.2.4 Bodenverbrauch	35
3.3 Das DPSIR Modell	41
3.3.1 Modellanwendung	43
3.3.2 Verwendung des DPSIR-Modells bei WOCAT/LADA	44
3.4 Stand der Forschung	45
3.4.1 Schlussbemerkungen	48

4	METHODIK	49
4.1	Vorbemerkungen	49
4.2	Indikatoren	49
4.3	Das Mapping-Tool	50
4.4	Bereich A – Allgemeine Informationen.....	51
4.4.1	Landnutzungstypen (land Use Type)	51
4.4.2	Kultur-/Nutzpflanzen (Crop/Plant Type)	54
4.4.3	Bodenbedeckung (Soil Cover)	55
4.4.4	Bodenbearbeitungsverfahren (Soil Management).....	58
4.5	Bereich B - Bodendegradierungen	61
4.5.1	Bodenerosion durch Wasser (Soil Erosion By Water)	63
4.5.1.1	Flächenhafte und Linienhafte Bodenerosion.....	65
4.5.1.2	Kategorien nach Prasuhn und Fischler	65
4.5.1.3	Grabenerosion und Hangrutschungen	68
4.5.2	Chemische Bodenschädigung (Chemical Soil Deterioration)	68
4.5.2.1	Fruchtbarkeitsabnahme.....	69
4.5.3	Physikalische Bodenschädigung (Physical Soil Deterioration).....	70
4.5.3.1	Bodenverdichtung	70
4.5.3.2	Bodenstruktur und -tragfähigkeit	73
4.5.3.3	Verschlämmung und Verkrustung	75
4.5.3.4	Vernässung	76
4.5.4	Wasserdegradierung (Water Degradation)	77
4.5.4.1	Verlust der Bodenfeuchtigkeit.....	77
4.5.5	Biologische Degradierungen (Biological Degradation)	78
4.5.5.1	Reduzierte Bodenbedeckung.....	78
4.5.5.2	Verminderte Regenwurmaktivitäten.....	78
4.5.5.3	Schädlinge und Krankheiten	80
4.5.6	Off-site Degradierungseffekte (off-site degradation effects).....	81
4.6	Bereich C – Ursachen der Bodendegradierung.....	81
4.7	Bereich D – Konservierungsmassnahmen.....	86
TEIL III RESULTATE & DISKUSSION.....		94
5	RESULTATE	95
5.1	Überblick.....	95
5.2	Bereich A – Allgemeine Informationen.....	95
5.2.1	Landnutzungstypen (Land Use Type)	96
5.2.2	Kultur-/Nutzpflanzen (Crop/Plant Type)	100
5.2.3	Bodenbedeckung (Soil Cover)	102
5.2.4	Bodenbearbeitungsverfahren (Soil Management).....	106
5.3	Bereich B - Bodendegradierungen.....	110
5.3.1	Bodenerosion durch Wasser (Soil Erosion By Water)	110
5.3.1.1	Flächenhafte Bodenerosion.....	110
5.3.1.2	Linienhafte Bodenerosion.....	115
5.3.2	Physikalische Bodenschädigung (Physical Soil Deterioration).....	120
5.3.2.1	Bodenverdichtung	120
5.3.2.2	Bodenstruktur/ -tragfähigkeit.....	124
5.3.2.3	Verschlämmung und Verkrustung	128
5.3.3	Biologische Degradierungen (Biological Degradation)	132
5.3.3.1	Reduzierte Bodenbedeckung.....	132

5.3.3.2	Verminderte Regenwurmaktivitäten	135
5.3.4	Off-site Degradierungseffekte (off-site degradation effects)	138
5.4	Bereich C – Ursachen der Bodendegradierung	139
5.4.1	Schwere Maschinen	141
5.4.2	Bodenbearbeitung	142
5.4.3	Reduzierte Bodenbedeckung	142
5.4.4	Bodenverdichtung durch Tiere	142
5.4.5	Verminderte Infiltration	143
5.5	Bereich D – Konservierungsmassnahmen	143
5.5.1	Direktsaat	144
5.5.2	Mulchsaat	145
5.5.3	Düngung und Nährstoffmanagement	146
5.5.4	Fruchtfolge	149
5.5.5	Grünlandmanagement	150
6	DISKUSSION	153
6.1	Methodische Zielsetzungen	153
6.2	Inhaltliche Zielsetzungen	157
6.2.1	Bodenbedeckung	158
6.2.2	Bodenmanagement	160
6.2.3	Fruchtfolge	160
6.2.4	Saisonale Merkmale	161
6.2.5	Vergleich mit anderen Untersuchungen	162
TEIL IV	SYNTHESE	164
7	SCHLUSSFOLGERUNG	165
7.1	Theorie	165
7.2	Methodik	165
7.3	Resultate	166
7.4	Schlussfolgerungen und Ausblick	175
LITERATURVERZEICHNIS		179
ANHANG CD		187

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Geographische Einordnung des Untersuchungsgebiets	15
Abbildung 2: Räumliche Gliederung des Untersuchungsgebiets.....	17
Abbildung 3: Böden und ihre Eigenschaften	21
Abbildung 4: Aufteilung der Erdoberfläche in Wasser- und Landoberfläche	28
Abbildung 5: Weltkarte der vom Menschen verursachte Bodendegradation	34
Abbildung 6: Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Degradierungsarten	37
Abbildung 7: Ökosystemdienstleistungen und menschliches Wohlbefinden	41
Abbildung 8: Das DPSIR Modell	43
Abbildung 9: Landnutzungstypen	53
Abbildung 10: Nutzpflanzen	55
Abbildung 11: intensiv bearbeiteter Boden	59
Abbildung 12: konservierende Bestellverfahren	60
Abbildung 13: Beispielbilder der Kategorie "leicht"	66
Abbildung 14: Beispielbilder der Kategorie "mässig"	66
Abbildung 15: Beispielbilder der Kategorie "stark"	67
Abbildung 16: Beispielbilder der Kategorie "extrem"	67
Abbildung 17: Grabenerosion	68
Abbildung 18: Rapsfeld.....	69
Abbildung 19: Visuelle Wahrnehmung der Bodenverdichtung.....	72
Abbildung 20: Schematische Bodendruckzwiebel.....	73
Abbildung 21: Netz von Luftwurzeln	74
Abbildung 22: Bodenstruktur und -tragfähigkeit	75
Abbildung 23: Versiegelter und verschlammter Boden	76
Abbildung 24: Staunässe	76
Abbildung 25: Regenwurmaktivitäten.....	79
Abbildung 26: Krankheiten und Schädlinge.....	80
Abbildung 27: Off-site Schäden durch Bodenerosion	81
Abbildung 28: Viehtritte als Ursache der Bodenverdichtung.....	83
Abbildung 29: Verendete Regenwürmer nach der Ausgabe von Hofgülle.....	91
Abbildung 30: Saisonaler Zustand der Landnutzungstypen und Kreisdiagramme nach Fläche	99
Abbildung 31: Saisonaler Zustand der Kulturpflanzen	101
Abbildung 32: Das Säulendiagramm zur durchschnittlichen Veränderung der Bodenbedeckung	103
Abbildung 33: Durchschnittliche Bodenbedeckung	104
Abbildung 34: Durchschnittliche Bodenbedeckung in Bezug zu den Hauptkulturen.....	105
Abbildung 35: Durchschnittliche Bodenbedeckung in Bezug auf das Bodenbearbeitungsverfahren	106
Abbildung 36: Saisonaler Zustand der unbedeckten Bodenoberflächen	107
Abbildung 37: Saisonale Änderung des Bodenmanagements.....	108
Abbildung 38: Saisonaler Zustand der Bodenbearbeitung und Kreisdiagramme nach Anzahl Parzellen	109
Abbildung 39: Saisonaler Zustand der flächenhaften Erosion.....	114

Abbildung 40: Saisonaler Zustand der linienhaften Erosion.....	117
Abbildung 41: Region Oberaargau – AVErosion Bodenerosionsgefährdung.....	119
Abbildung 42: Saisonaler Zustand der Bodenverdichtung	122
Abbildung 43: Saisonaler Zustand der Bodenstruktur.....	127
Abbildung 44: Saisonaler Zustand der Verschlämmung und Verkrustung	131
Abbildung 45: Saisonaler Zustand der Bodenbedeckung.....	134
Abbildung 46: Saisonaler Zustand der Wurmaktivitäten.....	137
Abbildung 47: Verteilung der fünf häufigsten Hauptursachen für die Bodendegradierungen	140
Abbildung 48: Verteilung der fünf häufigsten Nebenursachen für die Bodendegradierungen	141
Abbildung 49: Einstufung der Effektivität von Direktsaat	145
Abbildung 50: Einstufung der Effektivität von Mulchsaat	146
Abbildung 51: Effektivität der Direktsaat	147
Abbildung 52: Effektivität der Mulchsaat.....	148
Abbildung 53: Einstufung der Effektivität von Fruchtfolge	149
Abbildung 54: Einstufung der Effektivität des Grünlandmanagements	150
Abbildung 55: Effektivität der Fruchtfolge	151
Abbildung 56: Effektivität des Grünlandmanagements	152
Abbildung 57: Saisonaler Zustand der Anzahl Degradierungsindikatoren pro Parzelle	159
Abbildung 58: Saisonale Verteilung der Anzahl Degradierungsindikatoren pro Parzelle.....	163
Abbildung 59: Verhältnis zwischen der Anzahl an Degradierung und den sechs Kulturen	173
Abbildung 60: Wirksamkeit der Konservierungsmassen	175

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Nutzungstypen und deren Flächenanteile	18
Tabelle 2: Waldsektoren und deren flächenmässige Ausdehnung	19
Tabelle 3: Anzahl Parzellen pro Teilgebiet.....	19
Tabelle 4: Kenngrössen der Parzellen im Minimum, Mittelwert und Maximum	19
Tabelle 5: Kennzahlen zur Siedlungsfläche.....	20
Tabelle 6: Bodeneigenschaftstypen des Untersuchungsgebiets	22
Tabelle 7: Schätzungen des globalen Umfangs der Bodendegradierung	34
Tabelle 8: Feldbeobachtungen im Jahr 2008.....	50
Tabelle 9: Bereich A des Feldprotokolls.....	51
Tabelle 10: Methode zum Abschätzen der Bodenbedeckung im Feld	56
Tabelle 11: Feldformular	63
Tabelle 12: Ursachen der Bodendegradierung	82
Tabelle 13: Konservierungsmassnahmen für die Untersuchung in der Region Oberrhein.....	89
Tabelle 14: Übersicht zu den Landnutzungstypen.....	98
Tabelle 15: Einteilung der Kulturen in Hauptkulturen.....	105
Tabelle 16: Überblick zur flächenhaften Bodenerosion [Wt]	113
Tabelle 17: Überblick zur linienhaften Bodenerosion [Wg].....	116
Tabelle 18: Überblick zur Bodenverdichtung [Pc]	121
Tabelle 19: Überblick zur aufgeweichten Bodenstruktur [Pc1]	125
Tabelle 20: Überblick zur pulverisierten Bodenstruktur [Pc2].....	126
Tabelle 21: Überblick zur Verschlammung und Verkrustung [Pk]	130
Tabelle 22: Überblick zur reduzierten Bodenbedeckung [Bc]	133
Tabelle 23: Überblick zur Verminderung der Regenwurmmaktivität [Bl].....	136
Tabelle 24: Kreuztabelle der Degradierungsindikatoren	156
Tabelle 25: Gesamtparzellenzustände.....	170
Tabelle 26: Korrelation zwischen den Bodendegradierungen und degradierungsanfälligen Kulturen.	172

ABKÜRZUNGEN

AVErosion	Berechnung von Bodenerosion und -akkumulation nach den Modellen RUSLE, USLE und MUSLE87
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
CDE	Centre for Development and Environment, Universität Bern
Cost 634	European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research
DESIRE	Development of a European Service for Information on Research and Education
DEZA	Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit
DPSIR	Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses
EU	Europäische Union
FAO	Food and Agriculture Organization (of the United Nations)
GEF	Global Environmental Facility
GIS	Geoinformationssystem, ESRI (Environmental Systems Research Institute)
GLASOD	Global Assessment of Human-induced Soil Degradation
ibid.	ibidem = ebenda, ebendort. Ersparung der wiederholten vollständigen Anführung eines bereits zitierten Buches
ISRIC	International Soil Reference and Information Center
LADA	Land Degradation Assessment in Drylands
LUS	Land Use System
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
Parz.	Parzellen
QM	WOCAT/LADA Mapping Questionnaire for Sustainable Land Management
SLM	Sustainable Land Management
SWC	Soil and Water Conservation
t/ha	Langjähriger, mittlerer jährlicher Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
UNCOD	United Nations Conference on Desertification
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme

UNO	United Nations Organization
WBGU	Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Technologies
(Wt)	Abkürzungen der Bodendegradierungsindikatoren aus dem Feldformular (Anhang CD - Feldformular)

TEIL I

Einleitung

1 EINLEITUNG

1.1 ALLGEMEINE AUSGANGSLAGE

Im Jahr 1992 wurde der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) im Vorfeld der Rio-Konferenz von der deutschen Bundesregierung als unabhängiges wissenschaftliches Beratergremium eingerichtet. Zu seiner übergeordneten Hauptaufgabe gehört das Analysieren von globalen Umwelt- und Entwicklungsproblemen, dem Erstellen von Gutachten sowie dem Auswerten von nationalen und internationalen Forschungen auf dem Gebiet des Globalen Wandels (WBGU 22.09.2009; http://www.wbgu.de/wbgu_auftrag.html). Im Hauptgutachten aus dem Jahre 1994 thematisierte der Beirat ausführlich die Gefährdung der Böden. Seitens des Gutachtens beabsichtigte der Beirat erstmals auf die wachsende und weltweite Gefährdung der Böden aufmerksam zu machen (WBGU 1994: 1). Die Äusserung

„Böden sind durch ihre Leistungen und Nutzungen Ressourcen, die dazu beitragen, das Überleben der Menschheit zu sichern; insoweit sind Böden im ökonomischen Sinne Güter von globaler Bedeutung“ (WBGU 1994: 67)

untermauert diese Gefährdung. Für die menschlichen Sinne sind die langsamen Zerstörungen der Böden nur schwer wahrzunehmen, was bislang zu einer eher randständigen Behandlung dieses Themas in der Umweltdiskussion geführt hat. Aus diesem Grund fordert das Gutachten der WBGU, dass der Bedrohung der Böden auf der umweltpolitischen Agenda eine deutlich höhere Bedeutung beigemessen werden muss. In diesem Sinne müssen für das Schutzgut Boden nationale wie international bessere rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, da die Böden eine essentielle, bisher kaum beachtete Lebensgrundlage der Menschheit bilden. Ausserdem ist dem Bericht zu entnehmen, dass vor allem menschliche Aktivitäten für die Degradation der Böden und deren ungleichmässigen Ausprägung, welche von abnehmender Fruchtbarkeit bis zur unumkehrbaren Zerstörung reicht, verantwortlich sind (WBGU 1994: 1). Nach Hurni et al. (1998: 96) stellt die Nutzung natürlich regenerierbarer Ressourcen eine zentrale Herausforderung der nachhaltigen Entwicklung dar, welche aktueller denn je ist. Dabei erfüllt eine nachhaltige Entwicklung laut dem Brundtland-Bericht von 1987

„die Bedürfnisse der jetzigen Generation, ohne die Möglichkeiten der zukünftigen Generation einzuschränken, ihre Bedürfnisse erfüllen zu können“.

1.2 PROBLEMSTELLUNG

1.2.1 GLOBALE PERSPEKTIVE

Die United Nations Organization (UNO) beziffert die vom Menschen verursachte weltweite Landdegradierung (engl.: land degradation) im Jahr 2004 beispielsweise mit einer Ausdehnung von inzwischen über nahezu zwei Mrd. Hektaren, was der doppelten Gesamtfläche Europas entspricht. Zudem gingen jährlich weltweit schätzungsweise sechs Mio. Hektaren an bebaubarem Land durch Wüstenbildung, abnehmende Bodenqualität und sinkende landwirtschaftliche Produktivität verloren, so der ehemalige UNO-Generalsekretär Kofi Annan (Zihler 2004: 6f). Die FAO (Food and Agriculture Organization) schätzt, dass die Landdegradierung in ihrem Ausmass und Umfang in vielen Teilen der Welt tendenziell zunimmt und 20% aller kultivierten Flächen, 30% des Waldes und 10% des Grünlandes von der Degradation betroffen sind (FAO 02. 07 2008; <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/10-00874/index.html>). Diese von der FAO veröffentlichten Daten erlangen spätestens dann alarmierenden Charakter, wenn bedenkt wird, dass der Boden eine räumlich stark limitierende Ressource formt und für die Menschheit eine unverzichtbare Lebens- und Produktionsfunktion darstellt. Lediglich 11% der Landoberfläche der Erde sind nach Heiniger & Herweg (1994: 5) ohne Einschränkungen für den Ackerbau nutzbar. Die restlichen Flächen weisen mehr oder weniger klimatische und/oder pedologische Limitierungen wie Dürreanfälligkeit (28%), Durchnässung (10%), Flachgründigkeit (22%), chemische Faktoren (23%) oder Permafrost (6%) auf. Der weitaus grösste Teil der Degradierungen entsteht allerdings durch Wassererosion (vgl. Abbildung 4). Die Bodenerosion setzt das Produktionspotential des Bodens herab, was sich negativ auf die Menge und Zuverlässigkeit der Ernteerträge auswirkt. Auf diese Weise steigt der Druck auf bisher ungenutzte, oft marginal gelegene Räume, die häufig in empfindlichen Ökosystemen liegen und überdies besonders degradierungsanfällig sind (Heiniger & Herweg 1994: 26). Als Beispiel schätzt die UNEP (United Nations Environment Programme), dass auf 30% der Kontinentalflächen Erosion ein Problem ist und in manchen Regionen zur Desertifikation (Wüstenbildung) führt. In den letzten 20 Jahren, so die UNEP, gingen weltweit 480 Mrd. Tonnen Erde verloren, wobei die Desertifikation die Welt jährlich 42 Mrd. Dollar kostet und zahlreiche Menschenleben fordert. Zudem sind etwa 900'000 Mio. Menschen von den Folgen der Wüstenbildung bedroht (Roggli 2009: 36).

1.2.2 REGIONALE/LOKALE PERSPEKTIVE

Auch in der Schweiz ist die Bodenerosion kein unbeschriebenes Blatt mehr. Gemäss Modellrechnungen, so Roggli (2009: 36f), gehen in der Schweiz pro Jahr rund 2.1 t/ha Acker-

land verloren. Der Titel des UFA-Revue-Berichts "Jährlich 840'000 t Boden bachab" wieder spiegelt das Ausmass. Und die Erosion scheint in der Schweiz wegen dem Struktur- und Klimawandel sowie dem Siedlungsdruck künftig noch zuzunehmen. Die Folgen der Boden-erosion sind verheerend und deren Nachteile bekommen nicht nur jene zu spüren, die im Strassenunterhalt tätig sind. Prasuhn & Fischler (2007: 37ff) nennen beispielsweise Nachteile wie die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit (Humus, Nährstoffe), Verkleinerung der Bodenwasserspeicherkapazität (und schnelleres Austrocknen) und Bodenmächtigkeit (durchwurzelbarer Raum), die Entstehung von Kosten auf dem Betrieb (Ertragsausfälle, Kürzungen der Direktzahlungen) und für die Öffentlichkeit (Reinigung der Infrastruktur) oder die Veränderung der Zusammensetzung von Bodenlebewesen sowie die strukturelle Landschaftsveränderung. Nebst den physikalisch-mechanischen Belastungen wie Bodenerosion oder Bodenverdichtung kann die Bodennutzung zu zwei weiteren Arten von Degradierung führen. Im engeren Sinn sind es die stofflich-chemischen (An- und Abreicherung von Stoffen im Bodenprofil) und biologischen Belastungen (Krankheiten, Schädlinge) wobei im weiteren Sinn auch der Flächen- und Bodenverbrauch dazu gezählt werden kann (Heiniger & Herweg 1994: 21ff & Bundesamt für Umwelt 2007: 1ff). Die aufgezählten Degradierungen sind keineswegs nur Erscheinungen auf Schweizer Verhältnisse, das Gutachten der WBGU, die Beiträge der FAO oder der UNEP beweisen ihre aktuelle und globale Relevanz.

1.3 RELEVANZ DER UNTERSUCHUNG

Die internationale Gemeinschaft (I.G.) hat schon seit langem erkannt, dass die Wüstenbildung ein grosses wirtschaftliches, soziales und ökologisches Problem darstellt, welches viele Länder in allen Regionen dieser Welt betrifft. Die Gewissheit über die unterschiedlichen Formen und Ausprägungen der Degradierungen wie deren Ursachenkenntnis genügt künftig nicht mehr. Im Jahre 1977 nahm die UNCOD (United Nations Conference on Desertification) den Aktionsplan "Plan of Action to Combat Desertification (PACD)" zur Bekämpfung der Desertifikation auf. Trotz dieser und anderen Bemühungen zog die UNEP den Schluss, dass das Ausmass der Landdegradierung sich in ariden, semi-ariden und trocken sub-humiden Regionen intensiviert hat, obwohl einige lokale Erfolgsbeispiele zu verzeichnen waren (UNCCD 08.07.2009; <http://www.unccd.int/convention/menu.php>). Im Jahre 1990 wurde in enger Zusammenarbeit mit Bodenkunden- und Umweltexperten aus der ganzen Welt von UNEP und ISRIC (International Soil Reference and Information Center) eine Weltkarte der vom Menschen verursachten Bodendegradation erstellt (vgl. Abbildung 5). Das Projekt war auf den Namen GLASOD (Global Assessment of Human-induced Soil Degradation) be-

nannt. Mit Hilfe dieser Karte¹ im Maßstab 1:10 Mio. ist es möglich, eine regionale und globale Abschätzung der Ausdehnung und Intensität der Bodendegradation vorzunehmen. Da die Bodendegradation nur mit großem Aufwand direkt zu messen ist und in großen Teilen der Welt die Datenbasis außerordentlich schlecht ist, handelt es sich bei den hier angegebenen Daten um Schätzungen einer großen Expertengruppe (ISRIC 08. 07. 2009; <http://www.isric.org/>). Trotzdem war GLASOD das erste wissenschaftlich systematische Bewertungsprogramm zur Beurteilung der Desertifikation, da vor ihrer Veröffentlichung in 1990 auf internationaler Ebene keine Informationen über die Landdegradierung (Bodendegradierung) existent waren. GLASOD lieferte Grundlegendaten über die weltweite Verteilung und Intensität der verschiedenen Arten der Bodendegradierung. Die Daten, welche auf einheitlichen Richtlinien und internationalen Beziehungen basieren, wurden in Zusammenarbeit mit einer grossen Anzahl von (Boden-)Wissenschaftler aus der ganzen Welt integriert. Für das Erstellen dieser Themenkarte wurden keine Feldbeobachtungen, sondern nur Expertenwissen berücksichtigt. Dessen ungeachtet brachte die Karte eine wesentliche Grundlage für die Errichtung der UNCCD-Konvention (United Nations Convention to Combat Desertification), welche nach dem Beschluss der Rio-Konferenz von 1992 über die Umwelt und Entwicklung ausgearbeitet und 1994 in Paris beschlossen wurde, hervor. Um künftig ein effizientes Umweltmanagement gewährleisten zu können, fehlte bis anhin eine Übersicht über die Ausbreitung und Intensität der laufenden Landdegradierungen sowie die Kenntnis, wie die Landbesitzer diesem Phänomen durch nachhaltiges Landmanagement (Sustainable Land Management; SLM) entgegenwirken. Aufgrund eines Mangels an reproduzierbarer und objektiver wissenschaftlicher Methoden und Indikatoren aus früherer Bewertungen, wurden die Projekte WOCAT und LADA initiiert. Sie sind im nächsten Abschnitt kurz beschrieben (Liniger et al. 2008: ii).

1.3.1 DAS WOCAT/LADA PROJEKT

Inmitten diesem Umwelt- und Entwicklungskontext wurde im Jahr 1992 das Projekt WOCAT gegründet. WOCAT steht für die Abkürzung "World Overview of Conservation Approaches and Technologies" (dt.: Globale Übersicht über Konservierungsansätze und -technologien). Es ist ein globales Netzwerk, welches sich als Konsortium aus verschiedenen nationalen und internationalen Institutionen zusammensetzt, um Boden- und Wasserkonservierungstechnologien (engl.: Soil and Water Conservation; SWC) aufzuzeigen. Prinzipiell steht dabei eine Verbesserung des Lebensunterhaltes (engl.: Livelihoods) und der Umwelt (engl.: Environment) im Vordergrund. Weltweit wurden verschiedenste Boden- und Wasserkonservie-

¹ (08.07.2009); http://www.isric.org/webdocs/images/glasod_mercator1400.jpg.

rungstechnologien entwickelt, doch blieb ein geeignetes und leicht zugängliches Instrument zur Dokumentation ausstehend, weil bisher kein ideales Instrument zur Sammlung und Verbreitung dieses Wissens bestand. WOCAT wurde als Plattform darauf ausgerichtet, diese Lücke anhand der Analyse und Sammlung von Fallstudien aus der ganzen Welt zu schliessen. Als Zielsetzung versucht WOCAT eine weltweit nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen zu fördern, indem es wirksame Fallbeispiele von Boden- und Wasserkonservierung dokumentiert, Praxisverfahren analysiert, Innovationen und (politische) Entscheidungsprozesse fördert. Dazu erschien erstmals im Jahr 2007 ein Buch mit dem Titel "where the land is greener" (Liniger and Critchley 2007: 10). Gefördert wird WOCAT durch die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) und weitere Geldgeber. Gesteuert wird das Programm durch die weltweit über 50 Partnerinstitute und durch das CDE, die FAO und das ISRIC koordiniert.

Gemäss dem "UNO-Millennium Ecosystem Assessment" (Überblick über den globalen Zustand von Ökosystemdienstleistungen) sind konsistente Grundlagen und Indikatoren zur Identifizierung und Überwachung von Landdegradierung essentiell. Um dies bewerkstelligen zu können, hat die GEF (Global Environmental Facility) im Jahr 2006 das LADA Projekt (Land Degradation Assessment in Drylands) ins Leben gerufen, um Ursachen, Zustand und Auswirkungen der Landdegradierung in Trockengebieten zu bewerten (GEF 2006). LADA ist initiativ bei der Entwicklung und Anwendung einer Methodik zur Bewertung der sogenannten treibenden Kräfte (engl. driving forces) und quantifiziert Art, Umfang, Stärke, Auswirkungen und Ursachen der Landdegradierung. Durch die Sammlung von Daten und Informationen soll eine integrative Bewertung der Landdegradierung bezweckt werden. Das Projekt ermöglicht die Beurteilung und Überwachung von Landdegradierungen sowie die Ausgestaltung und Realisierung von Massnahmen zur Eindämmung deren Auswirkungen. Ferner soll das Projekt Anreize zur Förderung und Anpassung einer nachhaltigen Landnutzung und -bewirtschaftung liefern. Unterhalten wird LADA durch die FAO und UNEP, von der GEF finanziert und von etlichen internationalen Organisationen (UNCCD, ISRIC, WOCAT etc.) und nationalen Pilotpartnern (Argentinien, China, Kuba, Senegal, Tunesien und Süd Afrika) getragen (LADA 09.07 2009; <http://www.fao.org/nr/lada/>).

1.3.2 ABSICHTEN VON WOCAT/LADA

Werden die Anstrengungen der internationalen Gemeinschaft der letzten zwanzig Jahre beobachtet, so lässt sich erkennen, dass sich die Bemühungen vor allem in Aufgabenbereich des globalen und nationalen Ökonomiemanagements konzentrierten. Die Gemeinschaft ist sich einig, dass die kommenden Jahre sich verstärkt an das Umweltmanagement

richten; vor allem mit Fokus auf die Ökosystemdienstleistungen. Die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit auf globaler Ebene stellt beispielsweise eine der grössten menschlichen Herausforderungen dar. In diesem Zusammenhang hat sich WOCAT das Bestreben einer dauerhaften menschlichen Koexistenz mit der Umwelt als übergeordnetes Ziel gesteckt, damit die Ökosystemdienstleistungen für die nächsten Generationen gesichert sind. Diese entspricht dem Gedankengut des Nachhaltigkeitskonzepts. WOCAT ist ein internationales Netzwerk von Spezialisten, das sich im Hinblick auf die Nachhaltigkeit auf Umwelttechniken wie der Boden- und Wasserkonservierung (SWC) und dem nachhaltigen Bodenmanagement (SLM) spezialisiert. Bezüglich dem nachhaltigen Bodenmanagement wird im Entwicklungs- und Umweltkontext vermehrt von der Relevanz der Ökosystemdienstleistungen (engl.: Ecosystem Services; ESS) gesprochen. Nach dem "Millennium Ecosystem Assessment" lassen sich die Ökosystemdienstleistungen in vier Kategorien einteilen, was im Kapitel 3.2 (Abbildung 7) behandelt wird. Das von Hurni² im Jahr 1992 initiierte Netzwerk (WOCAT) sammelt systematisch Informationen aus aller Welt über Methoden und Technologien zur nachhaltigen Nutzung der Boden- und Wasserressourcen. Das globale Programm hat sich zum Ziel gesetzt, die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen weltweit zu fördern, indem es Musterbeispiele aus dem Bereich der Boden- und Wasserkonservierung dokumentiert, analysiert und in verschiedenen Formen präsentiert und verbreitet. Die gewonnenen Informationen über die lokal erhobenen Erfahrungen bezüglich der Boden- und Wasserkonservierung können durch das Netzwerk international zugänglich gemacht werden. Auf der Basis von standardisierten Fragebögen werden die Informationen auf einer Datenbank gesammelt, wodurch laufend Produkte (Bücher, Berichte, Karten, CD-ROM Unterlagen) entstehen, die einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Ressourcennutzung auf globaler Ebene leisten. WOCAT beabsichtigt mit der globalen Verbreitung, mit Schwerpunkt in Entwicklungsländern, von zweckmässigen Methoden und Technologien zur Bodenkonservierung die Umsetzung bodenschonender Anbautechniken in der landwirtschaftlichen Praxis, um in erster Linie die (Welt-)Ernährungssicherheit verbessern zu können. Eine Verbesserung des allgemeinen Lebensunterhalts und der Umweltzustand stehen im Vordergrund der Absichten. Als methodische Grundlage der Datenerhebung und -evaluation verfügt WOCAT über ein Set von drei standardisierten Fragebögen, die sich gegenseitig ergänzen. Der erste Fragebogen (Questionnaire on Technologies, QT) zu Boden- und Wasserkonservierungstechnologien beschreibt und illustriert mit Fotos den Aufbau der Technologie und ihre Funktionsweise sowie deren Entstehung, respektive Herkunft. Der QA-Fragebogen (Questionnaire on Approaches) zu den Entwicklungsansätzen beschäftigt sich einerseits mit der Frage, mit welchen Mitteln Inputs und Kenntnissen die Technologie eingeführt wurde

² Hans Hurni: Präsident der "World Association of Soil and Water Conservation" (WASWC, <http://www.waswc.org/>) 1991-1997.

und, welche Akteure involviert sowie auf welche Art und welcher Innovationsebene gearbeitet wurde. Komplettiert wird das Set durch den Fragebogen zur Karte (Questionnaire on the Map, QM), welcher die räumliche Verteilung der Landnutzung, der Degradierungsformen, Konservierungstechnologien und deren Trend im Verlauf der Zeit ermittelt. QM bildet die geographische Komponente der WOCAT Analyse und liefert somit eine wesentliche Grundlage für die vorliegende Untersuchung (WOCAT 10.07.2009; <http://www.wocat.net/>). Der Kartierungsfragebogen (QM) wurde in einer Zusammenarbeit von WOCAT/LADA und DESIRE³ (Development of a European Service for Information on Research and Education) entwickelt, wobei das Kartierungswerkzeug auf dem ursprünglichen WOCAT-Kartierungsfragebogen basiert. Um die Aufmerksamkeit über Themen wie biologische oder chemische Degradierungen zu erhöhen und mehr Wert auf die direkten sozioökonomischen Ursachen des Degradierungsphänomens und deren Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen zu legen, wurde das QM erweitert. Diesbezüglich spielt das LADA Projekt eine bedeutende Rolle.

Im Jahr 2006 begann LADA mit dem allgemeinen Ziel, Grundlagen für fundierte politische Beratung über die Landdegradierung und -konservierung auf globaler, nationaler und lokaler Ebene zu schaffen. Diese Zielsetzung soll durch die Bewertung von Landdegradierung auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen sowie der Erschaffung einer allgemeinen Grundlage für künftige Beobachtungen realisiert werden. Das Projekt wird seine Tätigkeit bis zum Jahr 2010 vollenden. An der Umsetzung des Projekts sind viele verschiedene Akteure beteiligt. Nebst den tragenden Behörden der FAO und UNEP zählt der GEF als Hauptspender zu den wichtigsten Institutionen. Weitere Partner des Projekts sind internationale Organisationen, Universitäten, Forschungszentren und andere Projekte. Mit den heutigen Technologien in Form von Satellitenbildern (Remote Sensing) und Geoinformationssystemen (GIS) verschafft sich LADA die Möglichkeit, Daten über Landressourcen und Landnutzungen (bio-physische Themen) und sozio-ökonomische Themen zu sammeln und auszuwerten. Die Methodik von LADA beruht auf der Annahme, dass die menschlichen Aktivitäten auf dem Land die Hauptursachen der Landdegradierung sind. Aus diesem Grund ist die Definition und die Kartierung von verschiedenen Landnutzungssystemen (engl.: Land Use System) ein Hauptaufgabenbereich für die Umsetzung des gesamten Konzepts. Weil die Landdegradierung keinem statischen Konzept entspricht, sondern eher ein Phänomen ist, das nur als Veränderung der Landgegebenheiten wahrgenommen werden kann, ist es sehr wichtig, die Beziehungen zwischen Ursachen und Wirkungen zu berücksichtigen, die zur Landdegradierung führen. Diesen Umständen wird LADA durch die Anwendung des DPSIR

³ DESIRE: http://www.desire-project.eu/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1.

Bezugssystem (siehe Abschnitt 3.3) gerecht. Der Beteiligung von Interessensgruppen auf allen Ebenen wird bei LADA grosse Bedeutung zugewiesen. Zu diesem Zweck werden Instrumente wie partizipative Ansätze, Expertenbefragungen und der Aufbau von Kapazitäten (Kompetenzen, Entwicklung, Stärkung und Unterstützung von technischer und administrativer Infrastruktur) eingesetzt (LADA 10.07.2009; <http://www.fao.org/nr/lada/index.php?/Overview.html>).

1.3.3 COST 634

Die Bezeichnung COST steht für "Europeen Cooperation in the field of Scientific and Technical Research". COST ist ein zwischenstaatliches Rahmenwerk für die europäische Zusammenarbeit und Koordination von national durchgeführten Forschungsaktivitäten in allen Bereichen der Wissenschaft und Technologie (COST 10.07.2009; <http://www.cost.esf.org/>). Die COST-Projekte beabsichtigen die Deckung des Bedarfs für internationale Kooperation und transdisziplinäre Forschung innerhalb Europa, damit der europäische Wirtschafts- und Wissenschaftsraum konkurrenzfähig bleibt. Innerhalb des COST Projekts sind rund 200 sogenannte COST-Aktionen in neun wissenschaftlichen Bereichen angesiedelt (COST 10.07.2009; http://www.cost.esf.org/domains_actions/essem/Actions). Das Projekt 634 beschäftigt sich mit den On- und Off-site Umweltauswirkungen des Oberflächenabflusses und der Bodenerosion innerhalb des ESSEM (Earth System Science and Environmental Management) Bereichs, bei welchem sich das Zentrum für Entwicklung und Umwelt (CDE) der Universität Bern und weitere Institutionen beteiligen. Bei diesem Projekt handelt es sich um eine Nachfolgeaktion des 623-Projekts aus dem ESSEM Bereich.

Laut COST 634 zählen der Oberflächenabfluss und die Bodenerosion zu den einflussreichsten ökologischen Risiken im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Europa. Bodenerosion und Oberflächenabfluss haben nicht bloss On-site Beeinträchtigungen, sondern führen auch zu Off-site Auswirkungen wie die Eutrophierung von Wasserläufen oder Seen sowie Schäden infolge Überschwemmungen an Infrastruktureinrichtungen. In Nord- und Zentraleuropa ist die Bodenerosion vor allem auf die landwirtschaftliche Anbauverfahren und das Bodenmanagement zurückzuführen. Während Off-site Schäden der Bodenerosion oft sehr wirksam auf Einzugsgebietsebene sind, wird die tatsächliche Bodenerosionsgefahr durch Entscheidungen der Bodenbewirtschaftungspraktiken auf Betriebsebene determiniert. Daher spielt das Management auf Betriebsebene bei der Bekämpfung von Bodenerosion durch die Umsetzung von förderlichen Managementverfahren eine Schlüssel-funktion. Nichts desto trotz müssen die Bodenschutz- und Konservierungsmassnahmen auf landwirtschaftlichen Kulturlächen der Betriebsorganisation entsprechen, welche die simul-

tane Abwägung von verschiedenen technischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Belangen beinhalten (COST 634 10.07.2009; <http://soilerosion.net/cost634/>). Um die ökologischen Auswirkungen der Erosion vermindern zu können, muss laut COST die Verbindung zwischen Wissenschaft und Landbesitzern gestärkt werden (COST 10.07.2009; http://www.cost.esf.org/domains_actions/essem/Actions/Runoff_and_Erosion). Das Hauptziel des Verfahrens ist die Entwicklung eines durchgängigen Verständnisses von On- und Off-site Auswirkungen der Bodenerosion auf Einzugsgebietsebene in enger Zusammenarbeit mit den Bodenfachstellen. Das Projekt richtet sich an involvierte Organisationen und Institutionen, um die Akzeptanz des Bodenschutzes zu fördern.

Seit dem Sommer 2005 sind innerhalb des COST 634 zwei Dissertationen durch das CDE initiiert worden. Die Beiträge von Flurina Schneider sind bereits fertiggestellt, jene von Thomas Ledermann sind noch in Arbeit. Die Untersuchungsgebiete ihrer Arbeit liegen im Raum Oberrhein (BE), Friesenberg (BE) sowie im freiburgischen Estavayer-le-Lac. Zusätzlich zu den Dissertationen sind seit Herbst 2006 zahlreiche weitere Diplomarbeiten, Masterarbeiten (MSc), Bachelorarbeiten (BSc) und Forschungspraktiken innerhalb der COST-Arbeitsgruppe des CDE angelaufen. Christine Hauert (2007) schrieb beispielsweise eine Diplomarbeit über den Vergleich von Bodeneigenschaften im Direktsaat- und Pflugsystem in den Gebieten Friesenberg und Oberrhein mittels Reflexionsspektrometrie und physikalischen Feldmethoden während Michael Chisholm (2008) eine Arbeit über die Analyse der Bodenerosion mit der AVErosion (Extension für ArcView) verfasste. Weitere Arbeiten wurden unter anderem von Silvano Allenbach, Martin Affentranger, David Steiger, Anna Wüst, Stephan Zraggen, Tatenda Lehmann oder Lorenz Ruth verfasst. An dieser Stelle sei im besonderen Mass auf die Diplomarbeit von Judith Gasser (2009) verwiesen, welche wie die vorliegende Arbeit, ein dem COST 634 ähnliches Themenfeld bearbeitete. Den Forschungsschwerpunkt der Arbeiten liegt im Bereich der Bodendegradierungen und den Bodenkonservierungsmassnahmen für die Gebiete aus Estavayer-le-Lac und dem Oberrhein, welche beides Teilgebiete des COST 634 waren. Infolge der langjährigen Zusammenarbeit mit lokalen Bauern und Behörden kristallisierten sich ein etabliertes Netzwerk und eine fundierte Informationsbasis heraus. Das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit beschränkt sich auf die Region Oberrhein und wird im 2. Kapitel näher vorgestellt.

1.4 HAUPTZIEL DER ARBEIT

Die Arbeit basiert auf dem Kartierungsinstrument ("mapping tool") der WOCAT/LADA Methodik. Dabei stützt sich die Arbeit nicht bloss auf deren methodischen Aspekte, auch ihre

Zielsetzungen und Leitgedanken werden aufgenommen und verfolgt. Aus diesem Kontext heraus verfolgt die Untersuchung sowohl methodische als auch inhaltliche Ziele (Abschnitte 1.4.1 & 1.4.2). Weil die Methodik vor allem auf aride und sub-aride Länder ausgerichtet ist, muss die Methodik für die Anwendung im Schweizer Mittelland auf die lokalen Umstände angepasst werden. Hauptsächlich sind drei Veränderungen vorzunehmen, die als methodische Zielsetzungen der Arbeit formuliert sind. Erstens erfolgt die Analyse auf persönlichen Feldbeobachtungen, was heisst, dass keine Expertenbefragungen vorgenommen werden. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zum ursprünglichen Vorgehen von WOCAT/LADA. Damit alle ausgeschiedenen Parzellen im Forschungsgebiet in der Region Oberrhein bewertet werden können, sind visuelle Beobachten unter Ausschluss von Laboranalysen vorgesehen. Zweitens müssen die von WOCAT/LADA (vor-)definierten Indikatoren auf Schweizer Verhältnisse angepasst werden. Die Methodik soll einzig den lokalen Umständen entsprechende Indikatoren beinhalten. Es entsteht quasi eine neue "Methodik nach Schweizer Art". Zu guter Letzt muss, um den ersten beiden Zielsetzungen gerecht werden zu können, ein entsprechendes Feldformular ausgearbeitet werden, um parzellengenaue Bewertungen durchführen zu können. Dies ist aufgrund der Schweizer Landwirtschaftsstruktur notwendig. Am Anfang der Untersuchung stehen somit die Anpassung, das Anwenden und das Testen der WOCAT/LADA Methodik im Vordergrund.

Da es sich bei der angepassten visuellen Anwendung der WOCAT/LADA Methodik nicht direkt um eine empirische Untersuchung handelt, kann die Beurteilung der Anforderung von Objektivität und Wiederholbarkeit nicht gerecht werden. Wie Gasser (2009: 12) beschreibt, werden die Resultate zu den Bewertungen eher generellen Charakter aufweisen. Dies leitet über zu den inhaltlichen Zielen der Arbeit. In erster Linie geht es darum festzustellen, ob sich die Indikatoren für die Bewertung von Degradierungen und Konservierungsmassnahmen eignen. In zweiter Linie wird von Interesse sein, ob sich verschiedene Landnutzungssysteme bezüglich ihrer Degradierungsanfälligkeit herauskristallisieren lassen. Zu diesem Zweck wird die im methodischen Teil erarbeitete Methodik im inhaltlichen Abschnitt angewendet und ausgewertet.

1.4.1 METHODISCHE ZIELSETZUNGEN

1. Anpassung und Überprüfen des Fragenkatalogs "Questionnaire für Mapping Land Degradation and Sustainable Land Management (QM)" für eine Bewertung von Degradierungsformen und Konservierungsmassnahmen im Schweizer Mittelland. Die Überprüfung ist auf deren Anwendbarkeit fokussiert, was zu Anpassungen der Formulare führt.

2. Erstellen von spezifischen Erhebungsfragebogen (Feldformular & Methodenkatalog) für die Datenerhebung. Statt Expertenbefragungen werden visuelle Beobachtungen durchgeführt.
3. Anwendung der WOCAT/LADA Methodik im Untersuchungsgebiet in der Region Oberraargau. Schwerpunkt der Untersuchung bildet das Ackerbauggebiet, zusätzlich wird der Wald einer Bewertung unterzogen. Erhebung und Digitalisierung der Felddaten mittels Excel und GIS.

1.4.2 INHALTLICHE ZIELSETZUNGEN

In einer zweiten Phase sollen die Daten ausgewertet werden. Mit Hilfe der Daten sollen die verschiedenen Landnutzungssysteme schwerpunktmässig auf ihre Degradierungsgefährdung überprüft werden.

1. Vergleich der Anfälligkeit von unterschiedlichen Landnutzungstypen, Kulturpflanzen und Bodenbearbeitungstechniken bezüglich stofflich-chemischen, physikalisch-mechanischen und biologischen Bodenbeeinträchtigungen.
2. Ermitteln von Konservierungsmassnahmen und deren Effektivität.
3. Übersicht zur Verletzlichkeit des Waldökosystems bezüglich der Bodendegradierung.

Bei den inhaltlichen Zielsetzungen wird untersucht, wie stark sich der Zustand des Lands respektive des Bodens durch die unterschiedlichen Landnutzungstypen, Kulturen und Bearbeitungsverfahren im Zusammenhang auf ihre Degradierungsanfälligkeit verändert. Als wichtigste Vergleichsparameter dienen verschiedene Degradierungsindikatoren der drei Kategorien (vgl. Punkt 1).

Die übergeordnete inhaltliche Fragestellung der Untersuchung lautet, wie die verschiedenen Landnutzungstypen des Untersuchungsgebiets das Land respektive den Boden beeinflussen. Die Hypothesen lauten daher:

- ***Die verschiedenen Landnutzungssysteme kennzeichnen den Boden(-zustand) bezüglich der Bodendegradierungen unterschiedlich.***
- ***Innerhalb des Landnutzungstyps Ackerbauland bestehen Kulturen, die ein höheres Potential zur Bodendegradierung aufweisen, als andere.***

- ***Die Konservierungsmassnahmen innerhalb des Untersuchungsgebiets reduzieren die Bodendegradierung.***

1.5 AUFBAU DER ARBEIT

Die Arbeit ist in vier Teile gegliedert:

1. Einleitung
2. Methodologie
3. Resultate und Diskussion
4. Synthese

Die Hauptteile sind jeweils in mehrere Unterkapitel unterteilt. Der erste Teil bildet die Einführung ins Themenfeld der Arbeit und erwähnt deren Zielsetzungen. In diesem wird auch das Untersuchungsgebiet ausführlich beschrieben. Während der zweite Teil vor allem auf den theoretischen Hintergrund, den konzeptionellen Rahmen, den Stand der Forschung eingeht und angepasste Methodik des WOCAT/LADA Projekts erläutert und dokumentiert, werden im dritten Teil die Resultate illustriert und diskutiert. Mit Hilfe von indikatorspezifischen Karten und Auswertungstabellen werden Zusammenhänge erklärt. Der letzte Teil besteht aus dem Syntheseblock zur Theorie, Methodik sowie den Resultaten und endet mit einer Schlussfolgerung und einem Ausblick.

2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet der Arbeit setzt sich aus drei Gemeinden aus dem Oberaargau zusammen. Die Gründe für die Auswahl des Untersuchungsgebiets sind auf die Dissertationen von COST 634 zurückzuführen. Unter anderem war im 2005 der bestehende Kontakt zum Landwirt S. Minder entscheidend. Sein Engagement beim Direktsaat-Lohnunternehmen Migamo öffnete allerlei Kontakte zu lokalen Bauern. Im Übrigen ist dem Unternehmen die starke Zunahme der Direktsaat im Gebiet zu verdanken. Im Jahr 1999 bewirtschaftete Migamo 144 ha direktgesäte Parzellen, im Jahr 2007 waren es bereits 1'145 ha (Migamo 24.07.2009; <http://www.migamo.ch/>).

2.1 OBERAARGAU

Die Region Oberaargau repräsentiert den nordöstlichsten Teil des Kantons Bern und liegt im Schweizer Mittelland. Nordwestlich grenzt er an den Kanton Solothurn, nordöstlich und östlich an die Kantone Aargau und Luzern. Dank seiner günstigen geografischen Lage nahe den wichtigen West-Ost und Nord-Süd-Verbindungen auf Strassen und Schienen ist die Region ein wirtschaftlich interessantes Gebiet, welches von einer hohen Lebensqualität geprägt ist. Mit einer Bevölkerungsanzahl von 14'500 Einwohnern fungiert die Stadt Langenthal als Zentrum des Oberaargaus. Die ansässige Wirtschaft ist geprägt durch eine starke Maschinen- und Metallbaubranche (ca. 11% der Beschäftigten), den Detailhandel und die Landwirtschaft (je ca. 10%) sowie dem Gesundheitswesen (ca. 8%). Geprägt wird das unternehmerische Bild hauptsächlich von vielen kleinen und kleinsten Betrieben (oberaargau im schweizer mittelland – BE 26.06.2009; <http://www.oberaargau.ch/index.php>).

Innerhalb der Region Oberaargau liegt das Untersuchungsgebiet des Amtsbezirks Aarwangen, in Umgebung der Gemeinden Melchnau, Reisiswil und Gondiswil (Abbildung 1). Die Gemeinden werden in den Abschnitten 2.1.1 bis 2.1.3 jeweils separat kurz vorgestellt und charakterisiert. Dessen geologische und pedologische Bodeneigenschaften sind im untenstehenden Kapitel 2.3 wiedergegeben. Das Gebiet liegt auf einer Höhe von 530 bis 780 m ü. M. Die mittlere jährliche Niederschlagsrate wird für Madiswil (540 m ü. M) mit 1'150 mm angegeben (MeteoSchweiz; 26.06.2009).

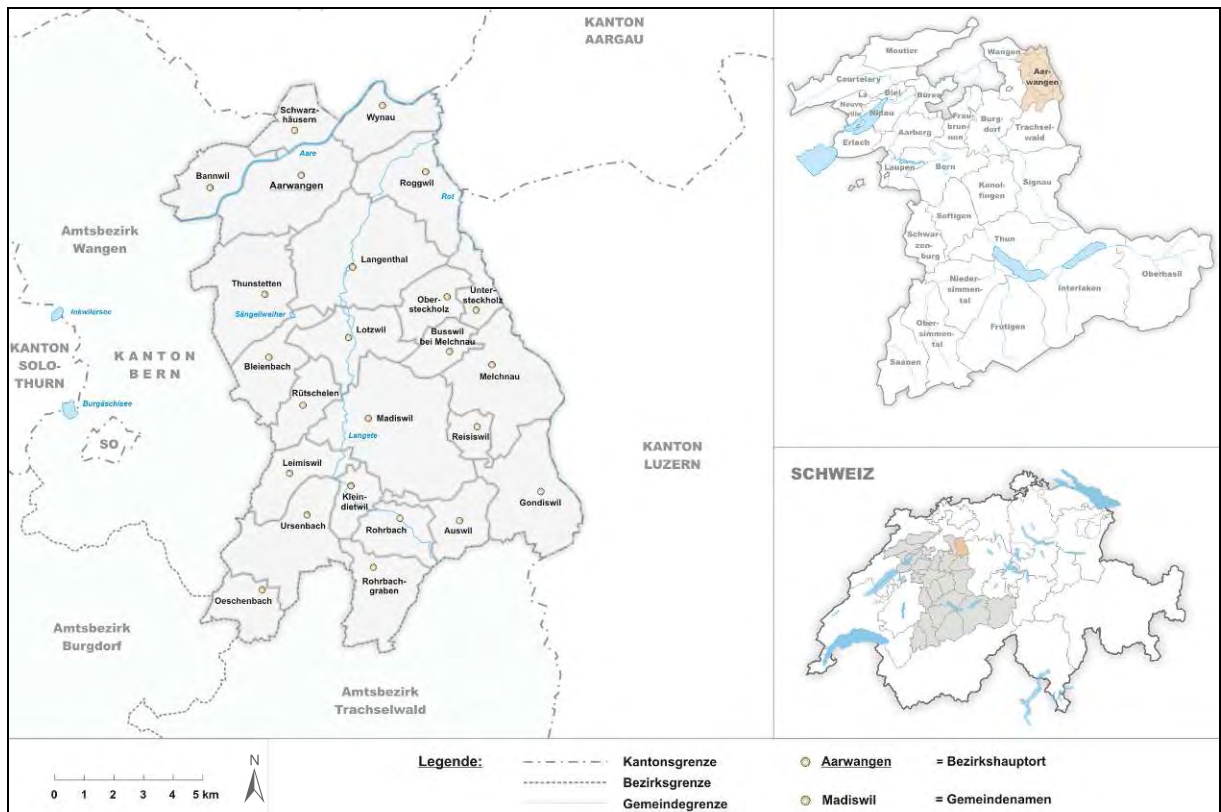


Abbildung 1: Geographische Einordnung des Untersuchungsgebiets (Kanton Bern). Illustriert ist die Region Ob- und Nid Aargau mit dem Amtsbezirk Aarwangen (rot eingefärbt). Melchnau und Gondiswil (linke Karte) grenzen direkt an den Kanton Luzern (Quelle: www.wikipedia – Amtsbezirk Aarwangen. Stand 26.06.2008; leicht verändert).

2.1.1 MELCHNAU

Wie auf der Homepage von Melchnau, welche im Jahr 2000 sein 900-jähriges Jubiläum⁴ feierte, recherchierbar ist, liegt die Gemeinde in einem von wohlgepflegten Wäldern umgeben Talkessel. Die Gemeinde, wie übrigens auch Reisiswil und Gondiswil (Abbildung 1), gehört zum Amtsbezirk Aarwangen. Zwar wird Melchnau in der geographischen Gliederung ins Mittelland eingestuft, jedoch liegt es an der Grenze des Voralpengebietes (Melchnau 26.06.2009; www.melchnau.ch). Der volkswirtschaftliche Dorfcharakter ist durch das Kleingewerbe, die Landwirtschaft sowie übliche Handwerkerberufe und die Teppichfabrik gekennzeichnet. Das Bundesamt für Statistik stuft die Gemeinde Melchnau in ihrem Zentrum-Peripherie-Modell aus dem Jahre 2000 als agrar-industriellen Gemeindetypen ein (BFS: 26.06.2009; http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/regionen/thematische_karten/maps/raumgliederung/raeumliche_typologien.html). Die Gesamtfläche von Melchnau umfasst 10.27 km². Die Bevölkerungszahl betrug im Dezember 2008 (Stand: 31.12.2008) 1'602 Einwohner (ob- und nidaargau im schweizer mittelland – BE 26.06.2009; <http://www.ob-und-nid-aargau.ch/gemeinden/>). Die Durchschnittshöhe liegt bei 481 m ü. M.

⁴ Lukas, Wenger et al. (2000). Melchnau auf dem Weg. Merkur Druck AG, Langenthal.

2.1.2 REISISWIL

Die Gemeinde Reisiswil ist topographisch durch ihr ausgeprägtes Höhenprofil und die süd-exponierten Hanglagen charakterisiert. Das Dorf ist von einem bäuerlichen Bild geprägt und zeugt durchaus von einem altmodischen und konservativen Daseins (ibid.). In der Gemeinde leben auf einer Gesamtfläche von 2.01 km² nur gerade 185 Einwohner. Gegenüber der Gemeinde Melchnau liegt die mittlere Höhe über Meer in Reisiswil bei 645 Metern (Stand: 31.12.2008). Vom BFS wird die Gemeinde Reisiswil als agrarische Gemeinde ausgewiesen (ibid.).

2.1.3 GONDISWIL

Die letzte der drei Gemeinden formt die "Nordostecke des Kantons Bern". Von den Einheimischen wird es etwa auch "Gumiswil" genannt. Die Gemeinde liegt eingebettet zwischen sanften Anhöhen und dunklen Wäldern auf einer Höhe von durchschnittlich ca. 660 m ü. M. (ibid.). Der tiefste Punkt liegt auf 575 m ü. M., der höchste auf 729 m ü. M. In Gondiswil tummelt sich eine stattliche Anzahl von Landwirtschaftsbetrieben oder Betriebsgemeinschaften. Nebst der Landwirtschaft findet man in Gondiswil allerdings auch andere Gewerbe- und Handelszweige. Die Gemeinde, welche 9.41 km² gross ist, wird von 727 Einwohner besiedelt (Stand: 31.12.2008). Wie Melchnau, wird Gondiswil vom BFS als agrar-industrielle Gemeinde eingestuft. (ibid.).

2.2 BEWERTUNG DER FLÄCHEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Wie in der Einleitung beschrieben, erfolgte im Jahr 2008 in der Region Oberraargau eine Bewertung für die Landnutzungstypen Ackerbau-/Kulturland und Wald. Die Kartengrundlagen der Ackerbauparzellen konnten von T. Ledermann, welcher im Gebiet eine detaillierte Kartierung der Bodenerosion durchführte, übernommen werden. Während der Feldarbeiten wurden unter Verwendung von Luftbildern präzisere Parzellenpläne erstellt, auf welchen die Bewertung schlussendlich basierte. Nebst den Ackerbauparzellen wurden die Waldflächen rund um das Kulturland bewertet. Dazu wurden sieben verschiedene Waldsektoren ausgeschieden (Abbildung 2). Während das Ackerbauland drei Mal bewertet wurde, unterlag der Wald einer einzigen Bewertung. Mit der Unterstützung eines lokalen Försters⁵ wurden, wie das Ackerbauland, die sieben Waldsektoren auf Degradierungen und Konservierungsmassnahmen analysiert.

⁵ Jäggi, Martin. Zelgweg, 4955 Gondiswil/BE.

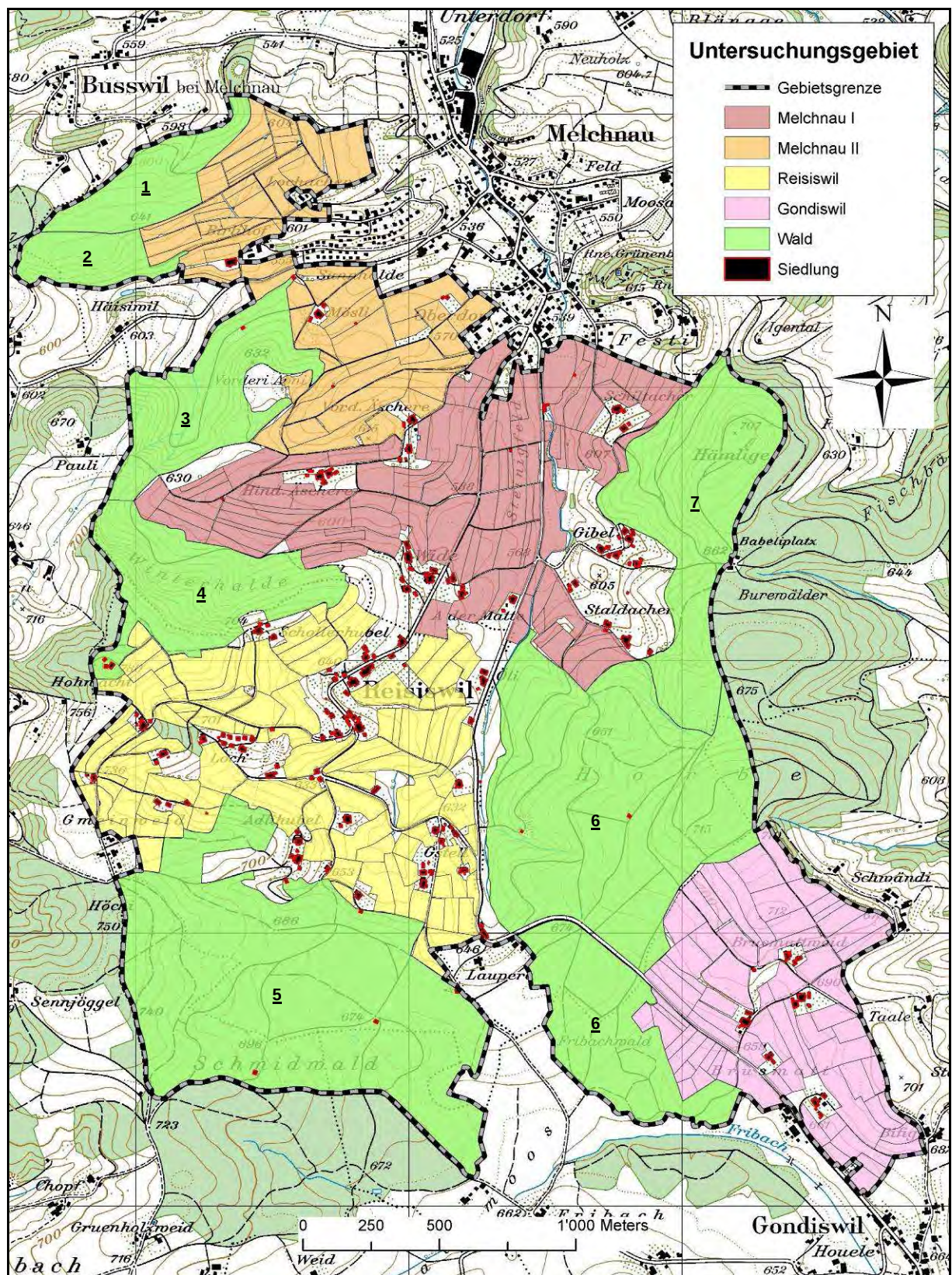


Abbildung 2: Räumliche Gliederung des Untersuchungsgebiets mit eingefärbten Ackerbau-, Wald- und Siedlungsflächen (Quelle: swisstopo 2000).

In den nachkommenden Tabellen (Tabellen 1 bis 5) sind zusätzliche Hintergrundinformationen rund um das Untersuchungsgebiet und seine Besonderheiten illustriert. Die bewerteten Ackerbauflächen aus der Gemeinde Melchnau wurden in zwei Teilgebiete unterteilt. Die Aufteilung der Parzellen erfolgte einerseits aus organisatorisch-administrativen Zwecken und andererseits aufgrund der speziellen Nutzpflanzen (Ricola Kräuter, Spargeln, Kürbisse, Blumen und Sonnenblumen) im Bereich Melchnau II. Das Untersuchungsgebiet umfasst aus diesem Grund nebst Gondiswil und Reisiswil die Gebiete Melchnau I und Melchnau II (Abbildung 2). Aus der Tabelle 1 ist der volle Umfang des Forschungsgebiets ersichtlich. Die Fläche, welche von der Gebietsgrenze umschlossen wird, misst eine Gesamtfläche von rund 7.4 km². Auf die Nutzflächen des Waldes und des landwirtschaftlichen Ackerbaulands (Parzellen von Gondiswil, Reisiswil, Melchnau I und II) entfallen je etwas mehr als 3 km². Die Siedlungsfläche innerhalb des Forschungsgebiets beläuft sich auf rund 4.5 ha, also ca. 0.05 km². Dies ergibt schlussendlich eine Restfläche (ungefärbte Bereiche in Abbildung 2) von rund 1 km² oder 13.2% (von Gesamtfläche), welche nicht bewertet wird. Die Waldfläche wurde, wie erwähnt, in sieben verschiedene Sektoren unterteilt. Dabei unterlag die Einteilung keinerlei Kriterien, sie basiert einzig auf der Topographiekarte. Die Flächen innerhalb der Sektoren variieren sehr stark. Aus der Tabelle 2 geht hervor, dass der kleinste Sektor lediglich eine Fläche von 0.09 km² (2.9%) und der Grösste 1.07 km² (33%) beträgt. Für die drei Bewertungsperioden des Ackerbaulands sind in Tabelle 3 für jedes der vier Teilgebiete die Anzahl Parzellen und die Gesamtfläche aufgelistet, da im Unterschied zum Wald sich die landwirtschaftlichen Nutzflächen innerhalb kurzer Zeit stark verändern. Gemäss den Berechnungen (Tabelle 3) sind die Gebiete Reisiswil und Melchnau I mit rund 91 ha (je ca. 29%) am grössten, gefolgt von Gondiswil (65 ha; 21%) und Melchnau II (63 ha; 20%).

Wenn das Gebiet um Melchnau nicht unterteilt wäre, wäre es mit einer Fläche von 155 ha (49.5%) das umfangreichste Gebiet. Bezüglich Anzahl Parzellen dominieren Reisiswil und Melchnau I. In allen drei Beobachtungsperioden wurden jeweils rund 90 Parzellen gezählt.

Tabelle 1: Die verschiedenen Nutzungstypen und deren Flächenanteile (Quelle: Urs Grob).

Nutzungstyp	[ha]	[%]
Forschungsgebiet	736.96	100.00
- Waldfläche	324.48	44.03
- Kulturgebiet	310.70	42.16
- Siedlungsgebiet	4.64	0.63
- RESTFLÄCHE Strassen, öffentliche/private Plätze, Immobilien (Parkplätze/Garten), kleine Waldflächen, div. Kulturland, Hecken etc.	97.14	13.18

Tabelle 2: Waldsektoren und deren flächenmässige Ausdehnung (Quelle Urs Grob).

Waldabschnitte		[ha]	[%]
Sektor 1		14.21	4.38
Sektor 2	Minimum	9.43	2.90
Sektor 3		25.40	7.83
Sektor 4		29.12	8.97
Sektor 5		97.71	30.11
Sektor 6	Maximum	106.94	32.96
Sektor 7		41.68	12.85
TOTAL		324.48	100.00

In der Tabelle 3 fällt auf, dass im Sommer (326 Parz.) gegenüber dem Frühling (313 Parz.) und Herbst (305 Parz.) am meisten Parzellen beobachtet worden sind. Im Verlauf der Jahreszeit variiert die Parzellenanzahl pro Teilgebiet unterschiedlich stark. Am grössten waren die Schwankungen in Melchnau I, wo im Sommer 97 und im Herbst 87 Parzellen gezählt worden sind.

Ein Vergleich der Parzellengrössen (Tabelle 4) innerhalb der Gebiete enthüllt, dass die flächenmässig kleinsten und grössten Parzellen zwischen 0.1 ha und 3.38 ha (Melchnau II und Gondiswil) liegen, welche von Ledermann (2008a: 266) bestätigt werden. Die Streuungen innerhalb der Gebiete sind nicht sonderlich auffällig, die Mittelwerte der Parzellengrösse [ha] sind mit ca. 1 ha für alle Teilgebiete ähnlich gross.

Die Siedlungsfläche (Tabelle 5) innerhalb des Gebietes umfasst eine Fläche von rund 4.6 ha, die sich aus total 202 Gebäuden zusammensetzt. Die Gebäude sind definiert als alle Bauwerke, die überdacht sind und auf dem Luftbild zu erkennen sind.

Tabelle 3: Anzahl Parzellen pro Teilgebiet und Jahreszeit sowie deren Gesamtfläche (Quelle: Urs Grob).

Teilgebiete	Anzahl Parzellen [#]			Totale Fläche [ha]	[%]
	Frühling	Sommer	Herbst	Gebietsfläche	
Gondiswil	67	66	63	65.58	21.11
Reisiswil	93	94	90	91.31	29.39
Melchnau I	91	97	87	91.95	29.27
Melchnau II	62	69	65	62.86	20.23
Total Parzellen	313	326	305	310.70	100.00

Tabelle 4: Kenngrössen der Parzellen im Minimum, Mittelwert und Maximum (Quelle Urs Grob).

Teilgebiet	Kleinste Parzelle [ha]	Mittelwert [ha]	Grösste Parzelle [ha]
Gondiswil:	0.33	1.03	3.38
Reisiswil:	0.16	1.00	3.14
Melchnau I:	0.11	1.03	3.10
Melchnau II:	0.10	0.96	3.16

Aus den minimalen und maximalen Siedlungsflächen der Tabelle lässt sich ein grosser Flächenunterschied der Objekte herauslesen. Nebst der Siedlungsfläche, welche nur 0.6% der Gesamtfläche bedeckt, komplettieren die Restflächen mit 1 km² (13.2%) die Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets von 7.37 km². Die Siedlungsfläche und die Restfläche fließt nicht in die Bewertung der Arbeit ein. Bei den Siedlungsflächen ist der Boden sowieso irreversibel geschädigt. Nach BAFU (2007: 2) repräsentiert der Bodenverbrauch, welcher als weggebaggerter oder versiegelter Boden definiert wird, die vierte und letzte Degradierungsart. Ist ein Boden einmal versiegelt, kann er seine Aufgaben im Naturhaushalt nicht mehr erfüllen, wonach er als degradiert gilt. Anders ist die Situation bei den Restflächen. Hier handelt es sich um weitere Ackerbau-, Gemüse-, Erholungs- und andere Flächen, welche nicht bewertet wurden. Eine Regionalisierung aufgrund der ausgewerteten Daten ist schwierig, da dem Luftbild kaum zu entnehmen ist, um welche Landnutzung es sich aktuell handelt. Zudem wären für die Bewertung drei saisonale Luftbilder nötig. Aus diesen Gründen wurden diese Flächen nicht bewertet.

Tabelle 5: Kennzahlen zur Siedlungsfläche (Quelle Urs Grob).

Siedlungsfläche	Anzahl Gebäude [#]	Total Fläche [ha]	Min. [m ²]	Max. [m ²]
Gebäude (überdachte Gebäude)	202	4.64	7.56	1'158.86

2.3 GEOLOGISCHE UND PEDOLOGISCHE BODENEIGENSCHAFTEN

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen den Gemeinden Huttwil und Langenthal und ist als Ausläufer des Emmentals durch eine ausgeprägte Hügellandschaft mit tiefen Einschnitten und steilen Hängen gekennzeichnet. Markante Hangneigungsunterschiede sind oft anzutreffen. Der Bodeneignungskarte Schweiz (EJPD 1980) ist festzustellen, dass die drei Gemeinden durch ebenso viele verschiedene Bodenkartierungseinheiten charakterisiert sind. Die Gemeinden liegen alle in den Zonen der Kartierungseinheiten K2, K3 und K4 (Abbildung 3), wobei überall K2 dominant ist, gefolgt von K3 und K4. Bemerkenswert sind die sogenannten, durch die Gewässer geprägten, Akkumulationsrinnen in den tiefen Lagen von Melchnau und Reisiswil (gelbe Schraffur; K4). Auch in Gondiswil sind Akkumulationsrinnen durch den "Fribach" zu verzeichnen. Tabelle 6 informiert im Detail über die einzelnen Eigenschaften und Besonderheiten der drei Bodeneignungskategorien des Untersuchungsgebiets.

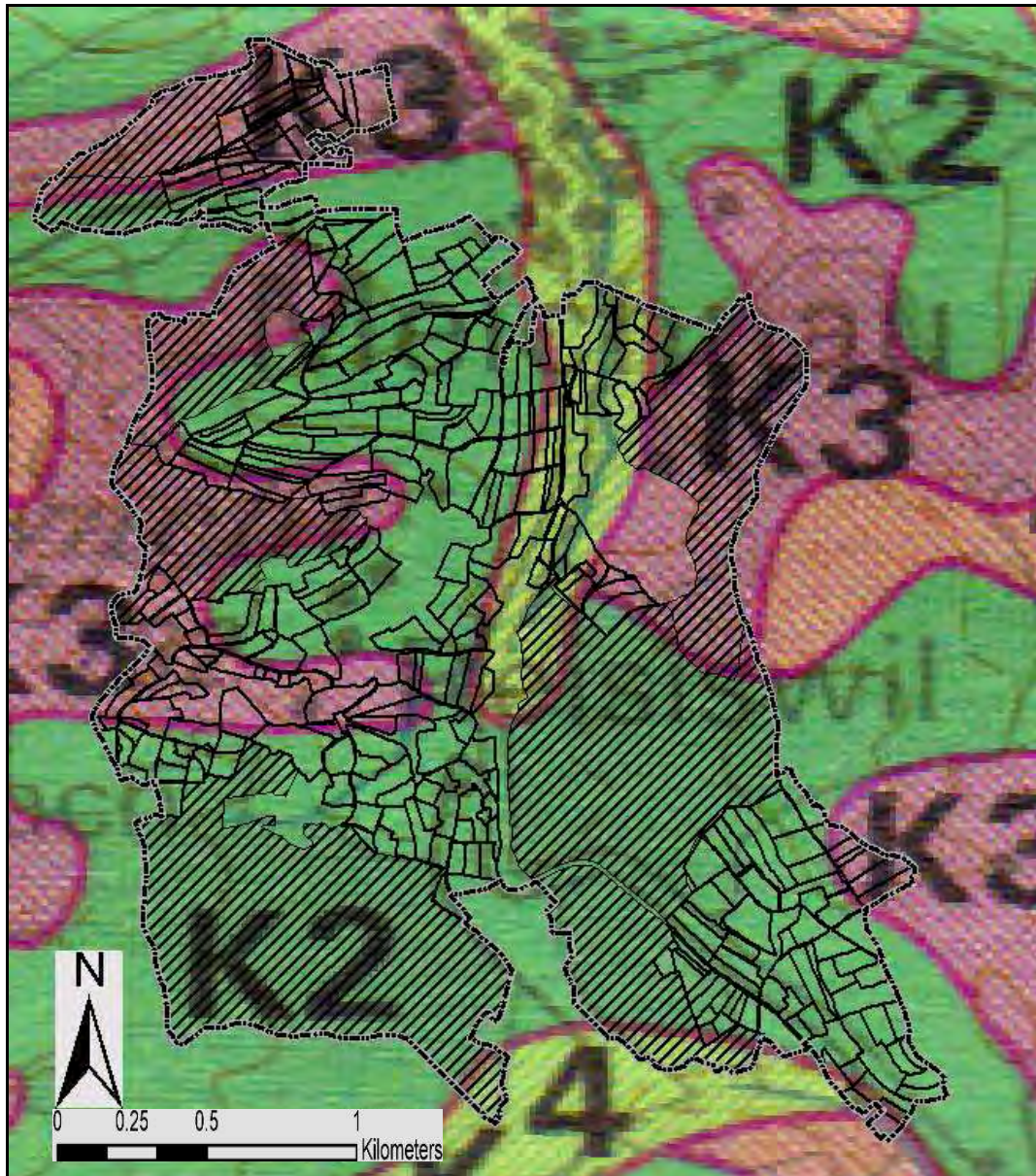


Abbildung 3: Böden und ihre Eigenschaften, Ausschnitt für das Untersuchungsgebiet (Quelle: Bodeneignungskarte der Schweiz, EJPD 1980).

Allgemein wird das Gebiet vom Bundesamt für Landestopographie als

„mittleres Molassehügelland, nördlich der Linie Burgdorf-Langenthal-Zofingen im Bereich der unteren Süsswassermolasse“ (Bodeneignungskarte der Schweiz 1980: 51)

mit teilweiser glazialer Überformung umschrieben. Nach Hauert (2007: 17) bestehen die grössten geologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet aus oberer Meeresmolasse, wobei die häufigsten Bodenarten die Braunerden (nach FAO-System: Cambisol) sowie die sauren Braunerden sind.

Tabelle 6: Bodeneigenschaftstypen des Untersuchungsgebiets. Eigene Darstellung, in Anlehnung an: Bodeneignungskarte der Schweiz (EJPD 1980: 66ff).

EIGENSCHAFTEN	Kartierungseinheiten		
	K2	K3	K4
Geographische, geologische und petrographische Gesichtspunkte	Hanglagen, feinkörnige Molasse	Steilhänge, feinkörnige Molasse	Mulden, Akkumulationsrinnen
Landwirtschaftliche Eignungsinterpretation des Bodens	Gut geeignet für Futterbau, mässig für Getreidebau, sehr gut für Grossviehweide	Mässig geeignet für Grossviehweide, sehr gut für Jungviehweide (schwach geneigte Gebiete gut für Naturwiesen)	Gut geeignet für Futterbau, mässig für Getreidebau, gut für Grossviehweide.
Forstwirtschaftliche Eignungsinterpretation des Bodens	Sehr gute forstliche Produktionsfähigkeit	Gute forstliche Produktionsfähigkeit	Gute bis sehr gute forstliche Produktionsfähigkeit
Häufigste Bodentypen	eutric Cambisol / gleyic Cambisol / dystic Cambisol / calcaric Cambisol / spodo-dystic Cambisol (K3)		
Bodeneigenschaften	Mittel bis tiefgründig, skelettarm bis skeletthaltig, gutes Wasserspeichervermögen, mässiges bis gutes Nährstoffspeichervermögen, z.T. schwach gehemmt durchlässig oder grundfeucht	Mittlere Gründigkeit, skeletthaltig, mässiges Wasser- und Nährstoffspeichervermögen, normal bis gehemmt durchlässig, z.T. grundfeucht	Mittel bis tiefgründig, skelettarm bis skeletthaltig, gutes Wasserspeichervermögen, mässiges bis gutes Nährstoffspeichervermögen, schwach gehemmt bis gehemmt durchlässig, schwach grundnass
Hangneigung	bis 35%	Steilhänge	bis 35%
Landwirtschaft	Böden in Hanglagen, die vor allem durch die Hangneigung für den Ackerbau, insbesondere für den Anbau von Hackfrüchten, limitiert sind	Die Hangneigung schränkt je nach Steilheit das Weiden von grösseren Tieren und das Mähen ein	Die gehemmte Durchlässigkeit und das Fremdwasser beschränken den Ackerbau, speziell den Hackfruchtanbau. Das gute Wasserangebot fördert jedoch das Wachstum der Futterpflanzen, doch ist das Befahren der Hänge mit schweren Traktoren ungünstig und die Trittfestigkeit der Weiden ist eher ungenügend
Forstwirtschaft	Für alle Wirtschaftsbaumarten sehr gut geeignete Böden: wegen der Hangneigung leicht erhöhte Holzernte- und Strassenbaukosten	Bei ungenügenden Niederschlägen ist der Zuwachs aller Wirtschaftsbaumarten etwas vermindert, wegen der beträchtlichen Hangneigung wird die Holzernte und insbesondere der Strassenbau teuer (Seilkrananlagen)	Die gute Wasserversorgung ohne schwerwiegende Vernässung kommt allen Wirtschaftsbaumarten zugute. Die Holzernte ist durch die verminderte Tragfähigkeit des Bodens, speziell bei zusätzlichem Sickerwasser (z.B. Schneeschmelze) und grösserer Hangneigung etwas erschwert. Der Bau von Waldstrassen wird teilweise teurer, weil ziemlich viel Hangwasser abgeleitet werden muss

TEIL II

Methodologie

3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

3.1 VORBEMERKUNGEN

Dieser Teil der Arbeit ist darauf ausgerichtet, die wichtigsten Definitionen, Themen und Theorien, auf welche sich die Arbeit stützt, in übersichtlicher und so weit wie möglich umfassender Form vorzustellen. Hierbei wird das Schwergewicht auf die natürliche Ressource Boden gelegt, da diese Ressource im Zusammenhang eng mit der Landnutzung und dem thematischen Rahmen der Arbeit verknüpft ist. Weit weniger ausführlich werden die Ressourcen Wasser und Vegetation behandelt, was nicht bedeutet, dass diese unbedeutend sind. Theoretisch basiert die Arbeit auf der WOCAT/LADA Methodologie, die auf dem DPSIR Bezugssystem beruht. Nachdem das DPSIR Modell erklärt und erläutert wurde, wird im letzten Abschnitt der Stand der Forschung thematisiert.

3.2 BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

Im globalen Massstab, so Hurni et al. (1998: 96), werden **Bodendegradationen**, die Verfügbarkeit von Wasser sowie Biodiversitätsverluste als Kernprobleme bezeichnet, die in allen Land-Ökozonen der Erde unter verschiedenen sozio-kulturellen Voraussetzungen vorkommen. Dabei bestehen im globalen Vergleich wesentliche Unterschiede hinsichtlich deren Art, Ausprägung, Auswirkungen und Möglichkeiten zur Verminderung bzw. Behebung. Gleichzeitig beherbergt jedes Land(-stück) ein Potential für eine bestimmte Art der Landnutzung oder eine spezielle Management-Technik, was seit Mitte der 70er mit der "Tragfähigkeit eines Landstücks" (engl.: **Land capability**) umschrieben wird. Gegenüber den kritisierten Konzepten der "Carrying capacity" (dt.: Tragfähigkeit und Belastbarkeit) bestimmte das neue Konzept der "Land capability" weder die beste noch die profitabelste Nutzung eines Bodens, sondern einen generellen Bereich seiner **Nutzungsmöglichkeiten**. Die Tragfähigkeit (Land capability) eines Landstücks wird unter anderem mit dem Begriff des **Naturpotentials** in Verbindung gebracht. Darunter wird nach Mäckel & Walther (1993: 27)

„die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes im Hinblick auf Substanzen, Strukturen und Funktionen verstanden“. Das Naturpotential umfasst danach „[...] sowohl das Angebot eines Naturraumes an stofflichen Bestandteilen wie Vegetation, Boden und Wasser als auch den Aufbau und die Wesensmerkmale des Naturraumes sowie das Beziehungs- und Wirkungsgefüge von Lebewesen und ihrer Umwelt“.

Die Landdegradation, wie sie weiter unten beschrieben wird, behandelt ferner die Beeinträchtigung des Naturhaushalts und seiner Leistungsfähigkeit infolge direkter und indirekter anthropogener wie auch naturbedingter Einwirkungen. Der Begriff der **Landdegradation**, oft auch als **Landdegradierung** geschrieben, lehnt sich inhaltlich an den in der Bodenkunde gebräuchlichen Begriff **Bodendegradierung** an, der die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit infolge landwirtschaftlicher Nutzung, besonders durch Ackerbau und Pflugarbeit, bedeutet. Verstärkte und fortdauernde Beeinträchtigungen des Naturraums können, wie Mäckel & Walther (1993: 27) beschreiben, zu Landschaftsschäden führen, die

„eine Fortsetzung der bisherigen Nutzung nicht mehr erlauben und eine anderweitige Nutzung nur unter erschwerten Bedingungen ermöglichen“.

Begründet wird dies durch die Gegebenheit, dass das Naturpotential eines Landschaftsraumes, seine Nutzung und Beeinträchtigung durch das wechselseitige Wirkungsgefüge eng miteinander verknüpft sind (ibid.). Bezüglich der Nutzungsmöglichkeiten eines Bodens zeigte sich bald, dass die Tragfähigkeit einer bestimmten Ressourcendisposition eines Raumes zusätzlich zur Landnutzung wesentlich von Technologie, Kapital, Energie, Arbeit und Wissen sowie externen Ressourcen wie Wasser, Luft, Strahlung und schliesslich ökonomischen, politischen und institutionellen Gegebenheiten sowie Opportunitäten abhängt (Hurni et al. 1998: 96). Das Konzept der Tragfähigkeit wurde im Zuge der Diskussion zur nachhaltigen Nutzung über natürlich regenerierbarer Ressourcen und dem Konzept der nachhaltigen Entwicklung weiterentwickelt. Gegenwärtig wird es unter der Bezeichnung **"Sustainable Land Management"** (SLM) diskutiert. Das "nachhaltige Landmanagement" (engl.: SLM) wird gemäss Hurni et al. (1998; 97) als

„System von Technologien und/oder planerischen Massnahmen definiert, mit dem Ziel, ökologische mit sozio-ökonomischen und politischen Prinzipien der Landnutzung für landwirtschaftliche und andere Zwecke zu integrieren, um intra- und intergenerationelle Gerechtigkeit zu erreichen“.

Das SLM-Konzept beinhaltet aufgrund seiner Definition Interessenskonflikte und hängt von Standpunkten und Bewertungen ab. Diesbezüglich ergänzen Hurni et al. (ibid.), dass es Nachhaltigkeit als solches nicht gibt, weil die Ressourcennutzung lediglich mit der Zeit nachhaltiger oder weniger nachhaltig werden kann. Seit Mitte der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts häuften sich erstmals die Hinweise, dass der Umgang des Menschen mit den natürlichen Ressourcen irreversible Schäden bei Mensch und Natur zur Folge haben kann. Um diesen Entwicklungen entgegenzuwirken, wurden verschiedene Ansätze und Strategien ausgearbeitet. Wie zuvor in der Einleitung erläutert, erwies sich dabei das **Konzept der Nachhaltigkeit** als besonders vielversprechend. Besonders wertvoll ist, dass die Konzepte

und Massnahmen der nachhaltigen Entwicklung auf unterschiedliche **Bezugs- und Handlungsebenen** (internationaler, nationaler und regionaler Kontext) ausgerichtet werden können, was dem Leitbild des WOCAT/LADA Modells DPSIR entspricht. Nach Erdmann (1998: 90ff) zeigt sich insbesondere bei der praktischen Umsetzung entsprechender Konzepte und Massnahmen,

„dass der räumliche Bezugsrahmen eine zentrale Bedeutung besitzt. Beispielsweise existieren globale Rahmenbedingungen [...], supranationale Rahmenbedingungen [...] und nationale Rahmenbedingungen [...], die menschliches Handeln unmittelbar beeinflussen und dazu führen, dass natürliche Ressourcen in unterschiedlichem Ausmass genutzt bzw. verbraucht werden“.

Der Begriff der **natürlichen Ressourcen** spielt dabei eine zentrale Rolle. Der Begriff beinhaltet die Nutzung der Natur und deren Bewertung durch den Menschen (GfEU 1995: 12ff). Unter natürlichen Ressourcen versteht man gemäss GfEU (ibid.) diejenigen Naturkomponenten eines ökologischen Systems, welche durch den Menschen genutzt oder im Hinblick auf die Zukunft als nutzbar oder wertvoll betrachtet werden. Was als natürliche Ressourcen deklariert wird, ist deshalb von den Menschen bestimmt und abhängig von der Zeit und der jeweiligen Gesellschaft. Sie umfassen erneuerbare (regenerierbare) bzw. nachwachsende Naturgüter wie **Böden**, Grundwasser, Wind oder Biomasse (Pflanzen/Tiere), welche meist auf Sonnenenergie oder Erdwärme basieren. Daneben existieren die nicht erneuerbaren (erschöpfende) Naturgüter wie mineralische (geogene) und fossile Bodenschätze (Erdöl/ Erdgas), bei denen eine Regeneration innerhalb einer menschlichen Generation nicht erwartet wird (Biologische Vielfalt 16.07.2009; <http://www.biologischevielfalt.at/nachhaltige-nutzung/kriterien-und-indikatoren-einer-nachhaltigen-jagd/glossar/>). Der Boden kann neu gebildet werden, allerdings erfolgt dies in grossen Zeiträumen, so dass er für die Menschen auch als nicht erneuerbare Ressource gilt. Das Beispiel des Bodens zeigt deutlich, dass die Übergänge zwischen den Definitionen fliegend sind und eine klare Abgrenzung nicht möglich ist. (GfEU 1995: 15). Zudem vermögen die langsamen Prozesse der Bodenneubildung einerseits selten mit der Bodenverlustrate Schritt zu halten, womit eine Regeneration innerhalb einer Generation nicht gegeben ist, und andererseits wird das Regenerationspotential des Bodens ab einem bestimmten Grad der Degradierung ganz zerstört, womit der Boden irreversibel geschädigt ist (Gurtner 1995:12). Der **Boden** ist in seiner Komplexität und in seinen vielfältigen Funktionen kaum substituierbar. Er bildet nicht nur die belebte oberste Schicht der Erdoberfläche, vielmehr ist er alles offenes System über Stoff- und Energieflüsse sowie -kreisläufe mit allen angrenzenden Systemen verbunden, womit er im Überschneidungsbereich von Atmo-, Hydro-, Bio-, Litho-, und Anthroposphäre liegt. Das Lexikon der Geowissenschaften (2000: 271) beschreibt den Boden folgendermassen. Der Boden ist

„der Teil der oberen Erdkruste, der nach unten durch festes und lockeres Gestein, nach oben durch eine Pflanzendecke oder den Luftraum begrenzt wird und in Durchdringung mit der Hydrosphäre existiert“.

Der Boden übt zudem verschiedene **Funktionen** wie Regelfunktion, Lebensfunktion, Produktionsfunktion und kulturelle Funktion für den Menschen aus (Heiniger & Herweg 1994: 1ff). Die vorliegende Arbeit wird vor allem auf die Produktionsfunktion, respektive auf die Degradierung der Ressource Boden im Kontext der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung im Schweizer Mittelland eingehen. Der Boden ist über Jahrhunderte unter dem Einfluss von Klima, Vegetation, Bodenfauna, Mikroflora, Relief und unter Einwirkung des Menschen gewachsen. Er darf daher nur schonend und sparsam genutzt werden. Heute leben schätzungsweise 6'814'361'700⁶ Menschen auf der Erde, welche auf Bedürfnisse wie Nahrung, Wasser, Arbeit, Ausbildung, Energie oder **Land** angewiesen sind. Bei einer Weltbevölkerung von 6 Mrd. wäre nach Heiniger & Herweg (1994:11) im Jahr 2000 eine Agrarproduktion benötigt gewesen, die um 50 bis 60% höher hätte sein müssen als diejenige von 1980. Parallel dazu nahm der Düngerverbrauch um ein Vielfaches zu, währendem die Getreidefläche pro Kopf zurückgegangen ist. Dadurch wird die nachhaltige Bodennutzung, verbunden mit den aktuellen Entwicklungen der Versalzung, Erosion, Verdichtung etc., massiv gefährdet. Wie das Worldwatch Institut (nach Heiniger & Herweg 1994: 11) proklamiert, wird die Zukunft der Landwirtschaft neben ökonomischen und technologischen Faktoren zunehmend von der Verfügbarkeit und der Qualität der Ressource Boden bestimmt. Der stetig steigende Ressourcenverbrauch verlangt nach einer effizienten und **nachhaltigen Landnutzung (SLM)**. Land bildet im Bereich der Ressourcennutzung eine Basisressource, weil alle anderen Ressourcen sind irgendwie damit verknüpft. Lange wurde Land allerdings nicht als kostbare Ressource geschätzt, so dass mit der Zeit ein zerstörerischer Raubbau einsetzte. Zu den fruchtbaren Böden muss angesichts der steigenden Weltbevölkerung Sorge getragen werden. Die Erde weist eine Oberfläche von rund 510 Mio. km² auf, wovon ca. 71% mit Wasser (362 Mio. km²) bedeckt sind (Quarks&Co 16.07.2009; http://www.wdr.de/tv/quarks/sendungsbeitraege/2002/0514/001_reise.jsp). Letztendlich beträgt die Landoberfläche noch 29%, was eine Fläche von ca. 150 Mio. km² bedeutet (Abbildung 4). Von dieser Landfläche, welche zur Landnutzung verfügbar bleibt, sind etwa 110 Mio. km² sichtbar begrünt, die verbleibenden 40 Mio. km² sind für Vegetation weniger geeignete Gebiete wie Wüsten und Eisflächen. Nach Heinloth (1996: 60ff) werden diese 150 Mio. km² von ca. 41 Mio. km² Wald, 68 Mio. km² Grünflächen (davon 15 Mio. km² Äcker und Plantagen, 32 Mio. km² Wie-

6 Umrechnung.org 25.09.09 (21:20 Uhr); <http://www.umrechnung.org/weltbevoelkerung-aktuellemomentane-/welt-bevoelkerungs-zaehler.htm>.

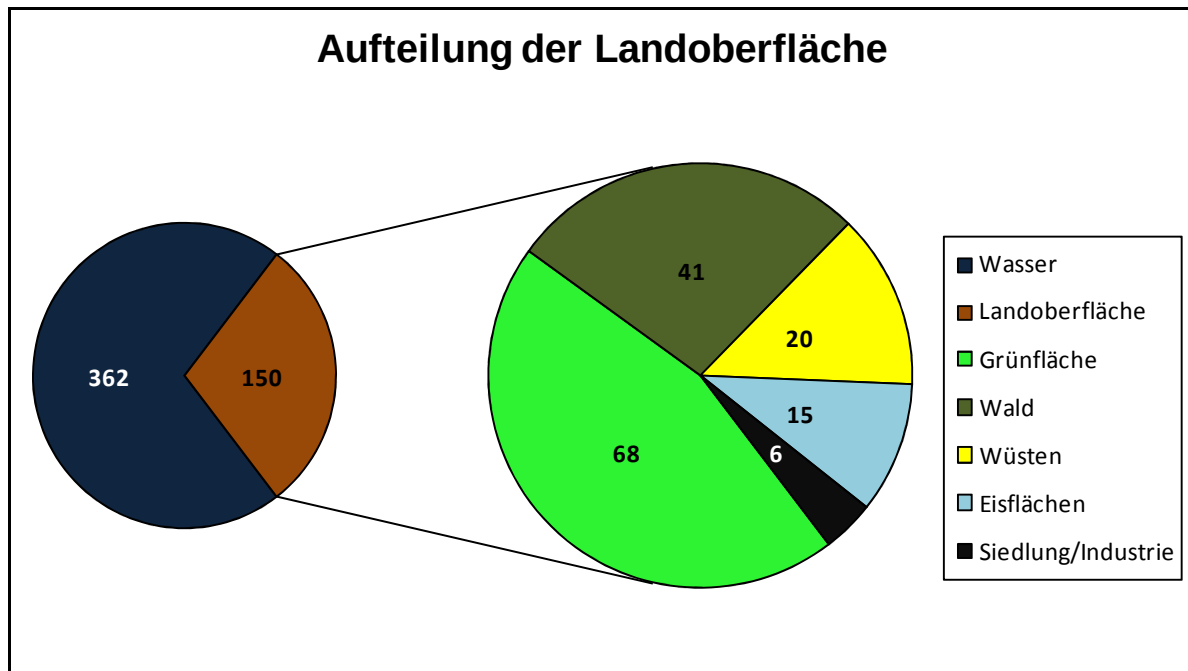


Abbildung 4: Links die Aufteilung der Erdoberfläche in Wasser- und Landoberfläche, rechts die detaillierte Klassifizierung der Landoberfläche, in Mio. km² (Grafik: Urs Grob).

sen und Weiden, 8 Mio. km² Tundren und 13 Mio. km² Trockengebiete und Berge), 6 Mio. km² Siedlung/Industrie, 20 Mio. km² Wüsten und 15 Mio. km² Eisflächen bedeckt. In diesem Zusammenhang verkörpert die **Landnutzung** ein zentrales Merkmal in der Landwirtschaft. Entsprechend dem Lexikon der Geowissenschaften (2000: 227f) beschreibt die Landnutzung

*„[...] die Art der Bodennutzung durch und für den Menschen“. Dabei sind die Geschichte der Landnutzung und die Art der angewendeten **Landnutzungssysteme** eng verbunden mit der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung des Menschen. „Bei der Art der Landnutzung wird zwischen der Landnutzung im Siedlungsraum und der im Agrarraum unterschieden“.*

Am verbreitetsten ist die land- und forstwirtschaftliche Landnutzung, auch Bodennutzung bezeichnet (Lexikon der Geographie 2002: 303). Zu den **Nutzungskategorien der Landnutzung** im Agrarraum zählen **Wald, Grünland, Ackerland** und **Sonderkulturen**. Innerhalb dieser Kategorien können feinere Unterteilungen erfolgen. Weitere Landnutzungskategorien sind beispielsweise Bau- oder Siedlungsnutzung, Nutzung für Industrie und Gewerbe, Verkehr, Ver- und Entsorgung, Freizeit und Erholung, Gärten und Grünanlagen. Mit Ausnahme der letzten beiden Landnutzungsformen zerstören die anderen Kategorien die Böden unwiederbringlich (ibid.). Zur Kennzeichnung der gesamten räumlich-zeitlichen Bodennutzung eines Agrargebietes wird das Einteilungsschema des **Bodennutzungssystems** verwendet. Bei sogenannten **Dauersystemen** ist das Land permanent für den Ackerbau ausgeschie-

den, bei den **Wechselsystemen** alterniert der Ackerbau mit einer anderen Nutzungsart oder mit einer Nichtnutzung. Gemäss dem Lexikon der Geographie (2002: 192) werden in den gemässigten Zonen

*„alle vorkommenden Kulturpflanzen einschliesslich des Dauergrünlandes in einer der vier Gruppen **a) Futterbau** (Dauergrünland und Feldfutter), **b) Getreide**, **c) Hackfrüchte** (Hackfrüchte, Feldgemüse) und **d) Sonderkulturen** (meist Dauerkulturen) eingereiht“.*

Die Eignung des Bodens für die verschiedenen Nutzungsarten hängt allerdings, wie zu Beginn des Abschnittes erläutert wurde, vom Naturraumpotential und von sozioökonomischen Randbedingungen ab. Die Landnutzung unterliegt also einem steten Wandel. Die steigende Nachfrage nach Nahrungsmitteln oder Biotreibstoffen führt beispielsweise dazu, dass Tropenwälder abgeholzt werden, um die Ackerflächen auszudehnen. Weiter nimmt die Ackerfläche durch menschliche Bautätigkeiten ab, und ein beachtlicher Teil der fruchtbaren Böden geht durch das Wachstum der Wüsten verloren. Die UNCCD definiert die **Desertifikation** anlässlich einer extremen Dürre im Sahel (1969 bis 1973) allgemein als ein Phänomen arider und semiarider Ökosysteme. Sie ist die Folge der Übernutzung von labilen Ökosystemen, wobei die Desertifikation aus einer Interaktion von menschlichen Einwirkungen (Landnutzung) und klimatischen Ursachen (natürliches Phänomen der Dürre) hervorgeht. Die anthropogene Übernutzung ist dabei eine Folge von sozialen, politischen und wirtschaftlichen Entwicklungen,

„in deren Folge sich die ursprünglich nachhaltige Nutzung hin zu einer Übernutzung verlagert und somit den Prozess der Desertifikation in Gang setzt. Desertifikation ist damit ein Problemkreis, der im Zusammenhang mit Klimaänderungen bzw. dem Weltbevölkerungsanstieg von grosser Bedeutung ist, insbesondere in der subtropischen bzw. ariden Klimazone“ (Lexikon der Geowissenschaften 2001: 416f).

Die in **Rio de Janeiro** (1992) beschlossene internationale Konvention zur Bekämpfung der Desertifikation richtet ihr Augenmerk wohlgerichtet auf Afrika, doch soll sie auch in allen anderen Erteilen zur Anwendung kommen, weil die Desertifikation als weltweites, nicht auf Trockengebiete beschränktes Problem erkannt wurde (Lexikon der Geographie 2002: 246 & Lexikon der Geowissenschaften 2000: 416f). Eine der sichtbarsten Folgen der Wüstenbildung ist die **Bodenerosion**. Die Erosion kann aufgrund natürlicher Prozesse entstehen, oftmals ist sie aber eine Folge menschlicher Aktivitäten. Problematisch sind rasche oder starke Belastungen, die die endogenen Kompensations- oder Regenerationsmöglichkeiten des Bodensystems überschreiten. Zu diesen Belastungen müssen gemäss WBGU (1994: 49ff) die vom Menschen verursachten Nutzungs- und regionalen Klimaänderungen gezählt werden, deren Folgen mittelfristig dauerhafte oder irreversible Bodenveränderungen auftreten.

ten. Die Veränderung innerhalb des Bodensystems wird als **Bodendegradation** bezeichnet. Was dies eigentlich bedeutet, wenn der Boden degradiert, umschreibt die Definition des WBGU (ibid.). Er definiert die Bodendegradationen mit den Worten:

„Anthropogene Bodendegradationen sind dauerhafte oder irreversible Veränderungen der Strukturen und Funktionen von Böden oder deren Verlust, die durch physikalische und chemische oder biotische Belastungen durch den Menschen entstehen und die Belastbarkeit der jeweiligen Systeme überschreiten“.

Dies untermauert die Gefährdung der Ressource Boden. Der Bericht zu "World Resources" (UNEP/UNDP/World Resources Institut 1992: 112) weist darauf hin, dass die potentiellen Anbauflächen bereits stark limitiert sind und durch die Bodendegradierung weiter unter Druck geraten werden. Im Jahr 1990 wiesen schätzungsweise 10% der vegetationsbedeckten Erdoberfläche mittlere bis starke Degradierungen auf. Geschätzt wird, dass jährlich fünf bis acht Mio. Hektar produktiver Ackerflächen durch Degradierungen verloren gehen. Die Hauptgründe für diese Landzerstörung sind vornehmlich die Überweidung, nicht standortgerechte Anbausysteme, verkürzte Brachzeiten, der Verlust einer permanenten Pflanzendecke sowie die Zerstörung von Wäldern und Feuchtgebieten. Durch die Abholzung, Überweidung oder den zu intensiven Ackerbau werden die natürlichen (Regenerations-) Prozesse und Kreisläufe des Bodens unterbrochen, was in der Folge zu Landdegradierungen führen kann. Im Extremfall kann diese Degradierung irreversiblen Charakter annehmen. Da die Bodendegradation meist im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung anderer natürlicher Ressourcen wie z.B. der nutzungsbedingten Abnahme der biologischen Diversität, der Vegetationsbedeckung und der Degradierung von Wasserressourcen auftritt, wird im englischen Sprachraum der umfassende Begriff der **"land degradation"** (dt.: Landdegradation) verwendet (Heiniger & Herweg 1994: 14ff). Hurni (1996: 11) definiert die Landdegradierung mit dem Satz:

„Land Degradation is the reduction in the capability of the land to produce benefits from a particular land use under a specific form of land management“.

Die Definition der Landdegradierung beinhaltet also mehr als nur Beeinträchtigungen des Bodens, sie betrifft auch Flora, Fauna, Wasser, Klima und Landverluste durch die Ausdehnung städtischer und industrieller Gebietsflächen. Inhaltlich lehnt sich der Begriff der **Landdegradierung** (WOCAT 2007: 18) allerdings an den in der Bodenkunde gebräuchlichen Begriff der **Bodendegradierung** an, der die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit infolge **landwirtschaftlicher Nutzung**, besonders durch Ackerbau und Pflugarbeit, bedeutet (Mäckel & Walther 1993: 27). Nach WOCAT (2007: 18) bedeutet die **Bodende-**

gradierung (engl.: soil degradation) die Abnahme der Produktionskapazität des Bodens infolge von Bodenerosion und Veränderungen der hydrologischen, biologischen, chemischen und physikalischen Funktionen des Bodens. Hurni (1996: 11) definiert die Bodendegradierung als

„Soil degradation is a process which lowers the current and/or the potential capability of the soil to produce goods or services“.

Die häufigsten Arten von Bodendegradierung sind Wassererosion, Winderosion und die Verschlechterung der chemischen und physikalischen Bodenverhältnisse wie beispielsweise durch Nährstoffauswaschung oder Bodenverdichtung. Das Lexikon der Geographie (2002: 186) umschreibt die Bodendegradierung als die

„dauerhafte oder irreversible Veränderung der Strukturen und Funktionen von Böden oder deren Verlust, durch die physikalische und chemische oder biotische Belastungen entstehen und die Belastbarkeit der jeweiligen Systeme überschreiten“ verstanden.

Die aufgeführten Definitionen zeigen, dass unter der Bodendegradierung in erster Linie eine Abnahme der Bodenqualität verstanden wird, respektive eine Abnahme der Produktionsfähigkeit (Potential) des Bodens. Wie oben erläutert, wird die Abnahme der Bodenqualität oft in Beziehung zur Bodennutzung durch den Menschen, respektive zur Nahrungsmittelproduktion, gesetzt (Heiniger & Herweg 1994: 14ff). Eine Bewertung der Bodendegradierung, wie in dieser Arbeit vorgenommen, kann nicht nur vom Boden und dessen Eigenschaften ausgehen, wie Seeger (2001: 13) erläutert. Sie muss diverse Kriterien wie die Landnutzung, die Bodenbearbeitungsmethode und das Klima sowie den Vergleich mit einem vorangehenden Stadium wie auch die Umkehrbarkeit der Degradierung berücksichtigen. Die Bewertung der Degradierung kann somit nur im Zusammenhang mit dessen **Stabilität** (stability), **Widerstandskraft** (resilience) und **Wiederherstellung** (rehabilitation) verstanden werden. Die Eigenschaften eines stabilen Bodens sind durch Managementmassnahmen nicht zu ändern, denn ein stabiler Boden kann als Folge vorhergehender Eingriffe einen Zustand erreicht haben, dass keine Massnahmen ergriffen werden können, um dessen Bodeneigenschaften zu verbessern. Aus diesem Grund ist zur Beschreibung der Bodenqualität die Widerstandskraft geeignet, welche die Fähigkeit des Bodens beschreibt, nach einer Störung wieder einen dynamischen Gleichgewichtszustand zu erreichen. Diese Widerstandskraft hängt überwiegend von endogenen Bodenfaktoren und vom Management ab. Wenn der Eingriff in den Boden dessen Eigenschaften über einen kritischen Wert hinweg verändert, so dass eine Rückkehr zum ursprünglichen Zustand nicht mehr möglich ist, ergibt sich eine Bodendegradierung. In diesem Fall besteht die Möglichkeit der Wiederherstellung der Bo-

denqualität, wobei sich dieser Prozess als enorm langwierig und kostspielig herausgestellt hat. Die Prozesse, welche zur Degradierung des Bodens führen, können generell in drei Typen zusammengefasst werden. Die folgenden Abschnitte fokussieren vor allem auf den Standort der Schweiz und die vom BAFU erstellten Definitionen. Weitere Informationen zu den Begriffen sind in den Berichten des WBGU (1994: 54ff) oder Heiniger & Herweg (1994: 21ff) einzusehen.

3.2.1 STOFFLICH-CHEMISCHE BODENBELASTUNGEN

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU 2007: 2) erklärt, dass über verschmutzte Luft, Niederschläge und Ablagerungen von Stäuben, Mineral- und Hofdünger, die Verwertung und illegale Entsorgung von Abfällen, Pflanzenschutzmittel usw. bedeutende Mengen an Schadstoffe auf und in den Boden gelangen. Ein Teil dieser Stoffe reichern sich im Boden an, während andere über den Boden ins Wasser, in die Luft oder via Pflanzen in die Nahrungskette gelangen. Die Auswirkungen sind bis heute oft oder nur in Ansätzen bekannt. Im Boden können sie zur Schädigung des Bodenlebens und damit der Bodenfruchtbarkeit führen. Mit der Belastung des Bodens mit Schadstoffen und der damit indirekt verbundenen Trinkwasser- und Nahrungsmittelbelastung gefährdet der Mensch sich selbst. Betroffen sind in diesen Fällen Böden mit speziellen oder einseitigen Nutzungen. In der Schweiz gibt es laut BAFU (ibid.) keine völlig unbelasteten Böden mehr, wobei auch natürliche Ursachen auftreten. Es wird damit gerechnet, dass die Bodenfruchtbarkeit langfristig noch gesichert ist, wenn die Belastung nicht weiter ansteigt. Der Verschlechterung der chemischen Bodenverhältnisse wird in der Arbeit nur in Form der Fruchtbarkeitsabnahme (reduzierte organische Substanz im Boden) Rechnung getragen. Insgesamt können vier Typen von chemischer Degradation unterscheiden werden: Nährstoffverlust und/oder Verlust organischer Substanz, Versalzung/Alkalinisierung, Kontamination/Vergiftung und Versauerung (WBGU 1994: 54). Dies stellte sich in Folge des methodischen Vorgehens aber als kaum bewertbar heraus.

3.2.2 PHYSIKALISCH-MECHANISCHE BODENBELASTUNGEN

Unter die Rubrik der physikalisch bedingten Bodendegradierungen zählen vor allem die Bodenverdichtung und Bodenerosion. Weiter umfasst die Bodendegradierung die Phänomene der Überdeckung, Versiegelung und Bodenabsenkung. Eine Verdichtung des Bodens tritt ein, wenn die Hohlräume zusammengepresst werden. Eine bodeninterne Umwandlung geschieht gemäss BAFU (2007: 3), wenn die Böden mit zu schweren Maschinen und Fahrzeugen befahren und bearbeitet werden. In diesem Zusammenhang spielt die momentane Bo-

denfeuchtigkeit eine wesentliche Rolle. Unter feuchten Bodenverhältnissen geht vom Befahren und Bearbeiten mit schweren Maschinen eine stark erhöhte Bodenverdichtungsgefahr aus. Zusätzlich versickert das Niederschlagswasser auf verdichteten Böden nicht mehr, die Luftzirkulation ist unterbunden und die Abbauprozesse und das Wurzelwachstum sind gehemmt. Verdichtungsgefährdet sind in der Schweiz daher praktisch alle Gebiete des Ackerbaus und der intensiven Graswirtschaft. Die andere Rubrik der physikalisch-mechanischen Bodenbelastung bildet die Bodenerosion. Werden die Begriffe streng auseinander gehalten, so gehört die Wind- und Wassererosion zu den Prozessen mit einer Verlagerung von Bodenmaterial, während bei den physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen eine bodeninterne Umwandlung stattfindet. In Scheffer & Schachtschabel (2002: 416) wird die Bodenerosion als die

„Ablösung sowie der Transport von Bodenteilchen (dazu gehören Primärteilchen oder Aggregate) entlang der Bodenoberfläche. Je nach Transportmedium unterscheidet man zwischen Wassererosion und Winderosion“ definiert.

Die Winderosion wird in der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt, weil diese in der Schweizer Landwirtschaft bisher kaum Schäden verursacht hat. Erosion durch Wind (auch Deflation, das Verwehen der Bodenkörner, genannt) wird vor allem auf flachen, vegetationsfreien bis -armen Flächen arider bis semiarider Gebiete wirksam. Im humiden Klima ist sie nach Scheffer & Schachtschabel (2002: 468) weitgehend auf Küstengebiete mit Sandböden beschränkt. Anders widerspiegelt sich die Situation bei der Erosion durch Wasser. Diese Erosionsform ist auch in den gemässigten Breitengraden eine immer häufiger auftretende Degradierung. Die Arbeitsgruppe Bodenerosion Nordwestschweiz (o.J.) definiert die Erosion mit den Worten

„In einer Naturlandschaft ist die Bodenoberfläche durch eine geschlossene Pflanzendecke weitgehend vor Erosion geschützt. Durch den Ackerbau wird diese Vegetationsdecke zeitweise beseitigt. Dadurch kann Erosion verstärkt auftreten. Zu Erosion kommt es dort, wo der Boden das Wasser nicht mehr aufnehmen kann. Niederschläge, vor allem ergiebige Starkregen (Gewitterregen) in der Zeit mangelnder Bodenbedeckung wirken erosionsfördernd“.

Auch bei rasch einsetzenden, oft mit Regen verbundenen, Schneeschmelzungen können einen bedeutenden Bodenabtrag verursachen. Abbildung 5 und Tabelle 7 zeigen, dass der weitaus grösste Teil der Degradierungen, durch Wassererosion entsteht, gefolgt von Winderosion, chemischen und physischen Degradierungen. Die chemische Degradierung ist vor allem in Südamerika verbreitet, während in Europa vorwiegend die physikalische Degradierung auftritt. Bedenklich sind die Schweregrade (engl.: Severe Degradation) der jeweiligen

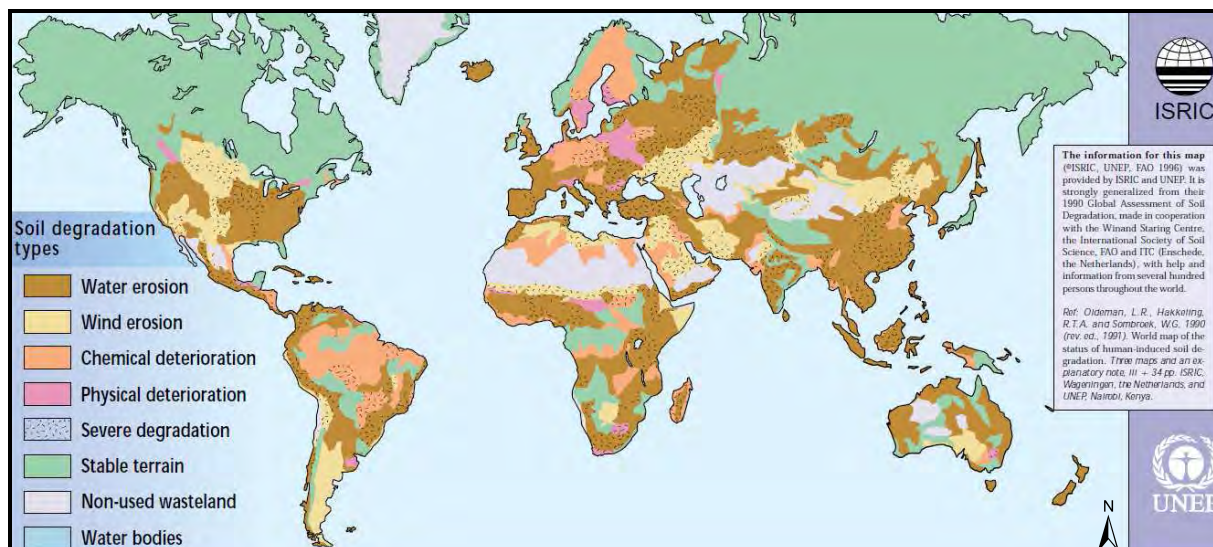


Abbildung 5: Weltkarte der vom Menschen verursachte Bodendegradation (Massstab 1:10 Mio., leicht verändert. Quelle: <http://www.fao.org/wfs/final/WFSmaps/Map12-e.pdf>, Zugang 03.09.2009).

Tabelle 7: Schätzungen des globalen Umfangs der Bodendegradierung in Mio. km² (eigene Darstellung, in Anlehnung an Oldeman, 1994⁷).

Typ	Leicht	Mässig	Stark & Extrem	Total degr. Flächen
Wassererosion	3.43	5.27	2.24	10.94
Winderosion	2.69	2.54	0.26	5.49
Chemische Degradierung	0.93	1.03	0.43	2.39
Physische Degradierung	0.44	0.27	0.12	0.83
Total	7.49	9.11	3.05	19.65

Degradierungen. Laut Heiniger & Herweg (1994: 28ff) schwankt die Dynamik der Prozesse allerdings so stark, dass keine globalen Aussagen vorgenommen werden könne. Wie auf der ganzen Welt wird, mit Fokus auf die Schweiz, bei der Wassererosion die fruchtbare Feinerde abgeschwemmt. In der Regel betragen die Verluste in der Schweiz weniger als zwei Tonnen pro Hektar und Jahr. Bei extremen Regenereignissen werden diese Verluste oft innerhalb eines Ereignisses erreicht. Somit kann Die Bodenabtragung in einem Jahr durchaus auf einen Wert von 50 Tonne pro Hektar ansteigen. Das BAFU (2007: 3) beziffert die in der Schweiz von Erosion betroffene Ackerfläche auf bis zu 40%. Auch Böden an Steillagen, die keine stabile Grasdecke aufweisen, wie beispielsweise intensiv Alp-Viehwirtschaft oder Skipisten, erodieren. Als Hauptursachen der Bodenerosion nennt das BAFU die unsachgemässe, nicht standortgerechte Bewirtschaftung und eine ungenügende Bodenbedeckung. Durch die Erosion kann die Landwirtschaft jährlich grosse wirtschaftliche Folgeverluste erleiden. Das aus den Aggregaten gelöste und abgeschwemmte nähr- und schadstoffreiche Erdmaterial eutrophiert und belastet Gewässer und Biotope, wodurch es nicht bloss

⁷ Oldeman, L.R. (1994). The global extent of land degradation. In: Land Resilience and Sustainable Land Use, eds. D.J. Greenland and I. Szabolcs, 99–118. Wallingford: CABI.

ein Bodenschutzproblem ist. Oftmals nehmen Kanalisationen und die öffentliche Infrastruktur (Strassen, Plätze, Badeanstalten etc.) Schaden unter den Erosionsereignissen. In diesem Fall spricht man von sogenannte Off-site Schäden. On-site betreffen jene Schäden, welche direkt auf der Ackerbauparzelle stattfinden.

3.2.3 BIOLOGISCHE BODENBELASTUNGEN

Die biologischen Bodendegradierungen sind durch die Abnahme des organischen Gehalts sowie der bodenbiologischen Vielfalt (Diversität) und Aktivität definiert. Die Abnahme der organischen Substanz resultiert durch ein Ungleichgewicht im Humusgehalt des Bodens, die exzessive Düngung oder Anreicherung von Schadstoffen und Bioziden führen zu massiven Beeinträchtigungen der Bodenfauna/-flora. Des Weiteren sind die Belastungen des Bodens mit organischen und anorganischen Schadstoffen wie Dioxin oder Blei von Bedeutung und zudem gefährden gentechnisch veränderte, Krankheit erregende oder standortfremde Lebewesen das Bodengleichgewicht. Gegenwärtig wird diese Art der Bodengefährdung zwar nicht als akut, aber als durchaus real beurteilt.

3.2.4 BODENVERBRAUCH

Im weiten Sinne ist der immense Bodenverbrauch eine weitere Bodenbelastung. Durch die heutige Siedlungspolitik kann der **Bodenverbrauch** auch als "Degradierung" betrachtet werden. Schliesslich kann ein weggebaggerter oder versiegelter Boden seine Aufgaben im Naturhaushalt nicht mehr erfüllen. Das BAFU (2007: 2) schätzt, dass nach wie vor täglich 11 Hektaren Kulturland verschwinden. Das ergibt pro Sekunde einen Verlust von etwas mehr als 1.2 m^2 ($1 \text{ Tag} \hat{=} 10.4 \text{ ha}$) Boden. Ein haushälterischer und sorgfältiger Umgang mit der Bodensubstanz ist deshalb ein zentrales Anliegen des **Bodenschutzes**. Eine sorgfältige Raumplanung mit ihren Instrumenten ist hier gefordert. Zwischen den verschiedenen Bodenbeeinträchtigungen wirken zahlreiche und starke Wirkungszusammenhänge. Wie aus der Abbildung 6 hervorgeht beeinflussen und verstärken sie sich durch starke Wechselwirkungen gegenseitig. So fördert die Bodenverdichtung einerseits z.B. den oberflächlichen Wasserabfluss und damit die Bodenerosion. Andererseits können Schadstoffe die bodenbildenden und bodenlockernden Lebewesen schädigen, womit sie der Erosion und Verdichtung weiter Vorschub leisten (BAFU 2007: 3).

Im Kontext der Bodendegradierung stehen vor allem die fortschreitende Überbauung der fruchtbaren Böden durch die Siedlungsentwicklung, die fortschreitende Gefährdung und

Zerstörung des Bodengefüges und -substanz durch die **Landwirtschaft** und die irreversiblen Veränderungen und Zerstörungen naturnahen Flächen im Vordergrund. Die intensive Bewirtschaftung durch die moderne Landwirtschaft steht dabei im Fokus. Definiert wird die Landwirtschaft über eine geplante und gelenkte Nutzung von Pflanzen- und Tierbeständen zur Versorgung der Menschen mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen. Als primäre Ressourcenbasis nutzt die Landwirtschaft die natürliche Umwelt. Von den Anbauformen her lässt sich die Landwirtschaft in Ackerbau, Viehwirtschaft, Gartenbau, Gemüsebau, Obstbau, Weinbau und Baum- oder Strauchkulturen unterteilen. Je nach Einsatz von Hilfsstoffen wird in der Produktionsform zwischen konventioneller, integriert und biologischer Landwirtschaft unterschieden werden. Abgesehen von industriemässig betriebenen, flächenunabhängigen Sonderformen

„[...] vollzieht sich die landwirtschaftliche Produktion in Agrarökosystemen. Diesen kommt gesamthaft grosse Bedeutung zu, da in Mitteleuropa heute etwa die Hälfte der Fläche im engeren Sinne landwirtschaftlich genutzt wird“ (Lexikon der Geowissenschaften 2000: 240).

Die räumlich-strukturellen Unterschiede sind ein Hauptmerkmal der Landwirtschaft. Hinsichtlich ihrer Funktionen besitzt die moderne Landwirtschaft darüber hinaus eine grosse Vielfalt. Ihr können beispielsweise Erzeugungs- und Versorgungsfunktion, Beschäftigungs- und Erwerbsfunktion, Entsorgungsfunktion, Ausgleichsfunktion, Freizeit- und Erholungsfunktion, Raumfunktion oder Kulturfunktion zugeschrieben werden. Zwischen den diesen Funktionen haben sich im Laufe der Zeit je länger je mehr Konflikte (Ernährungs- vs. Raumfunktion) herauskristallisiert (Lexikon der Geographie 2002: 313). Innerhalb des Agrarraums vollzieht sich die landwirtschaftliche Produktion grundsätzlich mit einer komplexen Vielfalt von Produktion, Produktionsmethoden und Organisationsformen (Lexikon der Geographie 2002: 313f). Der Begriff der **Produktionsmethoden** steht als Synonym zur sogenannten **Bodenbearbeitung**. Die Bodenbearbeitung ist ein Sammelbegriff für die Gesamtheit der Massnahmen zur Vorbereitung des Bodens für seine Funktion als Pflanzenstandort und bildet die Schaffung von günstigen Wachstumsbedingungen, respektive optimalen Bodenzuständen. Anlässlich der Modernisierung und Mechanisierung zwischen 1950 und 1990 ist die Bodenbearbeitung vermehrt an den Einsatz von Geräten und Maschinen gebunden. Dabei wurden spezielle Bearbeitungsverfahren hervorgerufen, welche in ihrer Kombination als **konventionelle Bodenbearbeitung** bezeichnet werden. Dazu gehören das Wenden, Lockern, Mischen Zerkleinern, Krümeln, Verdichten, Einebnen und Ausformen. Kennzeichnend für diese Bearbeitungstechniken ist die alljährliche Lockerung auf Krumentiefe mit dem Pflug und die damit verbundene Einarbeitung von organischen Reststoffen und Unkraut in den Boden. Durch die Pflugarbeit zerstört der Ackerbau allerdings die ursprüngliche Bodenhorizontie-

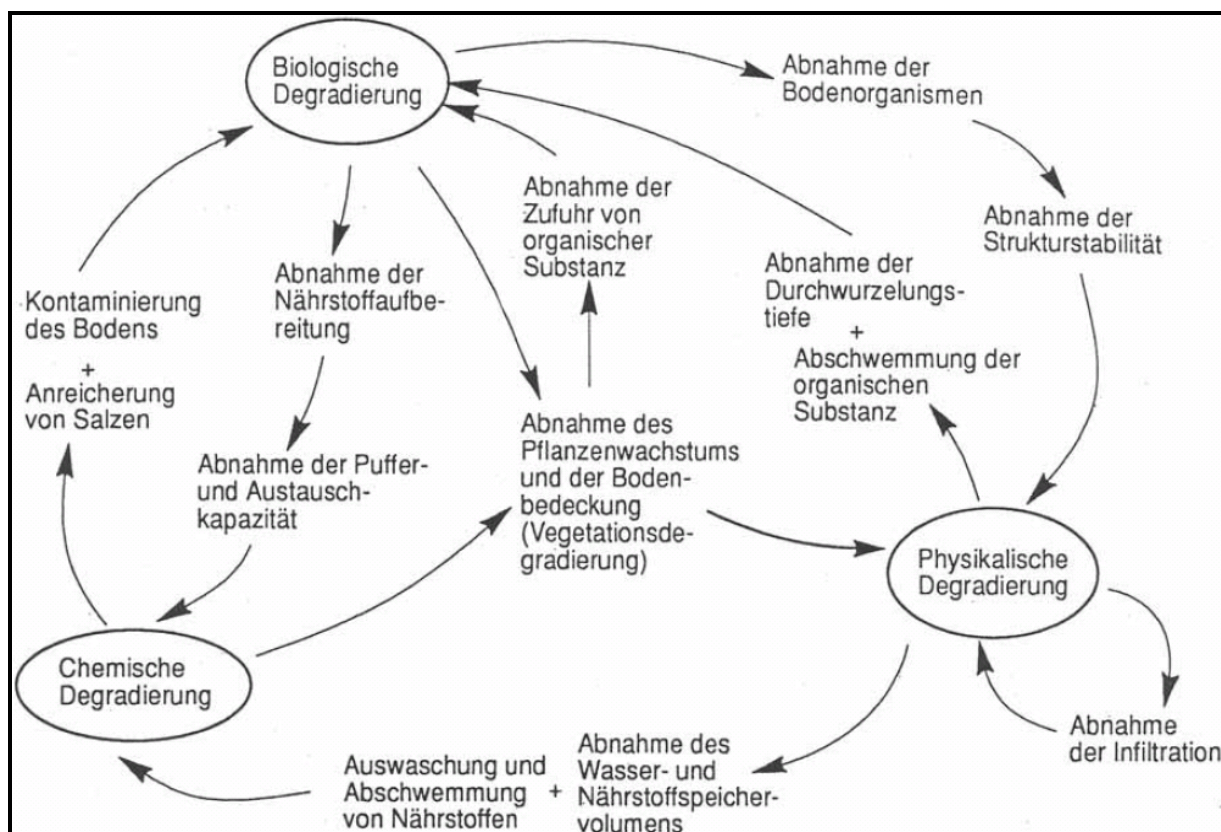


Abbildung 6: Die wichtigsten Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Degradierungsarten (Quelle: Heiniger, 1994).

rung, schafft einen künstlichen Ap-Horizont (durch Bearbeitung weitgehend homogenisiert; Ap = Ackerkrume), belüftet den Boden und beschleunigt damit den Abbau organischer Substanz (Lexikon der Geographie 2002: 185). Nach Scheffer & Schachtschabel (2002: 445) verringert dieser Vorgang bei vielen Böden die Aggregatstabilität beträchtlich und erhöht die Verschlammungs- und Erosionsneigung, was wiederum die Erosionsgefahr erhöht. Wird die Zahl der Arbeitsgänge hingegen vermindert, spricht man von **reduzierter Bodenbearbeitung** (bspw. Direktsaat). Bei der sogenannten konservierenden Bodenbearbeitung wird aus Gründen des Bodenschutzes auf den Pflugeinsatz verzichtet. Der **Bodenschutz** ist eine wichtige Massnahme, um die Bodendegradation, welche in erster Linie aus der Zunahme der Bevölkerungsdichte, Nutzungsintensität und Industrialisierung resultieren, in Grenze zu halten. Mit der **Bodenerhaltung** wird eine dauerhafte Gewährleistung der Balance zwischen den Prozessen der Bodenbildung und der Bodendegradation sowie des Potentials der Bodenfunktion verfolgt (Lexikon der Geowissenschaften 2001: 275). Unter der Bodenkonservierung werden allgemein landeskulturelle Massnahmen zur Erhaltung der Bodensubstanz und somit der **Bodenfruchtbarkeit** verstanden. Bei der Bodenfruchtbarkeit spricht man im weiteren Sinne von der Fähigkeit eines Bodens, seine ökologischen Funktionen (Puffer-, Transformations- und Filterfunktion) sowie ökonomischen und ideellen Funktionen wahrzu-

nehmen. Im engeren Sinne bedeutet sie die Fähigkeit des Bodens, aufgrund der in ihm ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse, die Bedingungen für das ertragreiche und gesunde Wachstum von Kulturpflanzen zu bieten. Durch eine Bodenkultivierung und die Bodenkonservierung wird versucht, die natürlich bedingte Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu verbessern (Lexikon der Geowissenschaften 2001: 278). Bei der Definition der Bodenfruchtbarkeit spielt eine ganzheitliche Betrachtungsweise aller Funktionen des Ökosystems Bodens eine wichtige Rolle, was heisst, dass nicht nur die Produktionsfunktion massgebend ist (Heiniger & Herweg 1994: 16ff). In diesem Zusammenhang führt die Bodendegradierung nicht nur zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und damit der Erträge, sondern vermindert auch die Eigenschaft des Bodens, auf Dünger und andere Inputs anzusprechen. In diesem Sinne schützen die bodenkonservierenden Massnahmen den Boden dabei

„vor abtragenden, zerstörenden Prozessen (z.B. der Bodenerosion) durch das gezielte Anlegen von Schutzbepflanzungen (gegen Wind und Wasser), durch bodenerhaltende Bearbeitungstechniken, angepasste Fruchtfolgen, die Umlegung von Ackerparzellen oder den Bau von Entwässerungssystemen“ (Lexikon der Geowissenschaften 2001: 280).

Eine angesehene Bodenbearbeitungstechnik, die den Boden schützt, ist beispielsweise die Direktsaat. In der Schweiz hat die direkt gesäte Fläche seit Mitte der 1980er Jahre von wenigen Hektaren auf rund 12'000 ha im Jahre 2006 zugenommen. Dies zeigte eine Erhebung der UFA Revue aus dem Jahre 2008. Gemessen am gesamten Ackerland ist diese Fläche von rund 3% aber nach wie vor gering. (UFA Revue Kurz-News 2008: 35). Eine wichtige Grösse für den Bodenschutz ist die **Bodenbedeckung**, welche durch die Pflanze oder den Mulch gewährleistet wird. Die Pflanzen fördern durch ihre Beschattung und die organische Masse das Bodenleben und damit die Lebendverbauung von Bodenteilchen und zudem gewährleisten sie einen Schutz gegen die aufprallenden Regentropfen (Aufprallenergie) und die mechanische Belastung durch das Befahren (Lexikon der Geowissenschaften 2001: 273f). Bei der Direktsaat ist eine ganzjährige Bodenbedeckung durch Pflanzen und Mulch gegeben. In vielen Gebieten der Erde wurden in der Vergangenheit grosse Gebiete entwertet, weil unzureichend auf den Boden und seine Funktion geachtet, respektive die bodenkonservierenden Massnahmen nicht ausreichend waren. Unfruchtbare Gebiete werden als sogenannte "**badlands**" bezeichnet. Gegenwärtig nimmt die Fläche der produktiven und unbelasteten Böden weltweit ab, während die Weltbevölkerung stetig zunimmt. Während sich der Boden im Verlauf von Jahrtausenden entwickelt, kann er innerhalb weniger Jahre zerstört werden. Aus diesem Grund ist der Bodenschutz von grösster Bedeutung (Lexikon der Geographie 2002: 194).

Dies wurde auch von der internationalen Gemeinschaft diagnostiziert. Das WOCAT/LADA Projekt verfolgt beispielsweise die Absicht, sogenannte **"hot spots"** (Problemgebiete) und **"bright spots"** (erfolgreiche Konservierungsmassnahmen) zu identifizieren. Das WOCAT-Netzwerk liefert mit der Datenbank, der CD-ROM und dem Buch über Fallstudien und Analysen mehrere Musterbeispiele über solche "bright" und "green spots". Ausgehend von diesem Kontext arbeitet WOCAT in Zusammenarbeit mit LADA. Die Herausforderung von WOCAT besteht in der Realisierung einer Karte, welche ein Spiegelbild zur GLASOD-Karte und eine Ergänzung von LADA darstellt. Mit anderen Worten wird der Fokus nicht nur auf das Ausmass und die Ausbreitung von Degradierungen gerichtet, sondern eine Bewertung über Konservierungsmassnahmen und nachhaltigem Bodenmanagement unternommen. Bei den Konservierungsansätzen und -technologien für eine nachhaltige Landnutzung wird schwerpunktmässig das Ziel einer Vorbeugung (Prävention), Milderung und Rehabilitierung des Zustands verfolgt (Liniger & Critchley 2007: 10). In der vorliegenden Arbeit wird der Zustand des Bodens über verschiedene Indikatoren nach WOCAT/LADA beschrieben und bewertet (siehe Kapitel 4 Methodik). Eine klare Aussage über die Bodendegradierung ist im eigentlichen Sinn wie oben beschrieben nicht möglich, vielmehr wird ein Hinweis zum Zustand der Bodendegradierung geliefert. Beispielsweise muss eine Parzelle bei einer beobachteten und als reduziert eingestuften Regenwurmaktivität nicht unbedingt eine schlechte Boden(makro)fauna oder Durchlüftung aufweisen. Deckt die Parzelle aber zusätzlich eine schlechte Bodenstruktur, ungenügende Bodenbedeckung, ausgeprägte Verschlammung und Krustenbildung auf, kann angenommen werden, dass der Boden (Land) eine hohe Disposition zur Degradierung besitzt. Im Zusammenhang von Bodendegradierungen und Konservierungsmassnahmen ist der Begriff der Ökosysteme bedeutend. Im Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report (2005: 27) wird der Begriff Ökosystem als ein dynamischer Gemeinschaftskomplex von Pflanzen, Tieren, Mikroorganismen und ihrer unbelebten Umwelt in ihrer Wechselbeziehung beschrieben. Die Grenzziehung zwischen verschiedenen Ökosystemen ist dabei nicht allgemeingültig definiert. Mit anderen Worten ist ein Ökosystem ein Wirkungsgefüge von Lebensgemeinschaften und Lebensraum. Mit den Bewertungen zur Degradierung und den Konservierungsmassnahmen beabsichtigt WOCAT/LADA schliesslich ein Gutachten über die Zustände der Ökosystemdienstleistungen fällen zu können. Bei den Ökosystemdienstleistungen handelt es sich um Dienstleistungen, die einerseits von der Natur erbracht werden und andererseits vom Menschen genutzt werden können. Ohne die Ökosystemdienstleistungen wäre ein menschliches Leben aber nicht möglich. Die Verfügbarkeit der Ökosystemdienstleistungen kann sich in Folge von Umweltverschmutzungen oder nicht nachhaltigem Bodenmanagement rapid verschlechtern. Bislang ist das Millennium Ecosystem Assessment (MA) die umfassendste Studie über den Zustand und Entwicklungstrend der Ökosysteme. Das MA wurde im Jahre 2001 von der UNO in Auftrag gegeben und

innerhalb von vier Jahren in einem kontinuierlichen Review-Prozess mit Hilfe von über 1'000 Wissenschaftlern aus 95 Ländern erarbeitet. Wie WOCAT/LADA baut das MA vornehmlich auf bereits vorhandenem Expertenwissen auf. Es behandelt den Zustand sowie die Entwicklung der Ökosysteme und derer Dienstleistungen in den letzten 50 Jahren und diskutiert anhand verschiedener Szenarien mögliche Entwicklungen bis zum Jahr 2050. Auf dieser Grundlage werden Handlungsempfehlungen für alle betroffenen Politikfelder erstellt und diskutiert. In seiner Betrachtung fokussiert das MA auf die Dienstleistungen der Ökosysteme für das menschliche Wohlbefinden. Hierbei stellt das MA die Anliegen des Natur- und Umweltschutzes in einen neuen Zusammenhang und betont die hohe Bedeutung des Erhalts der biologischen Vielfalt für den Menschen (UFZ-Berichte 2/2006: 1ff). Aus diesem Grund fokussiert der konzeptionelle Rahmen des MA, wie in Abbildung 7 dargestellt ist, auf den Zusammenhang zwischen Ökosystemdienstleistungen und Aspekten des menschlichen Wohlbefindens. Unter den Ökosystemdienstleistungen werden gemäss MA (2005: 27ff) Güter und Leistungen verstanden, die dem Menschen durch die Ökosysteme bereitgestellt werden. Die Ökosystemdienstleistungen lassen sich in vier Kategorien einteilen (Abbildung 7). Dazu gehören die **bereitstellenden Dienstleistungen** (Nahrung, Wasser, Holz, Fasern oder genetische Ressourcen), **regulierenden Dienstleistungen** (Regulierung von Klima, Überflutungen, Krankheiten, Landdegradierungen oder Wasserqualität), **kulturellen Dienstleistungen** (Erholung, spirituelle-, religiöse und andere nichtmaterielle Leistungen) und **unterstützenden Dienstleistungen** (Bodenbildung, Nährstoffkreislauf, etc.). Besonders bedeutungsvoll sind die unterstützenden Dienstleistungen, welche für die Versorgung aller anderen Dienstleistungen notwendig sind (Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report 2005: 26ff). Auf der anderen Seite der Abbildung ist schematisch das menschliche Wohlbefinden, das aus mehreren Bestandteilen besteht, abgebildet. Es beinhaltet die Elemente für ein gesundes Leben, Wahl- und Handlungsfreiheit, Gesundheit, gesunde soziale Beziehungen und Sicherheit. Im Kontext des menschlichen Wohlbefindens kristallisiert sich die Armut als ausgesprochene Benachteiligung heraus. Die zentralen Ergebnisse des MA-Berichts zeigen, dass die Menschheit die Ökosysteme niemals zuvor schneller und intensiver genutzt und verändert hat als in den letzten 50 Jahren, um die wachsende (Welt-) Nachfrage nach Nahrung, Wasser, Holz oder Energie zu befriedigen. Dieser Wandel hat laut dem MA-Bericht (ibid.) zu einem substantiellen und weitgehend irreversiblen Verlust an Diversität des Lebens auf der Erde geführt. Zugegeben haben die Veränderungen der Ökosysteme zu erheblichen Nettogewinnen für das menschliche Wohlbefinden und die wirtschaftliche Entwicklung beigetragen, allerdings wurden diese Gewinne mit wachsenden Kosten in Form der Degradation vieler Ökosystemdienstleistungen, zunehmender Risiken von nichtlinearen Veränderungen und der Verschlimmerung der Armut von Teilen der Bevölkerung erzielt (UFZ-Berichte 2/2006: 1ff).

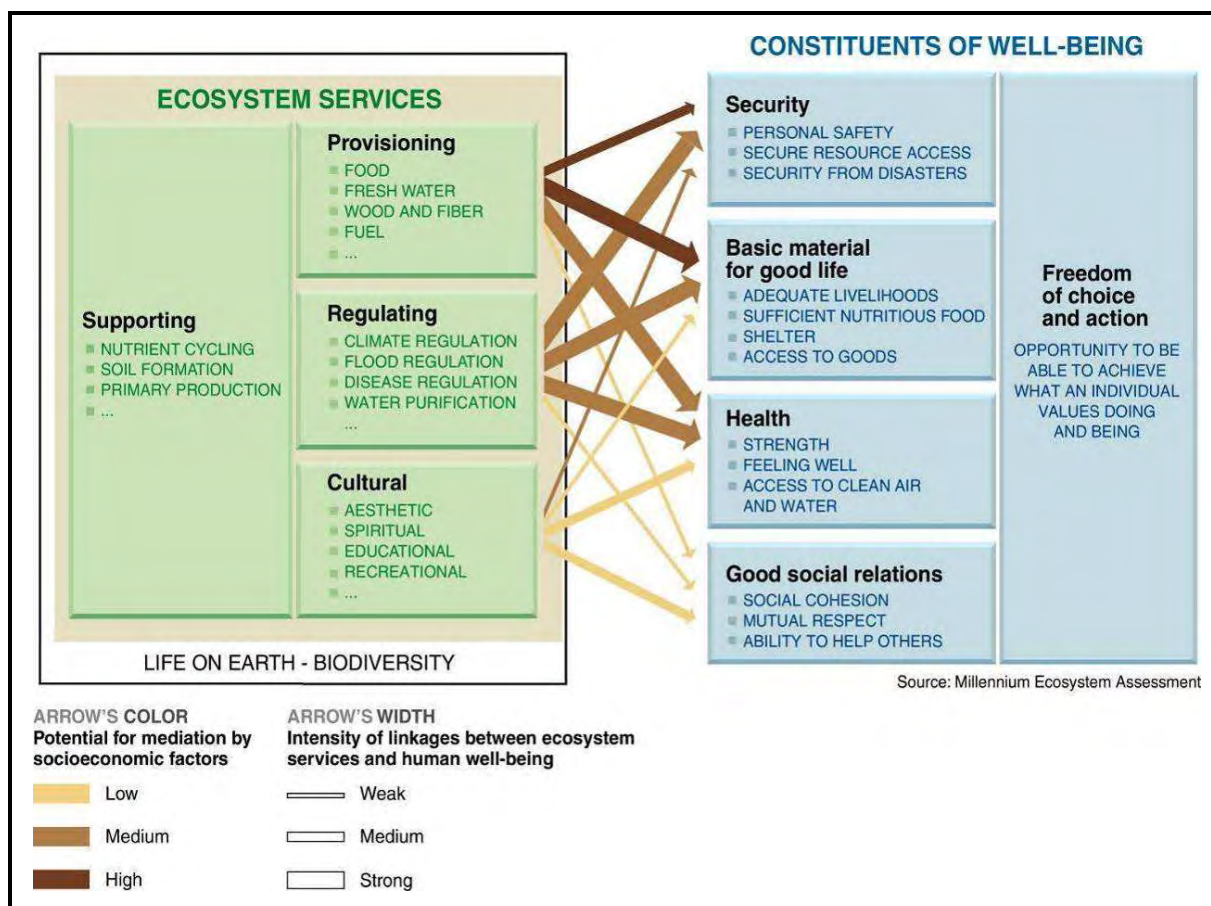


Abbildung 7: Verbindungen zwischen den Ökosystemdienstleistungen (links) und (rechts) dem menschliches Wohlbefinden (Quelle: Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report 2005: 28).

Als Beispiel ist im MA-Bericht aufgeführt, dass rund 40% der landwirtschaftlichen Nutzflächen innerhalb des letzten halben Jahrhunderts durch Erosion, Versalzung, Verdichtung, Nährstoffschwund, Umweltverschmutzungen und Verstädterung degradiert sind (ibid.). Aus diesem Grund befasst sich WOCAT/LADA stark mit der Beurteilung der Ökosystemdienstleistungen. Die Degradierungen und Konservierungsmassnahmen können beide sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen haben. Im Falle dieser Untersuchung ist eine solche Ökosystembeurteilung nicht möglich, weil die Methodik (Kapitel 4) auf Feldbeobachtungen und nicht auf Expertenwissen basiert. Einzig bei der Bewertung des Waldes konnte eine derartige Bewertung durchgeführt werden. Die Ergebnisse zum Wald sind auf der CD im Anhang (Zusatzmaterial Wald).

3.3 DAS DPSIR MODELL

Die Absicht von WOCAT/LADA besteht in der Ausarbeitung von Zustandsberichten, welche über verschiedene Indikatoren erstellt werden. Die Zustandsberichte und Indikatoren stützen

sich dabei auf einen Ansatz, der neben den reinen Umweltfragen auch die damit zusammenhängenden Anliegen der Politik berücksichtigt. Der Ansatz orientiert sich an dem europaweit harmonisierten DPSIR-Modell (Abbildung 8), welches auf europäischer Ebene bisher von der Europäischen Umweltagentur (EEA), dem UNEP und dem Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) verwendet wird. WOCAT/LADA basiert somit auf dem konzeptionellen Rahmen des DPSIR-Bezugssystems, das einen allgemeinen Mechanismus zur Analyse von Umweltbelastungen und -schutzmassnahmen liefert. Das Modell erlaubt es, Zusammenhänge zwischen den Faktoren, die sich auf die Umwelt auswirken, unter dem Blickwinkel der Kausalität zu untersuchen. Die Ketten der Kausalzusammenhänge sind in der Abbildung 8 mit Pfeilen angedeutet. Im Grunde beschreibt das DPSIR-Modell die Wechselwirkungskette von den Einflussgrössen der menschlichen Aktivitäten und der Umwelt. Die Abkürzung "DPSIR" steht schliesslich für diese sogenannten Einflussgrössen Aktivitäten/treibende Kräfte (**d**riving forces), Druck auf die Umwelt (**p**ressures), Umweltqualität/-zustand (**s**tate), Auswirkungen auf die Umwelt (**i**mpacts) und Reaktion/Korrekturmassnahmen (**r**esponses) (BAFU 01.10.2009; <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/status/04561/index.html?lang=de>). Zu Beginn des Modells stehen **treibende Kräfte**, welches menschliche Aktivitäten, Prozesse und Verhaltensmuster sein können, die Einfluss auf die nachhaltige Entwicklung haben. Dabei basieren die menschlichen Aktivitäten auf sozio-ökonomischen und sozio-kulturellen Kräften, welche den Druck auf die Umwelt erhöhen oder vermindern. Prinzipiell sind es Bereiche aus dem öffentlichen Leben wie beispielsweise das Auftreten von Armut, Wohlstand oder die Bevölkerungsdichte. Um die individuellen Ansprüche erfüllen zu können, entstehen in einem zweiten Schritt **Beanspruchungen** wie die Landnutzung, Abholzung, Überweidung oder Urbanisierung, welche durch den Menschen auf die Umwelt ausgeübt werden. Die resultierenden Umweltbelastungen beeinflussen verschiedene Umweltbereiche wie Boden, Wasser oder Luft. Mit dem **Zustand** wird als nächstes die Veränderung der Umweltsituation dokumentiert und repräsentiert. Die Veränderung hängt dabei stark vom ausgeübten Druck ab. Umweltzustandsänderungen auf physischer, chemischer oder biologischer Basis können schliesslich sowohl ökologische, als auch ökonomische oder soziale **Auswirkungen** herbeiführen. Dabei können vor allem Auswirkungen infolge der Landdegradierung und -konservierung auf die Ökosystemdienstleistungen auftreten, welche diese positiv oder negativ beeinflussen können. Am Schluss der kausalen Kette des DPSIR Modells stehen die **Massnahmen bzw. Verhaltensänderungen**. Diese sind in der Lage auf alle anderen Einflussgrössen im Modell einzuwirken und zu beeinflussen. Üblicherweise werden die Massnahmen auf politischer Ebene sowie anhand von Investitionen (bauliche Massnahmen), Analysen- und Dokumentationsprogrammen (vgl. WOCAT) oder Warnsystemen durchgesetzt. Das DPSIR Modell kann, wie in der Abbildung 8, mit den Auswirkungen auf die Öko

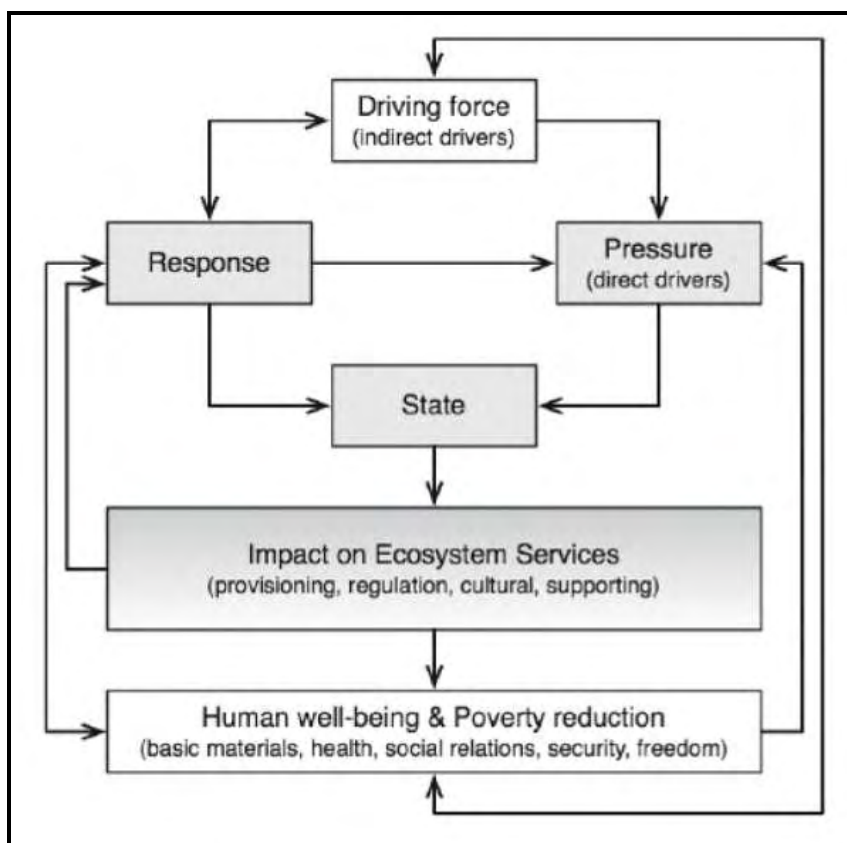


Abbildung 8: Das DPSIR Modell mit den Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen und die menschliche Gesundheit (human well-being). Die Reaktionen (Responses) können auf jeden Bereich Einfluss nehmen. (Quelle: WCOAT Symposium 2008).

-systemdienstleistungen und dem menschlichen Wohlbefinden erweitert werden. Veränderungen im Bodensystem führen fast immer zu Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen und somit auf den Menschen.

3.3.1 MODELLANWENDUNG

Die Abfolge der Modellanalyse ermöglicht eine einfache, unkomplizierte und umfassende Beschreibung von Umweltschäden. Die Abbildung 8 illustriert, dass die Kenntnisse über die Ursachen (direkte und indirekte) der Degradierungen für die spätere Festlegung von Massnahmen von entscheidender Bedeutung sind. Auch das Verständnis über die resultierenden Auswirkungen ist essentiell und hilfreich in Bezug auf die Bodenerhaltung. Ausserdem lässt sich der Modellansatz auf die einzelnen separaten Einflussgrössen beschränken. Die Anwender haben dadurch die Möglichkeit sich verstärkt auf eine Komponente zu konzentrieren. Für die vorliegende Arbeit ist dieser Aspekt entscheidend, weil in der Untersuchung schwerpunktmässig der aktuelle (Boden-)Zustand (state) analysiert und bewertet wird. Die angewendete Methodik basiert auf WOCAT/LADA, allerdings wurden einige spezifische An-

passungen vorgenommen (siehe Kapitel Methodik). Nebst der Zustandsbewertung werden die direkten Ursachen (pressures) und die Bodenerhaltungsmassnahmen (responses) ergründet. Für die Bewertung des Ausmasses und Umfanges der Degradierung sowie für die Effektivität der Konservierungsmassnahme wird jeweils eine gesunde Dauerwiese als Vergleichsparzelle gewählt. Das (Boden-)Landmanagement einer Dauerwiese kommt den "Idealbedingungen" am nächsten. Die spezifischen Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen und das menschliche Wohlbefinden durch die Umweltbelastungen können bei der Bewertung dieser Arbeit nicht manifestiert werden, weil dazu längere Kenntnisse aus dem Untersuchungsraum erforderlich wären. Die Untersuchung war aber auf eine beschränkte Laufzeit beschränkt, was die Anwendung des Modells auf die erwähnten drei Komponenten rechtfertigt. Zudem würde eine Beschreibung der Auswirkungen auf die verschiedenen Landnutzungssysteme, respektive Ökosystemdienstleistungen den Umfang der Arbeit übersteigen. Mittels den generierten Resultaten und Ergebnisse könnten durchaus weiterführende BSc- oder MSc-Arbeiten mit Fokus auf die Auswirkungen unternommen werden. Wie zu Beginn des Abschnitts 3.3 erwähnt, verwendet auch das BAFU das Modell für verschiedene Arten von Zustandsberichten. Im Kontext dieser Arbeit interessieren vor allem jene zum Boden und Wald. Auf der Internetseite können die einzelnen Einflussgrößen mit den dazugehörigen Indikatoren recherchiert werden (BAFU: <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/status/> → Boden & Wald).

3.3.2 VERWENDUNG DES DPSIR-MODELLS BEI WOCAT/LADA

Das Ausmass und der Umfang der Bodendegradierung variieren in unterschiedlich in Raum und Zeit. Daher bestehen noch immer grosse Lücken bezüglich des Verständnisses von Degradierungsprozessen und ihren zugrundeliegenden Faktoren. Mit dem DPSIR existiert ein Modell, welches die Kluft zwischen der Daten-Matrix (QM) von verschiedenen Landnutzungssystemen und dem Informationsverwaltung für bessere Beschlussfassungen auf Bezirks-, Provinz- und nationaler Ebene überwinden kann. Mit Hilfe von verschiedenen Variablen der QM-Matrix werden Degradierungs- und Konservierungsindexe für unterschiedliche Kartierungseinheiten entwickelt. Zusammen mit den Variablen des DPSIR Modells liefern die Indexwerte die Grundlage, nicht nur für die Festlegung vorrangiger Gebiete für künftige Massnahme, sondern auch für Verständnis des Phänomens der Bodendegradierung und -erhaltung (WCOAT Symposium 2008: 11). Sobald die Bodendegradierung und -erhaltung einst besser verstanden werden, können Hebelwirkungen identifiziert werden, wodurch in Anbetracht der Grenzen der spezifischen Ökosysteme und verfügbaren Ressourcen, das

bestmögliche nachhaltige Landnutzungsmanagement für unterschiedliche Landnutzungssysteme erreicht werden.

3.4 STAND DER FORSCHUNG

In den letzten Jahren führte das CDE im Schweizer Mittelland mehrere Studien zum Zustand des Bodens durch. Im Vordergrund stand bisweilen fast ausschliesslich die Bodenerosion. Die vorliegende Untersuchung hat viele Gemeinsamkeiten mit diesen Arbeiten. So findet sie auch im Schweizer Mittelland statt, wobei auch die Erosion ein wesentlicher Bestandteil ausbildet. Mit den visuellen Beobachtungen kann im Vergleich zu den bisherigen Arbeiten ein grösseres Spektrum des Interaktionsfeldes Boden – Mensch abgesteckt werden. Und trotzdem basiert die Arbeit zu einem grossen Teil auf früheren Arbeiten des CDE's und anderen Instituten. In diesem Zusammenhang sind besonders die PhD Arbeiten von Thomas Ledermann und Flurina Schneider wertvoll. Sie haben in den letzten Jahren (2005 bis 2008) in der Region Ob- und Nidwalden Forschungen zum Bereich der Boden- und Wasserkonservierung unternommen (vgl. Kapitel 1.3.2). Die Untersuchungen beschäftigten sich mit den Auswirkungen von Bodenerosion und den Strategien von Landwirten und Behörden zum Schutz der Böden. Im Vordergrund der Arbeiten stand das Erkennen der Umstände, welche zu Erosion führen. Vor diesem Hintergrund wurden ähnlich wie bei dieser Arbeit das Bodenmanagement (Anbausysteme) und die Kulturtypen beobachtet. Die Erkenntnisse der Untersuchungen liefern wertvolle Erkenntnisse und Informationen im Hinblick auf die Auswertung der vorliegenden Arbeit. Zu Beginn der Arbeit konnten aus diesem Grund viele Unterlagen (v.a. Kartenmaterial) und eine gesunde Beziehung zwischen Forschern und Bauern übernommen werden. Einige der Ergebnisse aus dem Jahr Kartierungsjahr 2008 liefern hilfreiche Hintergrundinformationen, so wurde beispielsweise folgendes für die Region Ob- und Nidwalden festgestellt:

- Je nach Region beeinflussen, so Ledermann et al. (2008: 273ff), das Bodenmanagement, der Niederschlag und andere Faktoren die Bodenerosion von 10 bis 40% des Kulturlands im Schweizer Mittelland. Dies ist eine interessante Information, welche in dieser Arbeit mit zwei speziellen Indikatoren weiterverfolgt wird. Es wird vermutet, dass die verschiedenen Landnutzungen, Kulturtypen und das Bodenmanagement die Bodendegradierung unterschiedlich (Grad und Umfang) beeinflussen.
- Eine zentrale Rolle bezüglich des Erosionsverhaltens übernimmt die Bodenbedeckung. Diese steht eng in Verbindung mit der Landnutzung. Es ist daher entschei-

dend, wie hoch der Anteil des Kulturlandes (Getreide, Mais, Hackfrüchten, etc.) und des Grünlands ist (ibid.).

- Die Auswertungen zeigen, dass im Oberaargau die Erosionsereignisse zu über 50% auf Winterweizen und 21% auf andere Wintergetreide entfallen. Mais und Hackfrüchte sind auch vielfach von Erosion betroffen (ibid.).

Die Arbeit konnte nebst den PhD Arbeiten auf andere Diplom- und Bachelorarbeiten zurückgreifen. Chisholm (2008) teste in seiner Diplomarbeit ein GIS-Modellierungstool, um die Bodenerosionsraten prognostizieren zu können. Die Modellierung erfolgte in den drei Untersuchungsgebieten Frienisberg, Murist und Oberaargau (nach COST 634). Anhand von Kartierungen zeigte Chisholm auf verschiedenen räumlichen Ebenen (100 Meter, 25 Meter und 2 Meter Gitternetz) welche Parzellen der Untersuchungsgebiete auf Erosion anfällig sind. Die determinierenden Faktoren des Modells bilden der Niederschlag, die Bodeneigenschaften, die Länge und Neigung des Hanges, die Bedeckung und Bearbeitung des Bodens sowie die Art der Erosionsschutzmassnahmen. Die Parameter wurden zum Grössten Teil von der Arbeit von Friedli (2006) übernommen. Friedli hat bereits im Jahr 2006 eine flächendeckende Erosionsgefährdungskartierung im Hektarraster für die Schweiz erstellt. Die Karte gibt zwar ein nationales Bild der Erosionsgefährdung wieder, für kleinräumige Erscheinungen ist die Auflösung allerdings ungenügende. Die Erosionsgefahrenkarten verifizierte Chisholm anhand Bilder von Prasuhn Ledermann, welche ein Erosionsmonitoring in den Gebieten durchführten. Somit stellt die Arbeit von Chisholm eine wichtige Grundlage für die vorliegende Untersuchung dar, weil sie Erosionsmodellierungen für die Region Oberaargau enthält. Einen Ausbau der Arbeit von Chisholm liegt in Form der Masterarbeit von Simon Gisler vor (2009), welcher leider nur Karten für das Gebiet Frienisberg modellierte. Der Hauptunterschied zwischen den Arbeiten von Chisholm und Gisler besteht darin, dass Chisholm die gemittelten Daten von Friedli übernommen hat, während Gisler für zwei Faktoren (Bedeckung und Bearbeitung des Bodens/Bodeneigenschaften) hochaufgelöste Daten zur Verfügung hatte. Für Frienisberg sind diese Daten parzellenscharf vorhanden, wodurch man sich weitere Aufschlüsse über die Erosionsgefährdung und die Funktionsweise des Programms sowie des Abschätzen der Datengrundlagen erhoffte (Gisler 2009: 3). Eine weitere Arbeit, welche auf der Diplomarbeit von Chisholm aufbaut, ist die Bachelorarbeit von Engesser (2008). Er untersuchte den Einfluss von linearen Elementen wie Hecken oder Terrassen, welche wie hydrologische Barrieren wirken und so die Bodenerosion entscheidend beeinflussen können (2008: 4). Leider beschränkt sich die Arbeit auf das Untersuchungsgebiet von Murist (Estavayer-le-Lac). In der Arbeit konnte er aufzeigen, dass durch das Einsetzen einer hydrologischen Barriere in eine gefährdete Parzelle oder einen gefährdeten Hang, die Bodenerosionsgefährdung deutlich reduziert wird. Jedoch erwiesen sich die hangabwärtsge-

richteten Auswirkungen als relativ rasch abnehmend. Für das Modellierungsprogramm muss ferner beachtet werden, dass die eingesetzten hydrologischen Barrieren im Modellierungsprogramm (AVErosion) zu einer vollständigen Unterbrechung des Oberflächenabfluss führen, was in Realität kaum einmal eintritt. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass Hecken und Terrassen einen wesentlichen Einfluss auf die Bodenerosion haben, auch, wenn dieser nicht so stark sein dürfte, wie das Modell von Engesser (2008: 30f) berechnete. Die Arbeit von Hauert, welche unter anderem in der Region Oberrhein und Friesenberg stattfand, untersuchte die Auswirkungen der Bodenbearbeitung auf die Bodeneigenschaften. Hauert (2007) analysierte auf 22 verschiedenen Parzellen 495 Bodenproben. Mit einem Vergleich im Direktsaat- und Pflugsystem konnte mittels der Reflexionsspektrometrie und physikalischen Feldmethoden gezeigt werden, dass die direkt gesäten Parzellen gesamthaft einen höheren Humusgehalt als die gepflügten Parzellen aufweisen. Weiter illustriert Hauert, dass sich die Bodenstruktur, Tragfähigkeit, Bodenoberfläche und die Regenwurmmaktivitäten zwischen den direkt gesäten und den konventionell bearbeiteten Parzellen deutlich unterscheiden (Hauert 2007: 131/136). Auch ihre Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die Ausführung dieser Arbeit. Parallel zur vorliegenden Untersuchung absolvierte Gasser (2009) im Gebiet Murist eine ähnliche Untersuchung durch. Auf ihre Resultate und Ergebnisse wird vermehrt zurückgegriffen. Dabei muss allerdings beachtet werden, dass die Gebiete Murist und Oberrhein unterschiedliche klimatische, geologische und topographische Eigenschaften aufweisen. Gemäss Ledermann et al. (2008: 265ff) ist Murist in der Hauptagrikulturregion der Schweiz gelegen, während die Region Oberrhein im Alpenvorland des Schweizer Mittellandes lokalisiert ist. Die unterschiedliche geographische Lage macht sich vor allem bei den Jahresniederschlägen bemerkbar. Während in Murist durchschnittlich 1'077 mm Niederschlag fallen, sind es im Oberrhein 1'431 mm. Erstaunlich sind in diesem Zusammenhang die von Ledermann et al. generierten Bodenerosionsraten [in $t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$]. Während im Oberrhein lediglich $0.7\ ha^{-1}$ beobachtet wurden, konnten in Murist $2.3\ t\ ha^{-1}$ berechnet werden. Diese Ergebnisse sind überraschend, vergleicht man doch die unterschiedlichen Niederschlagsraten. Zudem ist Murist laut Ledermann et al. (ibid.) durch eine allgemein gemässigtere Topographie charakterisiert. Die Bodeneigenschaften sind für beide Gebiete aber ähnlich. Die Resultate lassen sich anhand drei Faktoren begründen, wie aus dem Bericht hervorgeht (Ledermann et al. 2008: 277). Einerseits sei der durchschnittliche Parzellenumfang in Murist grösser als im Oberrhein und andererseits sei der Anteil von Hackfrüchten und Mais (Grünlandanteil aus diesem Grund kleiner) umfangreicher als in der Region Oberrhein. Als dritter Faktor wird der deutlich kleinere Anteil an bodenerhaltenden Massnahmen (Direktsaat, Streifenfrässaat, Mulchsaat) im freiburgischen Murist genannt. Die vorgestellten Untersuchungen repräsentieren national bis regional-lokale Forschungsarbeiten. Auf internationaler Ebene sind verschiedene Publikationen rund um das

Thema Degradierungen verfügbar. Hilfreiche Arbeiten, welche auch am Geographischen Institut der Universität Bern entstanden sind, ist die Diplomarbeit von Gurtner (1999) über die Bodendegradierung und Bodenkonservierung in den Anden Kolumbiens oder der Bericht der Gruppe für Entwicklung und Umwelt (Heiniger & Herweg 1994) zur Ressource Boden. Weitere Untersuchungen, die die Bodendegradierung thematisieren, liegen von Seeger (2001) sowie Mäckel & Walther (1993) vor. Erwähnenswert ist im Zusammenhang der Bodendegradierung das Buch von Stocking & Murnaghan (2001) mit dem Titel "Handbook for the Field Assessment of Land Degradation". Darin wird ausführlich auf den Begriff der Landdegradierung (Bodendegradierung) eingegangen und illustriert und beschreibt ferner Indikatoren, die im Feld zur Bewertung von Bodendegradierungen angewendet werden können. Das Handbuch schildert, wie die Indikatoren bemessen werden, erklärt Interpretationsansätze bezüglich der Ergebnisse und zeigt Kombinationen verschiedener Indikatoren, mittels deren auf schlüssige Beweise der Bodendegradierung hingewiesen werden kann. Natürlich gäbe es noch viele andere spannende und aufschlussreiche Untersuchungen, die zusätzliche Hintergrundinformationen liefern würden. Darauf wird aber explizit verzichtet, weil mit WOCAT und LADA bereits zwei internationale Projekte näher vorgestellt wurden.

3.4.1 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Wie das Kapitel 3 zeigt, liefert das WOCAT/LADA Kartierungshandbuch (QM) eine gut dokumentierte Methodik für die Bewertung von Bodendegradierung und -konservierung auf verschiedenen Ebenen. Im Zusammenspiel mit dem konzeptionellen Rahmen des DPSIR Modells schafft er für die Untersuchung die Grundlage bei der Bewertung des aktuellen Umweltzustands und dem nachhaltigen Landmanagement. Zwar ist der DPSIR Ansatz nicht das einzige Modell, welches eine nachhaltige Entwicklung verfolgt. Es hat sich aber herausgestellt, dass für WOCAT/LADA es das geeignetste Bezugssystem ist, weil es die Einflussgrösse der treibenden Kräfte berücksichtigt, welche sozio-ökonomische Indikatoren beinhalten. Das Modell erlaubt zudem eine separate Betrachtung der einzelnen Einflussgrößen, was sich als besonders wertvoll herausstellt. Auch die Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen, ob positive oder negative, lassen sich mit dem Modell aufzeigen und bewerten. Bezüglich des Forschungsstandes wurde klar, dass die Bedeutung des Bodens erkannt und schon vielfach beschrieben und untersucht wurde im Hinblick auf die Bodendegradierungsproblematik. Damit im weiteren Verlauf der Arbeit keine Fragen zu Begrifflichkeiten auftreten, wurde in diesem Kapitel versucht, die wichtigsten Definitionen aufzugreifen und zu erklären. Im nächsten Abschnitt wird auf den Begriffen aufgebaut, insofern der Schwerpunkt in der Methodik liegt.

4 METHODIK

4.1 VORBEMERKUNGEN

Im Kapitel zur Methodologie und Methodik sollen vordergründig die einzelnen Indikatoren dargestellt und erklärt werden. Die Indikatoren basieren auf der WOCAT/LADA Methodik. Bevor die Indikatoren des Feldfragebogens erläutert werden, sind einige grundlegende Informationen zur Methodik und dessen Durchführung zu erläutern. Dies entspricht dem Abschnitt 4.1, worauf im Anschluss das "mapping tool" und die einzelnen Indikatoren im Abschnitt 4.2 illustriert und dokumentiert werden. Nebst Bildern aus dem Untersuchungsgebiet umfassen die Beschreibungen der Indikatoren wertvolle Zusatzinformationen. Dafür wurde während eineinhalb Jahren in ausgewählten Zeitschriften aus dem Landwirtschaftsbereich Artikel gesammelt. Im Weiteren Verlauf der Arbeit wird nur noch von der Bodendegradation/-degradierung gesprochen. Die Begriffe Landdegradierung und Bodendegradierung sind eng miteinander verbunden, daher werden sie in der Literatur von den Autoren oft als Synonyme verwendet.

4.2 INDIKATOREN

Zur Bestimmung des aktuellen Degradierungs- und Konservierungszustands listet das WOCAT/LADA Projekt im QM eine grosse Anzahl von verschiedenen Indikatoren auf. Einige dieser Indikatoren sind allerdings nicht für eine visuelle Beobachtung, respektive Bewertung geeignet, weil sie sich nur mit Hilfe von Laboranalysen und/oder Experten bewerten lassen. Da das Untersuchungsgebiet parzellenscharf bewertet wird, bildet die rasche Bewertung der Indikatoren eine Grundvoraussetzung. Auf Grund dessen können keine zeitintensiven Feld- und/oder Labormessungen für jede Parzelle durchgeführt werden. Die ursprüngliche WOCAT/LADA Methodik enthält nebst vielen geeigneten also mehrere, für diese Art der Untersuchung, untaugliche Indikatoren. Zu Beginn der Untersuchung wurden letztere aussortiert, worauf ein Feldfragebogen erstellt werden konnte (Anhang CD - Feldformular). Diese Aufgabe gehört zu den methodischen Zielsetzungen, wo die Indikatoren identifiziert, aussortiert, getestet und angepasst wurden. Anhand der ausgeschiedenen Indikatoren konnte nun eine Bewertung des aktuellen Bodenzustands durchgeführt werden. Durch die visuelle Zustandsbewertung unterliegen die Messungen automatisch einem subjektiven Charakter, was die Reproduzierbarkeit der Methode einschränkt. Um diese Einschränkung begrenzen zu können, wurde parallel zur Arbeit ein separater Methodenkatalog (Anhang CD - Methoden-

katalog) erstellt. Der Methodenkatalog beschreibt und illustriert die einzelnen Indikatoren mit geeigneten Texten, Bildern und Feldmessungsmethoden. Der Katalog soll in einem gewissen Mass die Objektivität gewährleisten. In der Arbeit werden die Indikatoren einzeln ab Abschnitt 4.4 erläutert und vorgestellt.

Das Schweizer Landwirtschaftssystem zeichnet sich durch eine hohe Dynamik in ihrer Zeitlichen und Räumlichen Ausdehnung bezüglich der Landnutzung und Bodenbearbeitung aus. Um den Wandlungen gerecht werden zu können, wurde jede Parzelle des Ackerbaulandes innerhalb eines Jahres vier Mal bewertet. In Zusammenarbeit mit Volker Prasuhn wurden die vier Beobachtungszeitpunkte ausgearbeitet. Schliesslich wurden die Bewertungsperioden auf die Monate April/Mai, September, Oktober/November und Februar festgesetzt. Begründet wird die Wahl vor allem auf die Perioden der Aussaat und Ernte der verschiedenen Kulturpflanzen. Aus Gründen der Wettersituation konnte die vierte und letzte Beobachtung leider nicht mehr durchgeführt werden, da im Februar/März 2009 ein Wintereinbruch stattfand. Für die Auswertungen und die schriftliche Verfassung wurden die Perioden der Einfachheit nach den Jahreszeiten benannt. Somit lauten die drei Beobachtungsperioden Frühling (April/Mai), Sommer (September) und Herbst (Oktober/November). In der Tabelle 8 sind die genauen Bewertungsdaten aufgelistet.

4.3 DAS MAPPING-TOOL

In diesem Abschnitt soll das Feldformular mit all seinen Indikatoren vorgestellt werden. Wie erwähnt, wurde jede Parzelle zu den drei Jahreszeiten bewertet. Nebst dem Feldformular veranschaulicht der Methodenkatalog die Indikatoren des Feldformulars. Zusammen bilden sie den Kern der Untersuchung, mit welchen die Daten im Feld erhoben wurden. Das Feldprotokoll beinhaltet im Wesentlichen vier Bereiche (Anhang CD - Feldformular). Bereich A umschreibt die allgemeinen Informationen der Parzellen. Abschnitt B sammelt die Daten

Tabelle 8: Feldbeobachtungen im Jahr 2008 für die Region Oberrhein, unterteilt nach Jahreszeit und Teilgebiet (Quelle: Urs Grob).

Jahreszeit (2008)	Daten der Beobachtungen nach Teilgebieten		Anzahl Tage
Frühling (April/Mai)	Gondiswil: 9.4/17.4/23.4/25.4 Reisiswil: 25.4/28.4/30.4./1.5/7.5	Melchnau I: 7.5/8.5/14.5/15.5 Melchnau II: 15.5/19.5/21.5	12.5
Sommer (September)	Gondiswil: 21.8/27.8 Reisiswil: 4.9/16.9/17.9/24.9	Melchnau I: 24.9/27.9 Melchnau II: 30.9/1.10	8
Herbst (Oktober/November)	Gondiswil: 15.10/21.10 Reisiswil: 21.10/22.10/28.10	Melchnau I: 4.11/19.11 Melchnau II: 19.11/20.11	7
Winter (Februar)	Keine Beobachtungen wegen heftigen Schneefällen		0
Total			27.5

zu den verschiedenen Bodendegradierungen. Dabei wird jede Degradierung nach ihrem Ausmass/Schweregrad (degree) und deren Umfang (extent) bewertet. Bei den Bodenerosionen könne zusätzlich Angaben zum Bodenabtrag abgeschätzt werden. Wenn Off-site Schäden im Feld auftreten, können diese zusätzlich in diesem Bereich vermerkt werden. Im dritten Bereich, Abschnitt C, können die Ursachen oder Auslöser der entsprechenden Degradierungen erfasst werden. Hierzu kann zwischen den Hauptursachen (major) und Nebenursachen (minor) differenziert werden. Im Abschnitt D werden schliesslich die Konservierungsmassnahmen bezüglich ihrer Effektivität (effectiveness) und deren Umfang (extent) bewertet. Im sogenannten Methodenkatalog sind die verschiedenen Parameter zum Teil ausführlich beschrieben, wo geeignetes Bildmaterial und Unterlagen vorhanden sind (Anhang CD - Methodenkatalog). Nun werden die einzelnen Bereiche vorgestellt.

4.4 BEREICH A – ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Der erste Bereich, der zu Beginn der Bewertung für jede Parzelle ausgefüllt wird, richtet den Fokus auf die sogenannten allgemeinen Informationen. Der Bereich (Tabelle 9) enthält Angaben zu Datum, aktuelle Wetterbedingungen, Parzellennummer (-ID), Landnutzung, Kulturpflanze, Bodenbedeckungsangaben und Bodenbearbeitungsverfahren. Die vier letzten Komponenten sind im Anschluss an die Tabelle ausführlicher beschrieben und illustriert, weil sie für die Untersuchung von besonderem Interesse sind.

4.4.1 LANDNUTZUNGSTYPEN (LAND USE TYPE)

Die Differenzierung der einzelnen Landnutzungstypen ist ein zentrales Element, um Bodendegradierungen feststellen zu können. Die Landnutzungstypen weisen unterschiedliche Eigenschaften auf, welche hemmend oder fördernd auf das Auftreten von Bodendegradierungen wirken. Der Wald, mit seiner durchschnittlich idealen Bodenbedeckung und den wenig beeinflussten Bodenbildungsprozessen, wird oft als Vorzeigesystem genannt, während dessen den intensiv genutzten Ackerbauflächen der Ruf der Bodenzerstörung anhaftet. Ob diese Behauptung zutrifft, ist Teil der Arbeit und wird im Kapitel zu den Resultaten beantwortet.

Tabelle 9: Bereich A des Feldprotokolls, welches die allgemeinen Informationen für jede Parzelle beinhaltet. (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hauert et al. 2008).

Date		Canton		Notes (weather, other distinctions):			
Plot-ID/Nr.		Commune					
Collected by		Slope & landform					
Land use type		Plant/crop type Previous culture		Plant/mulch cover/bare [%]	/ /	Soil management	

wortet. Für das Untersuchungsgebiet konnten zwischen Frühling und Herbst 2008 die Landnutzungskategorien, auch Landnutzungstypen genannt, **Grasland**, **Ackerbau** und **Wald** differenziert und bewertet werden. Natürlich umfasst das Untersuchungsgebiet noch weitere Landnutzungskategorien wie Siedlung, Industrie und Gewerbe, Freizeit und Erholung sowie die Verkehrsinfrastruktur. Diese Nutzungsformen zerstören die Böden aber unwiederbringlich, weshalb sie nicht weiter thematisiert werden. Sie gehören zur Kategorie "Restflächen" (Tabelle 1). Gärten und Grünanlagen werden auch nicht in die Bewertung eingeschlossen, weil diese sich oft in der Nähe der Siedlungen befinden. Die Feldaufenthalte sollten weder aufdringlich, noch sollten die Privatsphären der Anwohner in irgendeiner Form gestört werden. Aus diesem Grund fallen die übrig bleibenden Garten- und Grünlandflächen ebenfalls in die Kategorie der "Restfläche". In der Region Oberrhein bewirtschaften noch immer viele Betriebe eine gemischte Landwirtschaft bestehend aus Ackerbau und Tierhaltung. Gesamthaft ist die Landwirtschaft der Schweiz durch eine ausgewogene Fruchtfolge einschliesslich eines hohen Anteils von temporärem Grasland (Kunstpflanzung mit Gras-Klee-Mischung) charakterisiert. Von den 1'060'000 ha landwirtschaftlichen Nutzflächen der Schweiz sind rund 70.3% von Grünland bedeckt (BFS 2009: 14). In der Landwirtschaft wird bei den Bodennutzungssystemen zwischen den sogenannten **Dauer- und Wechselsystemen** unterschieden. Dies trifft auch auf die Region Oberrhein zu, wobei das Wechsellandsystem dominiert. Dieses System zeichnet sich durch einen ständigen Wechsel der Fruchtfolge aus, wo eine ganze Fruchtfolge in der Regel vier bis sieben Jahre andauert. Innerhalb dieser Fruchtfolge werden verschiedenen Getreidearten, Hackfrüchte oder Sonderkulturen angebaut, worauf oftmals zwei bis drei Jahre Futterbau (Dauergrünland und Feldfutter) als Regenerationsphase folgen. Die Kunstpflanzung wird allgemein als Mutter des Ackerbaus bezeichnet, denn sie gilt als "Gesundungsfrucht" in der Fruchtfolge. Denn dank der Kunstpflanzung werden die Pflanzenschutz-Resistenzen abgebaut, Humusgehalt aufgebaut und die Bodenfruchtbarkeit erhöht sich (Hug et al. 2008: 3 SH). Ein Dauersystem bedeutet Land, das beispielsweise permanent für Gras- und /oder Weideland ausgeschieden wird. Aufgrund der kurzen Beobachtungsperiode zwischen April und November kann für die einzelnen Parzellen nicht klar definiert werden, welche davon als permanent gelten. Zwar wiesen viele mit Gras bewachsene Parzellen, darunter einige mit Nutztieren besetzte, innerhalb der drei Jahreszeiten keine Veränderung (ausser das Mähen und die Düngung) auf, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass auch diese sich in einer Fruchtfolge befinden. Auch marginale und pedologisch ungünstige Parzellen werden oder wurden bewirtschaftet, wie sich aus Gesprächen mit den Bauern herausstellte. Eine Zuordnung zum Dauersystem wird schier unmöglich. Bei Parzellen mit Gras liefert einzig die Gras-Klee-Zusammensetzung einen Anhaltspunkt. **Kunstpflanzungen** enthalten meistens einen hohen Anteil an Weiss- und Rotklee, Luzerne und Perser-/Alexandrinerklee, während **Naturpflanzungen** vor allem durch eine Vielzahl

von Gräser (italienisches Raigras/Wiesenschwingel) und verschiedenen Blumen (Löwenzahn, Hahnenfuss oder Wiesenschaumkraut) charakterisiert werden. Die Luzerne (*Medicago spec.*) gehört unter den Ackerfutterpflanzen zu den ertragreichsten Futterleguminosen in den gemässigten bis subhumiden tropischen Klimabereichen mit Winterniederschlägen. Durch die hohe Ertragsleistung in Verbindung mit hohem Eiweiss- und Mineralstoffgehalt ist die Luzerne allgemein als Grundfutter für eine produktive Rinderhaltung gut geeignet, weshalb sie auch als "Königin der Futterpflanzen" bezeichnet wird (Stocker & Diepenbrock 1999: 132). Vergleicht man die verschiedenen Kulturen, fällt auf, dass Kunstwiesen mit Klee und Gräsern vier bis fünf Mal so viele Feldrückstände in Form von abgestorbenen Halmen und Wurzeln auf dem Feld zurücklassen wie Hackfrüchte oder Getreide. Diese organische Substanz erhöht in leichten Böden die Wasserspeicherkapazität, in schweren hat sie eine lockernde Wirkung. Die stetige, intensive Durchwurzelung hat auch unmittelbaren Einfluss auf die Bodenlebewesen. Suter (2008: 8 SH) beschreibt, dass in Versuchen festgestellt werden konnte,

„dass schon nach einem Jahr Klee-Gras fast doppelt so viele Regenwürmer im Boden zu finden waren wie in herkömmlichem Ackerboden“.



Abbildung 9: Verschiedene Landnutzungstypen wie Grasland (oben links, rechts unten), Ackerbau (oben rechts) und Wald (unten links) (Fotos: Urs Grob).

Die Unterscheidung, ob eine Parzelle als Natur- oder Kunstwiese kategorisiert wird, spielt für die Ausgangslage dieser Arbeit allerdings keine bedeutende Rolle. Sie weisen bezüglich der Bodendegradierung kaum visuell wahrnehmbare Unterschiede auf. Einzig bei maschinellen Belastungen (Düngung und Ernte) und dem Anteil Vieh können Unterschiede auftreten. Die Herausarbeitung von verschiedenen Landnutzungssystemen ist wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit und kann im Abschnitt 7 (Teil 4) nachgelesen werden, weshalb hier nicht weiter darauf eingegangen wird. In der Abbildung 9 sind die drei Landnutzungstypen Grasland, Ackerbauland und Wald abgebildet. Das obere linke Bild zeigt eine Kunstwiese in Fruchtfolge, jenes unten rechts eine Naturwiese. Der Ackerbau wird in diesem Beispiel durch eine Getreideparzelle (oben rechts) repräsentiert. Unten links ist ferner noch eine Waldansicht illustriert.

4.4.2 KULTUR-/NUTZPFLANZEN (CROP/PLANT TYPE)

Weil für die Untersuchung parzellenscharfe Zustandsbewertungen vorgenommen wurden, musste auf jeder Parzelle einzeln die Nutzpflanze bestimmt werden. Generell konnten die Nutzpflanzen ohne grosse Probleme identifiziert werden, solange es sich um Kartoffeln, Zucker- oder Futterrüben, Gras- und Sonderkulturen (Gewürze, Kürbisse, Spargeln, etc.) handelte. Innerhalb der Getreidearten war die Bestimmung schwieriger, da die Nutzpflanzen zum Teil relativ frisch gesät waren oder sie erst zu Keimen begannen. In der Schweizer Landwirtschaft sind folgende Getreidearten oft anzutreffen: Winter- und Sommerweizen, Dinkel (Spelz), Hartweizen, Roggen, Triticale, Winter- und Sommergerste, Hafer und Hirse. Trotz dieser Vielzahl wurde eine möglichst präzise Charakterisierung angestrebt. Verglichen mit der Realität kann die Arbeit durchaus Abweichungen aufweisen. Die Artenzuteilung fundiert auf den Zuordnungen von Stock & Diepenbrock (1999: 7f). In der oberen Reihe der Abbildung 10 sind ein geerntetes Kartoffel- (Hackfrüchte, Wurzel- und Knollenfrüchte), Raps- (Öl- und Faserpflanzen) und Getreidefeld abgebildet. In der mittleren Reihe ist links ein Maisfeld (Ackerfutterpflanzen) und rechts eine Kunstwiese zu sehen. Wie im Abschnitt 4.4.1 schon geschildert, erfüllen die Kunstwiesen wichtige Aufgaben bezüglich der Bodenlebewesen und -regeneration. Weitere Hinweise können dazu in Abschnitt 4.5.3.2 gelesen werden. Darunter, in der untersten Reihe, sind Sonderkulturen wie (links) Kürbisse, Tabak (gross in der Mitte) und (rechts) Kräuter (Ricola-Kräuter) illustriert. Welche Nutzpflanzen, an welchem Standort und unter welchen Umständen sie gesät werden, ist entscheidend für den Boden und dessen Zustand in Hinblick auf die Degradierungen. Denn, die Kulturen besitzen beispielsweise unterschiedliche Bodenbedeckungen (Abschnitt 4.4.3) und werden mit unter



Abbildung 10: Verschiedene Nutzpflanzen. Erklärung von links oben nach unten rechts: Kartoffelfeld, Raps, Getreide, Mais, Tabak, Kunstwiese, Kürbisse, Kräuterbeet (Fotos: Urs Grob).

schiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren (Abschnitt 4.4.4) gesät. Aus diesem Grund wird dieser Zusammenhang in dieser Arbeit weiter verfolgt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Nutzpflanzen unterschiedlich auf den Boden und dessen Eigenschaften einwirken können. Im Sommer ist die Erosionsanfälligkeit von Ackergemüsen, Mais, Rüben und Kartoffeln zum Beispiel erhöht. Zwischenkulturen, welche den Boden permanent bedeckt halten, sind immer öfters anzutreffen.

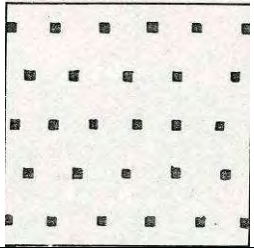
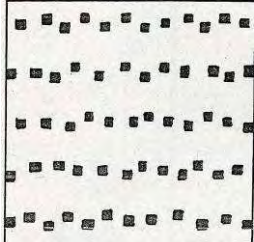
4.4.3 BODENBEDECKUNG (SOIL COVER)

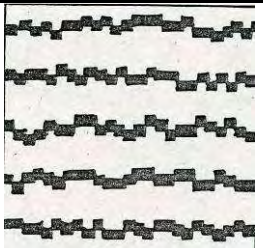
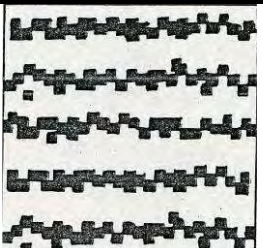
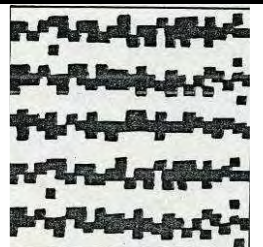
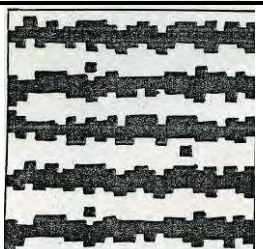
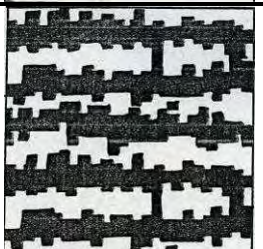
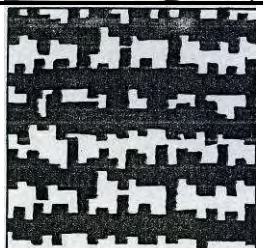
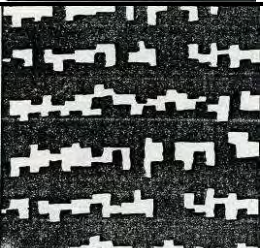
Die Bodenbedeckung spielt bei den Bodendegradierungen eine entscheidende Rolle. Auch Mosimann et al. (1991: 35ff) sehen in ihr einer der wichtigsten Faktoren, die den Boden auf die Bodendegradierung beeinflussen. Flächenhafte Erosionen (Abschnitt 4.5.1.1) von über 2-3 t/ha werden laut Mosimann et al. (ibid.) beispielsweise fast nur bei Bodenbedeckungsgraden kleiner als 20% erreicht. Schon bei einer Bodenbedeckung von 40 bis 50% treten dagegen kaum mehr Bodenerosionen auf. Schon alleine die Prall- und Planschwirkung der Regentropfen (engl.: splash erosion) wird anhand einer geschützten Bodenbedeckung grösstenteils verhindert, weswegen eine ständige Bodenbedeckung der Oberfläche den besten Erosionsschutz bietet. Auch abgestorbenes Pflanzenmaterial, in Form von Mulch,

kann erosionshemmend wirken. Die Bedeckung schützt aber nicht nur vor dem Tropfenaufprall, sie vermindert die Oberflächenabflussgeschwindigkeit, erhöht die Bodenfeuchte an der Oberfläche und fördert die Vertikalporen durch Regenwürmer (Scheffer & Schachtschabel 2002: 423). Damit wirkt sich, wie die Nutzpflanze, die Bodenbedeckung ganzheitlich auf den Boden aus und bildet einen bedeutenden Faktor bei der Bodendegradierung. Für die Untersuchung wurde aus diesem Grund für jede Parzelle geschätzt, wie hoch die Bodenbedeckung durch die Nutzpflanze und den Mulch ist. Ausgehend von diesen kann die offene, also unbedeckte Bodenoberfläche, abgeschätzt werden. Der Wert zur unbedeckten Bodenflächen liefert im Gegenzug eine Beurteilung der Degradierungsform "Beeinträchtigung der Bodenbedeckung" (Abschnitt 4.5.5.1). Die Werte sind in der Tabelle 10 schematisch dargestellt und in fünf Kategorien unterteilt. Wenn der Boden beispielsweise nur mit 5 bis 10% bedeckt ist, bedeutet das, dass eine Beeinträchtigung der Bodenbedeckung in extremem Ausmass resultiert (Tabelle 10). Bei einer Bodenbedeckung von 70% oder höher wird von einem genügenden Pflanzen-Mulch-Schutz ausgegangen. Wie alle anderen Bodendegradierungen des Feldfragebogens ist die Bodenbedeckungsbeeinträchtigung (Ausnahme: Verringerte Wurmaktivität), in die Kategorien extrem, stark, mässig, leicht und keine Degradierungen gegliedert. Die fünf Kategorien werden im Abschnitt 4.5 detaillierter erklärt.

Zu Beginn der Feldarbeiten stand nur das schwarz-weiße Abschätzmuster zur Verfügung. Im Verlauf der Beobachtungen und der "Fotoüberwachung" konnte dieses mit Beispielbildern vervollständigt werden. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung sollte fortan eine möglichst hohe Übereinstimmung bei der Bewertung durch verschiedene Gutachtern gewährleistet sein, da die Bodenbedeckung ein bedeutender Indikator für den Boden darstellt.

Tabelle 10: Methode zum Abschätzen der Bodenbedeckung im Feld (Quelle: Hauert et al. 2008). Vervollständigung der Anleitung mit Bildern aus den Feldbeobachtungen (Fotos: Urs Grob).

Kat.	Pflanzenbedeckung		Beeinträchtigung und Bodenbedeckung [%]	
1	5%			Beeinträchtigung Extrem
	10%			Bodenbedeckung ≤15%

Kat.	Pflanzenbedeckung			Beeinträchtigung und Bodenbedeckung
2	20%			Beeinträchtigung Stark
	25%			Bodenbedeckung >15 - 30%
3	30%			Beeinträchtigung Mässig
	40%			Bodenbedeckung >30 - 50%
4	50%			Beeinträchtigung Leicht
	60%			Bodenbedeckung >50 - 70%
5	70%			Keine Beeinträchtigung Bodenbedeckung >70%

Zu Beginn der Feldarbeiten stand nur das schwarz-weiße Abschätzmuster zur Verfügung. Im Verlauf der Beobachtungen und der "Fotoüberwachung" konnte dieses mit Beispielbildern vervollständigt werden. Mit Hilfe dieser Zusammenstellung sollte fortan eine möglichst hohe Übereinstimmung bei der Bewertung durch verschiedene Gutachtern gewährleistet sein, da die Bodenbedeckung ein bedeutender Indikator für den Boden darstellt.

4.4.4 BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN (SOIL MANAGEMENT)

Im Ackerbau nimmt der Boden als Pflanzenstandort eine wichtige Funktion ein. Damit günstige Wachstumsbedingungen vorherrschen, bedarf es eine auf die Nutzpflanze abgestimmte Bodenbearbeitung. Durch die Bewirtschaftung lassen sich wichtige Größen wie Bodenstruktur und Humusgehalt beeinflussen, wobei der Humus die Stütze eines jeden Bodens ist. Er ist verantwortlich für die Speicherung, Umwandlung und Nachlieferung der Nährstoffe im Boden. Darüber hinaus bildet er die Grundlage der Bodenstruktur (Humushüllen um die Krümel). Unweigerlich wird mit jeder Bodenbearbeitung ein Teil dieses Bodenhumus abgebaut. Dieser Effekt kann sinnvoll sein, da dadurch Nährstoffe freigesetzt werden. Allerdings muss dieser Abbau durch eine Neubildung ausgeglichen werden (Lehmann 2008a: 26, Hoffer 2008: 30, Lehmann 2008b: 28). Die Frage "mit oder ohne Pflug?" steht im Mittelpunkt des Interesses. Eines sei nach Engeler (2009: 22f) bereits vorweggenommen:

„die einzig richtige Lösung gibt es weder mit der einen noch der anderen Mechanisierung. Vielmehr gilt es einen goldenen Mittelweg zu finden, bei dem der Pfluganteil je nach Standort betriebsindividuell zu wählen ist.“

In erster Linie ist das Ziel der Bodenbearbeitung ein optimales Saatbeet für die Folgekultur herzurichten. Die Ansprüche sind aber sehr unterschiedlich, nicht jede Kultur benötigt "Luxusbedingungen". Denn zu feiner Boden verschlämmt (Abschnitt 4.5.3.3) leicht und die dadurch verminderte Wasseraufnahmefähigkeit kann der Kultur schaden und bei heftigen Niederschlagsereignissen zu Erosion führen (Abschnitt 4.5.1). Bei intensiver Bodenbearbeitung, welche mehrmaliges Befahren voraussetzt, kann Bodenverdichtung auftreten, was den Regenwürmern die Arbeit im Boden erschwert. Sie schaffen in einem Kubikmeter guten Ackerbodens bis zu 300 Meter Wurmgänge, was eine fantastische Belüftungs-, Entwässerungs- und Klimaanlage bedeutet. Zudem verdauen sie alle 10 bis 20 Jahre die oberste Bodenschicht komplett, welche damit essentielle Nährstoffe aus dem Boden pflanzenverfügbar machen und die Bodenstruktur stabilisieren (Lehmann 2008b: 28). Bei der Bodenbearbeitung liegt ein Spannungsfeld vor, in welchem der Landwirt möglichst kostengünstig einen gleichmäßigen Pflanzenbestand erstellen möchte und dies möglichst ohne Ertragsmindern-

de Faktoren. Die Gesellschaft wiederum fordert die Erhaltung aller Bodenfunktionen und eine weitgehende Verminderung von Bodendegradierung. Bis vor wenigen Jahren galt der Pflug (Abbildung 11a) als unverzichtbar und war während Jahrhunderten fester Bestandteil des Ackerbaus. Mit dem Pflug als wichtigstes Element im konventionellen Bestellverfahren wird der Boden gewendet und gemischt, die Unkräuter in tiefere Schichten befördert und die Oberfläche für eine störungsfreie Saat vorbereitet (Abbildung 11b, c, d). Langjähriges gleich tiefes Pflügen kann allerdings eine Pflugsohle mit Bodenverdichtung mit sich bringen, was sich negativ auf den Boden und somit auf die Ernte auswirken kann (Engeler 2009: 22f). Die Freude über einen guten Ernteertrag und die Vorfreude auf eine gute Nachkultur lassen sich unter eine Hut bringen, wenn Rücksicht auf den Boden genommen wird. Hierzu sind die Bodenbeschaffenheit, das Maschinengewicht, die Bereifung, der Pneudruck (Abschnitt 4.5.3.1) sowie das Anbauverfahren entscheidend. Es stellt sich generell die Frage, ob auf den Feldern das Verhältnis Gewicht - Bereifung - Bodenzustand übereinstimmt. Bei den sogenannten konservierenden Bestellverfahren wird auf den Pflug verzichtet. In diesem Zusammenhang spricht man auch von Mulchsaat (Abbildung 12b), Minimalbodenbearbeitung



Abbildung 11: Leistungsstarke Traktoren und entsprechend dimensionierte Pflüge (a) erlauben erlauben gemäss Engeler tieferes pflügen, was die Bodenfruchtbarkeit verbessert. Rechts oben (b) frisch gepflügter Boden, in der Mitte (c) intensiv bearbeiteter Boden und unten (d) feine Bodenstruktur (Fotos: links UFA Revue März 2009, rechts Urs Grob).

bis hin zu einer Direktsaat, bei welcher auf jegliche Bodenbearbeitung verzichtet wird (Abbildung 12a). Mit den konservierenden Verfahren versucht man, den Boden möglichst ganzjährig mit Bewuchs oder Mulch bedeckt zu halten, was ein stabiles Bodengefüge ohne tiefe Fahrspuren bedingt (Abbildung 12c, d). Wichtig ist bei dieser Technik, dass die Ernterückstände gleichmässig verteilt sind (Engeler 2009: 22f). Die Neubildung des Humus wird durch das Belassen der Erntereste auf den Feldern, durch Zufuhr von organischen Düngern oder durch die Anlage von Zwischenfuttern und Gründüngungen gefördert. Aus diesen Gründen ist der Boden allgemein weniger empfindlich auf Bodendegradierungen. Der Verzicht auf den Pflug ist auf erosionsgefährdeten Standorten und auf schwer zu bearbeitenden Standorten wie Tonböden sinnvoll. Alles in allem ist das konservierende Verfahren dagegen komplexer und verlangt einen erhöhten Managementaufwand. Es verlangt Erfahrung und Kompetenz hinsichtlich der Fruchtfolgeward, dem optimalen Strohmanagement und der angepassten Unkraut-, Schädlings- und Krankheitsbekämpfung. Insbesondere die Fusarien-Problematik steht bei den konservierenden Verfahren immer wieder im Fokus, da bei der pfluglosen Bodenbearbeitung und besonders bei der Direktsaat durch die Mulchbedeckung



Abbildung 12: Sämmaschine und Eigenschaften der konservierenden Bestellverfahren. Bild (a) zeigt ein fast lückenlos bedecktes Feld mit den typischen Direktsaatschlitzten, (c) Getreide nach Mais durch Mulchsaat, (b) eine entsprechende Sämmaschine. Im Bild (d) sind merklich viele Regenwurmhaufen im Maisfeld (Fotos: Sämmaschine UFA Revue März 2009, alle anderen Urs Grob).

der Befall mit Fusarien-Pilzen gefördert werden kann. Nichts desto trotz ist die höhere Tragfähigkeit der Böden durch stabile Krümel ein wesentlicher Vorteil des pfluglosen Verfahrens (ibid.). Böden, wie in Abbildung 12, mit optimalen Strukturen und Regenwurmaktivität sind die beste Vorbeugung vor Verdichtung und Erosion, weil das Wasser leichter in den Boden infiltrieren kann. Mehr Informationen zur Direktsaat sind unter Abschnitt 4.7 zu lesen.

In der Untersuchung sind die Bodenbearbeitungstechniken in die Kategorien Bearbeitung nicht bekannt/keine Bearbeitung, Direktsaat, nicht-wendend extensiv, nicht-wendend intensiv, wendend-extensiv und wendend-intensiv unterteilt. Alle Kategorien, ausser nicht-wendend extensiv, konnten während der Feldarbeit aufgezeichnet werden. Die Kategorie Bearbeitung nicht bekannt/keine Bearbeitung wurde zu Beginn der Feldarbeit zusätzlich eingeführt. In diese Kategorie sind alle Parzellen eingeteilt, bei welchen die Bearbeitung nicht bekannt, respektive im Moment keine Bodenbearbeitung stattfindet. Die Direktsaat ist meistens einfach durch die markanten Direktsaatschlitze, eine erhöhte Bodenbedeckung und den pfluglosen Parzellenrand zu identifizieren, während die wendenden Verfahren einen typischen Pflugrand und -horizont aufweisen und unmittelbar nach der Bearbeitung kaum Bodenbedeckung aufweisen. Dazwischen stehen die nicht-wendenden Techniken, welche sich durch eine Minimalbearbeitung kennzeichnen. Mittels des Fünfliber-Tests kann auf dem Feld zwischen einer extensiven und intensiven Vorbereitung des Saatbeets unterschieden werden. Wenn in einem Rechteck (40x60 cm) mehr als 20 Erdschollen grösser als ein Fünfliber sind, so ist die Parzelle extensiv bearbeitet. Wenn kaum Schollen, die grösser als ein Fünfliber sind, gesichtet werden, herrscht eine intensive Bodenbearbeitung vor (Anken et al. 2000). Die Anwendbarkeit dieser Erkennungstechnik wird nach einem langandauernden oder heftigen Niederschlagsereignis allerdings schwierig.

4.5 BEREICH B - BODENDEGRADIERUNGEN

Im Abschnitt 4.5 wird das Protokoll zu den Bodendegradierungen (Tabelle 11) ausführlich erläutert und mit Bildern illustriert. Für die Degradierungskategorien stehen gemäss dem WOCAT/LADA QM (Liniger et al. 2008: E8f) vier Härte- oder Schweregrade (Degree) und dessen Flächenumfang (Extent) zur Unterscheidung parat. Die Schweregrade sind in ihrem Ausmass aufsteigend in leicht, mässig, stark und extrem unterteilt. Für den weiteren Verlauf der Arbeit wird für den Schweregrad der Begriff Ausmass gebraucht. In Handbuch (ibid.) werden die vier Kategorien folgendermassen definiert:

Leicht: Es gibt einige Degradierungsanzeichen, aber der Degradierungsprozess befindet sich noch in der Anfangsphase. Die Degradierung kann leicht gestoppt werden und Schäden sind durch kleinere Anstrengungen zu beheben.

Mässig: Degradierungen sind offensichtlich, aber die Beherrschung und die vollständige Rehabilitierung des Bodens sind mit erheblichen Anstrengungen nach wie vor möglich.

Stark: Deutliche Anzeichen der Degradierung. Änderungen der Bodeneigenschaften und -struktur sind signifikant und äusserst schwierig innerhalb einer angemessenen Frist wiederherzustellen.

Extrem: Degradierung reicht über eine Wiederherstellung hinaus.

Bei der Verwendung dieser vier Kategorien, vor allem bei extrem, ist Vorsicht geboten. Betrachtet man den Indikator der Verminderten Bodenbedeckung für ein frisch intensiv gepflegtes Feld, wird auf Grund der fehlenden Bodenbedeckung der Wert extrem ($<15\%$) eingesetzt. Zwar ist der aktuelle Zustand der Bodenbedeckung schlecht, jedoch wird sich dieser im Verlauf der Zeit verbessern, wenn die Nutzpflanze zu keimen beginnt. Dieser Zustand ist daher nicht unumkehrbar. Zu diesem Zeitpunkt ist diese Parzelle aber anfälliger für andere Degradierungen wie z.B. Erosion oder Verschlammung. Für jede identifizierte Degradierung soll zusätzlich der Umfang abgeschätzt werden. Beim Umfang handelt es sich um den von der Degradierung betroffenen prozentualen Gesamtflächenanteil jeder Parzelle. Somit kann beispielsweise aufgezeigt werden, wie viel Grasland und Ackerbauland innerhalb des Untersuchungsgebiets von der Bodenverdichtung betroffen ist. Für den Umfang werden insgesamt elf Kategorien verwendet. Wenn keine Degradierung eintritt, wird logischerweise kein Umfang (0%) notiert. Umgekehrt, wenn eine Degradierung beobachtet wird, kann zwischen den Umfängen $<10\%$, 10-20%, ..., 90-100% differenziert werden. Die Tabelle 11 illustriert die Indikatoren zu den Bodendegradierungen, welche in verschiedenen Gruppen (braune Schraffur) unterteilt sind. Diese werden im Anschluss an die Tabelle einzeln näher beschrieben. In der obersten Hauptkategorie (O) kann zu Beginn der Bewertung festgelegt werden, ob auf der Parzelle überhaupt Degradierungen beobachtbar sind. Ob eine oder mehrere Bodendegradierungen auftreten, wird in der ersten Spalte (graue Schraffur) mit "Yes" festgehalten. Wenn keine Degradierungsformen zu bewerten sind, wird in der zweiten Spalte (dunkelgraue Schraffur) ein "No" eingesetzt. Wenn keine Degradierungen sichtbar sind, kann direkt zu Bereich D übergegangen werden, da es dann auch keine Ursachen (Bereich C) zu verzeichnen gibt. Treten Degradierungsformen auf, so sind beide Bereiche (B & C) akribisch abzuarbeiten. Seit der Mensch Ackerbau betreibt, greift er stark

Tabelle 11: Das Feldformular enthält die visuell im Feld registrierten Bodendegradierungsformen. In der Spalte "Y" oder "No" wird festgehalten, ob Bodendegradierungsformen auftreten oder nicht, rechts davon befinden sich die Angaben zum Ausmass und Umfang der Degradierungen (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hauert et al. 2008).

Land degradation (state indicators)

Indicator / Type		Exists	No occurrences	Absolute value	Extent [% of area] with Degree (category 1-4)			
	Name:	Y	No	e.g. [t/ha] / #	Light	Moderate	Strong	Extreme
O	No degradation							
On								
W	Soil erosion by water							
Wt	Loss of topsoil /surface erosion							
Wg	Gully erosion / gullying [From the depth of 50 cm]							
Wm	Mass movements / landslides							
C	Chemical soil deterioration							
Cn	Fertility decline/reduced soil org.matter							
P	Physical soil deterioration							
Pc	Compaction							
>Pc1	Soil structure: <i>soggy</i> [durchnässt]							
>Pc2	Bearing capacity of soil [Boden- tragfähigkeit] <i>pulverized</i>							
Pk	Sealing and crusting							
Pw	Waterlogging							
H	Water degradation							
Ha	soil moisture loss (aridification)							
B	Biological degradation							
Bc	Reduction of ground cover							
Bl	Loss of soil life (earth worms)			Light 20-50%:	Moderate 5-20%:		Strong <5%:	
Bp	Pest / disease			Species:				#/m.²
OT	Other categories							
OTo	Other (specify) observations:							
Wo	Offsite degradation effects							
Wog	Accumulation on grassland							
Woc	Accumulation on cropland							
Woe	Impact on ecological comp. areas							
Wod	Pollution of drainage channels							
Wow	Pollution of open water bodies							
Woi	Accumulation on roads/infrastr.							
Wor	Triggering degradation downslope							

in das Bodensystem ein. Die heutige Landwirtschaftung kann durch einseitige Fruchtfolgen, zu hohe Bodenbelastung durch starke Mechanisierung, Rationalisierungsmassnahmen und zu wenig angepassten Ackerbau (ungünstige Bodenverhältnisse oder Hanglagen) den Boden durch zu starke Erosion langfristig zerstören und die Umwelt belasten. In den folgenden Abschnitten sollen die Indikatoren bezüglich der Bodendegradierung gemäss der Gliederung des Feldprotokolls erklärt werden.

4.5.1 BODENEROSION DURCH WASSER (SOIL EROSION BY WATER)

Im Grunde ist die Erosion ein natürlicher Prozess, welcher die Erdoberfläche durch Verwitterung gestaltet. Im Zusammenhang der Bodenerosion spricht man vom durch die menschl-

che Bewirtschaftung ausgelöste, über das natürliche Ausmass hinausgehende Abtrags des Bodens durch Wasser oder Wind. „Ackerland löst sich in Luft auf“ oder „Jährlich 840'000 t Boden bachab“ sind schlagkräftige Titel, mit welchen die Gratiszeitung News (2009: 17) und Roggli (2009: 36f) im Jahr 2009 auf das Erosionsproblem auffällig machen. Gemäss den Modellrechnungen gehen in der Schweiz 2.1 t/ha Ackerland pro Jahr verloren. Das entspricht einem Fussballfeld mit einer 100 Meter hohen Erdschicht darauf (Roggli 2009: 36f). Die Kategorie Bodenerosion, die durch den Einfluss von Wasser ausgelöst wird, ist in dieser Untersuchung durch die Indikatoren flächenhafte Bodenerosion (loss of topsoil/surface erosion), linienhafte Rillen- und Rinnenerosion (gully erosion/gullying) sowie die Hangrutschungen (mass movements/landslides) vertreten. Weil die Indikatoren der Küsten- und Flussufererosion im Untersuchungsgebiet nicht vorhanden sind, wurden sie nicht ins Protokoll aufgenommen. Restlos ausgelassen wird die Erosion durch Wind. Zwar transportiert auch der Wind Feinerdepartikel, doch ist die Erosion durch Wind in der Schweiz kaum bekannt. Bei der Winderosion werden Teilchen von 0.1 bis 0.5 mm Grösse (Fein- und Mittelsand) verfrachtet, feinere Partikel (Silt und Ton) haften dagegen zusammen und bilden grössere, für den Windtransport zu schwere Aggregate. Ackerbaulich genutzten Böden der Schweiz sind oft lehmig, weshalb die Winderosion weitgehend unwirksam bleibt. Für umfangreiche Windverfrachtungen sind zudem spärlicher Bewuchs, trockene Oberflächen und eine Windgeschwindigkeit von mindestens 3 bis 4 m/s vorausgesetzt. In der Schweiz sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten allerdings zu niedrig (Mosimann et al. 1991: 45). Bei den Bodenerosionen auf Ackerflächen in der Schweiz herrschen grosse räumliche und zeitliche Variationen, die Bodenerosion ist sehr ungleichmässig verbreitet. Sie variiert von Schlag zu Schlag viel mehr als beispielsweise im Vergleich verschiedener Regionen. Außerdem schwankt sie in ihrem Ausmass auch zeitlich stark. Prinzipiell findet die Bodenerosion in allen Jahreszeiten statt. Oftmals häuft sie sich jedoch in einzelnen Perioden und unterscheidet sich im Winter und Sommer teilweise in ihrem Prozessgeschehen. Nach Mosimann et al. (1991: 27f) lösen folgende Bedingungen Bodenerosion im Winter und Frühfrühling aus:

- Lange Nässephasen mit ergiebigen, manchmal mehrfach aufeinanderfolgenden, länger andauernden Niederschlägen,
- einzelne, ergiebige Regenfälle auf gefrorenen Boden und
- rasche Schneeschmelze (über gefrorenem Boden).

Am häufigsten sind Bodenerosionen im Februar und März zu beobachten. Im Spätfrühling, Sommer und Frühherbst wird die Bodenerosion hauptsächlich durch Gewitter verursacht. Im April bis Juni und nach der Ernte im August oder September entstehen die grössten Schä-

den. Bei extremen Gewittern können die Abtragsmengen sehr gross sein. Nach Mosimann et al. (1991: 28) fällt die Bodenerosion im Sommer wegen der riesigen Materialumlagerungen bei starken Gewittern in der Gesamtbilanz des Abtrags stärker ins Gewicht als die Bodenerosion im Winter. Für die vorliegende Untersuchung stehen die flächenhafte und die linienhafte Bodenerosion im Vordergrund. Mosimann et al. (ibid.) gehen davon aus, dass die flächenhafte Erosion weiter verbreitet ist als die linienhafte Bodenerosion (nur 1/5 bis 1/3 der Formen weist neben der Flächenspülung auch Rillen und Rinnen auf). In der Realität treten die lineare und flächenhafte Erosion häufig gemeinsam auf. Prasuhn & Fischler (2007: 37ff) verfassten ein Merkblatt, mit welchem sich die Erosionsformen anhand vier Kategorien in leichte, mässig, starke und extreme Schäden unterteilen lassen. Diese Methodik wird im Abschnitt 4.5.1.2 erläutert und anhand von Bildern illustriert. Die Bilder sollen helfen, das Ausmass der aktuellen Bodenerosionen zu kategorisieren und einzustufen.

4.5.1.1 FLÄCHENHAFTE UND LINIENHAFTE BODENEROSION

Im Feld ist die flächenhafte Erosion deutlich an einer verschlammten Bodenoberflächen mit Fliessspuren von Wasser, kleinräumigen Verlagerungen von Bodenteilchen oder vielen kleinen Rillen (bis 2 cm Tiefe) erkennbar. Die linienhafte Bodenerosion wird durch sogenannte Rillen und Rinnen charakterisiert. Rillen (engl.: interrill) treten ab einer minimalen Tiefe von 2 bis 10 cm, Rinnenerosion (engl.: rill) über 10 bis 45 cm auf. Selten können Grabenerosionen (engl.: gully; Abschnitt 4.5.1.3), welche ab einer Tiefe von über 45 cm definiert sind, auftreten (Fischler & Prasuhn 2007: 38ff).

4.5.1.2 KATEGORIEN NACH PRASUHN UND FISCHLER

Der folgende Abschnitt liefert wie erwähnt detaillierte Informationen und Bilder (Abbildungen 13 bis 16) aus dem Merkblatt von Prasuhn & Fischler (ibid.) und dem Picasaweb-Album zur Erosion auf Ackerland (Volker Prasuhn 31.7.2009; <http://picasaweb.google.com/VolkerPrasuhn>).

Leicht: Abtrag unter 2 t/ha pro Niederschlagsereignis

Allgemeine Informationen und Merkmale:

- Ausschliesslich flächenhafte Erosion ohne Rillen auf gesamter Parzelle oder Teilfläche
- Lokale Erosionsschäden mittlerer Grösse mit kleinem Flächenanteil (z.B. Vorgewende
- Einzelne kleine bis mittlere Rillen (z.B. durch Fremdwasser, Ackerrandfurchen, Fahrspuren, Anhauptfurchen
- Einzelne Rillen auf grossen Parzellen

- Kombination von flächenhafter und linearer Erosion auf kleinem Flächenanteil der Parzelle (z.B. Vorgewende)



Abbildung 13: Beispielbilder der Kategorie "leicht". Links flächenhafte Erosion in einer Brache (Maisstoppeln) und rechts einzelne Rille in Anhaupfurche eines Winterweizensaatbeets (Fotos Prasuhn und Fischler 2007).

Mässig: Abtrag von 2 bis 4 t/ha pro Niederschlagsereignis

Allgemeine Informationen und Merkmale:

- Kombination von flächenhafter Erosion und mehreren Rillen
- Mehrere Rillen (z.B. in Fahrspuren, Furchen, Mulden)
- Einzelne Rinne auf grosser Parzelle



Abbildung 14: Beispielbilder der Kategorie "mässig". Links flächenhafte Erosion in Rillen auf Teilfläche (Winterweizensaatbeet nach Mais) und rechts breite Rinne in Mulde/Senke eines Gerstenfeldes (Fotos: links Prasuhn und Fischler 2007, rechts Urs Grob).

Stark: Abtrag von mehr als 4 bis 10 t/ha pro Niederschlagsereignis

Allgemeine Informationen und Merkmale:

- Flächenhaft-lineare Erosion auf ganzer Parzelle
- Netzwerk von Rillen auf Teilflächen
- Grosse Einzelformen (Rinnen, Talwege) auf kleinen Parzellen



Abbildung 15: Beispielbilder der Kategorie "stark". Links breite Rinne in Mulde und flächenhafte Erosion (Mais) und rechts Netzwerk von Rillen und flächenhafte Erosion im Winterweizen (Fotos: Prasuhn und Fischler 2007).

Extrem: Abtrag über 10 t/ha pro Niederschlagsereignis

Allgemeine Informationen und Merkmale:

- Spektakuläre Einzelformen
- Flächenhaftes Netzwerk vom Rillen
- Kombination von Rillen, Rinnen und flächenhafter Erosion



Abbildung 16: Beispielbilder der Kategorie "extrem". Links flächenhaftes Netzwerk von Rillen (Winterweizen) und rechts zahlreiche Rillen, Rinnen und flächenhafte Erosion im Kartoffelfeld (Fotos: Prasuhn und Fischler 2007).

Nach Mosimann et al. (1991: 40) erreicht der Bodenabtrag im schweizerischen Mittelland vornehmlich dort hohe Werte, wo mehrere Gefährdungsfaktoren kumulierend zusammenwirken und/oder keine ausreichend angepasste Bewirtschaftung stattfindet. Die wichtigsten Gefährdungsfaktoren sind dabei in der Reihenfolge ihrer Bedeutung:

1. Leitlinien im Relief, Wasserzufluss, Fruchtfolgen mit hohem Hackfruchtanteil (Mai, Rüben, Kartoffeln),
2. Grosse Schläge und Hanglängen, starke mechanische Beanspruchung des Bodens, Hangneigung und Bearbeitung in Falllinie,
3. Bodeneigenschaften (Körnung, Gefüge, Humusgehalt und Durchlässigkeit)“

4.5.1.3 GRABENEROSION UND HANGRUTSCHUNGEN

Die sogenannten Grabenerosionen und Hangrutschungen (Abbildung 17) sind im schweizerischen Ackerland rar. Während der Feldarbeit konnte nie eine Grabenerosion mit einer Tiefe von 45 cm beobachtet werden. In einer Weideparzelle in Melchnau konnte etwas Ähnliches wie eine Hangrutschung (Abbildung 17 rechts) entdeckt werden. Ihre räumliche Ausdehnung war aber nur klein (ca. 3x3 m). Diese Erscheinungsform in Melchnau ist kaum zu vergleichen mit jenen aus dem Alpenraum, die einer Massenbewegung gleichen. Aufgrund dem beschränkten Einfluss und geringen Auftreten im Untersuchungsgebiet sind keine weiteren Erklärungsansätze ausgeführt. Mosimann et al. (1991: 29) fügen in ihrem Bericht an, dass Rutschungen und kleine Murgänge auf Äckern kaum vorkommen.



Abbildung 17: Grabenerosion (rechts) mit erheblicher Einschnitttiefe und kleine Hangrutschung (links) in Melchnau (Fotos: links 31.07.2009; <http://ag.arizona.edu/watershedsteward/resources/module/Soil/soils-watermgmt-pg4.htm>, rechts Urs Grob).

4.5.2 CHEMISCHE BODENSCHÄDIGUNG (CHEMICAL SOIL DETERIORATION)

In der Literatur wird die chemische Bodendegradierung durch die Verarmung des Bodens an Nährstoffen oder die Anreicherung von Salzen und toxischen Elementen gekennzeichnet. Der Nährstoffentzug oder die Auswaschung von Nährstoffen ohne entsprechenden Ersatz führt zur Verarmung des Bodens, während übermässiges Düngen und Ausbringen von Herbiziden und Pestiziden sowie ungeeignetes Boden- und Bewässerungsmanagement und die Anreicherung von Schadstoffen und Abfällen zur Kontaminierung des Bodens beitragen (Heiniger & Herweg 1994: 21ff). Die Auswirkungen sind leider oft nicht oder nur in Ansätzen bekannt. In der Schweiz ist das Thema bezüglich des Hofdüngers, insbesondere der Zeitpunkt des Gülleaustrags (Ammoniakverflüchtigungen, Gewässerbelastungen, etc.) und der Bodenzustand, aktuell (Abschnitt 4.7). Bei dieser Untersuchung wird nur auf den Indikator

Rückgang der Fruchtbarkeit/reduzierte organische Substanz (fertility decline/reduced organic matter content) eingegangen. Die anderen Indikatoren wie Versauerung, Bodenverschmutzung und Versalzung/Alkalisierung werden nicht näher fokussiert.

4.5.2.1 FRUCHTBARKEITSABNAHME

Die chemische Bodendegradierung, speziell die Fruchtbarkeitsabnahme in Form von reduzierter organischer Substanz, ist im Grunde kaum über visuelle Merkmale beurteilbar. Mittels unterschiedlichen Bodenfarben (hell oder dunkel) kann die Bodenfruchtbarkeit zwar abgeschätzt werden, für eine Bewertung ist diese Methodik aber ungenügend. Dieser Indikator war bei der Untersuchung daher nur ansatzweise bewertbar und lehnte sich stark an die Erosion durch Wasser an. Es wurde angenommen, dass Bodenerosionsformen immer auch eine Minderung der Bodenfruchtbarkeit bedeuteten. Dieser Indikator erwies sich im Verlauf der Feldbeobachtung als zu unsicher und wurde aus diesem Grund nicht in den Resultaten verarbeitet. Um genaue Aussagen generieren zu können, sind umfangreiche Laboranalysen unumgänglich und daher nicht geeignet für diese Untersuchung. Lückenhafte Pflanzenbedeckungen können weiteren Aufschluss auf eine reduzierte Bodenfruchtbarkeit hindeuten, allerdings ist auch dieses Merkmal ziemlich unsicher (Abbildung 18 links). Bei unterentwickelten Pflanzen, die Verfärbungen an Blättern aufweisen, kann unter Umständen auch von einer Störung im Boden ausgegangen werden. Dies sind aber nur Annahmen, denn der Einfluss der Topographie, Sonneneinstrahlung und die Bodeneigenschaften spielen eine weitere Rolle, die Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit haben. Rechts in der Abbildung 18 sind einige Rapsblätter mit weißen und gelben Ringen, was durchaus auf einen möglichen Nährstoffmangel/-verlust hinweisen kann. Es könnte sich aber auch um einen sogenannten Clomazomschaden handeln. Bei den gelben Aufhellungen handelt es sich nach Spuhler (2009: 16) meist um die vom Wirkstoff Clomazome verursachten Herbizidschäden und gehört daher in den Abschnitt Schädlinge und Krankheiten (4.5.5.3).



Abbildung 18: Rapsfeld mit lückenhafter Pflanzenbedeckung (links) und Verfärbungen von Blättern als mögliche Indikatoren zur reduzierten Bodenfruchtbarkeit (rechts) (Fotos: Urs Grob).

4.5.3 PHYSIKALISCHE BODENSCHÄDIGUNG (PHYSICAL SOIL DETERIORATION)

Unter die physikalisch-mechanischen Bodenbelastungen zählen vorwiegend die Bodenerosion und die Bodenverdichtung. In diesem Abschnitt liegt das Hauptaugenmerk auf der Bodenverdichtung (engl.: compaction), welche als Folge auch Einfluss auf die Erosionsbildung ausübt. Weiter gilt den Indikatoren Bodenstruktur und -tragfähigkeit (engl.: soil structure and bearing capacity of soil), Verschlämmung und Krustenbildung (engl.: sealing and crusting) sowie Staunässe (engl.: waterlogging) das Interesse. Indikatoren wie "subsidence of organic soils/settling of soil" und "loss of bio-productive function due to other activities" (Liniger et al. 2008) sind nicht im Feldformular enthalten. Wie im Abschnitt 4.4.4 erörtert geht es bei der Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft primär um die Lockerung des Bodengefüges durch Aufbrechen des Aggregatverbundes (Pflug, Grubber, Spatenmaschine) oder Zerkleinerung der Aggregate selbst (zapfwellengetriebene Fräsen und Eggen). Durch die Bearbeitung werden die Vorbelastung und die Scherfestigkeit des Bodens stark herabgesetzt, das heisst, der Boden wird in einen weniger tragfähigen Zustand überführt. Weitere Belastungen durch das Befahren mit schweren Maschinen fördert die Verdichtung und Homogenisierung der Bodenstruktur zusätzlich. Traktoren und Fahrzeuge werden immer leistungsstärker, aber auch schwerer. Mosimann et al. (2003: 4) schätzen, dass die mittleren Achslasten der heute eingesetzten Maschinen rund 40% höher sind als vor 10 Jahren. Die Achslast des schwersten eingesetzten Gerätes (Mittelwert in Kilogramm) im Kanton Basel-Landschaft erhöhte sich beispielsweise von 5'180 (1992) auf 7'400 (2002). So steigt beim Befahren der Druck auf den Boden, es gilt daher: Jede Überfahrt verursacht Bodenverdichtung. Eine der Folge der hohen Achslast ist die Verdichtung, die das Pflanzenwachstum stört, den Luftaustausch im Boden beeinträchtigt und das Wasseraufnahmevermögen reduziert (Stettler & Thüer 2009: 25). Ein Verdichtungsverfahren findet also statt, wenn die Teilchen der Bodensubstanz näher zusammenrücken. Das heisst, wenn ein Boden verdichtet wird, verringert sich das Bodenholraumvolumen. Grundsätzlich werden dabei die bodenphysikalischen Eigenschaften wie Bodenstruktur, Aggregatstabilität, Porosität und Durchlässigkeit beeinträchtigt. Hierbei spielt das Bodengefüge in ihrer Form und Funktion, die Bodentragfähigkeit und Bodenstruktur (Bodenfeuchtezustand) eine zentrale Rolle. Wie stark der Boden beeinträchtigt wird, hängt schlussendlich stark von den Bodeneigenschaften, der Bodenfeuchte und der Befahrungs- und Bearbeitungsintensität (Bodenmanagement) ab.

4.5.3.1 BODENVERDICHUNG

Bei der Bodenverdichtung sind in besonderem Mass die Grobporen, sowohl in ihrem Volumen als auch in ihrer Kontinuität ("Durchlässigkeit"), betroffen. Ein reduziertes Grobporenvo-

lumen macht sich nach Mosimann et al. (1991: 41ff) namentlich bei feuchten Verhältnissen (Abbildung 19a, c) ungünstig bemerkbar. Die Folgen der Bodenverdichtung können sich schliesslich erheblich auf die Pflanzenentwicklung auswirken. Dabei wirken sich vor allem die Erhöhung des Eindringwiderstandes und das reduzierte Grobporenvolumen ungünstig auf das Pflanzenwachstum aus. Ein erhöhter Eindringwiderstand behindert die Wurzelentwicklung der Pflanzen sowohl bei feuchten als auch bei trockenen Standortbedingungen. Dadurch wird der für die Pflanze erschliessbare Wurzelraum eingeschränkt und vermindert damit die Verfügbarkeit von Nährstoffen und Wasser (ibid.). Bei gestörtem Pflanzenwachstum und Bodenbedeckung und verringerter Sickerkapazität kann pro Zeiteinheit weniger Niederschlagswasser in den Boden infiltrieren. Die Folgen:

- das Wasser fliesst häufiger an der Oberfläche ab, was das Risiko von oberflächlichem Wasserabfluss erhöht,
- das oberflächlich abfliessende Wasservolumen wird grösser, wodurch die Transportkraft des Wassers zunimmt,
- was das Erosionsrisiko erhöht, denn das abfliessende Wasser bildet einen wichtigen Faktor im Abtragungsprozess.

Nebst flächenhaften entstehen im Ackerbau oftmals linienhafte Verdichtungen in Fahrspuren (Abbildung 19b, c). In diesen Verdichtungsspuren kann sich das Niederschlagswasser konzentriert und führt zu Erosionsrillen und -rinnen (Abbildung 19d). Ein Hauptgrund für Bodenverdichtung sind hohe Radlasten und hohe Reifendrücke. Auf der Strasse ist der Landwirt auf hohe Reifendrücke angewiesen, um ein leichter Lauf zu erreichen. Im Feld sollte die Bodenschonung an erster Stelle stehen, was tiefe Reifendrücke (< 1 bar) erfordert. Heutzutage werden daher immer mehr Reifenregler eingesetzt, welche neben der Bodenschonung auch zu Einsparungen beim Dieserverbrauch, Feldarbeitszeit (Zeiteinsparung bis 5%) und Reifenabnutzung (Reifen statt 3'500 bis 5'000 h befahrbar) führen (Stettler & Thüer 2009: 22f). Durch angepassten Reifendruck kann der Schlupf bei Zugarbeit bei gleichem Zugkraftbedarf halbiert werden, was den Dieserverbrauch massiv senkt. Nach Weber (2008: 26f) bedeutet jeder Zentimeter Spurtiefe im Dieserverbrauch eine ständige Bergauffahrt von 1% Steigung. Aus diesem Grund lautet die Devise: minimaler Reifendruck – Diesel sparen – Bodenschonen. Wie sich unterschiedliche Reifendrücke in der Tiefe des Bodens ausbreiten, zeigt die Abbildung 20. Um keine nachhaltigen Fahrspuren mit landwirtschaftlichen Maschinen zu hinterlassen, sollten die Reifendrücke minimiert werden. Für die Untersuchung waren vor allem Verdichtungen in den Fahrspuren interessant. Diese waren hauptsächlich im gesamten Ackerbauland wie Getreide, Mais, etc. zu beobachten. Aber auch im Grasland (Ab-



Abbildung 19: Visuelle Wahrnehmung der Bodenverdichtung. Bodenbearbeitung auf feuchter Stelle im Rapsfeld (a), Fahrspuren in Kunstwiese (b), Fahrspuren auf Getreide (c), Erosion im Vorgewände (d), wo das Wasser in Fahrspuren hangabwärts fließt (Fotos: Urs Grob).

bildung 19b) waren manchmal deutliche Spuren erkennbar, welche zu Verdichtung führen können. Eine spezielle Form von Verdichtungen ist auf Weidflächen wahrzunehmen. Die Tritte von Rindern, Kühen, Pferden und sogar Ziegen sowie Schafen können Verdichtung herbeiführen. Die Tiefe und Ausdehnung der Verdichtung (Abbildung 19) konnte mit der angewandten Sackmesser methode nicht analysiert werden. Allerdings konnte unter gleichem Kraftaufwand die Messerspitze bei einem gesunden Boden leichter eingeführt werden als bei einem verdichteten. Ob der Test unmittelbar auf der Fahrspur oder einen Meter von der Spur angewendet wurde, zeigte einen deutlichen Unterschied. Die Struktur der Böden spielt in diesem Zusammenhang auch eine entscheidende Rolle. Strukturschwache Böden setzten sich aus einem hohen Anteil von Schluff und Ton zusammen, dazu gehören auch die Böden des Schweizer Mittellandes. Die Böden in der Region Oberrhein sind daher Verdichtungsgefährdet. Direkt gesäte Parzellen weisen im Vergleich zu gepflügten Feldern generell bessere Bodenstrukturen und -tragfähigkeiten auf. Dazu aber mehr im nächsten Kapitel.

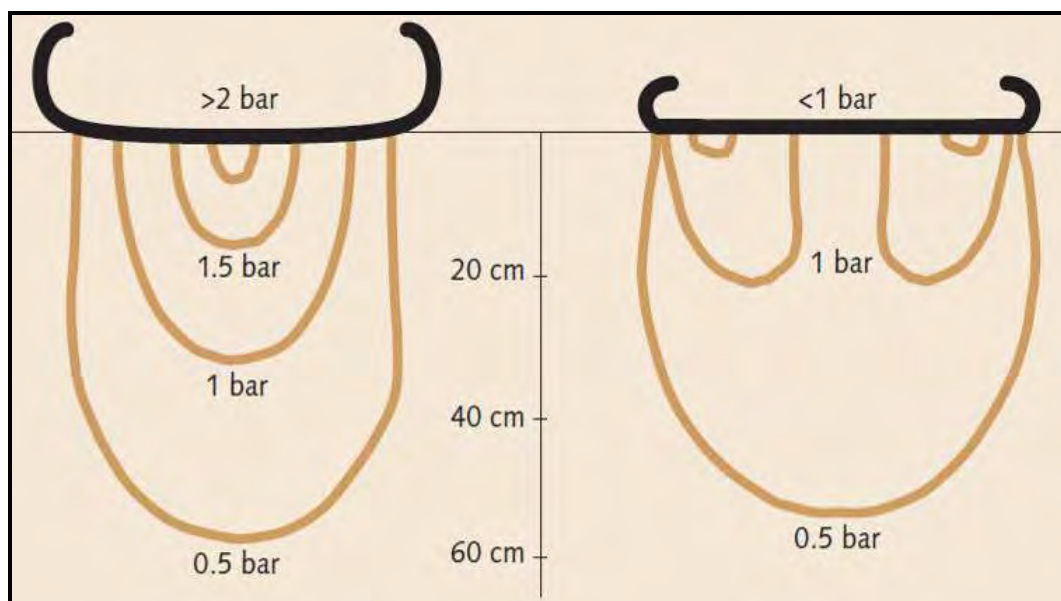


Abbildung 20: Schematische Bodendruckzweifel unter einem Breitreifen mit 4 Tonnen Radlast. Links mit hohem Reifendruck, rechts mit tiefem Reifendruck (Quelle: Stettler und Thüer 2009).

4.5.3.2 BODENSTRUKTUR UND -TRAGFÄHIGKEIT

Der Indikator zur Bodenstruktur und -tragfähigkeit wurde nach den ersten Testversuchen im Feld und dem Feldkurs in Murist (April 2008) zusätzlich in den Feldfragebogen aufgenommen. Im originalen WOCAT/LADA QM ist er nicht zu finden. Mehrfach konnte auf verschiedenen Parzellen keine Degradierungsformen wie Verschlämmung und Krustenbildung oder Verdichtung nachgewiesen werden, und dennoch stellten sich diese Böden als beeinträchtigt heraus. Der Grund liegt in deren degradierten Bodenstruktur. Ist die Rede von einer schlechten Bodenstruktur, denkt man an harte verdichtete Böden. Dass dies nicht unbedingt so sein muss, zeigt die Struktur von direkt gesäten Böden oder Kunst- und Naturwiesen, wo die Strukturbedingungen oftmals besser sind als auf konventionell befahrenen Parzellen. Eine Verschlechterung der Bodenstruktur wird oft durch starke Intensivierung der maschinellen Bewirtschaftung (schwere Maschinen, häufiges Befahren, durch Rationalisierung erzwungene Bodenbearbeitung, zu ungünstige Zeitpunkte) und teilweise zu niedrigen Humusgehalte hervorgerufen (Mosimann et al. 1991: 16). Für die ackerbauliche Bodennutzung ist es wichtig, ein möglichst optimales Bodengefüge respektive eine optimale Krümelstruktur zu erreichen. Die Krümel bilden eine der wichtigsten Funktionen innerhalb dieses Indikators. Nach Suter (2008: 8f; SH) spricht man von Krümeln bei verhältnismässig locker zusammengesetzten porösen Bodenaggregaten des Oberbodens mit einer Grösse zwischen 1 bis 10 mm. Die Stabilität dieser Krümel begünstigt unmittelbar die Bodeneigenschaften wie die Wasser- und Luftkapazität, die Wasser – und Luftdurchlässigkeit sowie die Durchwurzelbarkeit. Stabile Krümel sind daher das Fundament einer guten Bodenstruktur. Demzufolge ist

verständlich, dass eine hohe Stabilität der Krümel der Bodenverschlämmung und -erosion vorbeugen kann. Untersuchungen haben laut Suter (ibid.) weiter gezeigt, dass die Stabilität der Bodenkrümel durch das Bepflanzen einer Kunstwiese (Abbildung 21) innerhalb einiger Monate rasch zunimmt, was aber stark vom Ausgangszustand abhängt und durchaus länger dauern kann. Dabei beeinflusst der Grasanteil in einer Kunstwiese deren gefügestabilisierenden Wirkung direkt. Es konnte bestätigt werden, dass sobald der Grasanteil im Bestand 50% übertraf die Klee-Gras-Mischungen ein deutlich stabileres Bodengefüge als Klee-Reinsaat aufwiesen. Der Anbau von Kunstwiesen hilft also, den Boden so lange zu stabilisieren, bis die Folgekultur genügend Wurzeln und Blattmasse gebildet hat, um sich selber erfolgreich vor Verschlammungen und Erosion zu schützen. Der Bodendegradierungsindikator Bodenstruktur und -tragfähigkeit enthält im Prinzip zwei Komponenten. Während bei nassen Verhältnissen ein matschiger, vollumfänglich durchnässter und homogener Boden resultiert, in den man beim Betreten einsinkt, ist er in trockenem Zustand völlig ausgetrocknet, staubig und fühlt sich pulverisiert an. Bei beiden Extremverhältnissen kann das Pflanzenwachstum beeinträchtigt sein. Im Feldformular wurden diese beiden Bodenzustände als Unterkategorie zur Bodenverdichtung eingeführt. So steht die Abkürzung Pc1 für den nassen matschigen (engl.: soggy) und Pc2 für den trockenen pulverisierten Bodenzustand (engl.: pulverized). Anhand dieser Indikatoren konnte im Feld eine Bewertung bezüglich der Bodenstruktur und -tragfähigkeit vorgenommen werden. Wenn beim Betreten des Bodens ein deutliches Einsinken festzustellen ist und ein sichtbarer Fussabdruck im Oberboden hinterlassen wird, ist dies ein Anzeichen für eine schlechte Bodentragfähigkeit (Abbildung 22 links). Dieser Zustand tritt unter feuchten und nassen Bedingungen auf, weshalb das Befahren und Bearbeiten mit schweren Maschinen zu diesem Zeitpunkt unterlassen sein sollte.



Abbildung 21: Nach wenigen Monaten entsteht ein dichtes Netz von Luftwurzeln. Zusammen mit den unterirdischen Wurzeln und den Bodenlebewesen tragen diese zum Zusammenhalt der Bodenkrümel bei (Fotos: Urs Grob).



Abbildung 22: Schlecht Bodenstruktur und -tragfähigkeit. Links ein tiefer Fussabdruck in durchfeuchtetem intensiv gepflügtem Feld, in der Mitte und Rechts der Vergleich des Verbunds der Bodenstruktur von Pflug und Direktsaat (Fotos: Urs Grob).

Die Maschinen würden tiefe Fahrspuren hinterlassen, die den Boden langfristig schädigen. Ein weiterer Indikator ist die Bildung eines Bodenverbunds. Die Krümel lassen sich im gepflügten Feld (Abbildung 22 Mitte; speziell im trockenen Zustand) ohne grossen Kraftaufwand aus dem Boden herausreissen, wohingegen im direkt gesäten Getreide (Abbildung 22 rechts) der Boden fest miteinander verbunden, verkittet und kaum entfernbar ist.

4.5.3.3 VERSCHLÄMMUNG UND VERKRUSTUNG

Weitere Symptome einer beschädigten Bodenstruktur offenbaren sich in Form von versiegeltem und verschlämmtem Boden, welcher beim Austrocknen Krusten auf der Bodenoberfläche bildet. Betroffen sind in der Regel Böden, welche einer Überbelastung ausgesetzt sind. Auslöser von Verschlämmungen und Verkrustungen sind grössten Teils ein unangepasstes Bodenmanagement. Durch eine schlechte Bodenbedeckung und zu intensiver Bodenbearbeitung ist die Verletzlichkeit des Bodens infolge von starken Regengüssen erheblich erhöht. Durch die fehlende Pflanzen- oder Mulchbedeckung brechen die Regentropfen die Bodenaggregate ungehindert auf, was die Bodenstruktur an der Oberfläche massiv beeinflusst. Nach von Flüe & Hodel (2009: 36f) ist nicht selten fehlender Kalk im Boden Auslöser der Verschlämmung. Kalk dient im Boden als Bindeglied zwischen Ton und Schluff. Wenn Kalk verloren geht, kommt es zur Verschlämmung des Bodens (Abbildung 23 links). Während der feine Ton in den Unterboden ausgewaschen wird und die Poren verstopft, bleibt der gröbere Schluff an der Bodenoberfläche zurück und verschlämmt. Beim Abtrocknen bilden sich dann sogenannte Krusten (Abbildung 23 rechts). Diese Sperrschicht verschlechtert den Austausch zwischen Bodenluft und der Luft aus der Atmosphäre, was sich hemmend auf das Wachstum der Pflanzen (Keimung) sowie das Bodenleben auswirkt. Zudem fördern solche Krusten die Erosion, weil das Niederschlagswasser weniger rasch in den Boden infiltrieren kann. Ist der Boden versiegelt und verschlämmt, sind keine Bodenkrümel mehr erkennbar und die Bodenoberfläche erscheint als eine einheitlich homogene Masse, welche glatt ist und oft im Licht der Sonne glänzt (ibid.).



Abbildung 23: Versiegelter und verschlämmter Boden (links) weist eine schlechte Permeabilität infolge der zerstörten Bodenaggregate und -krümel auf. Beim Austrocknen (rechts) bildet sich eine Sperrschicht in Form von Krusten aus und kann das Pflanzenwachstum hemmen (Fotos: Urs Grob).

4.5.3.4 VERNÄSSUNG

Den Bereich der physischen Bodenbeschädigungen schliesst die Staunässe als letzter Indikator des Feldformulars ab. Durch die immer grösser und schwerer werdenden Maschinen in der Landwirtschaft werden die Böden vor allem beim Befahren stetig verdichtet. Die Bodenporen werden wie erörtert zusammengepresst. Besonders gepflügte Böden sind von der Staunässe gefährdet. Der Pflug lockert den Boden zwar auf, dies aber nur bis in eine Tiefe von ungefähr 30 cm. Unter der gelockerten Schicht kann im Laufe der Jahre ein stark verdichteter Horizont entstehen, die sogenannte Pflugsohle. Auf dieser kann sich das Niederschlagswasser unter Umständen stauen, aber auch für die Pflanzenwurzeln stellt die Pflugsohle eine künstliche Barriere dar. Bei einer Staunässe unter anaerober Bedingung kann sich die Zahl der Bodenorganismen massiv verringern sowie die Bodenfruchtbarkeit infolge einer weniger starken Durchwurzelung zurückgehen. Die Abbauprozesse im Boden werden gehemmt, wodurch der Boden unter Umständen zu modern beginnt. Bei starken Nieder-



Abbildung 24: Staunässe in stark verdichteten Fahrspuren (links) und Viehtritten (rechts) nach Niederschlagsereignissen (Fotos: Urs Grob).

schlägen entstehen an der Oberfläche charakteristische Wasserpfützen und -lachen. Begünstigt wird die Staunässe in natürlicher Weise durch einen höher stehenden Grundwasserspiegel wie beispielsweise in der Nähe von offenen Gewässern. Im Untersuchungsgebiet herrschten aber kaum Staunässen vor. Vornehmlich konnten sie in verdichteten Fahrspuren oder in Viehtritten beobachtet werden, wie die Abbildung 24 illustriert (Boden dicht gemacht 03.08.2009; http://www.bodenwelten.de/bod_schatz/dicht/bod_dicht.htm).

4.5.4 WASSERDEGRADIERUNG (WATER DEGRADATION)

Im Abschnitt der Wasserdegradierung stehen im WOCAT/LADA Handbuch sechs verschiedene Indikatoren. In der Arbeit wurde aber nur der erste, die Aridifikation (engl.: soil moisture loss), untersucht. Die anderen Indikatoren "change in quantity of surface water, change in groundwater/aquifer level, decline of surface water quality, decline of groundwater quality" und "reduction of the buffering capacity of wetland areas" wurden nicht berücksichtigt.

4.5.4.1 VERLUST DER BODENFEUCHTIGKEIT

Der Verlust der Bodenfeuchtigkeit steht in enger Beziehung zum Indikator der Bodenstruktur (Abschnitt 4.5.3.2), Verschlämmung und Verkrustung (Abschnitt 4.5.3.3) und reduzierte Bodenbedeckung (Abschnitt 4.5.5.1). Letzt genannter Faktor wirkt sich besonders stark auf die Bodenfeuchtigkeit aus. Bei Mulchsaatparzellen entsteht infolge der Pflanzenreste ein höherer Albedo-Wert, welcher im Vergleich zu konventionell bearbeiteten Feldern die Bodentemperatur massiv senkt. Durch die Mulchdecke entsteht eine wesentlich bessere Feuchtekonservierung und schützt den Boden ferner vor Hitze, Wind und Regen (Espere 03.08.2009; http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3__Sonne_und_Wolken/_Albedo_3ao.html). Wenn die Bodenstruktur schlecht und die Bodenoberfläche ungenügend bedeckt ist, tritt also eher ein Feuchtigkeitsverlust ein, als wenn der Boden eine stabile Krümelstruktur und ausreichende Pflanzenbedeckung aufweist. Am deutlichsten sind die Unterschiede am Morgen, wenn die ersten Sonnenstrahlen auf die Felder fallen. So steigt bei einem gepflügten Acker beispielsweise mehr Dampf in Atmosphäre hinauf, als bei einer Kunstwiese. Allgemein kann der Indikator nur unter trockenen Bedingungen angewendet werden, weil nach einem Niederschlagsereignis alle Böden nass sind und dadurch Wasser verdampfen kann. Die Verdunstung konnte während den Feldarbeiten vor allem im späten Frühling und im Herbst beobachtet werden, allerdings wurde dieser Indikator nur relativ selten beobachtet.

4.5.5 BIOLOGISCHE DEGRADIERUNGEN (BIOLOGICAL DEGRADATION)

In der Rubrik der biologischen Degradierungen sind nur drei der sieben Indikatoren vom WOCAT/LADA QM im Feldformular vertreten. Das Pendant zur Pflanzenbedeckung aus dem Bereich A (Abschnitt 4.4.3), die sogenannte reduzierte Bodenbedeckung (engl.: reduction of ground cover) formt den wichtigsten Bodendegradierungsindikator. Die anderen Indikatoren bewerten die Aktivitäten der Regenwürmer (engl.: loss of soil life) und die Krankheiten/Schädlinge (engl.: pest/disease). Indikatoren wie "loss of habitats, quantity/biomass decline, determinate effects of fires", und "quality and species composition/diversity decline" sind für diese Untersuchung unbedeutend. Bei der biologischen Degradierung wird ähnlich wie bei der chemischen Degradierung die Bodenfauna und -flora durch Kontaminierung des Bodens geschädigt. Eine Abnahme des organischen Materials kann ebenfalls zur biologischen Degradierung gezählt werden, welche die Bodenorganismen auch negativ beeinflussen kann. Gegenwärtig sei diese Art der Bodengefährdung nicht akut, doch durchaus real, so das BAFU (2007: 3). Die im Zuge der Globalisierung eingeschleppten Lebewesen können die Fruchtbarkeit der Schweizer Böden, und somit das Ökosystem, in Zukunft vermehrt gefährden.

4.5.5.1 REDUZIERTE BODENBEDECKUNG

Diese Degradierungsform steht im Zusammenhang mit der Bewertung der Bodenbedeckung aus dem Abschnitt 4.4.3. Im Bereich A des Feldprotokolls wird die Pflanzen-, Mulchabdeckung sowie der Anteil des unbedeckten Boden erfasst. Mit Hilfe der Tabelle 10 kann die Degradierung der Bodenbedeckung abgeschätzt werden. Beispielsweise kann die Pflanzen- und Mulchbedeckung 60% und 40% betragen, was nicht zwingend heisst, dass der ganze Boden bedeckt ist, weil die Pflanzen- und Mulchbedeckung übereinander liegen können. Theoretisch kann der Boden somit mehr als 100% bedeckt sein. Bezüglich der Bodendegradierung interessieren an dieser Stelle vor allem die unbedeckten Flächenanteile, welche ein grösseres Degradierungspotential aufweisen. Wenn der Boden durchgehend einen Bedeckungsanteil von 70% aufweist, gilt das Degradierungsrisiko aufgrund des geringen degradierten Flächenanteils als gering oder inexistent.

4.5.5.2 VERMINDERTE REGENWURMAKTIVITÄTEN

Es ist nachgewiesen, dass nur auf einem belebten und gut strukturierten Boden langfristig erfolgreich Ackerbau betrieben werden kann. Die Regenwürmer leisten im Boden, wie schon im Abschnitt 4.4.4 angedeutet, wertvolle Gratisarbeit. Die Bodenlebewesen, insbesondere

aber die Regenwürmer, sind für nicht bearbeitete Böden wie Direktsaatfelder oder Naturwiesen von zentraler Bedeutung. Gemäss Chervet et al. (2008b: 44ff) haben Erhebungen beispielsweise gezeigt, dass das Gesamtgewicht der Würmer im Direktsaatsystem rund doppelt so hoch ist wie in gepflügten Parzellen. Die tiefgrabenden Regenwürmer legen dauerhafte, senkrecht verlaufende und bis in den Untergrund reichende Gänge an und durchmischen zusammen mit den kleinen, im Oberboden lebenden Streubewohnern die Erde. Unter günstigen Bodenbedingungen können sie in der Herstellung vom sogenannten Mull extrem produktiv sein. In unbearbeiteten Böden bleiben die Wurmgänge erhalten und bilden ein gut funktionierendes Drainage- und Belüftungssystem. Auf einem direkt gesäten Feld ist die Verschlammungs- und Erosionsgefahr zudem, ähnlich wie auf Naturwiesen, geringer als auf gepflügten Parzellen. Die Regenwürmer vermögen außerdem das anfallende Pflanzenmaterial (Gründungsreste) problemlos von Jahr zu Jahr in den Boden einzuarbeiten. Die Vorverdauung des Materials im Darm der Regenwürmer erleichtert es den Mikroorganismen entscheidend, die darin enthaltenen Nährstoffe wieder pflanzenverfügbar zu machen. Im Vergleich zur umgebenden Erde enthält der Mull bis fünf Mal mehr pflanzenverfügbaren Stickstoff, sieben Mal mehr löslichen Phosphor und elf Mal mehr Kalium (ibid.). Die Bodenbearbeitung (Abschnitt 4.4.4) und der Düngereinsatz (Abschnitt 4.7) können die Regenwurmpopulation stark reduzieren, weshalb die Direktsaat positive Auswirkungen mit sich bringt. Für die Bewertung der Untersuchung wird davon ausgegangen, dass bei einem Flächenanteil von über 50% Mullbedeckung keine Degradierung vorliegt. Bei einem Anteil von 20 bis 50% herrscht eine leichte, bei 5 bis 20% eine mässige und unter 5% eine starke Degradierung vor. Diese Abstufung besitzt keinen theoretischen Hintergrund, sondern wurde im Feld in Zusammenarbeit mit Hanspeter Liniger, Karl Herweg und Judith Gasser ausgearbeitet. In der Abbildung 25 sind zwei Extrembeispiele illustriert. Links ist ein direkt gesätes Getreidefeld, das einen Mullanteil von über 50% und zusätzliche Mulchreste aufzeigt. Im rechten Bild der Abbildung 25 ist das Beispiel eines konventionell bearbeiteten Getreidefelds mit deutlich weniger Wurmaktivitäten und ohne Mulchreste.



Abbildung 25: Unterschiedliche Regenwurmaktivitäten auf Getreidefelder. Links in einem Direktsaatfeld und rechts in einer gepflügten Parzelle. (Fotos: Urs Grob).

Somit können die Regenwurmaktivitäten ein erstes Indiz bilden, wie der Boden bearbeitet wurde und wie dessen Zustand ist. Gesamthaft stellt die Aktivität der Regenwürmer ein idealer Indikator dar, auch wenn sie abhängig ist von der Jahreszeit, dem Wetter und des Bodenfeuchtezustands.

4.5.5.3 SCHÄDLINGE UND KRANKHEITEN

Bei diesem Indikator handelt es sich um Krankheiten an den Nutzpflanzen oder Schädlingen innerhalb der Parzelle. Während der Feldarbeiten konnten immer wieder unterschiedliche Krankheiten wie der Mehltau (Abbildung 26 links) in Getreidefeldern (Weizen, Gerste) beobachtet werden. Mehltau ist eine typische Frühlingskrankheit, welche gewöhnlich im Sommer wieder verschwindet. Grundsätzlich bleiben die Auswirkungen auf den Ertrag und die Qualität gering. Den Aussagen von Mascher (2009: 44f) ist jedoch zu entnehmen, dass im Jahre 2005 bezüglich des Mehltaus vor allem in den Triticalekulturen hohe Verluste aufgrund klimatischen Verhältnissen (Temperaturen um 16 Grad Celsius in Kombination mit viel Regen und hoher Luftfeuchtigkeit) auftraten. Da Pflanzen kein eigentliches Immunsystem besitzen, ist die Bekämpfung des einmal eingedrungenen Mehltaus unmöglich. Ähnliche Erscheinungen konnten auch in Maisbeständen in Form von Fusarien auf Kolben und Blattscheiden (Spuhler 2009: 16) beobachtet werden. Ein anderer Pilz, vor allem in Gerste, ist die Rhynchosporium-Blattfleckenkrankheit (Abbildung 26 Mitte), wobei stark befallene junge Blätter welken, vergilben und vorzeitig absterben. In Fruchtfolgen, wo beispielsweise auf Gerste Kunstwiese folgte, konnte oft ein Restbestand von Gerste festgestellt werden, der diesen Pilz aufwies und sich auf das Gras ausbreitete. Nebst den Pilzkrankheiten im Ackerbau land konnte auf dem Grasland der Befall mit Mäusen beobachtet werden. Im Kanton Bern tummelten sich im Jahr 2008 wegen des milden Winters laut der Tageszeitung 20 Minuten (Jecker 2008: 5) besonders viele Mäuse auf den Wiesen. Fülling (2008: 40f) schreibt dazu, dass Mäuse auf Wiesen und Weiden die Qualität des Grünfutters erheblich verschlechtern können (Abbildung 26 rechts). In Europa seien es besonders zwei Arten von



Abbildung 26: Verschiedene Krankheiten und Schädlinge. In Einzelfällen kann der Echte Mehltau (links) durch den Assimilationsverlust zu Ertragsausfällen von 10% und mehr führen, typische Blattfleckenkrankheit (Mitte) in Gerste und (rechts) Mäusebefall auf einer Wiese (Fotos: Urs Grob).

Wühlmäusen, die für die Schäden verantwortlich sind. Es sind dies die Feldmaus und Schermaus. In Extremfällen vernichten sie ganze Wiesenflächen, welche dann vollständig neu eingesät werden müssen. Zwar waren die Schäden im Untersuchungsgebiet nicht so stark, trotzdem konnten Schäden in einigen Wiesenparzellen erfasst werden.

4.5.6 OFF-SITE DEGRADIERUNGSEFFEKTE (OFF-SITE DEGRADATION EFFECTS)

Off-site Degradierungen beziehen sich auf die durch Bodenerosion verursachten Schäden ausserhalb der Verursacherparzelle. Die Kategorie wurde zusätzlich ins Feldformular aufgenommen und gliedert sich in drei Kategorien. Es sind dies (Abbildung 27):

- Akkumulationen auf Grasland, Ackerbau und Strassen/Infrastruktur,
- negative Auswirkungen auf ökologische Ausgleichsflächen, Grundwasserverschmutzungen (auch durch Düngemittel, Herbizide oder Verstopfungen von Entwässerungskanälen) und
- hangabwärts ausgelöste Bodenerosionen.



Abbildung 27: Off-site Schäden durch Bodenerosion. Verschmutzung von Grasland und des Abwassersystems (links) sowie Erosionsablagerungen (rechts) in einem Holzschuppen (Fotos: Urs Grob).

4.6 BEREICH C – URSACHEN DER BODENDEGRADIERUNG

Allgemein werden die Bodendegradierungen durch direkte und indirekte Einflussfaktoren beeinflusst. Zu den Faktoren, welche die Prozesse der Bodendegradierungen direkt beeinflussen, auslösen und steuern, zählen das Klima, der Boden, das Relief, die Vegetation und die Bodenbearbeitung. Lange glaubte man, dass man die Bodendegradierung und deren Bekämpfung ein rein technisches Problem sei. Oftmals blieben rein technische Ansätze in der Vergangenheit erfolglos. Der WBGU (1994: 58) schreibt, wenn man der Bodendegradie-

rung weltweit effektiv begegnen will, muss nicht nur eine regionale Bestandsaufnahme der Bodendegradierung vorgenommen, sondern die Ursachenkomplexe müssen identifiziert werden, die zu bestimmten Degradierungstypen führen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die Probleme nicht monokausal betrachtet werden, sondern wie die WBGU scheint, in ihren natürlichen und anthropogenen Interaktionen. Die Ursache der Bodendegradierung liegt oft im sozialen Umfeld, welche sehr vielfältig sein können. Weil die Untersuchung auf einer visuellen Methodik basiert, können keine indirekten Ursachen aus dem sozialen Umfeld zu Wirtschaft, Politik und Soziokultur erfragt werden. Der Fokus dieser Arbeit richtet sich dementsprechend auf die direkten Ursachen der Bodendegradierung. Für die angepasste Methodik wurde innerhalb der direkten Ursachen nach WOCAT/LADA noch einmal Einschränkungen vorgenommen. Die in der Tabelle 12 abgebildeten Ursachen sind jene Indikatoren, welche im Untersuchungsgebiet anzutreffen sind. Alle anderen Indikatoren können im WOCAT/LADA QM nachgelesen werden (Anhang CD - Handbuch QM). Dabei handelt es sich ausschliesslich um Gründe, welche vom Menschen verursacht werden. Es sollte aber nicht vergessen werden, dass auch natürliche Gründe wie Temperaturwechsel, Dürren, etc. zu Degradierungen führen können. Wenn eine Parzelle visuell wahrnehmbare Degradierungsformen aufweist, werden die entsprechenden Ursachen in der Tabelle 12 notiert. Das Erkennen der Bodendegradierung ist nicht immer so trivial wie beispielsweise in der Abbildung 28, wo das Vieh Verdichtung verursacht. Für die Zuordnung der Ursachen sind Erfahrung und ein geschultes Auge von entscheidender Bedeutung. Wenn solche Erkennungsmerkmale wie Viehtritte (Code: g2) oder tiefe Fahrspuren (Code: s3) im Boden auftreten, liegt es nahe, dass die Ursache der Bodenverdichtung beim Getrampel des Viehs oder den

Tabelle 12: Ursachen der Bodendegradierung. Für alle registrierten Indikatoren aus der Tabelle 11 können die Haupt- (Major) und Nebenursachen (Minor) erfasst werden (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hauert et al. 2008).

Direct causes of land degradation (direct pressure indicators) → fill in land degradation codes (Pw, Pc...)

Indicator	Name:	Major			Minor		
s	Soil Management						
s1	Cultivation of unsuitable soils						
s3	Heavy machinery						
s4	Tillage / cultivation practice (ploughing, harrowing)						
c	Crop Management						
c1	Reduction of plant cover and residues						
g	Overgrazing						
g2	Trampling of animals						
u	Infrastructure						
u1	Runon from roads, settlements						
w	Water cycle						
w1	Lower infiltration rates/increased surface runoff						
ot	Other (specify):						
ot1	Topography/Relief						
ot2	Runon from plot above						

schweren Maschinen liegt. Diese werden dann auch als Hauptgründe (engl.: Major) angegeben. Im Falle von Verdichtungen kann nebenbei das Bodenmanagement (Code: s4) als Nebengrund (engl.: Minor) betrachtet werden, da auf intensiv gepflügten Parzellen eine schlechtere Bodentragfähigkeit angenommen wird als auf Direktsaatfeldern oder Graslandparzellen. Dadurch kann ein einfaches Geflecht von verschiedenen Wirkungszusammenhängen entstehen. Wie oben erwähnt, wird für jede Parzelle, auf welcher Bodendegradierungsformen aufzufinden sind, deren Ursachen ermittelt. Unter Umständen können daher mehrere Ursachen die gleiche Bodendegradierung hervorrufen. Weiter kann mit diesem Vorgehen unterschieden werden, ob es sich bei der Ursache um die Haupt- oder Nebenursache handelt. Da es sich bei der Ursachenforschung um eine wertende Zuweisung handelt, wird das Urteil je nach Ansichtssache des Gutachters anders ausfallen. In diesem Zusammenhang spielen wie erläutert die Erfahrung und die Voreingenommenheit eine bedeutende Rolle. Mit den andauernden Aufenthalten im Feld sollte die Ursachenzuweisung immer besser möglich sein. Es darf ferner nicht vergessen werden, dass es sich bei einigen der aufgelisteten Ursachen selbst um Degradierungen, wie beispielsweise die reduzierte Pflanzenbedeckung (c1) oder die verringerte Bodeninfiltrationsrate, handelt. Sie können wiederum Ursachen anderer Degradierungen sein. Mit anderen Worten, in diesem Protokollabschnitt sind nur die wichtigsten und einfach erfassbaren Gründe enthalten. Im Folgenden werden die neun unterschiedlichen Ursachen kurz vorgestellt. Die neun Ursachen gehören in sechs verschiedene Gruppen, wie dem Feldformular zu entnehmen ist.

Die Ursache **Kultivierung von ungeeigneten Böden (s1)** gehört, wie die beiden nächsten, zum Bereich des Bodenmanagements. Diese Ursache wurde während der ganzen Untersuchung nie als Degradierungsgrund aufgeführt, da der Boden im Untersuchungsgebiet gewöhnlich als gut bis mässig für Futterbau, Getreidebau und Viehhaltung geeignet gilt (Abschnitt 2.3 & Tabelle 6).



Abbildung 28: Viehtritte als Ursache der Bodenverdichtung. Über die Dichte und Tiefe der Viehtritte kann das Ausmass und der Umfang der Bodenverdichtung festgestellt werden. (Fotos: Urs Grob).

Innerhalb des Untersuchungsgebiets werden grosse Teile als Futterbau oder Weideland bewirtschaftet, wo das Degradierungsrisiko geringer ist als im Ackerbauland. Wo ungeeignete Böden auftreten, wird die Nutzung durch den Landwirt angepasst. So werden beispielsweise Parzellen in der Nähe von Wald oder Gewässer (hoher Grundwasserspiegel) als Futterwiesen oder Weideland genutzt. Ungeeignete Böden werden heutzutage aber auch durch technische Massnahmen wie Drainagesysteme zur Ackerbaubewirtschaftung saniert.

Anders als ungeeignete Böden, sind **schwere Maschinen (s3)** oft die Ursachen für schwerwiegende Bodenverdichtungen. Durch die Maschinen wird der Boden in seiner Struktur und Tragfähigkeit beeinträchtigt. Die schweren Maschinen treten dann immer in Verbindung mit der Bodenbearbeitung (s4) auf. Der Einsatz von schweren Maschinen wäre durchaus auch eine Ursache einer reduzierten Bodenbedeckung. Die Maschinen fahren mehrmals über dieselben Fahrspuren, wodurch auf diesen "Schienen" kaum mehr Pflanzenwachstum möglich ist. In der Arbeit wurde dies nicht beachtet. Bei der Verdichtung spielt nebst dem Einsatz der Maschine auch die Gefügestabilität des Bodens eine wichtige Rolle. Die Gefügestabilität eines Bodens wird gemäss Mosimann et al. (1991: 43) einerseits durch Bodeneigenschaften wie Körnung oder Humusgehalt (Krümelstabilität) bestimmt, andererseits in besonderem Ausmass durch die Bodenfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der mechanischen Beanspruchung. Dabei hängt die mechanische Beanspruchung des Bodens sowohl von der Art und Ausrüstung der verwendeten Maschinen als auch von deren Einsatz ab (Mosimann et al. 1991: 43). Die Anbautechnik (Intensität des Befahrens, Kontaktflächendruck der Bereifung, Achslastdruck), Gerätekombination und Fahrweise erhöhen das Verdichtungsrisiko (Nowack et al. 1996: 5f). Der entscheidende Einflussfaktor ist aber die Bodenfeuchtigkeit zum Zeitpunkt des Befahrens und/oder Bearbeitens. Selbst günstige Bodeneigenschaften und relativ geringe Bodenbeanspruchung können bei einer Beanspruchung des Bodens im nassen Bodenzustand das Entstehen von Bodenverdichtung nicht verhindern. Die Folgen der sogenannten Schadverdichtung sind vielfältig. Insgesamt nimmt die Lagerungsdichte (g/cm^3) zu beziehungsweise das Grobporenvolumen (Volumen-%) ab. Obendrein verändert sich die Grössenverteilung, Form und Kontinuität der Poren, womit der Wasser- und Lufthaushalt der Böden gravierend verändert wird (ibid.). Die Folgen sind eine verminderte Wasserleitfähigkeit, eingeschränktes Infiltrationsvermögen, beeinträchtigter Luft- und Wärmehaushalt, gestörtes Wurzelwachstum und ungünstige Lebensbedingungen für Bodenorganismen aufgrund der Dichtlagerung.

Die Art der **Bodenbearbeitung (s4)** stellt die wichtigste Ursache der Bodendegradierungen dar. Viele Bodendegradierungen werden mit der Bodenbearbeitung in Zusammenhang gebracht. Je nach Bearbeitung wird der Boden stärker in seiner Zusammensetzung und Struk-

tur beeinflusst. Das bedeutet aber nicht, dass direkt gesätes Kulturland per se von Bodendegradierungen verschont bleibt. Es wird aber vermutet, dass das Risiko der Verletzlichkeit, respektive des Ausmasses und Umfangs, verringert wird. Der Pflug gilt als ein starkes Symbol unserer kulturellen Entwicklung. Laut Rey (2004: 22) steht er bereits in der Bibel für Frieden, Gemeinschaft und tägliches Brot. Doch der Trend zu immer schwereren Pfluggeräten legt auch seine Nachteile offen. Über Lockerung, Verdichtung, Verkleinerung, wenden/nicht wenden, Verteilung der organischen Substanz, Düngung usw. greift die Bodenbearbeitung umfassend ins Degradierungsgeschehen ein (Mosimann et al. 2003: 17). Wie die vorliegende Untersuchung aufzeigen konnte, besteht zwischen der Intensität der Bodenbearbeitung und den Bodendegradierungen ein Zusammenhang. Die Bodenbearbeitung besitzt einen grossen Einfluss auf Einflussgrössen wie die Mulchbedeckung, Krümelgrösse und -stabilität sowie Bodenverdichtung (Prasuhn & Grünig 2001: 43f). Für die Degradierungsgefahr ist dabei entscheidend, ob wendende oder nicht-wendende Bodenbearbeitungstechniken verwendet werden sowie die mechanische Intensität der Aufbereitung (Zerkleinerung) der Krume für das Saatbeet in Form der Art des Folgegerätes (Mosimann et al. 2003: 17f).

Der nächste Ursachentyp stammt aus der Familie des Pflanzenmanagements. Wie dies schon im Abschnitt 4.4.3 beschrieben wurde, stellt die **Verringerung der Pflanzen- und Mulchdecke (c1)** ein erheblich erhöhtes Bodendegradierungsrisiko dar, speziell im Bereich der Bodenerosion und -struktur. Diese Ursache hängt stark von der Bodenbearbeitung ab, da bei Direktsaat üblicherweise mehr Ernterückstände auf dem Boden zurückbleiben als auf gepflügten Parzellen. Bei unbedeckten Parzellen ist die Gefahr der Bodenerosion vergleichsweise um ein Vielfaches höher als bei einem mit 30% mulchbedeckten Direktsaatfeld. Als nächste Ursache folgt die Überweidung. Das **Trampeln des Viehs (g2)** ist eine visuell leicht erkennbare Degradierungsursache. Schwieriger wird es beim Abschätzen des Ausmasses und Umfangs der Verdichtung. Bei dieser Ursache muss bedacht werden, dass auch Grasland Verdichtung infolge von Vieh aufweisen kann, obschon die Parzelle nicht eingezäunt ist. Aus diesem Grund ist es unerlässlich, auch Kunstwiesen zu begehen, um herauszufinden, ob das Vieh Verdichtung und Schäden an der Grasnarbe verursacht hat. Die nächste Ursache gehört in die Kategorie der Infrastruktur. **Wasserabfluss von Strassen und Siedlungen (u1)** kann Degradierungen auf angrenzenden Parzellen verursachen. Das gesammelte Wasser auf versiegelten Unterlagen gelangt unter Umständen auf Kulturf lächen, wo sie Erosionen auslösen können. Dabei können grosse Wassermengen unter Umständen selbst auf unbeeinträchtigten Kunstwiesen Erosionsformen auslösen.

Als zweitletzte Kategorie wird die Störung des Wasserkreislaufes als Ursache in Betracht gezogen. Die Ursache liegt in Form einer **geringeren Infiltrationsrate/erhöhtem Oberflächenabflusses (w1)** vor. Diese Art der Ursache steht wieder eng in Verbindung mit der Bodenbearbeitung (s4). Vielfach wird bei intensivem Pflügen die Bodenstruktur so stark gelockert, dass die natürlichen Aggregate auseinanderbrechen und die gesunde Krümelstruktur verloren geht. Die groben Porenkammern im Boden verringern massiv oder verschwinden vollends, was die Bodenoberfläche in gewisser Weise versiegelt. Es entsteht eine Sperrschicht, welche das Infiltrieren des Wassers hemmt und den Luftzyklus zwischen Atmosphäre und Boden unterbricht. Das anaerobe Milieu, das entsteht, erschwert den Bodenlebewesen wie den Regenwürmer ein fortbestehen. Mit der geringeren Masse an Bodenlebewesen verringert sich das Regenwurmang- und Makroporensystem, was bei abnehmender Infiltrationsrate des Bodens durch den erhöhten Oberflächenabfluss zu Erosion führen kann. Die oberflächlich abfließenden Wassermassen verstärken das Versiegeln des Bodens zusätzlich, was das Pflanzenwachstum wiederum erheblich hemmen kann. Es bildet sich ein Teufelskreis innerhalb der Bodendegradierungen, welche sich zunehmend gegenseitig fördern und verstärken.

Als letztes ist die eine Spezialkategorie aufgeführt welche die Ursachen **Topographie/Relief (ot1)** und **Abfluss von der hangaufwärts liegenden Parzelle (ot2)** beinhaltet. Die Indikatoren sind spezifisch auf die Erosion bezogen, weil sie einen entscheidenden Einfluss im Erosionsprozess einnehmen. Bei speziellen Bedingungen kann das von anderen Feldern stammende Wasser Bodenerosion auslösen. Wenn beispielsweise über einem intensiv gepflügten Ackerbau- oder Grasland mit charakteristischen Muldenformen liegt, kann sich dort Wasser ansammeln und über die Bodenoberfläche oder unterirdische Fließwege auf den Acker fließen, wo Erosion ausgelöst wird.

4.7 BEREICH D – KONSERVIERUNGSMASSNAHMEN

Nach der Kartierung und Bewertung der Bodendegradierungsformen und deren Ursachen, befasst sich das nächste Kapitel mit den Bodenkonservierungsmassnahmen. Diese werden wie die anderen Teile des Feldformulars über visuelle Merkmale erfasst und bewertet. Bei der Konservierung des Bodens geht es hauptsächlich um die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und den ökologischen Funktionen. Nach Mosimann et al. (1991: 49f) zeichnet sich ein fruchtbarer Boden aus, wenn er

- eine reiche Lebewelt und ungestörte Abbaufähigkeit besitzt und das Wachstum natürlicher und vom Menschen beeinflusster Pflanzengesellschaften ungestört ermöglicht und
- aufgrund eines günstigen Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushaltes nachhaltig gute Erträge qualitativ hochstehender und gesundheitsverträglicher Pflanzen liefert.

Weiter erfüllt ein Boden seine ökologischen Funktionen in der Landschaft, wenn er durch seine Fruchtbarkeit, seine physikalischen und chemischen Eigenschaften, seinen Aufbau und seine Mächtigkeit in der Lage ist,

- zur Erneuerung von sauberem Grundwasser beizutragen,
- den Wasserabfluss zu regulieren und
- schädliche Stoffe zu filtern, zu puffern und umzuwandeln.

Zusammenfassend muss ein Boden folgende Voraussetzungen und Eigenschaften besitzen, um seine ökologischen Funktionen erfüllen zu können:

- hohe biologische Aktivität und ein dynamisches Gleichgewicht von Abbau- und Aufbauvorgängen,
- einen den Standortbedingungen und der Bewirtschaftung entsprechenden, optimalen Humushaushalt,
- ungestörte Regenerationsfähigkeit,
- gute Wasserspeicherfähigkeit,
- grosses physikochemisches Puffervermögen und
- tiefe Gründigkeit beziehungsweise dem Standort entsprechenden, hinreichenden Wurzelraum.

Wie im Abschnitt zur Theorie beschrieben wurde, können die vom Landbesitzer ausgeübten Konservierungsmassnahmen direkt auf alle im DPSIR-Modell aufgelisteten Einflussgrössen einwirken. Damit wird versucht, den negativen respektive den beeinträchtigten Bodenzuständen präventiv entgegenzuwirken. Mögliche Konservierungsmassnahmen werden auch hier im WOCAT/LADA Handbuch beschrieben. Für die Konservierungsmassnahmen werden statt dem Ausmass deren Effektivität und Umfang bewertet. Die Effektivität der Massnahmen kann gemäss Liniger et al. (2008: E19) in vier Kategorien unterschieden werden. Zu

differenzieren sind in ihrer Wirksamkeit die Stufen niedrig (engl.: low), mässig (engl.: moderate), hoch (engl.: high) und sehr hoch (engl.: very high). Die Effektivität der Massnahme wird über seine präventive Wirkung in Bezug zum Ausmass und Umfang der Bodendegradierung bewertet. Das heisst, der Parzellenzustand wird mit einer Kontrollparzelle verglichen. Als Kontrollparzelle dient ein Feld, bei welchem von einem gesunden optimalen Zustand ausgegangen wird. Beispielsweise wird die Effektivität des Graslandmanagements auf einer stark geneigten Parzelle als hoch eingestuft, währenddessen eine Nutzung als Getreideparzelle gefährdet wäre. Die Effektivität einer Konservierungsmassnahme kann auch niedrig sein, wenn sich zum Beispiel auf einer Graslandparzelle zu viel Rind während einer zu langen Zeitperiode aufhält. WOCAT/LADA definiert bei den Konservierungsmassnahmen vier verschiedene Konservierungstechnologien. Es kann unterschieden werden zwischen sogenannten Agronomischen, Vegetativen, Strukturellen und Management-Massnahmen. Eine Kombination innerhalb dieser vier Kategorien ist auch möglich. Zu den **Agronomischen Massnahmen** zählen beispielsweise Mischkulturen, Konturanbau, Mulchsaat etc. In der Regel sind es nicht permanente, sondern jährlich wechselnde Kulturen, welche unabhängig von der Neigung angebaut werden können. Zu den **Vegetativen Massnahmen** werden Grasstreifen, Hecken, etc. dazu gezählt. Sie sind durch eine mehrjährige Verwendung und einer Änderungen im Neigungsprofil charakterisiert. Die dritte Kategorie, die **Strukturellen Massnahmen**, enthalten Terrassenverbauungen, Dämme, Palisaden usw., die einerseits Änderungen in der Neigung bewirken, dauerhaft bestehen und andererseits den Abfluss, die Windgeschwindigkeit und Erosion kontrollieren. Strukturelle Massnahmen sind meistens mit erheblichen Baumassnahmen (in Form von Arbeit, Geld und Baumaterialien) verbunden. Zu Letzt nennt WOCAT/LADA die **Managements-Massnahmen**. Diese Technologie beinhaltet Massnahmen wie Landnutzungsänderungen, Brachen etc. Die Verwendung solcher Managements-Massnahmen bedeutete eine grundlegende Änderung in der Flächennutzung ohne agronomische und strukturelle Massnahmen. Oftmals führen dies zu einer Verbesserung der Bodenbedeckungsbedingungen sowie eine Reduzierung der Nutzungsintensität. Schliesslich sind **Kombinationen** aus den vier genannten Technologien realisierbar, bei denen sich die unterschiedlichen Massnahmen ergänzen und ihre Effektivität gegenseitig steigern (Liniger et al. 2008: E14ff). Tabelle 13 listet alle für das Untersuchungsgebiet relevanten Massnahmen auf, welche im Anschluss kurz vorgestellt werden.

Die **bodenschonende Landwirtschaft (CA)** ist ein System, das auf den Grundsätzen der minimalen Bodenzerstörung, ausreichende Bodenbedeckung und angepasste Fruchtfolge basiert. In der Literatur spricht man bei bodenschonenden Anbauverfahren in der Regel von der **Direktsaat**. Durch die pfluglose Anbautechnik soll die natürliche Schichtung des Bodens

Tabelle 13: Ausgewählte Konservierungsmassnahmen für die Untersuchung in der Region Oberrhein (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Hauert et al. 2008).

Land conservation (Response Indicators)		Effectiveness					
Indicator	Name:	Y / N	Extent [%]	Very high	High	Moderate	Low
CA	Conservation agriculture (no-till; strip-tillage in maize)						
MU	In-mulch seeding (e.g. grubber)						
NM	Manuring / composting / nutrient management						
CR	Crop rotation [Subcategories → crop rotation]						
SC	Strip cropping						
VS	Vegetative strips; incl. hedge						
TR	Terraces						
GR	Grazing land management (vegetative and agronomic measures)						
OT	Others (specify)						

erhalten sowie der Regenwurm und die anderen Bodenlebewesen möglichst wenig geschädigt werden. Die dauernde Bedeckung und die oberflächliche Bearbeitung machen die Böden tragfähig und humusreich (Häni 2008: 36f). Die Ernterückstände sollten dabei gleichmässig auf dem Feld verteilt sein, weil Anhäufungen von Pflanzenresten ansonsten die Keimung und das Auflaufen der anschliessend direkt gesäten Kulturpflanze hemmen. Die Direktsaat kann schliesslich auf fast allen Böden erfolgreich umgesetzt werden. Mittelschwere Böden eignen sich am besten, staunasse überhaupt nicht. Beobachtungen und Erkenntnisse aus der Praxis offenbaren gemäss Chervet et al. (2008d: 38ff), dass die Direktsaat nicht nur eine neue Sätechnik, sondern ein eigenständiges Anbausystem ist. Nur wenn das System konsequent und langfristig eingesetzt wird, stellt sich im Boden ein neues dynamisches Gleichgewicht ein. Ein erfolgreiches Direktsaatsystem basiert auf einer ausgewogenen und vielseitigen Fruchtfolge. Ein langjährig mit Direktsaat bestellter Ackerboden ist fruchtbarer und zeigt wie der Wiesenboden die Merkmale einer nachhaltigen Nutzung, so Chervet et al. (2008b: 44ff). Idealerweise wechseln sich gemäss Chervet et al. (2008d: 38ff) Blatt- und Halmfrüchte sowie Herbst- und Frühjahrssaaten ab. Weiter sollte wegen erhöhten Infektionsrisikos mit Fusarien auf enge, Mais, Weizen und Triticale betonte Fruchtfolgen verzichtet werden. In diesem Zusammenhang haben Gründüngungen eine wichtige Funktion im Direktsaatsystem. Eine hoch und dicht wachsende, nicht winterharte Gründüngung vermag das Unkraut so stark zu unterdrücken, dass unter idealen Umständen auf den Einsatz eines Totalherbizids verzichtet werden kann. Entgegen der Befürchtungen von Kritikern wird in Direktsaatparzellen laut Chervet et al. (2008a: 28ff) kein erhöhter Krankheitsdruck festgestellt. Wegen der Gefahr von Krankheitsübertragungen müssen sie aber auf die angebauten Hauptkulturen abgestimmt sein. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Gründüngungen den Boden zwischen den Hauptkulturen vor Verschlämmung und Erosion schützen sowie die Nahrungsgrundlage für die Bodenlebewesen verbessern (Chervet et al.

2008d: 38ff). Ausserdem kann die Gründüngung zusätzlichen Stickstoff in den Boden einbringen und die Mulchschicht isoliert den Boden über Winter und vermindert die Austrocknung im Sommer. Daneben zeichnet sich die Direktsaat durch die Verringerung des Kraftstoffverbrauchs und der Arbeitszeitverringerung aus. Es ist erwiesen, dass beim Anbau von Mais im Direktsaatsystem gegenüber dem Pflugsystem 4.6 mal weniger Diesel benötigt werden und 123 Minuten Arbeitszeit pro Hektare gespart werden können (Roggli 2009: 36f). Generell lohnt sich die Umstellung auf Direktsaat nicht nur wirtschaftlich, sondern es profitiert auch die Umwelt, wie die von 1999 bis 2005 berechnete Ökobilanz der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Täniken (ART) zeigt. Die Umweltressourcen Boden, Wasser und Luft werden durch das Direktsaatsystem geschont (Chervet et al. 2008c: 52ff).

Eine zur Direktsaat verwandte Technik ist die sogenannte **Mulchsaat (MU)**. Zwar wird der Boden nicht wie beim Pflügen gewendet, trotzdem erfolgt ein mechanischer Eingriff in das Bodensystem in Form der (Kreisel-) Egge oder des Grubbers wodurch eine potentielle Bodenzerstörung eintreten kann. Nach Mosimann et al. (1991: 113) wird bei der Mulchsaat das Saatgut einer Kultur in einen mit Pflanzenresten bedeckten Boden abgelegt. Der Acker wird also vor dem Säen nicht gepflügt, wodurch längerfristig die Krümelstabilität erhöht wird. Wie bei der Direktsaat ist auch bei diesem Anbauverfahren eine üppige Mulchbedeckung charakteristisch. Beides, die Direktsaat und Mulchsaat, sind sogenannte agronomische Massnahmen.

Bei der **Düngung/Kompostierung/Nährstoffmanagement (NM)** handelt es sich auch um eine agronomische Massnahme. Mittels organischem Dünger, Kompost, Gründüngung oder mineralischen Düngemitteln wird eine Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Bodenstruktur, Wasserinfiltration und Perkolation beabsichtigt (Liniger et al. 2008: E14). In Gülle und Mist sind allgemein wertvolle Düngernährstoffe enthalten. Diese haben infolge der zuletzt enorm gestiegenen Handelsdüngerpreisen an Wert gewonnen, weshalb ein ertragswirksamer und verlustarmer Einsatz immer bedeutender wird. Besonders den Stickstoffverlusten in Form von Ammoniak gilt es entgegenzuwirken, welche zudem stark dem Waldökosystem zusetzen (Anhang CD - Zusatzmaterial Wald). Rund die Hälfte der Ammoniakverluste erfolgen gemäss Affolter & Kraft (2008: 44ff) während des Ausbringens der Hofdünger und in den ersten Stunden danach. Durch verschiedene Massnahmen lassen sich diese reduzieren. Einerseits gilt es die Witterungsbedingungen, das Verdünnen der Gülle und andererseits der Bodenzustand sowie emissionsmindernde Techniken wie die Schleppschlauch- oder Schleppschuhverteiler zu beachten. Die Gülle ist erst in Sicherheit, wenn sie in den Boden eingezogen ist. Mit Hilfe von emissionsmindernden Techniken gelang die Gülle ohne Versprühen direkt auf den Boden. Die mit Gülle benetzte Pflanzen- und

Bodenoberfläche wird dadurch stark verkleinert, womit die Ammoniak- und Geruchsemission entsprechend gesenkt werden können. Der Stickstoffausstoss in die Luft kann so gemäss Manser (2009: 8) um 60% reduziert werden. Gülle ist als rasch wirkender Stickstoffdünger einzusetzen und sollte daher nach Möglichkeit zu einer wachsenden Kultur, nicht nach Ernte und nicht vor oder während der Vegetationsruhe ausgetragen werden. Die Gülle muss aber immer vor der Saat ausgebracht werden. Ansonsten können auflaufende Sämlinge bei Kopfgüllegaben verbrennen oder in der dicken Gülle verstickten (Hug 2009: 42f). Ein zu intensiver Einsatz von Gülle schädigt außerdem die Regenwurmpopulation. Nach einer Aussage eines Landwirts aus dem Untersuchungsgebiet verbrennen, vergassen und ersticken die Regenwürmer infolge der Ausgabe von Gülle (Abbildung 29). Die Beurteilung dieser Konservierung ist schwierig. Es kann davon ausgegangen werden, dass auf allen Flächen im Untersuchungsgebiet Gülle, Mist oder chemische Düngemittel eingesetzt werden, diese aber nach einigen Tagen oder Wochen nach dem Ausbringen kaum mehr sichtbar sind. Der Zeitpunkt der Beobachtung und Bewertung spielt demnach eine wesentliche Rolle. Aufgrund der Beobachtungen während den Feldarbeiten kann davon ausgegangen werden, dass fast auf allen Parzellen in irgendeiner Form gedüngt wurde. Am schwierigsten ist die Situation beim Grasland einzuschätzen, beim Ackerbau ist die Düngung Standard.



Abbildung 29: Verendete Regenwürmer nach der Ausgabe von Hofgülle. Auf einer kleinen Fläche von rund 40x30 cm liegen ca. 12 tote Regenwürmer (Foto: Urs Grob).

Die **Fruchtfolge (CR)** ist eine spezielle Konservierungsmassnahme. Wie bereits im Abschnitt 4.4.1 erwähnt, sind in der Schweiz kaum Monokulturen vorzufinden. Somit befindet sich jede Parzelle in einer Fruchtfolge, welche oft sehr unterschiedlich und daher kaum zu kategorisieren sind. Das Fruchtfolgeprinzip zeichnet sich im Vergleich zu Monokulturen durch eine Verbesserung der Bodenstruktur, Nährstoffversorgung der Pflanzen sowie der Senkung des Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsdrucks aus (Roggli 2007: 33f). Die Fruchtfolge bildet einen wichtigen Bestandteil der konservierenden Massnahmen. Die Gestaltung der Fruchtfolge strebt nebst einer möglichst hohen Rendite durch den Anbau von wirtschaftlich interessanten Ackerbaukulturen und einer bedarfsgerechten Futterproduktion für den eigenen Viehbestand folgende Ziele an: geringer Hilfsstoffeinsatz, Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, hohe Nährstoffausnutzung, Schutz des Trinkwassers, Vermeidung von Arbeitsspitzen und eine gute Auslastung der Maschinen (ibid.). Die Bewertung stellt sich durch die Vielzahl von verschiedenen Fruchtfolgearten als schwierig heraus. Bezüglich der Bodendegradierungen markiert die Gestaltung der Fruchtfolge ein wichtiges Element. Dank einer angepassten und geeigneten Fruchtfolge kann der Boden langfristig konserviert werden, was die Bodenstruktur entscheidend beeinflusst. Mosimann et al. (1991: 100ff) stufen die Erosionsgefahr von Kunstwiese in ihrem Bericht beispielsweise als sehr gering ein. Mehrmals wurde im vorliegenden Bericht darauf hingewiesen, dass sich unter Kunstwiese oder Gründüngung die Bodenstruktur regenerieren kann. Dabei wird erstrebt, die Bodenstruktur und den Humusgehalt zu erhalten, den Krankheits- und Schädlingsdruck zu vermindern sowie den Austrag von Nährstoffen zu minimieren (Nowack et al. 1996: 9). Eine geringe Erosionsgefahr gehe nach Mosimann et al. (ibid.) von Wintergerste, Winterroggen, Hafer, Sommergetreide und Raps aus, den Kulturen Winterweizen, Ackererbsen und Ackerbohnen wird eine mittlere Gefährdung attestiert. Gross sei die Erosionsgefahr bei Mais, Rüben, Kartoffeln, Soja, Tabak und Sonnenblumen. Eine Einstufung wie jene nach Mosimann et al. (ibid.) kann im Prinzip auf den ganzen Bodendegradierungsbereich verwendet werden, wobei die Kategorien eher als Richtwerte gelten sollten. Einen besonderen Stellenwert erlangt die Saat von Zwischenfrüchten und Gründüngungen. Zwischenfrüchte eignen sich besonders nach Kulturen, welche bereits früh geerntet werden (wie Erbsen, Gerste, Raps) und vor Folgekulturen, welche spät im Frühjahr gesät werden (ibid.). Zusammenfassend kann mit der entsprechenden Fruchtfolgeabfolge eine andauernde Bodenbedeckung aufrechterhalten werden, welche für die Bodenkonservierung äusserst wertvoll ist.

In der Region Ob- und Nidwalden gibt es kaum **Streifenkulturen (SC)**, **vegetative Streifen/Hecken (VS)** sowie **Terrassen (TR)**. Bei den Streifenkulturen und Hecken handelt es sich um vegetative Massnahmen, Terrassen sind strukturelle Massnahmen. Wie Engesser (2009) in seiner Bachelorarbeit herausgearbeitet hat, können Hecken effektive Erosions-

beziehungsweise Wasserbarrieren darstellen. Eine Einschätzung deren Effektivität bleibt nach wie vor schwierig (Abschnitt 3.4). Dazu müssten zwei identische (Hangneigung, Bodenbearbeitung, Kultur und Bodenbedeckung) Parzellen während einem Erosionsprozesse, wovon eine mit und eine ohne Hecke, beobachtet werden. In dieser Arbeit ist es aufgrund der fehlenden Hecken im Untersuchungsgebiet unnötig. Zwar gibt es Parzellen mit Hecken, allerdings befinden sich diese an den Parzellenränder.

Das sogenannte **Grünlandmanagements (GR)** gehört in Verbindung mit vegetativen und agronomischen zu den Management-Massnahmen. In der Schweiz kontrolliert und reguliert der Landwirt durch das Einzäunen seiner Tiere beispielsweise das Ausmass der Überweidung. Anfällige Verdichtungsplätze wie Wasserstellen oder enge Übergänge zwischen zwei Weideabschnitten sind zwar kaum vermeidbar, trotzdem lassen sich mit dieser Massnahme grosse Degradierungen eindämmen. In die Kategorie gehören weitere Massnahmen wie zum Beispiel das regelmässige Mähen der Wiesen, wodurch eine ertragsreiche Futterproduktion gewährleistet bleibt. Im Untersuchungsgebiet gehören alle Graslandparzellen dem Grünlandmanagement an, wobei natürlich deren Effektivität separat bewertet wurde. Die Effektivität kann aufgrund der Nutzung stark variieren. So wird die Wirksamkeit einer intensiven Viehwiede niedriger sein als vergleichsweise bei einer normalen Kunstwiese.

TEIL III

Resultate & Diskussion

5 RESULTATE

5.1 ÜBERBLICK

Bevor die eigentliche Beschreibung der Resultate erfolgt, soll noch einmal in Erinnerung gerufen werden, wo der Fokus der Untersuchung liegt. Die Arbeit verfolgt im Grunde zwei Ziele. Einerseits sollen in den methodischen Zielsetzungen die Methodik von WOCAT/LADA angepasst, getestet und durchgeführt werden. Anhand dieses Prozesses soll gezeigt werden, welche Indikatoren sich für eine visuelle Zustandsbewertung bezüglich der Bodendegradierung eignen. Im Anschluss an die methodischen Zielsetzungen folgen die sogenannten inhaltlichen Ziele, welche sich an den in der Einleitung formulierten Hypothesen orientieren. Um diese verifizieren zu können, wurden in den Kapiteln Theorie und Methoden zuerst die Grundlagen erarbeitet. Dieses Kapitel enthält nun einen ausführlichen Überblick über die Auswertungen zu den Indikatoren aus dem Feldprotokoll (Anhang CD - Feldformular). Mit anderen Worten werden die Resultate zu den einzelnen Bereiche (A bis D) systematisch vorgestellt und mit Tabellen sowie thematischen Karten illustriert. Da die Untersuchung auf die landwirtschaftliche Nutzung fokussiert, sind die Ergebnisse zur Waldbewertung als Zusatzmaterial angeführt (Anhang CD - Zusatzmaterial Wald). Anschliessend folgt der Abschnitt zur Diskussion (Abschnitt 6). Die Verifizierung der drei anfangs aufgestellten Hypothesen erfolgt im vierten Teil, dem Syntheseteil.

5.2 BEREICH A – ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Der erste Bereich des Feldformulars behandelt die allgemeinen Informationen der Parzellen. Dieser Abschnitt thematisiert die Auswertungen zu den Indikatoren Landnutzungstyp, Kulturpflanze, Bodenbedeckung und Anbauverfahren, welche insbesondere bezüglich der Bodendegradierung interessant sind. Wesentliches Ziel der Untersuchung besteht darin, aufzeigen zu können, dass die Landnutzung, die Kulturpflanze sowie das Bodenmanagement hinsichtlich der Degradierungsanfälligkeit einen entscheidenden Einfluss bilden. Die erste Hypothese verfolgt diesem Kontext entsprechend das Ziel, verschiedene Landnutzungssysteme herauskristallisieren zu können.

5.2.1 LANDNUTZUNGSTYPEN (LAND USE TYPE)

WOCAT/LADA unterscheidet die Landnutzungstypen Ackerland, Grasland, Wald, Mixkulturen, Feuchtgebiete, offene Gewässer oder städtische Flächen. Für die vorliegende Arbeit sind ausschliesslich die landwirtschaftlich Nutzflächen sowie der Wald relevant. Während beim Wald keine weiteren Landnutzungsunterteilungen auszumachen sind, können die landwirtschaftlichen Nutzflächen gemäss den Auswertungen in **zwei Landnutzungstypen Grasland und Kulturland** unterteilt werden, wovon vorläufig **fünf Landnutzungssysteme** zu unterscheiden sind. Es sind dies beim Landnutzungstyp **Grasland** das **Grünland (Kunstwiese)** und **Weideland (Kunstwiese und Weideland)**. Die Definition Grasland betrifft alle Parzellen, die mit Gras bedeckt sind. Eine spezifischere Unterteilung in Kunstwiesen und Dauerwiesen und Weiden ist sinnvoll. Allerdings kann anhand der relativ kurzen Beobachtungszeit zwischen April und November kaum unterschieden werden, welche Parzellen Dauer- oder Kunstwiesen sind. Erfolgt der Wechsel von Kulturland auf Grasland, ist die Zuordnung als Kunstwiese deutlich. Aus diesem Grund wurde bei der Auswertung nicht in mehrjähriges und jährliches (engl.: perennial and annual) Grasland unterschieden sondern in Grünland und Weideland. Für den Landnutzungstyp **Kulturland** wurden die Landnutzungssysteme **konventionelle Anbauverfahren, Mulchsaat** und **Direktsaat** differenziert. Das Kulturland beinhaltet im Wesentlichen Getreidearten, Hackfrüchte und Sonderkulturen. Zu den Hackfrüchten werden gemäss BFS (2009: 14) die Futter- und Zuckerrüben sowie die Kartoffeln, bei den Getreideflächen Weizen, Gerste, Hafer, (Körner-) Mais und übrige Getreide gezählt. Die Resultate zum Wald sind wie erwähnt auf der CD im Anhang nachzulesen. Tabelle 14 und Abbildung 30 illustrieren einen Gesamtüberblick zur generellen Landnutzung im Untersuchungsgebiet. Die thematischen Karten sind für die nachfolgenden Kapitel jeweils identisch aufgebaut. Die Karte zeigt das räumliche (alle Teilgebiete) und zeitliche (drei Jahreszeiten) Aufkommen der verschiedenen Indikatoren. Im linken unteren Bereich befindet sich der entsprechende Kartentitel sowie auf der rechten Seite die dazugehörige Legende. Tabelle 14 ist wie die Abbildung 30 in die drei Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst unterteilt. Zusätzlich liegen die Daten für die einzelnen Teilgebiete (Gondiswil, Reisiswil, Melchnau I & II) vor. Für jede Jahreszeit ist abzulesen, wie viele Parzellen Grün-, Weide- und Kulturland jedes Gebiet zählte. In Gondiswil waren im Frühling beispielsweise insgesamt 67 Parzellen vorhanden, was 11.8% vom Gesamtanteil der 313 Parzellen bedeutet. Ausgerechnet auf den Gebietsanteil von 67 Parzellen sind es allerdings 55% (jeweiligen Werte in Klammern). Unter den Zeilen zu den Angaben der Anzahl und dem Prozentanteil der Parzellen sind die dazugehörigen Flächenangaben (in ha und %) illustriert. Auf der rechten Seite der Tabelle ist ausserdem immer das Gesamttotal verzeichnet. Die Abbildung 30 veranschaulicht die Veränderung der Landnutzung im Untersuchungsgebiet. Die farbliche

Veränderung zeigt einen deutlichen Wechsel in der Landnutzung gegen den Herbst, mit anderen Worten steigt der Anteil der Weidflächen deutlich an. Dies ist auch an den zusätzlich integrierten Kreisdiagrammen, welche sich auf die Flächenausdehnung beziehen, abzulesen. Insgesamt konnten im Frühling 21 und im Herbst 89 Weideparzellen beobachtet werden, wie der Tabelle 14 entnommen werden kann. Dies entspricht einer vierfachen Zunahme, was sich dementsprechend auf die Fläche auswirkt. Die Zahlen sprechen ein deutliches Muster, im Frühling betrug die Weidefläche 22 und im Herbst 109 ha. Dies entspricht der fünffachen Flächenzunahme (4.95) währenddessen sich die Grünlandflächen um den dreifachen Faktor (2.98) verringerte. Das Kulturland blieb über die ganze Beobachtung relativ stabil. Im Durchschnitt wurden 151 Parzellen mit einer Gesamtfläche von durchschnittlich 134.4 ha beobachtet und bewertet. Zwischen den Teilgebieten lässt sich durchaus eine differenzierte Landnutzung feststellen. Im Frühling dominiert Reisiswil bei der Landnutzung Grünland klar mit 56.7 ha (Tabelle 14). Gegen den Herbst hin verliert Reisiswil (10.64 ha) seine dominante Stellung an Gondiswil (21.64 ha) und Melchnau I (15.24 ha). Generell ist der Grünlandanteil in Gondiswil während den Beobachtungen immer relativ hoch, fast Ausgeglichen mit dem Kulturland. Im Herbst sind schliesslich in allen Gebieten, ausser Gondiswil, die Weideflächen grösser als das Grünland. Bezüglich des Weidelandanteils enthüllt sich Reisiswil als "Hochburg" mit einem Gesamtflächenanteil von etwas über 45 ha im Herbst, was 41% der gesamten Weidefläche des Untersuchungsgebiets (von total 109.33 ha) entspricht. Innerhalb von wenigen Monaten nahm die Weidefläche in Reisiswil von 4.6 auf über 45 ha zu. Dies entspricht der zehnfachen Zunahme (9.83). Die ausgeprägte Weidenutzung lässt sich teilweise mit den lokalen pedologischen und geologischen Gegebenheiten begründen. Wie der Abschnitt 2.3 (Abbildung 3 & Tabelle 6) darauf hinwies, eignet sich der Boden von Reisiswil nur mässig für Getreidebau, dafür umso mehr für den Futterbau sowie Grossvieh- (K2) und Jungviehweide (K3). In der ackerbaulichen Landnutzung sind die Verhältnisse wesentlich ausgeglichener. Als führendes Teilgebiet bezüglich des Flächenumfangs erweist sich Melchnau I mit durchschnittlich 41.2 ha führend, gefolgt von Reisiswil mit durchschnittlich 33.6 und Melchnau II 30.8 ha. Erstaunlich ist der hohe Ackerbauanteil im Teilgebiet Melchnau II, welches im Vergleich zu Reisiswil über eine rund 30 ha (Tabelle 3) kleiner Gebietsfläche verfügt, dafür aber fast gleich so viel Kulturland aufweist. Eine Erklärung liefern wie besprochen die pedologischen und geologischen Bodeneigenschaften sowie die topographischen Verhältnisse, welche in Reisiswil deutlich ausgeprägter sind als in Melchnau II. Zudem werden am Standort von Melchnau II verschiedene Sonderkulturen intensiv bewirtschaftet.

Tabelle 14: Übersicht zu den Landnutzungstypen innerhalb des Forschungsgebiets. Die Landnutzung verschiebt sich von der im Frühling dominierenden Grünlandnutzung hin zur Weide- und Kulturlandnutzung im Herbst. Im Sommer und im Herbst wurden gleich viele Kulturparzellen gezählt, bei den Weideparzellen zeichnet sich eine stetige Zunahme gegen den Winter ab. Werte in Klammern entsprechen dem Prozentanteil bezogen auf das Teilgebiet (Quelle: Urs Grob).

FRÜHLING	Gondiswil				Reisiswil				Melchnau I				Melchnau II				Oberaarg.		Anz. Parzellen		Flächenanteil	
	Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total		[#]		[ha]	
Anz. Parzellen	37	2	28	67	56	5	32	93	44	5	42	91	19	9	34	62	313	Tot. Grünl.	156	Tot. Grünl.	156	165,25
Prozentanteil	11,82	0,64	8,95	21,41	17,89	1,60	10,22	29,71	14,06	1,60	13,42	29,07	6,07	2,88	10,86	19,81	100,00	Tot. Weidel.	21	Tot. Weidel.	21	22,00
[% von 313 Parz.]	(55,2)	(3,0)	(41,8)		(60,2)	(5,4)	(34,4)		(48,4)	(5,5)	(46,1)		(30,7)	(14,5)	(54,8)							
Flächenanteil	38,11	2,28	25,19	65,58	56,71	4,60	30,00	91,31	49,82	3,92	37,21	90,95	20,61	11,20	31,05	62,86	310,70	Tot. Kulturl.	136	Tot. Kulturl.	136	123,45
Prozentanteil	12,27	0,73	8,11	21,11	18,25	1,48	9,66	29,39	16,03	1,26	11,98	29,27	6,63	3,60	9,99	20,23	100,00	Oberaarg.	313	Oberaarg.	313	310,70
[% von 310,7 Hekt.]	(58,1)	(3,5)	(38,4)		(62,1)	(5,0)	(32,9)		(54,8)	(4,2)	(41,0)		(32,8)	(17,8)	(49,4)							
SOMMER	Gondiswil				Reisiswil				Melchnau I				Melchnau II				Oberaarg.		Anz. Parzellen		Flächenanteil	
	Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total		[#]		[ha]	
Anz. Parzellen	28	3	35	66	30	27	37	94	28	22	47	97	13	16	40	69	326	Tot. Grünl.	99	Tot. Grünl.	99	96,17
Prozentanteil	8,59	0,92	10,74	20,25	9,20	8,28	11,35	28,83	8,59	6,75	14,42	29,75	3,99	4,91	12,27	21,17	100,00	Tot. Weidel.	68	Tot. Weidel.	68	80,63
[% von 326 Parz.]	(42,4)	(4,6)	(53,0)		(32,0)	(28,7)	(39,3)		(29,0)	(22,6)	(48,4)		(18,8)	(23,2)	(58,0)							
Flächenanteil	31,02	4,46	30,10	65,58	24,67	31,27	35,37	91,31	27,63	23,65	39,67	90,95	12,85	21,25	28,76	62,86	310,70	Tot. Kulturl.	159	Tot. Kulturl.	159	133,90
Prozentanteil	9,98	1,44	9,69	21,11	24,67	10,06	11,38	29,39	8,89	7,61	12,77	29,27	4,14	6,84	9,26	20,23	100,00	Oberaarg.	326	Oberaarg.	326	310,70
[% von 310,7 Hekt.]	(47,3)	(6,8)	(45,9)		(27,0)	(34,3)	(38,7)		(30,4)	(26,0)	(43,6)		(20,4)	(34,0)	(45,6)							
HERBST	Gondiswil				Reisiswil				Melchnau I				Melchnau II				Oberaarg.		Anz. Parzellen		Flächenanteil	
	Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total				Grünland Weideland Kulturland Total		[#]		[ha]	
Anz. Parzellen	19	10	34	63	13	39	38	90	16	24	47	87	9	16	40	65	305	Tot. Grünl.	57	Tot. Grünl.	57	55,42
Prozentanteil	6,23	3,28	11,15	0,00	4,26	12,79	12,46	29,51	5,25	7,87	15,41	28,52	2,95	5,25	13,11	21,31	79,34	Tot. Weidel.	89	Tot. Weidel.	89	109,33
[% von 305 Parz.]	(30,1)	(15,9)	(54,0)		(14,4)	(43,3)	(42,3)		(18,4)	(27,6)	(54,0)		(13,8)	(24,6)	(61,6)							
Flächenanteil	21,64	12,87	31,07	65,58	10,64	45,21	35,46	91,31	15,24	28,85	46,86	90,95	7,90	22,40	32,56	62,86	310,70	Tot. Kulturl.	159	Tot. Kulturl.	159	145,95
Prozentanteil	6,96	4,14	10,00	21,11	3,42	14,55	11,41	29,39	4,91	9,29	15,08	29,27	2,54	7,21	10,48	20,23	100,00	Oberaarg.	305	Oberaarg.	305	310,70
[% von 310,7 Hekt.]	(33,0)	(19,6)	(47,4)		(11,7)	(49,5)	(38,8)		(16,8)	(31,7)	(51,5)		(12,6)	(35,6)	(51,8)							

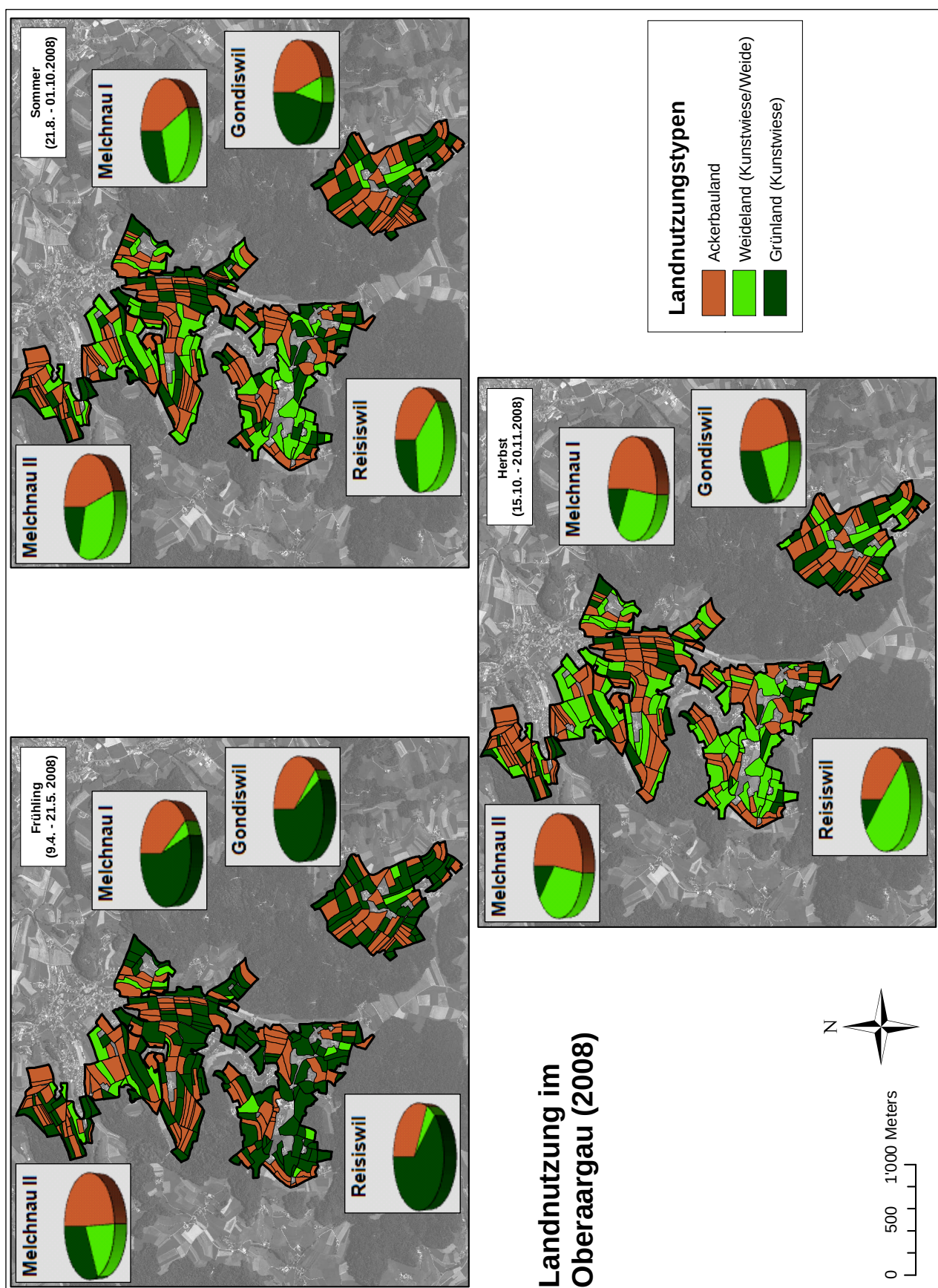


Abbildung 30: Saisonaler Zustand der Landnutzungstypen und Kreisdiagramme nach Fläche. Erhebliche Zunahme des Weidelandes gegen die Wintermonate, Kulturland im Sommer und Herbst konstant. (Karten: Urs Grob).

5.2.2 KULTUR-/NUTZPFLANZEN (CROP/PLANT TYPE)

Während dem Feldaufenthalt wurden konnten in den Teilgebieten total 21 verschiedene Kulturtypen unterschieden werden (Legende Abbildung 31). Bei den meisten handelt es sich um klassische Pflanzen aus dem Schweizer Mittelland. Einzige das Tabakfeld in Gondiswil sowie die Kräuter- und Spargelfelder in Melchnau II bilden eine Ausnahme. Die Abbildung 31 repräsentiert die Kulturveränderung innerhalb der drei Jahreszeiten. Im Frühling wurden zehn, Sommer achtzehn und Herbst dreizehn verschiedene Kulturen beobachtet. Im Frühling wird das Untersuchungsgebiet von den Kulturen Grasland (Grünland und Kunstwiesen), Wintergersten und Winterweizen dominiert, welche bereits eine Fläche von 251 von insgesamt 310.7 ha bedecken (Tabelle 14). Das entspricht 81% der Gesamtfläche des Kulturlandes. Der Rest des Kulturlandes wird durch die anderen sieben Kulturen bedeckt, wovon das Saatbeet mit 23 Parzellen und einer Fläche von 5% (15 ha) sowie der Dinkel (4 Parzellen und 6.49 ha; 2.1%) weitere grosse Flächen bedecken. Die grösste Diversität mit neun Kulturen konnte im Teilgebiet Melchnau II aufgespürt werden. Gegenüber dem Frühling präsentierte sich im Sommer eine wesentlich höhere Kulturvielfalt mit 18 Kulturen. Die grösste Artenvielfalt wurde in Gondiswil mit elf Kulturen lokalisiert, wo einmalige Kulturen wie Tabak, Hafer oder Buntbrache beobachtet wurden. In Gondiswil wurde auch das einzige Winterweizenfeld für den Sommer beobachtet, allerdings muss ergänzt werden, dass die Feldarbeit stets in diesem Gebiet begonnen hat. Es hätte also durchaus möglich sein können, dass an diesem Tag noch weiter Winterweizenparzellen im Untersuchungsgebiet bestanden. Wie im Frühling dominieren die Graslandflächen mit 74% (229.85 ha), wovon 31% (96.22 ha) Grünland, 26% (80.63 ha) Weideland und 17% (53 ha) oder 56 Parzellen Kunstwiese sind. Im Frühling war eine eindeutige Zuordnung von Kunstwiesen noch nicht möglich. Erst bei einem Fruchtfolgewechsel, nachdem im Frühling alle Kulturen klassifiziert wurden, im Sommer konnten die Kunstwiesen eindeutig bestimmt werden. Mais 7.2% (22.47 ha), Wintergerste 4% (12.34 ha) und Mulchsaatfelder 3.8% (11.67 ha) gestalten die restlichen massgeblichen Kulturen. Mulchsaatfelder werden klassifiziert, sobald $\geq 30\%$ der Parzellenoberfläche mit Ernterückständen bedeckt ist und keine frische Aussaat ermittelt werden kann. Wenn die Ernterückstände (auch Pflanzenstoppeln) weniger als 30% der Fläche bedecken, wird die Parzelle als Stoppelfeld klassifiziert. Im Sommer sind nebst den 3% (9.22 ha) Saatbeet-Parzellen auch der Raps 2% (6.39 ha) und die Rüben 1.9% (5.84 ha) vertreten. Die restlichen 5% der Gesamtfläche entfallen auf die übrigen Kulturen. Im Herbst wurden 13 Kulturtypen beobachtet, wovon in Melchnau II deren zehn und in Gondiswil neun in Erscheinung traten. In den beiden anderen Teilgebieten waren es je sieben. Obwohl Gondiswil und

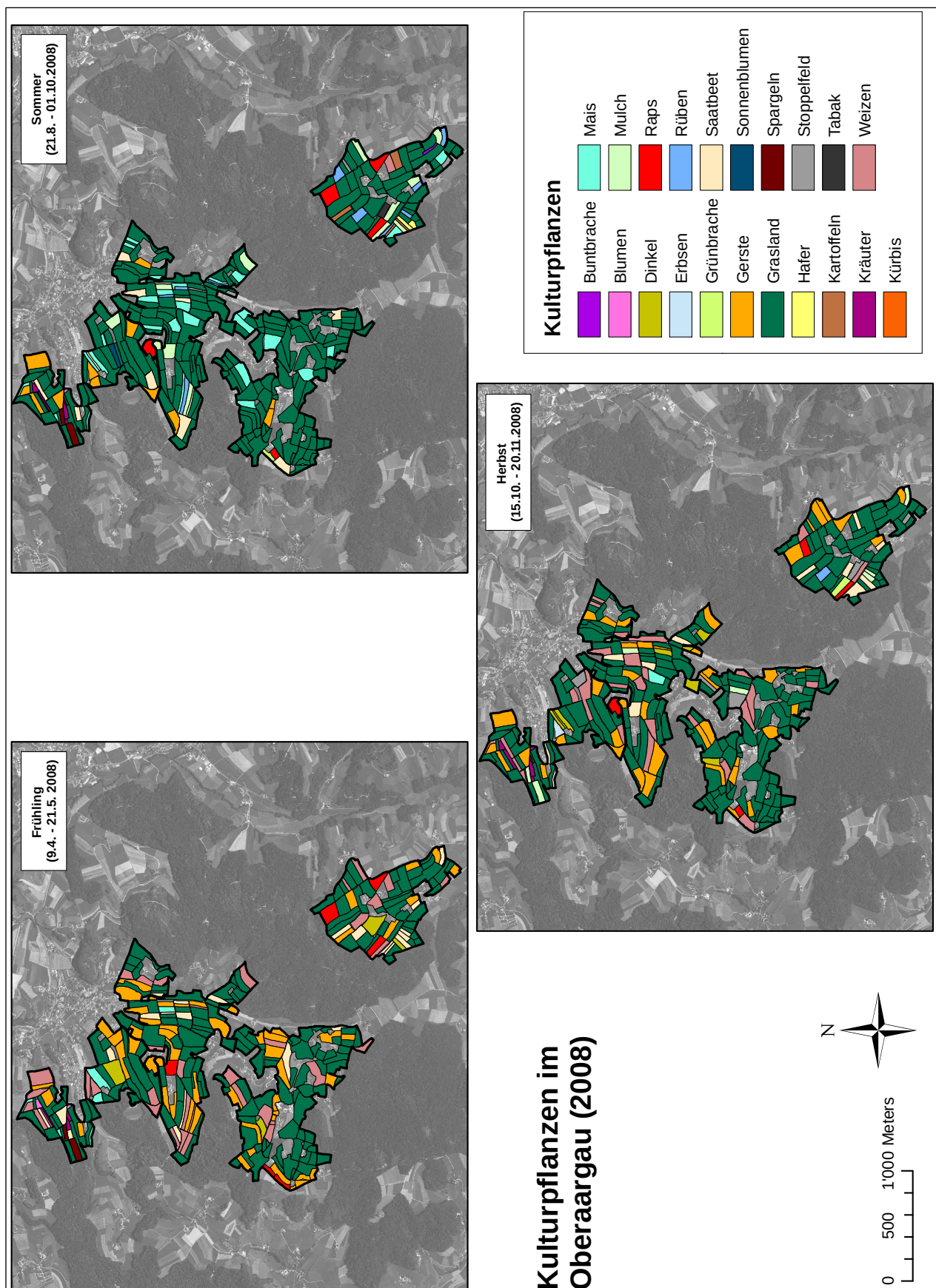


Abbildung 31: Saisonaler Zustand der Kulturpflanzen. Im Sommer wurde die grösste Diversität der Kulturen mit 18 unterschiedlichen Arten beobachtet (Karten: Urs Grob).

Melchnau II flächenmässig kleiner sind als Reisiswil und Melchnau I, bezeugen sie immer eine grössere Artenvielfalt. Analog zum Frühling dominieren im Herbst die Graslandparzellen mit insgesamt 66.1% (205.44 ha), wovon 17.8% (55.42 ha) Grünland, 35.2% (109.33 ha) Weideland und 13.1% (40.69 ha) oder 45 Parzellen Kunstwiese sind. Der Anteil an Wintergersten und Winterweizen nahm wieder zu mit 14.1% (43.72 ha) und 8.4% (26.23 ha). Weiter bedeutsame Kulturtypen sind die Saatbeete mit 3.1% (9.74 ha), Dinkel 1.9% (5.87 ha), Stoppelfelder 1.7% (5.18 ha) und Mulchsaatfelder 1.6% (4.9 ha). Der Anteil am Grasland ist wie oben beschrieben in Reisiswil am grössten. Die Hangneigungen sind ein limitierender Faktor für den Getreidebau, weshalb in Reisiswil viel Grasland vorzufinden ist. Viele Parzellen in Reisiswil sind durch markante Neigungen geprägt. Der Vergleich zu den anderen Teilgebieten bezüglich der Höhendifferenz verdeutlicht dies. In Reisiswil beträgt der Höhenunterschied ca. 150, in Gondiswil 60, Melchnau I 75 und Melchnau II 55 Meter. Aufgrund der ausgeprägten Topographie wird gemäss Herrn Steffen (Bauer aus Reisiswil) in Reisiswil vermehrt die Direktsaat als Bodenbearbeitungsverfahren verwendet. Er spricht von einem tatsächlichen Anteil von bis zu 80%.

5.2.3 BODENBEDECKUNG (SOIL COVER)

Die Bodenbedeckung spricht, wie im Abschnitt 4.4.3 vorgestellt, drei verschiedene Aspekte an. Es sind dies die Bedeckung durch die Kultur, die Ernterückstände respektive die Mulchschicht sowie die unbedeckten Bodenoberflächen. Nebst dem Landnutzungstyp, der Kulturpflanze und dem Anbauverfahren ist die Bodenbedeckung hinsichtlich der Bodendegradierung ein fundamentaler Faktor. Die Abbildungen 32 bis 35 liefern vor allem quantitative Ergebnisse zur Bodenbedeckung, während die thematische Karte (Abbildung 36) die räumliche Ausdehnung der unbedeckten Bodenoberflächen darstellt. Gemäss der Tabelle 10 können 5 Kategorien unterschieden werden. Die Abbildungen 32 bis 35 lehnen sich an diese Kategorien an, weshalb für jede der Kategorie der Durchschnittswert berechnet wurde. Bei der Betrachtung der Abbildung 32 fällt auf, dass über die gesamte Beobachtungszeit am meisten Parzellen der Kategorie mit >70% Bodenbedeckung angehörten. Im **H**erbst ist diese Rate im Vergleich zum **F**rühling und **S**ommer grösser (**F**: 144, **S**: 158, **H**: 162). Im Herbst entsprechen die 158 Parzellen einem Anteil von 53% des gesamten Parzellenumfangs, bei welchen von keiner reduzierten Bodenbedeckung ausgegangen wird. Zwar verzeichnet der Herbst am meisten Parzellen mit einer guten Bodenbedeckung, allerdings treten im Herbst auch am meisten Parzellen mit einer extrem ($\leq 15\%$) oder stark ($>15-30\%$) reduzierten Bodenbedeckung auf. Die Abbildungen 33 bis 35 stellen weitere interessante Aspekte zur Bo-

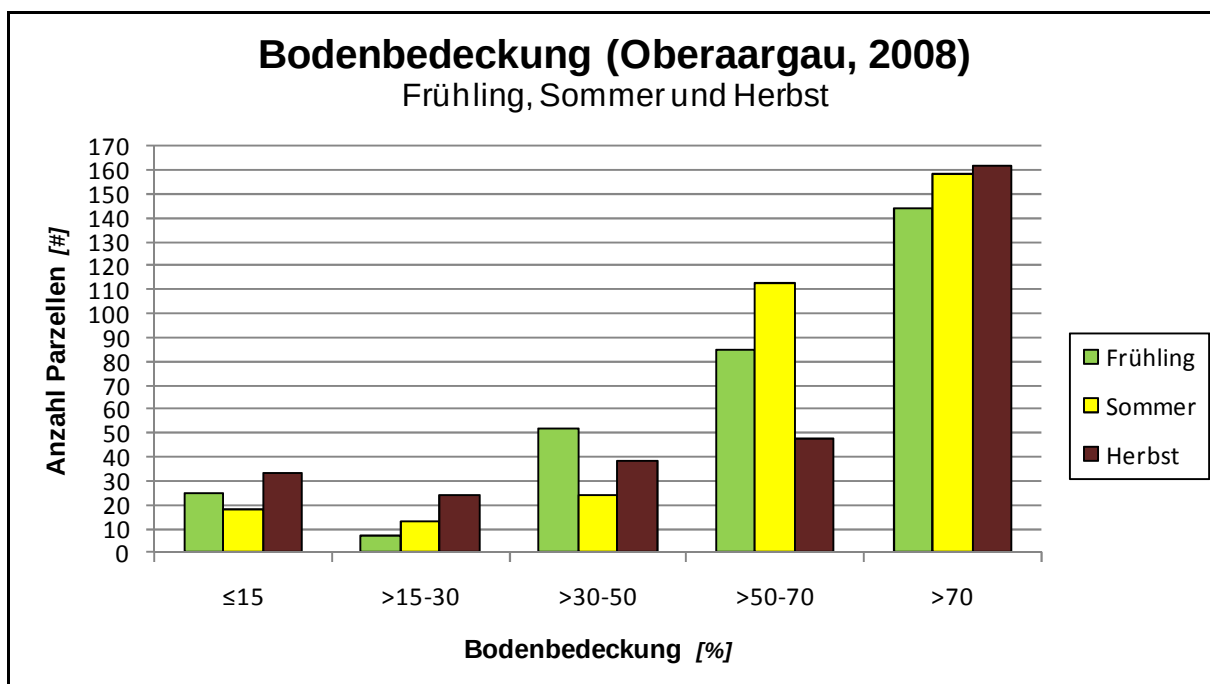


Abbildung 32: Das Säulendiagramm zur durchschnittlichen Veränderung der Bodenbedeckung der drei Jahreszeiten offenbart, dass die Kategorie >70% Bodenbedeckung (Pflanze und Mulch) am stärksten vertreten war (Quelle: Urs Grob).

denbedeckung in Aussicht. Die Bodenbedeckungsverhältnisse sollen im Hinblick auf die Schlüsselfaktoren Landnutzung, Kulturen und Bodenbearbeitung betrachtet werden. Abbildung 33 präsentiert die Situation für die verschiedenen Landnutzungstypen. Der Landnutzungstyp Grasland wurde separiert, das heisst es sind das Grünland (Kunstwiesen) und das Weideland (Kunstwiesen und Weideland) abgebildet. Zusätzlich wurden die drei Jahreszeiten gemittelt. Mit anderen Worten stellt diese Abbildung somit ein Gesamtbild zum Bedeckungszustand dar. Aus der Abbildung 33 wird deutlich, dass hauptsächlich das Grünland und das Weideland in der Kategorie Bodenbedeckung >70% gegenwärtig (127), während es beim Kulturland nur 28 Parzellen sind. Bei den Kategorien, wo die Bodenbedeckung extrem ($\leq 15\%$) und stark (>15-30%) verringert ist, ist nur Kulturland vertreten. In der dritten Kategorie (>30-50%) treten unter Grünland ausschliesslich Parzellen auf, welche frisch gemäht wurden (zwei Parzellen) und aus diesem Grund aktuell eine schlechtere Bodenbedeckung verzeichnen. Dasselbe gilt für die vierte Kategorie, wo das Weideland (22 Parzellen) hinzukommt. Bei den Weideparzellen sind es Felder, die von einer Übernutzung zeugen oder über eine zu lange Zeit (April bis November) als Weide dienten und daher schlechter bedeckt waren als Grünland. Hier wurde oft eine Zerstörung der Grasnarbe festgestellt. Die Mehrheit der Weideparzellen wies aber die meiste Zeit eine ausreichende Bedeckung auf. In der Abbildung 34 sind die Bodenbedeckungsverhältnisse im Zusammen mit den Nutzpflanzen dargestellt. Hierfür wurden nach Stock und Diepenbrock (1999: 7f) zehn Hauptkulturen

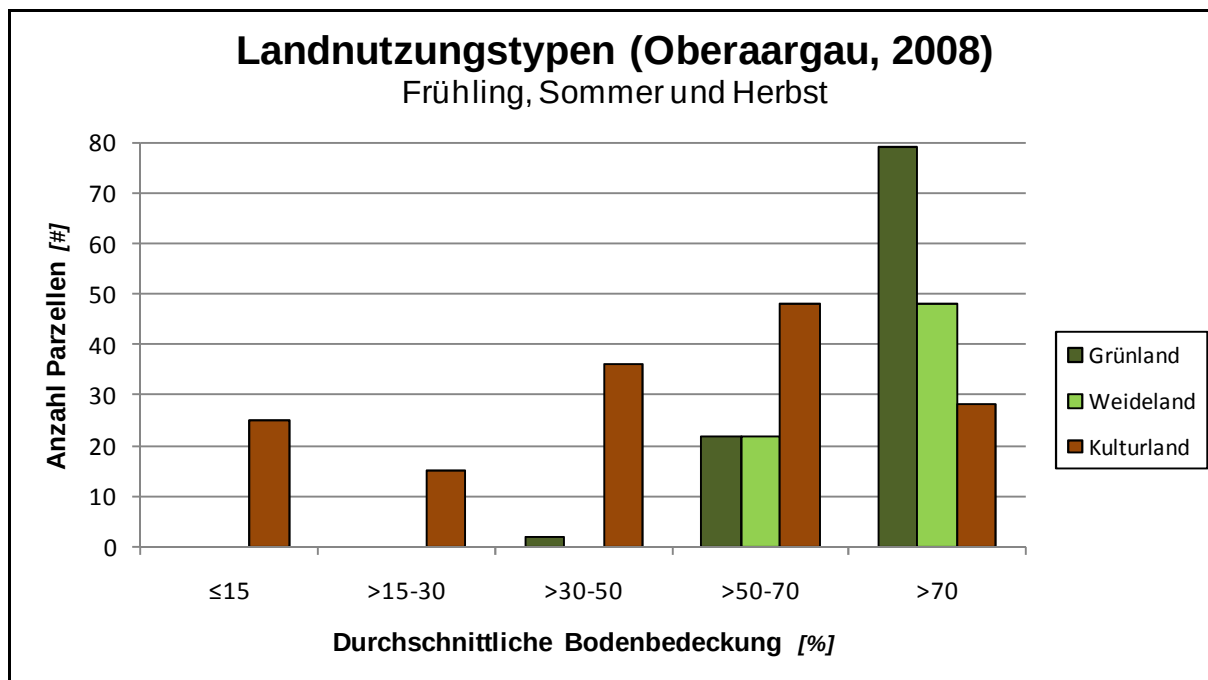


Abbildung 33: Durchschnittliche Bodenbedeckung der drei Jahreszeiten in Bezug zu den Landnutzungstypen. Das Grasland zeigt allgemein eine deutlich bessere Bodenbedeckung auf als das Kulturland (Quelle: Urs Grob).

gebildet, was in Form der Tabelle 15 vorliegt. Wie schon zuvor bei der Abbildung 33 wurden auch hier die Werte innerhalb der fünf Kategorien und der drei Jahreszeiten gemittelt. Das Ergebnis ist ein Säulendiagramm, welches die Beziehung zwischen den zehn Hauptkulturen und der Bodenbedeckung angibt. Bei der Interpretation ist allerdings Vorsicht geboten, denn die Angaben in Parzellen (x-Achse) ist trügerisch. Es muss beachtet werden, dass über die drei Jahreszeiten im Untersuchungsgebiet anzahlmässig viel mehr Winterweizenparzellen angebaut wurden als beispielsweise Maisparzellen. Weiter war die Hauptkultur der Körnerleguminosen zum Beispiel zu wenig vertreten, wodurch der Wert (<0.5) zu klein war und folglich aus der Bewertung ausschied. Die Mittelwerte führen beim Säulendiagramm daher dazu, dass die Anzahl betroffener Parzellen nicht miteinander verglichen werden kann. Wie zuvor bei der Abbildung 33 ist zu erkennen, dass die Graslandparzellen bezüglich der Bodenbedeckung (Tabelle 10) leicht bis gar nicht degradiert sind, wohingegen die Getreidekulturen schlecht abschneiden. Durchschnittlich sind am meisten Winterweizenparzellen mässig degradiert. Bei den brache liegenden Felder ist die Bedeckung durchgezogen, je nach Ernterückständen. Relativ erstaunlich ist das gute Abschneiden der Hackfrüchte und Sonderkulturen. Ganz schlecht schneidet natürlich die Hauptkultur Saatbeet ab, welche immer eine extrem schlechte Bodenbedeckung aufweisen.

Tabelle 15: Einteilung der Kulturen in Hauptkulturen (Eigene Darstellung, in Anlehnung an Stock und Diepenbrock).

Nr.	Hauptkulturen	Kulturen	Nr.	Hauptkulturen	Kulturen
1.	Brache	Mulchparzellen und Stoppelfelder	6.	Mais	Mais
2.	Getreide	Dinkel (Spelz) / Hafer Wintergerste und -weizen	7.	Ökolog. Ausgleichsflächen	Buntbrache und Grünbrache
3.	Grünland	Wiesen	8.	Öl- und Faserpflanzen	Raps
4.	Hackfrüchte	Kartoffeln und Rüben	9.	Saatbeet	Bereitung des Saatbeets
5.	Körnerleguminosen	Erbsen	10.	Sonderkulturen	Blumen / Kräuter / Kürbis Sonnenblumen / Spargeln / Tabak

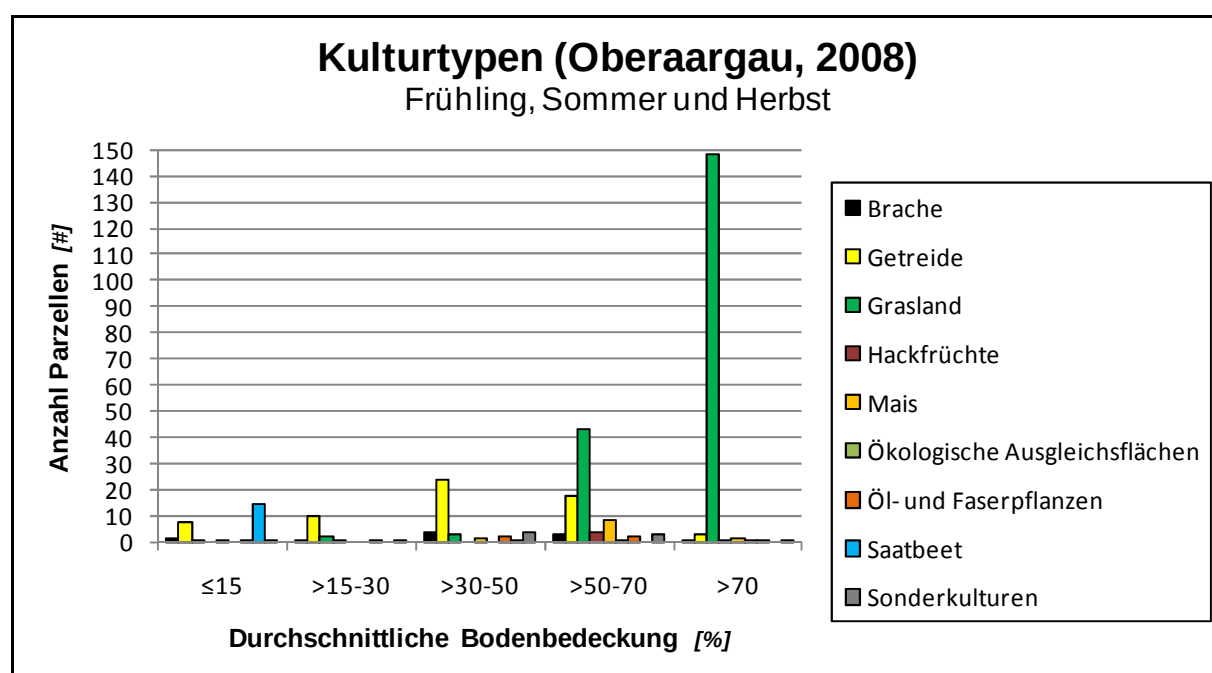


Abbildung 34: Durchschnittliche Bodenbedeckung der drei Jahreszeiten in Bezug zu den Hauptkulturen. Grasland weist generell eine gute, Getreide, Saatbeet und Brache hingegen eine schlechte Bodenbedeckung auf (Quelle: Urs Grob).

Bei der Bodenbearbeitung (Abbildung 35) konnten sechs Verfahren unterschieden werden (Abschnitt 5.2.4), wobei die Kategorie nicht-wendend extensiv nicht erfasst wurde. Alle anderen Verfahren können der Legende aus Abbildung 35 entnommen werden. Für viele Graslandparzellen war eine exakte Zuordnung bezüglich ihres Anbauverfahren nicht möglich. Dementsprechend ist die durchschnittliche Anzahl Parzellen mit einer unbekannten/keine Bearbeitung so hoch. Bei den bodenschonenden Verfahren überrascht, dass die Mulchsaat (nicht-wendend intensiv) generell eine bessere Bodenbedeckung aufweist als die Direktsaat. Besonders stark ist es bei den Kategorien >50-70% und >70%. Dagegen ist die Direktsaat in der Kategorie >30-50% besser. Die gepflügten Parzellen schneiden im Vergleich zu den anderen Verfahren deutlich schlechter ab.

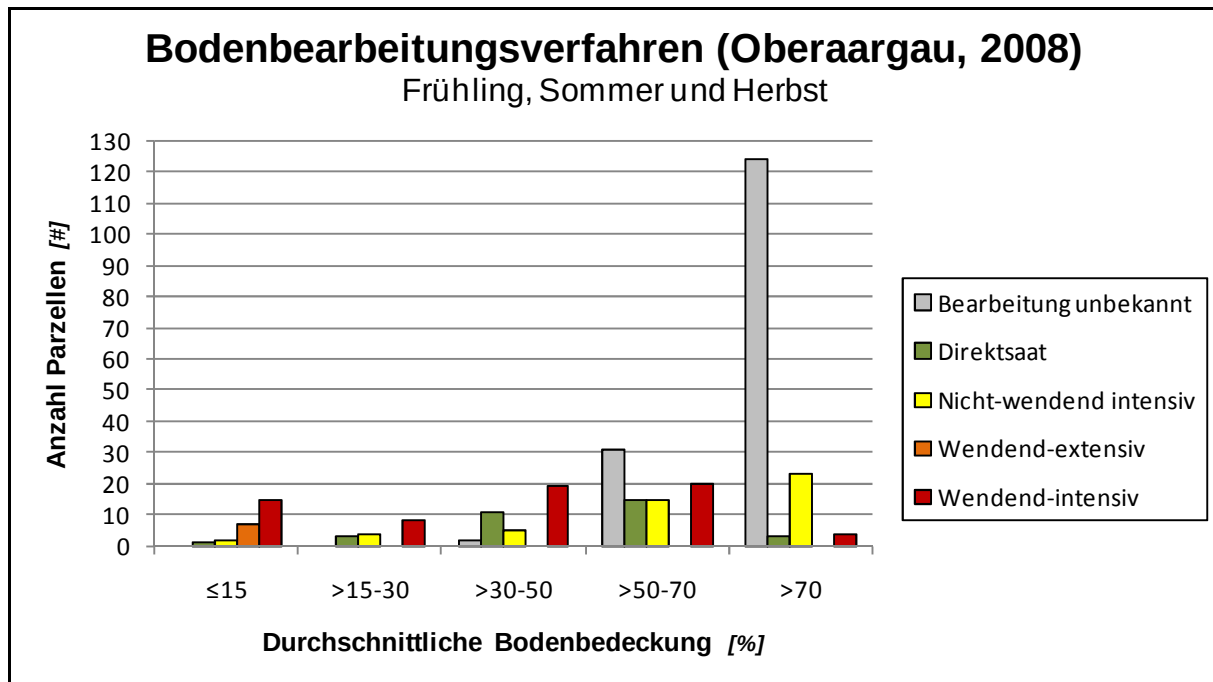


Abbildung 35: Durchschnittliche Bodenbedeckung der drei Jahreszeiten in Bezug auf das Bodenbearbeitungsverfahren. Im Vergleich zur Direkt- und Mulchsaat schneidet der Pflug unverkennbar schlechter ab (Quelle: Urs Grob).

5.2.4 BODENBEARBEITUNGSVERFAHREN (SOIL MANAGEMENT)

Den allgemeinen Teil des Feldformulars setzt sich aus der Information zum Bodenmanagement zusammen. Wie im Abschnitt 4.4.4 erwähnt, ist das Bodenbearbeitungsverfahren bezüglich der Bodendegradierungen von entscheidender Bedeutung. Vor der Feldarbeit wurden sechs verschiedene Anbautechniken unterschieden, wobei das Verfahren nicht-wendend extensiv nie beobachtet werden konnte. Die Abbildung 37 zeigt die saisonale Verteilung und Veränderung der Bodenbearbeitung. In der Abbildung sind die konventionellen Verfahren (wendend extensiv und intensiv) zu einer Rubrik zusammengefasst. Am häufigsten wurden den Parzellen die Bodenbearbeitung unbekannt/keine zugewiesen. Absolut beinhaltet diese Kategorie im Frühling 57% (177), Sommer 49% (160) und Herbst 45% (138 Parzellen). Diese Bearbeitung wurde vor allem dem Landnutzungstypen Grasland zugeteilt. Direkt gesät wurden im Frühling und im Herbst je 12% (38) sowie im Sommer 8% (25 Parzellen). Durchschnittlich sind im ganzen Gebiet also rund 10% direkt gesät. Die Abbildung 38 zeigt sehr schön, wie die Direktsaat regional unterschiedlich präsent ist. So ist sie vor allem, wie in den vorderen Abschnitten erörtert, in Reisiswil weit verbreitet. Im Frühling wurde die Mulchsaat verglichen mit dem Sommer und Herbst sehr schwach wahrgenommen. Dies kann durchaus ein Fehler bei der Erhebung im Feld sein, da zu Beginn der Feldarbeit noch kaum Erfahrung mit diesem Anbauverfahren gemacht worden sind. Im Frühling zählte sie 5.4% (17), im Sommer 20.6% (67) und Herbst 20% (61 Parzellen).

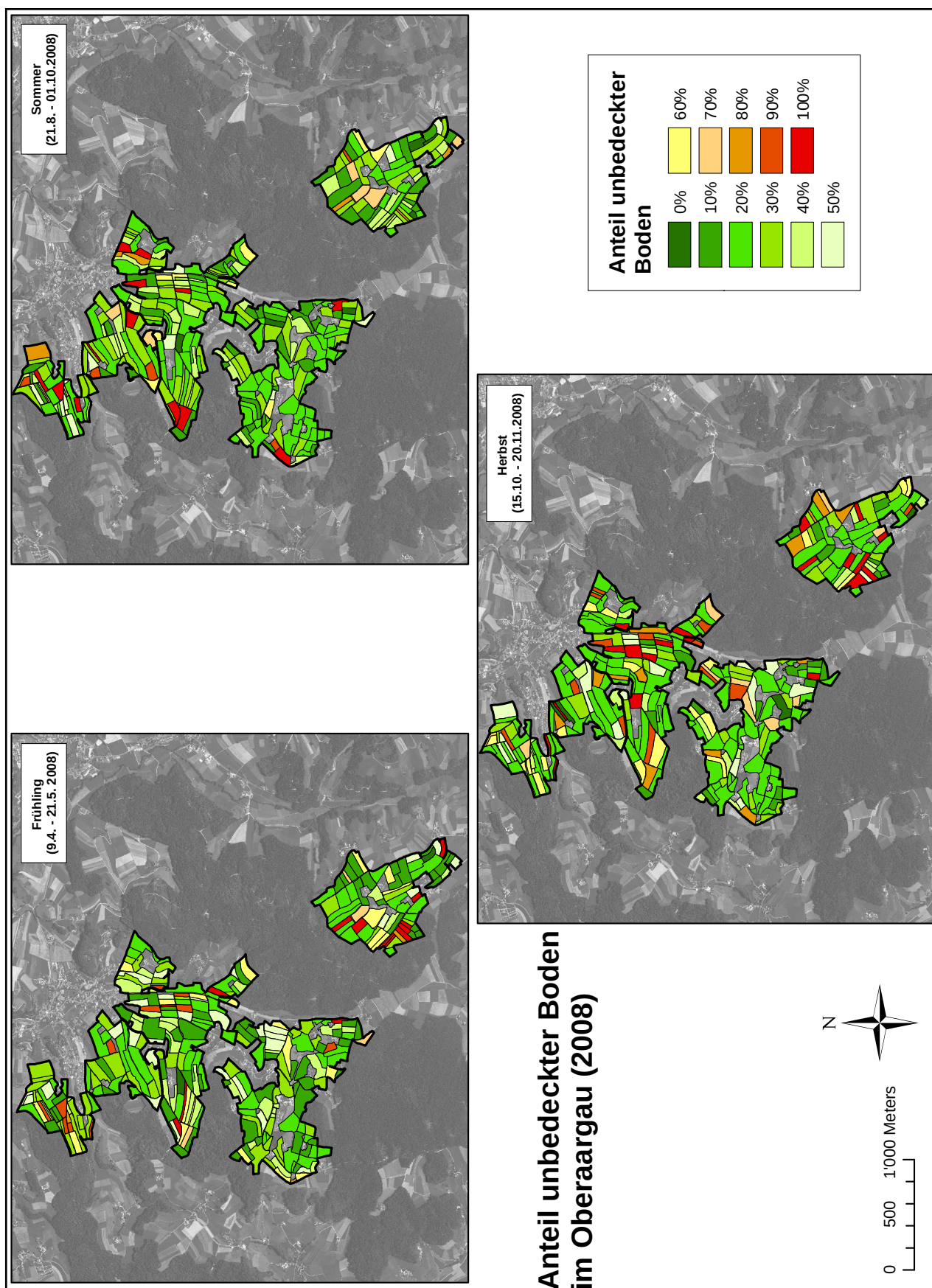


Abbildung 36: Saisonaler Zustand der unbedeckten Bodenoberflächen. Im Herbst hatten mit 20 Parzellen am meisten keine Bodenbedeckung (Karten: Urs Grob).

Nebst der Bearbeitungskategorie unbekannt/keine wurden im Gebiet am meisten Parzellen unter einem konventionellen Verfahren bewirtschaftet. Im Frühling war ihre Anwendung mit 26% (81) am verbreitetsten, dicht gefolgt vom Sommer (23%, 74 Parzellen) und Herbst (68 22%, Parzellen). Vergleicht man die Abbildung 37 über die quantitativen Zahlen mit der räumlichen Verteilung in Abbildung 38, wird die Abnahme der konventionellen Verfahren gegen den Herbst sichtbar. Zusätzlich springt ins Auge, dass in Reisiswil kaum gepflügte Parzellen vorhanden sind. Die Darstellung deckt sich mit den Aussagen von Herrn Steffen, welcher berichtete, dass in Reisiswil nur im äussersten westlichen und östlichen Teil gepflügt wird. Der Rest wird demnach entweder direkt gesät oder mit der Mulchsaat bewirtschaftet. In der Arbeit wurde dies aber nicht so wahrgenommen. Beim Grasland wurde meistens die Bearbeitung unbekannt/keine vermutet (Abbildung 30). Der tatsächliche Anteil an direkt gesäten Parzellen dürfte in Reisiswil gemäss der Aussage von Herrn Steffen (Kapitel 5.2.2) aber grösser sein, da ja auch Grasland direkt gesät werden kann. In der Arbeit wurden aber nur die evidenten Fälle als direkt gesäte Graslandparzellen klassifiziert. Die Abbildung 38 zeigt auch schön, dass vor allem in den Teilgebieten Melchnau I, Melchnau II sowie Gondiswil konventionelle Anbauverfahren zum Einsatz kommen. In Gondiswil ist eine Direktsaat kaum nötig, da fast nirgend steile Hänge zu verzeichnen sind. Weiter bieten die Böden in Gondiswil nicht optimale Bedingungen zur Direktsaat, vor allem nicht in Nähe von Gewässern (Fribach). Dies wurde unter anderem auch von diversen Landwirten übermittelt.

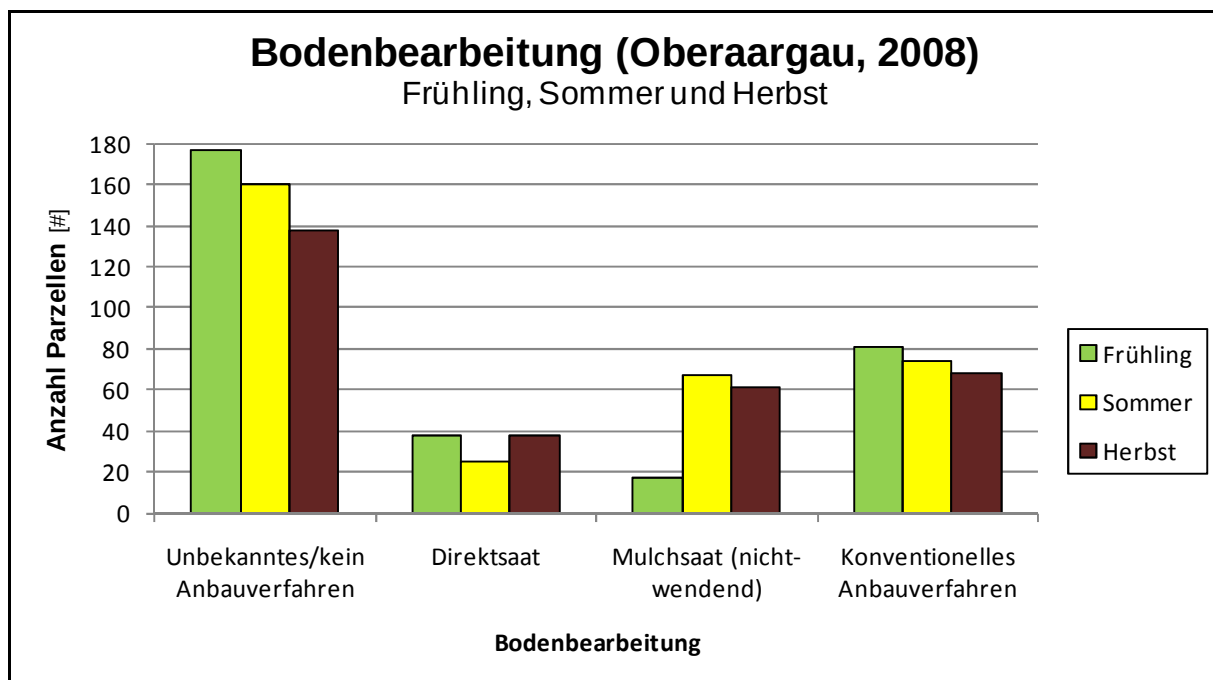


Abbildung 37: Saisonale Änderung des Bodenmanagements. Bei der Direktsaat werden über die drei Jahreszeiten fast immer gleich viel Parzellen direkt gesät (Quelle: Urs Grob).

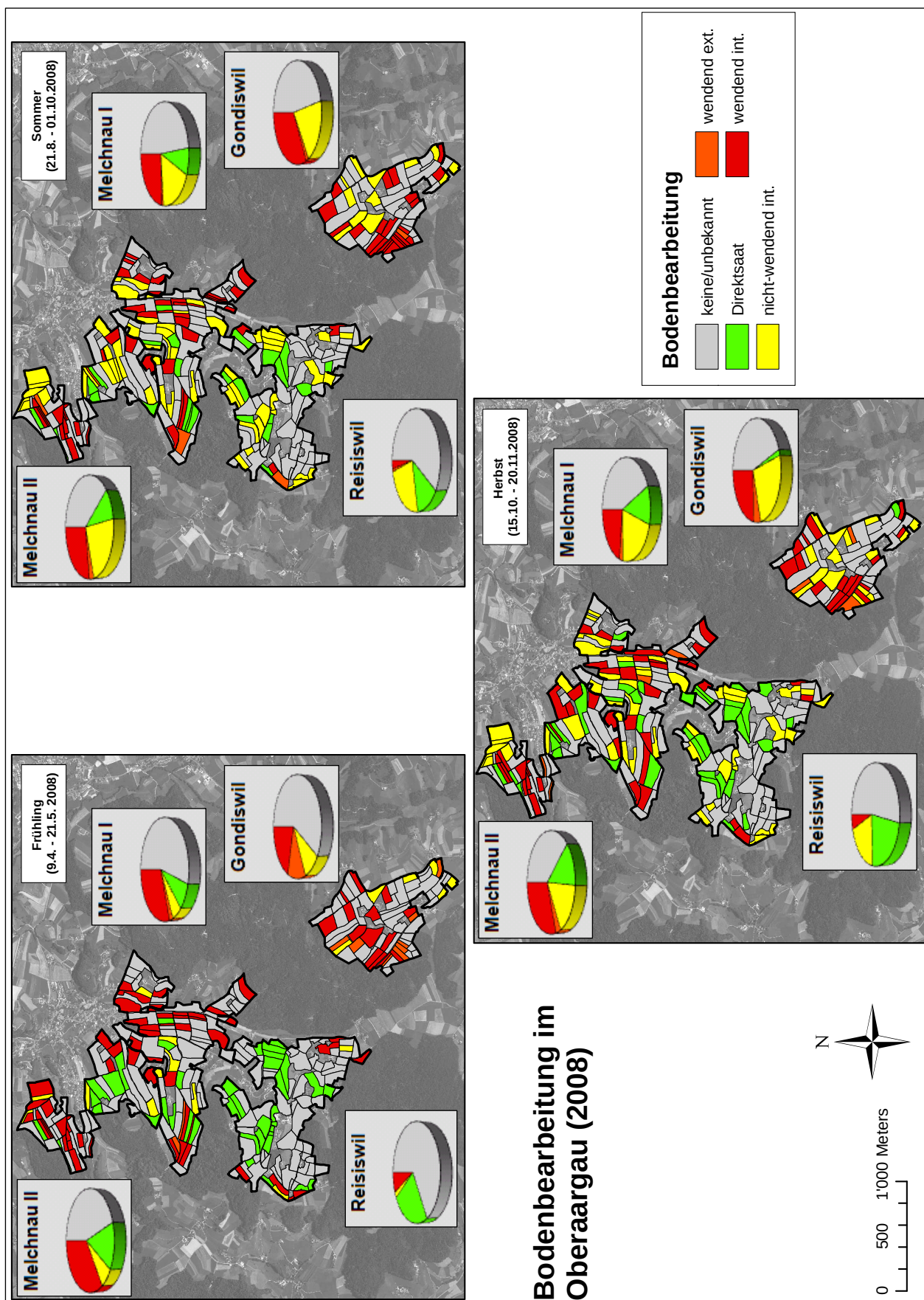


Abbildung 38: Saisonaler Zustand der Bodenbearbeitung und Kreisdiagramme nach Anzahl Parzellen. Gegen den Herbst nimmt der Anteil der konventionellen Bodenbearbeitung ab. (Karten: Urs Grob).

5.3 BEREICH B - BODENDEGRADIERUNGEN

Im zweiten Abschnitt des Feldformulars wurden die Bodendegradierungen mit parzellenscharfer Auflösung bewertet. Im Vordergrund standen das Erkennen und das Bewerten der Degradierung und ihrem Ausmass und Umfang. Auf einer Vielzahl von Parzellen konnten Bodendegradierungen beobachtet werden. Die Degradierungsanfälligkeit war allerdings recht unterschiedlich, es konnten zum Beispiel viele Parzellen beobachtet werden, die nur eine Degradierung aufwiesen. In diesen Fällen muss der Boden nicht unbedingt degradiert sein, er zeigt aber Anzeichen für eine gewisse Anfälligkeit. In diesem Kapitel werden nicht alle Resultate zu den einzelnen Indikatoren des Bereichs B vorgestellt. Vorgängig wurde eine Auswahl an Indikatoren getroffen, welche auf einer ersten Auswertung (Anhang CD - Überblick Bereich B) basiert. Insgesamt werden in den folgenden Abschnitten Resultat zu acht Bodendegradierungen vorgestellt.

5.3.1 BODENEROSION DURCH WASSER (SOIL EROSION BY WATER)

Bei der Bodenerosion durch Wasser werden die Resultate zu den flächenhaften und linienhaften Erosionsformen vorgestellt. Die dritte Degradierungsform der Hangrutschungen wird nicht weiter erläutert, da die zwei erfassten Formen von Hangrutschungen kaum als echte Massenbewegungen oder Hangrutschungen klassiert werden können. Nach Heiniger & Herweg (1994: 21f) gehört die Bodenerosion durch Wasser in die Kategorie der physikalischen Degradierungen. In diesem Bericht wird sie separat behandelt, da sie im Gegenteil zu den physikalischen, chemischen und biologischen Bodendegradierungen kein bodeninterner Umwandlungsprozess, sondern eine Verlagerung von Bodenmaterial darstellt.

5.3.1.1 FLÄCHENHAFTE BODENEROSION

Generell kommt es bei flächenhaftem Bodenabtrag zu Feinmaterialumlagerungen (Abtrag und Ablagerung nebeneinander), welche schwer beobachtbar und messbar sind. Kulturen mit geringem Bodenbedeckungsgrad sind besonders für die flächenhafte Erosion gefährdet. Die Erosionsursache liegt somit vor allem auf dem einzelnen Schlag. Bedeutende Faktoren sind grosse Hangneigungen, Sammlung von Wasser in Tiefenlinien sowie die schlechte Durchlässigkeit infolge von Verdichtungen und Verschlämmung (Mosimann et al. 1991: 58). Durch die Verschlämmungs- und Verkrustungsprozesse an der Bodenoberfläche nimmt die Infiltrationskapazität des Bodens stark ab, wodurch der Oberflächenabfluss steigt und die Erosionsgefahr erhöht wird. Aus diesem Grund kann festgehalten werden, dass beim flä-

chenhaften Bodenabtrag die Verschlämmung, das Spritzwasser (engl.: splash) und kleinflächige Verspülungen eine wichtige Rolle spielen. Die Resultate der Verschlämmung und Verkrustung werden später (Abschnitt 5.3.2.3) illustriert und erläutert. Es sei aber darauf hingewiesen, dass zwischen der flächenhaften Erosion und der Verschlämmung und Verkrustung eine deutliche Korrelation besteht. Die Abfolge der Resultate wird aufgrund des logischen Aufbaus des Feldfragebogens nicht abgeändert. Gemäss Mosimann & Mosimann-Baumgartner (1996 17ff) ist die Erosion, wie notabene die Verdichtung, ein im schweizerischen Mittelland weit verbreitetes Phänomen. Rund 20% der offenen Ackerfläche ist davon betroffen. Die Ergebnisse zur flächenhaftem Erosion sind in Form der Tabelle 16 und Abbildung 39 repräsentiert. Die Tabellen zu den Resultaten sind speziell, weshalb sie hier einmal erklärt werden sollen. Sie sind grundsätzlich in drei Teile gegliedert, gemäss den drei Jahreszeiten (grauer Bereich). Betrachtet man beispielsweise den Bereich des Frühlings, lässt sich erkennen, dass der oberste Teil jeweils einen Gesamtüberblick über das Aufkommen und die Verteilung der Bodendegradierung nach deren Ausmass (links, leicht bis extrem) und Umfang (0-10%, ..., 90-100%) darstellt. Rechts von diesem Überblick werden dazu die absoluten und relativen Zahlen berechnet (# Parzellen und % von ...). Den Abschluss dieses Tabellenabschnittes bildet die Summe der Anzahl degradiert und nicht degradiert Parzellen. In diesem Beispiel sind von total 313 Parzellen im gesamten Untersuchungsgebiet 120 Felder von flächenhafter Erosion betroffen sowie 193 Felder unversehrt. In relativen Zahlen entspricht dies den Werten 38.3 und 61.6%. Unter dem ersten Teil der Tabelle, dem Gesamtüberblick, wird weiter illustriert, welche Landnutzungstypen und welches Bodenmanagement anfällig auf die flächenhafte Erosion sind. Hierzu wird wiederum das Total der betroffenen und nicht betroffenen Parzellen separat präsentiert. Von den total 136 Kulturlandparzellen (Tabelle 16 oder 14) im Frühling sind 112 von flächenhafter Erosion betroffen. Beim Weideland ist von total 21 nur eine Parzelle leicht mit flächenhafter Erosion degradiert. Vergleicht man nun die Tabellen (16 & 21) und Abbildungen (39 & 44) der flächenhaften Erosion und der Verschlämmung und Verkrustung, so wird die Korrelation sichtbar. Im Frühling wurden beispielsweise 120 (38%) Parzellen mit flächenhafter Erosion und 112 (35%) Parzellen mit Verschlämmungen und Verkrustungen erfasst. Gegen den Herbst verringerten sich sowohl die Anzahl der Erosionen als auch die Verschlämmung und Verkrustungen. Im Sommer wurden 59 (18%) und Herbst 37 (12%) Parzellen mit Erosion beobachtet. Bei der Verschlämmung und Krustenbildung waren es 32 (10%) und 36 (12%). Somit liegt eine Übereinstimmung der beiden Degradierungsformen vor, was in den entsprechenden Abbildungen gezeigt wird. Beide Degradierungen treten generell über den gesamten Parzellenumfang von 90-100% auf. Die meisten dieser Degradierungen sind in der Kategorie leicht zu verzeichnen. Extreme Degradierungen wurden nie bewertet. Auffällig ist, dass bei der Verteilung der Degradierungen auf die Landnutzungstypen das Kulturland sowohl in der Anzahl

als auch beim Ausmass mit Abstand am stärksten vertreten ist. Im Frühling fanden von den 120 flächenhaften Erosionen 112 auf Kulturlandparzellen statt, was einen Anteil von 93% entspricht. Im Sommer waren es sogar 95% sowie Herbst 100%. Weniger anfällig waren hingegen die Weide- und Grünlandparzellen. Im Frühling wurden jedoch sieben Erosion auf Grünlandparzellen beobachtet, derweilen es sich um frisch gesäte Grünlandflächen handelt. Bei den Bodenbearbeitungskategorien stellt sich in Bezug auf die Erosion das konventionelle Anbauverfahren als ungeeignet heraus. Im Vergleich zur Direktsaat sind die konventionellen Verfahren (wendend-extensiv und -intensiv) im Frühling und Sommer stärker betroffen. Von den total 81 konventionell bewirtschafteten Parzellen sind 85% (69) und bei den total 38 Direktsaatfeldern 76% (29) von Erosion betroffen. Im Sommer sind 58% (43) der total 74 konventionell bewirtschafteten Parzellen sowie 16% (4) der total 25 direkt gesäten Parzellen von Erosion betroffen. Im Herbst ist das Verhältnis gerade umgekehrt, wo relativ mehr Direktsaatparzellen degradiert sind. Von den total 68 gepflügten Parzellen weisen 29% (20) flächenhafte Erosionsformen auf, während es bei der Direktsaat von total 38 Parzellen deren 37% (14) sind. Dies hat damit zu tun, dass die Landnutzung gegen Herbst stark zum Grasland und somit zu Grünland und Weideland wechselt. Die Abnahme der beobachteten Erosionsformen während den drei Jahreszeiten lässt sich auch mittels den klimatischen Einflüssen, speziell anhand des Niederschlags, erklären (Anhang CD - Überblick Wetter⁸). Die Aufzeichnungen von Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc. setzten sich aus den Daten von sieben Messstationen rund um das Untersuchungsgebiet zusammen. Die Diagramme zeigen jeweils den monatlichen Mittelwert für den Zeitraum von März 2008 bis März 2009. Die durchschnittlichen Tagesniederschläge waren im Frühling mit über 3.8 mm relativ hoch, im Sommer und Herbst wurden 3.6 sowie 2.8 mm gemessen. Der Niederschlag kann ein möglicher Anhaltspunkt für die erhöhte Anzahl an flächenhafter Erosion die den Direktsaatfeldern liefern. Im Frühling und Herbst, jeweils zu Beginn der Monate April und Oktober, waren die Niederschlagsmengen erhöht. Im Sommer flacht die Kurve ab, wo auch die Anzahl an flächenhafter Erosion betroffene Direktsaatfelder massiv zurückgeht (Frühling: 29, Sommer: 4, Herbst: 14). Im Oktober nimmt der Niederschlagswert wieder zu, worauf die Anzahl der betroffenen Direktsaatfelder wieder zunimmt. Auch die Sonnenscheindauer könnte ein Anhaltspunkt für diese Verteilung sein. Die durchschnittliche Tagessonnenscheindauer war im Frühling und Sommer mit 4.64 und 4.71 Stunden gegenüber dem Herbst mit 2.67 Stunden deutlich länger. Auch die Bodenbedeckung liefert einen Erklärungsansatz, denn im Frühling waren am wenigsten Parzellen mit einer ausreichenden Bodenbedeckung (>70%) beobachtet worden. Im Frühling waren es lediglich 46% (144), Sommer 48.5% (158) und Herbst 53% (162 Parzellen).

⁸ Datenquelle: MeteoSchweiz.

Tabelle 16: Überblick zur flächenhaften Bodenerosion [Wt]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Frühling												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 313
Leicht	3	-	1	1	-	-	-	-	-	83	88	28.12
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	27	8.63
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	1.60
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Total	3	-	1	1	-	-	-	-	-	115		
Degradierete Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Wendend-extensiv												
Nicht-wendend intensiv												
Direktsaat												
nicht bekann/terk ann												
Leicht	80	1	7	-	8	27	13	8	-	32	32	
Mässig	27	-	-	-	-	2	1	1	-	23	23	
Stark	5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total betr. Parz.	112	1	7	8	29	29	14	9	-	60	60	
Total unbetr. Parz.	24	20	149	169	9	9	3	1	-	11	11	
Sommer												
Degradierete Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Wendend-extensiv												
Nicht-wendend intensiv												
Direktsaat												
nicht bekann/terk ann												
Leicht	38	2	1	-	3	4	8	1	-	25	25	
Mässig	17	-	-	-	1	-	1	-	-	16	16	
Stark	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total betr. Parz.	56	2	1	3	5	4	9	1	-	42	42	
Total unbetr. Parz.	103	66	98	157	21	21	58	4	-	27	27	
Herbst												
Degradierete Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Wendend-extensiv												
Nicht-wendend intensiv												
Direktsaat												
nicht bekann/terk ann												
Leicht	22	-	-	-	-	9	1	-	-	12	12	
Mässig	13	-	-	-	-	4	2	-	-	7	7	
Stark	2	-	-	-	-	1	-	-	-	1	1	
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total betr. Parz.	37	0	0	0	0	14	3	0	-	20	20	
Total unbetr. Parz.	122	89	57	138	24	24	58	7	-	41	41	

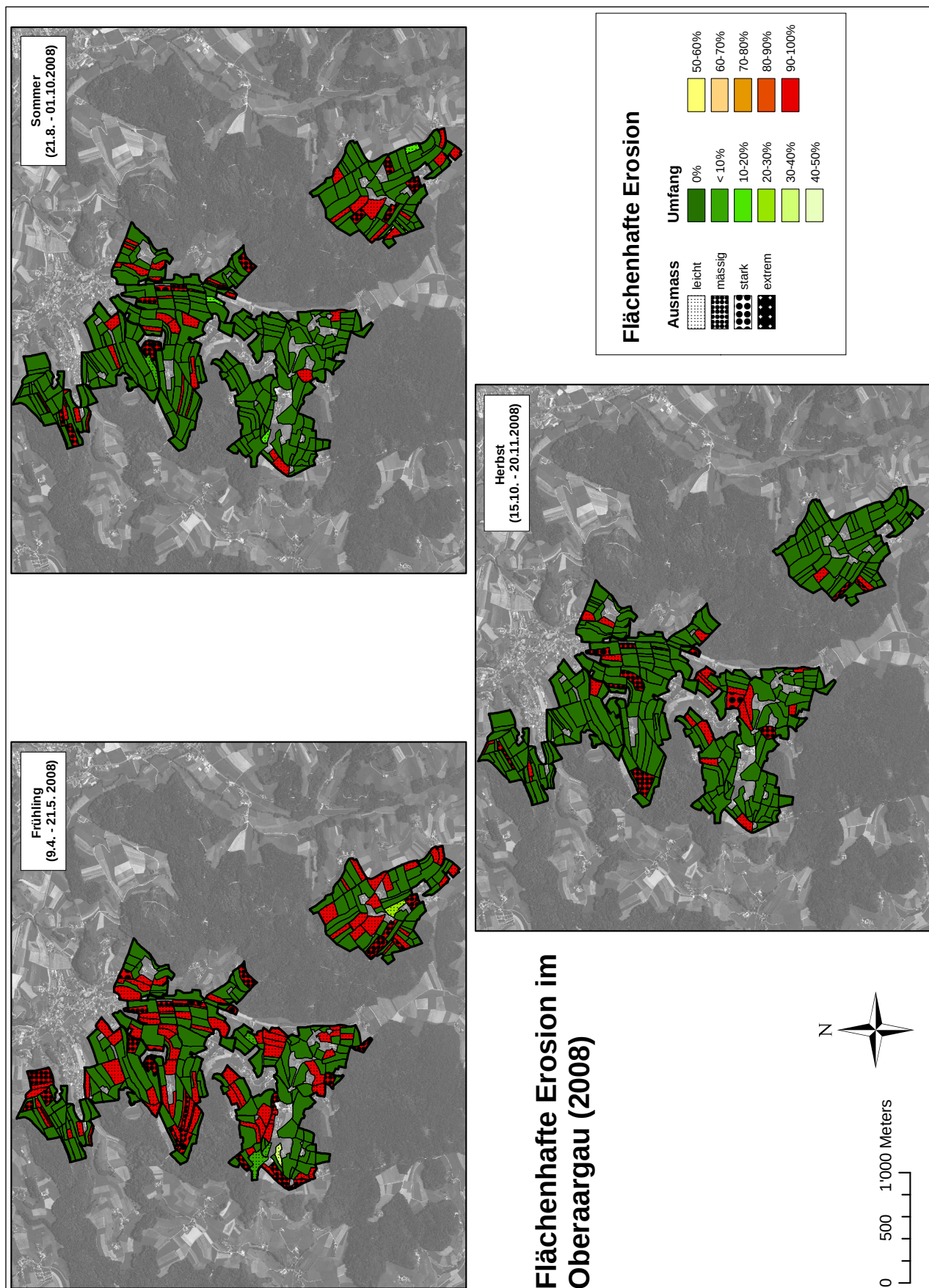


Abbildung 39: Saisonaler Zustand der flächenhaften Erosion. Mit Zunahme der Graslandfläche nimmt die flächenhafte Erosion deutlich (gegen die Wintermonate) ab (Karten: Urs Grob).

Analysiert man die flächenhafte Erosion bezüglich der aktuellen Nutzpflanze, erweist sich im Frühling und Herbst Wintergerste, Winterweizen und das Saatbeet sowie im Sommer Mais, Rüben und Grasland (Kunstwiese und Weideland) besonders anfällig (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B).

5.3.1.2 LINIENHAFTE BODENEROSION

Laut Mosimann et al. (1991: 36) liegen die Böden des Mittellandes punkto Erosionsgefährdung überwiegend im mittleren Bereich. Dennoch bestehen kleinflächig stark erosionsanfällige Böden, wobei die Anfälligkeit allerdings erheblich variiert. Die Bodeneigenschaften sind nicht der limitierende Faktor, mitentscheidend ist die angepasste Bodenbewirtschaftung. Beim linienhaften Bodenabtrag wird allgemein unterschieden in Rillen-, Rinnen- und Grabenerosion. Die Erscheinungsformen werden dazu allgemein anhand der Tiefenlinie definiert. Rillenerosion tritt ab einer Tiefe bis 15, Rinnenerosion ab 15-45 und Grabenerosion ab 45 cm auf. Im Gegensatz zum flächenhaften Bodenabtrag ist die linienhafte Erosion relativ einfach beobachtbar und vermessbar, so auch Mosimann et al. (1991: 29). Im Untersuchungsgebiet in der Region Oberrhein wurden während den Beobachtungen kaum linienhafte Erosionsformen bewertet. Im Frühling konnten zwar Spuren von Erosionsrillen und -rinnen beobachtet werden, welche aber nicht als solche bewertet wurden, weil sie schon zu einem früheren Zeitpunkt auftraten. Die vorliegenden Ergebnisse enthalten nur Erosionen, welche sich während der Zeit zwischen April und November 2008 ereigneten. Das bedeutet, dass die ersten linienhafte Erosionen im Herbst aufgezeichnet wurden, wie Tabelle 17 und Abbildung 40 enthüllen. Im Herbst wurden im ganzen Untersuchungsgebiet lediglich elf linienhafte Erosionen erfasst, was bei total 305 Parzellen einem relativen Wert von 3.6% Parzellen entspricht. In Gegensatz zur flächenhaften Erosion, wo die Erosionsformen meistens über die gesamte Parzellenfläche eintreten, sind bei der linienhaften Erosion nur maximal 10 bis 40% degradiert. Der beeinträchtigte Boden bleibt also relativ niedrig. Beim Ausmass sind von den elf Erosionsformen vier in der Kategorie leicht (<2 t/ha), fünf in der Kategorie mässig (2-4 t/ha) und zwei in der Kategorie stark mit 4-10 t/ha pro Niederschlagsereignis. Analysiert man die Tabelle 17 sowie die Abbildung 40, so kommt zum Vorschein, dass die Erosion ausschliesslich auf Kulturland beobachtet wurde. In Gondiswil und Melchnau II waren keine Erosionserscheinungen zu bewerten, stattdessen konzentrierten sich die linienhaften Erosionen auf Reisiswil und Melchnau I. Die Ergebnisse von Reisiswil erscheinen auf den ersten Blick erstaunlich, da gemäss der Aussage von Herrn Steffen über 80% der Fläche direkt gesät wird. Wenn man

Tabelle 17: Überblick zur linienhaften Bodenerosion [Wg]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Grad / Umfang	Frühling										# Parzellen	% von 313
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%		
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	313	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total betr. Parz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total unbetr. Parz.	136	21	156	177	177	38	17	10	71	71	313	100.00
Sommer												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	326	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total betr. Parz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total unbetr. Parz.	159	68	99	160	160	25	67	5	63	63	326	100.00
Herbst												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	305	100.00
Mässig	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	4	1.31
Stark	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	5	1.64
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.66
Total	5	4	2	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht	4	-	-	-	-	2	-	1	-	-	1	1
Mässig	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5
Stark	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	1
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total betr. Parz.	11	0	0	0	0	2	0	2	0	0	7	7
Total unbetr. Parz.	148	89	57	138	138	36	59	7	54	54	294	96.39

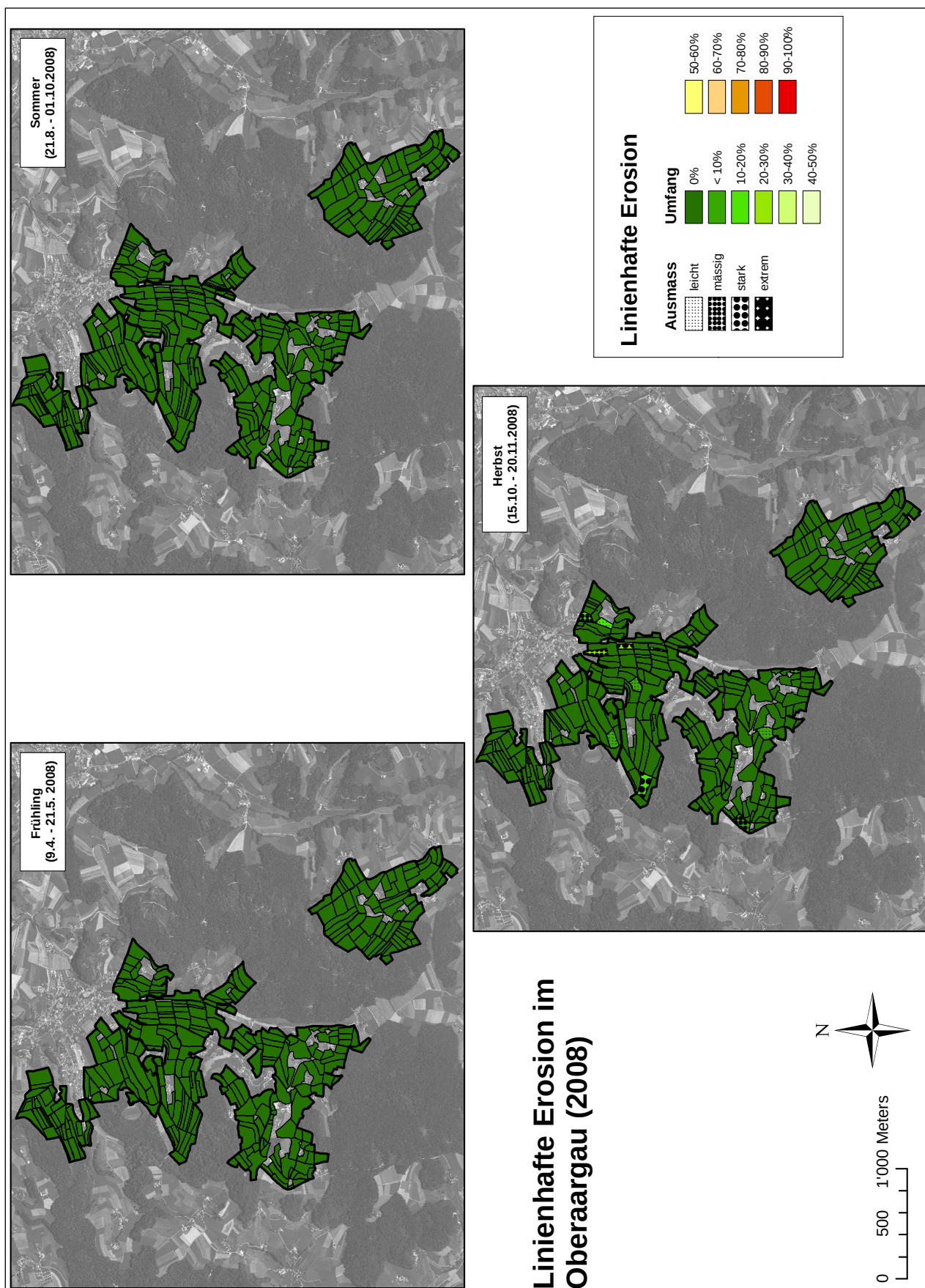


Abbildung 40: Saisonaler Zustand der linienhaften Erosion. Die einzig "aktuellen" und visuell beobachtbaren linienhaften Erosionen wurden im Herbst erfasst (Karten: Urs Grob).

die von Erosion betroffenen Parzellen ausscheidet, wird ersichtlich, dass es sich dabei um zwei konventionell bewirtschaftete und ein direkt gesätes Feld handelt. Insgesamt sind von den elf degradierten Parzellen sieben gepflügt sowie je zwei Felder direkt gesät und gemulcht (nicht-wendend intensiv). Im Vergleich der verschiedenen Bodenbearbeitungen kann klar festgestellt werden, dass das Degradierungsausmass bei konventionell bewirtschafteten Parzellen gravierender ist als bei den bodenschonenden Methoden. Bei den gepflügten Parzellen wurden jeweils mässige oder starke, bei den bodenschonenden Anbauverfahren leichte Degradierungen beobachtet und bewertet. Auf eine gewisse Art und Weise zeigt dieser Befund, dass die Direktsaat das Erosionsrisiko zwar nicht auf null senkt, aber das Risiko erheblich gemindert werden kann. Untermauert werden kann diese Aussage mit einer Beispielparzelle aus Melchnau I (Hauptstrasse von Melchnau nach Reisiswil, oberhalb des Schwimmbads), welche im Herbst eine starke Degradierung aufweist (Abbildung 40). Gemäss F. Duppenthaler (Bauer aus Melchnau) wäre das Erosionsausmass deutlich höher ausgefallen, wenn der Landwirt nicht ein bodenschonendes Anbauverfahren (Mulchsaat) verwendet hätte. Wenn wie in den Jahren zuvor gepflügt worden wäre, wäre der Bodenabtrag im Herbst wahrscheinlich noch grösser ausgefallen, so Duppenthaler. In Bezug zu den Kulturpflanzen, stellt sich heraus, dass vor allem Wintergersten und Winterweizen erosionsanfällig sind. Von den insgesamt elf Ereignissen entfallen acht auf Wintergerstenfelder sowie drei auf Winterweizenfelder. Ausserdem sind diese Parzellen schlecht bedeckt, im Durchschnitt liegt der Anteil unbedeckter Flächen bei 70%. Vergleicht man die Bewertungsergebnisse der flächenhaften und linienhaften Erosion mit der AVErosion Bodenerosionsgefährdung von Chisholm (2008), zeichnen sich vergleichbare Werte ab. Prüft man die schlagbezogenen Werte von Chisholm (Abbildung 41), welche für den Zeitraum eines Jahres berechnet wurden, mit jenen der flächenhaften und linienhaften Erosion dieser Arbeit, lassen sich durchaus vergleichbare Bodenabtragsraten mutmassen. Weil Chisholm den Fruchtfolgefaktor in seinen Berechnungen nicht berücksichtigen konnte, werden viele Parzellen mit einer potentiellen Erosion berechnet, welche in Wirklichkeit kaum gefährdet sind, da deren Landnutzung Grasland ist.

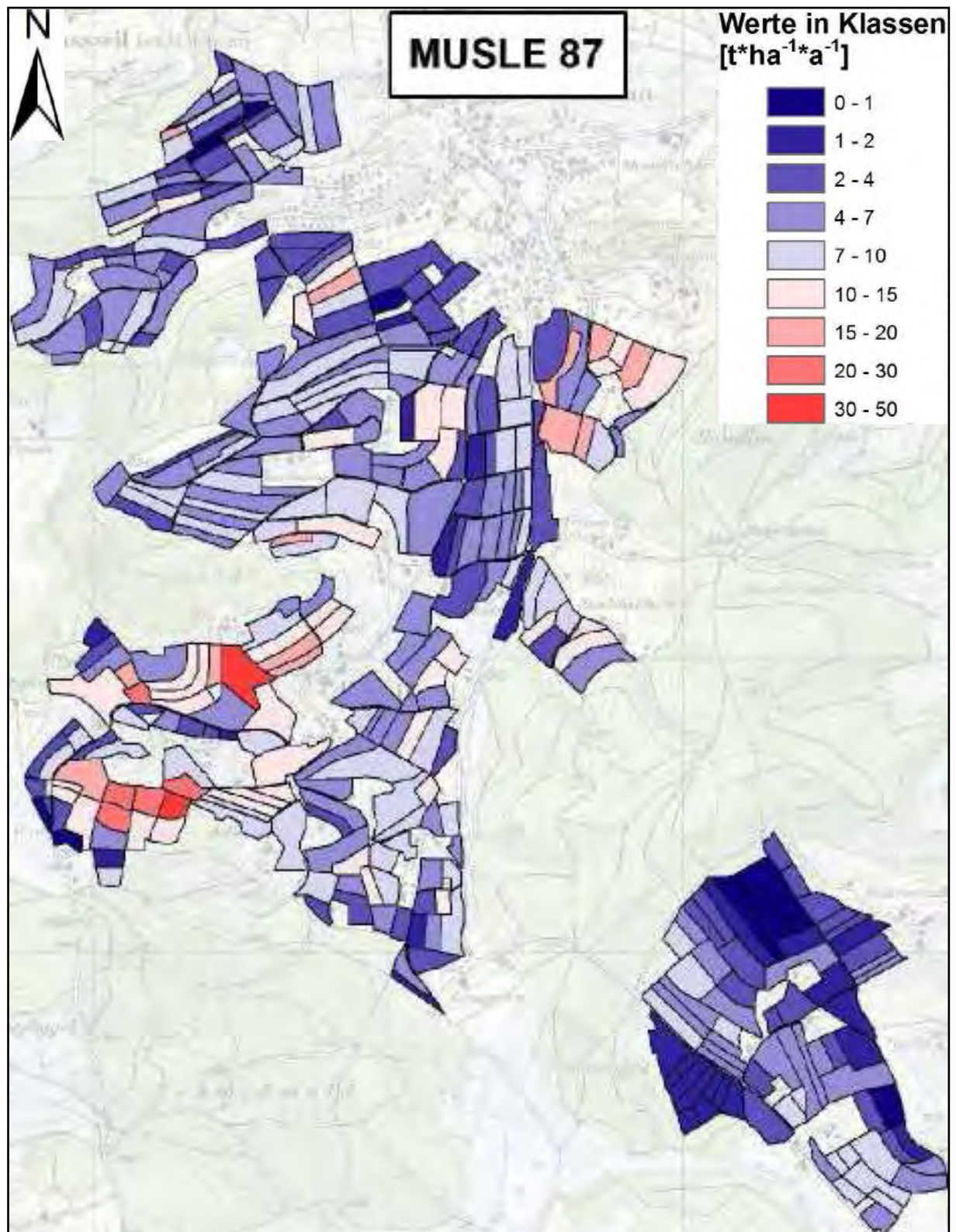


Abbildung 41: Region Oberrheingebiet – AVErosion Bodenerosionsgefährdung in t*ha⁻¹*a⁻¹ auf Grundlage von DTM-AV (2 Meter Raster) - schlagbezogen (Quelle: Chisholm 2008).

5.3.2 PHYSIKALISCHE BODENSCHÄDIGUNG (PHYSICAL SOIL DETERIORATION)

Bei den physikalischen Bodenbeeinträchtigungen liegt der Fokus auf den Indikatoren Bodenverdichtung, gestörte Bodenstruktur sowie Verschlammung und Verkrustung. Von zentraler Bedeutung ist bei den physikalischen Degradierungen die Verschlechterung von bodenphysikalischen Eigenschaften wie Porosität, Durchlässigkeit sowie Stabilität der Bodenaggregate. Die Bodenverdichtung entsteht beispielsweise durch die Bodenbearbeitung oder durch das Vieh, was allgemein eine Abnahme des Grobporenvolumens und der Porenkontinuität zur Folge hat, was den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens erheblich beeinträchtigen kann. Dies wirkt sich gemäss Heiniger & Herweg (1994: 21ff) wiederum auf den Nährstofftransport und die Bodenbiologie aus, was zu einer verringerten Bodeninfiltration und zu erhöhtem Oberflächenabfluss führt. Schlussendlich begünstigt dieser Prozess die Erosion durch Wasser.

5.3.2.1 BODENVERDICHUNG

Im Untersuchungsgebiet konnte die Bodenverdichtung sowohl auf Kulturland, als auch auf Grasland beobachtet werden. Beim Kulturland waren meistens jene Flächen verdichtet, wo die Landmaschinen entlang fuhren. Je nachdem, wie eng die Fahrspuren waren, betrug die verdichtete Fläche pro Parzelle zwischen 5 und 20%. In speziellen Fällen konnten auch umfangreichere Verdichtungsflächen beobachtet werden, wenn beispielsweise eine Rübenerntemaschine einen beträchtlichen Parzellenanteil durch das hohe Eigen- und Nutzlastgewicht den Boden arg verdichtete. Künftig wird in der Landwirtschaft vermehrt auf innovative Konzepte wie das "Controlled traffic farming", bei dem mit dem Traktor auf einer strikt vorgegebenen "Eisenbahnschiene" fährt, gesetzt, um den Boden möglichst wenig zu beanspruchen (Roggli 2006: 36f). Auf dem Kulturland sind die schweren Maschinen die Ursache für die Bodenverdichtung, in einzelnen Fällen auch auf dem Grasland. Vielmehr sind im Grasland aber die hohen Viehbestände die Verursacher von leichten bis massiven Bodenbeeinträchtigungen. Die Bodenverdichtung auf dem Weideland hängt im Wesentlichen von den Faktoren Tierbestand (Anzahl Tiere pro Hektare), deren Gewicht (in kg), der Nutzungsintensität (Verhältnis Nutzung-/Rehabilitationszeit) und dem Bodenzustand (Nässe) ab. Anhand der Verdichtung auf Weideland kann das Bewegungsverhalten der Tiere analysiert werden, weil an diversen Standorten wie Wassertränken, unter Bäumen, entlang von Zäunen oder schmalen Weideübergängen erschwerte Verdichtung auftreten kann. Für die Bewertung des Verdichtungsausmasses wurde ein Sackmessertest durchgeführt (Abschnitt 4.5.3.1). Die Ergebnisse basieren schliesslich auf durchschnittlichen Parzellenbewertungen, da auf der Karte nicht dargestellt werden kann, wo welche Stellen wie stark verdichtet sind.

Tabelle 18: Überblick zur Bodenverdichtung [Pc] Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Frühling														
Grad	↑	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 313
Leicht			92	3	4	3	3	-	-	-	-	9	114	36,42
Mässig			9	4	4	6	4	5	3	1	-	13	43	15,65
Stark			-	-	1	2	2	1	1	3	-	1	10	3,19
Extrem			-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	0,32
Total			101	7	9	11	9	6	3	4	1	23		
Bodenbearbeitungstechniken														
Landnutzungstypen			Nicht degradierte Parzellen											
Kulturland			Wendend-intensiv											
Weideland			Wendend-extensiv											
Leicht			95	3	16	nicht bekannt	19	32	12	-	-	-	51	
Mässig			19	12	18	30	3	3	3	-	-	-	13	
Stark			5	2	3	5	1	-	-	-	-	-	4	
Extrem			-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
Total betr. Parz.			119	18	37	55	35	16	1	0	68			
Total unbetr. Parz.			16	3	119	122	3	3	1	10	2			
Sommer														
Grad	↑	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht			74	15	6	2	1	-	-	-	-	8	106	32,52
Mässig			5	17	18	14	5	1	-	-	-	5	65	19,94
Stark			-	4	2	5	-	-	-	-	-	1	12	3,68
Extrem			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,00
Total			79	36	26	21	6	1	-	-	-	14		
Herbst														
Grad	↑	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht			103	22	16	5	2	-	-	-	-	3	151	49,51
Mässig			-	15	23	8	4	1	1	-	-	1	53	17,38
Stark			2	3	-	2	1	-	-	-	-	-	8	2,62
Extrem			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,00
Total			105	40	39	15	7	1	1	-	-	4		
Degradierete Parzellen														
			Nicht degradierte Parzellen											
			Wendend-intensiv											
			Wendend-extensiv											
Leicht			111	38	2	nicht bekannt	34	37	22	7	-	-	51	
Mässig			6	46	1	5	42	1	5	-	-	-	5	
Stark			3	5	-	5	-	-	-	-	-	-	3	
Extrem			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total betr. Parz.			120	89	3	81	27	38	7	59	2			
Total unbetr. Parz.			99	0	54	57	0	0	34	0	0			

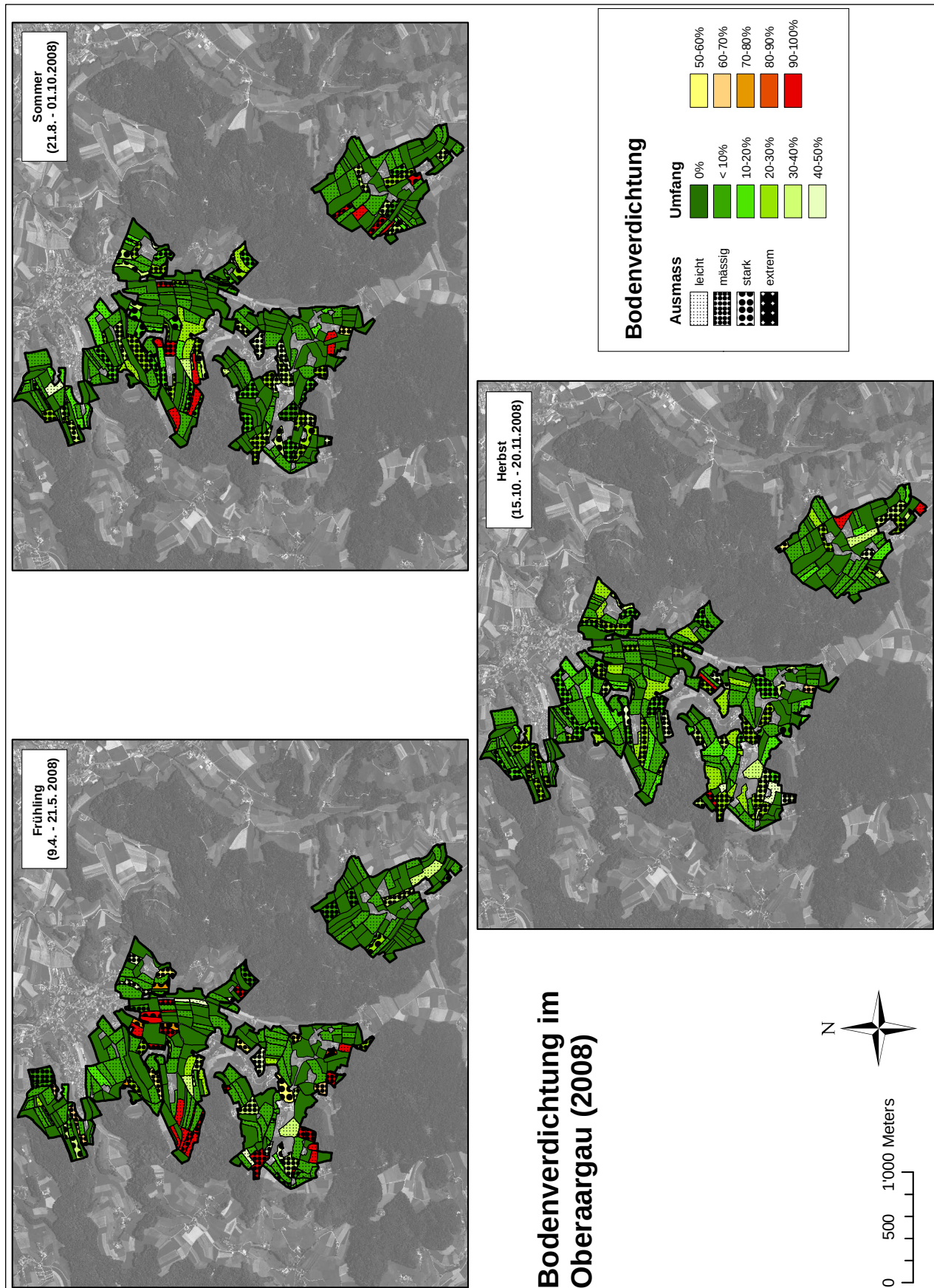


Abbildung 42: Saisonaler Zustand der Bodenverdichtung. Die Bodenverdichtung ist ein stetiges Problem; hauptsächlich verursacht durch schwere Maschinen oder Vieh (Karten: Urs Grob).

In der Abbildung 42 kann die Bodenverdichtung in ihrem Ausmass und Umfang wahrgenommen werden. Die Abbildung zeigt, wie stark die Bodenverdichtung im Untersuchungsraum tatsächlich vertreten ist. Nicht grundlos gilt die Bodenverdichtung nebst der Bodenerosion deshalb als die weitverbreitetste Bodendegradierung. Während die Bodenerosion grösstenteils vom Landnutzungstyp (Kulturland) abhängig ist, wird bei der Bodenverdichtung auch das Grasland degradiert wie die Tabelle 18 illustriert. Es sei vorweggenommen, dass auf Graslandparzellen die Bodenverdichtung die häufigste Bodendegradierung darstellt, andere Degradierungsformen treten selten auf. Es stellte sich heraus, dass eine starke Korrelation zwischen der Landnutzung Weideland (Weideland; Viehhaltung) und Bodenverdichtung besteht, was sich aus der Tabelle 18 und Abbildung 42 ablesen lässt. Im Frühling waren 55.6% (174), Sommer 56% (183) und Herbst 69.5% (212) des Gesamtparzellenumfangs verdichtet. Die Mehrzahl dieser Parzellen war allerdings nur leicht oder mässig verdichtet, selten waren starke Verdichtungen aufgetreten. Als extrem verdichtet wurde nur eine Parzelle im Frühling bewertet, welche erheblichen Viehtritt aufwies. Das Ausmass der Verdichtung war sehr unterschiedlich. Während beim Kulturland und Grünland der Umfang vorwiegend unter 10 bis 20% geschätzt wurde, belief er sich beim Weideland nicht selten um die 80 bis 100%. Über die drei Jahreszeiten war die Anzahl verdichteter Kulturlandparzellen konstant zwischen 115 und 120 Parzellen, beim Weideland ist eine starke Zunahme von 18 auf 89 Parzellen auszumachen (Tabelle 18). Auch einige Grünlandparzellen (F: 37, S: 3, H: 3) waren von der Verdichtung durch intensive Düngerabgaben betroffen, allerdings ist das Risiko geringer. Im Vergleich zum Ackerbauland ist das Verdichtungsrisiko bei Grasland aufgrund der grösseren Bodenstabilität (Durchwurzelung, Humusgehalt, Bodenbedeckung) auch gemäss Nowack et al. (1996: 5f) bedeutend geringer. Infolge der Kombination des Kultur- und Weidelands wurden im Herbst am meisten bodenverdichtete Parzellen gezählt. Im Bereich der Bodenbearbeitungstechniken in der Tabelle 18 kristallisiert sich heraus, dass je intensiver der Boden bewirtschaftet wird, desto verdichteter ist er. Wie bei den linienhaften Erosionen ist aber auch die Direktsaat von der Degradierung betroffen. Erstaunlich sind in jedem Fall die hohen Anteile der Direktsaat, vor allem im Vergleich der Mulchsaatparzellen. Die Verteilung innerhalb der Kategorien leicht bis extrem illustrieren aber deutlich, dass je intensiver der Boden beansprucht wird, sich das Ausmass gegen oben (stark bis extrem) verschiebt. Mit Blick auf die Nutzpflanzen erweist sich im Ackerbauland Wintergerste und -weizen als verdichtungsgefährdet, aber auch andere Kulturen wie Rüben, Mais, Mulch und das Saatbeet zeugen von Verdichtungen (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B). Allgemein kann die Erkenntnis gewonnen werden, dass alle Bodenbearbeitungen eine Änderung der Bodenstruktur mit sich bringen. Das Ausmass und der Umfang variieren deutlich von der Art und dem Zeitpunkt des Bodenmanagements. Eine angepasste Bearbeitung (Wahl der Maschinen und Zeitpunkt) sind zentral, um den Boden schonen zu können. Ver-

suche konnten zudem zeigen, dass keine Korrelation zwischen der Saatbeet-Feinkörnigkeit und dem Ernteertrag besteht (WOCAT Symposium 2008: 10).

5.3.2.2 BODENSTRUKTUR/ -TRAGFÄHIGKEIT

Zwei weitere Indikatoren im Abschnitt der physikalischen Bodendegradierungen beschreiben die Bodenstruktur und -tragfähigkeit. Der erste Indikator charakterisiert durchnässte oder aufgeweichte (Pc1), der Zweite ausgetrocknet-pulverisierte (Pc2) Bodenaggregate. Beides liefern nützliche Informationen über die Qualität der Bodenstruktur, sie treten aber nie in Kombination auf. Wie die Abbildung 43 und die Tabellen 19 und 20 belegen, erstreckt sich das Ausmass der schlechten Bodenstruktur vornehmlich, mit wenigen Ausnahmen, über die gesamte Parzellenfläche. In der Abbildung 43 ist der Indikator der durchnässten aufgeweichten Bodenstruktur (Pc1) durch schwarze und für den ausgetrocknet-pulverisierten Indikator (Pc2) mit gelben Punkten symbolisiert. Die Farben zum Umfang bleiben für beide dieselben. Bei beiden Indikatoren sind die klimatischen Bedingungen in Form von Niederschlag und Sonnenscheindauer ausschlaggebend. Im Frühling waren mit 28 Parzellen mehr Felder durchnässt als im Sommer mit 14 Parzellen, weil der durchschnittliche Niederschlag abnahm. Im Herbst kann aber wieder eine Zunahme (36 Parzellen) verzeichnet werden, was mit der Zunahme des Niederschlags einhergeht. Relativ bedeutet das, dass der Anteil durchnässter Parzellen im Herbst mit 11.8% am höchsten war. Beim ausgetrockneten-pulverisierten Zustand war die Situation gerade umgekehrt, wo im Frühling 11, Sommer 15 und Herbst 0 Parzellen degradiert waren. Somit waren im Sommer mit 4.6% relativ am meisten Felder pulverisiert. Zu dieser Jahreszeit flachte der Niederschlag ab, die Sonnenscheindauer sowie die Lufttemperatur zwei Meter über Boden erreichten ihre maximalen Durchschnittswerte. Im Bereich der Landnutzungstypen befindet sich bei beiden Degradierungsformen der Schwerpunkt im Kulturland. Von den degradierten Parzellen kommen für den aufgeweichten Zustand immer mindestens 70% zugute, bei der pulverisierten Bodendegradierung sogar 100%. Mit anderen Worten ist das Grasland vor allem auf ersteren anfällig, wenig bis gar nicht auf letzteren. Die Bodenbedeckung dürfte ein wesentlicher Faktor in der Prävention der Austrocknung sein (Abschnitt 4.5.4.1). Im Falle von aufgeweichter Bodenstruktur spielt das Fremdwasser eine bedeutende Rolle, weil vorwiegend Grünlandparzellen in der Nähe von offenen Gewässern zur Degradierung tendierten. Die durch Viehtritt verursachte Bodenverdichtung kann, abgesehen vom Wasserrückstau, durch die Aufweichung zu einer verringerten Infiltrationsrate führen, was einen erhöhten Oberflächenabfluss generiert und somit ein grösseres Erosionsrisiko darstellt. Meistens kann der Oberflächenabfluss aufgrund der guten Bodenbedeckung und -struktur die Erosion verhindert werden, nicht aber

Tabelle 19: Überblick zur aufgeweichten Bodenstruktur [Pc1]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Frühling														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 313
Leicht	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	12	3.83
Mässig	-		-	-	1	-	-	-	-	-	-	9	10	3.19
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	1.92
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	-		-	-	1	-	-	-	-	-	-	27		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	2		-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	21	6.89
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	2.95
Stark	-		-	-	-	1	-	-	-	-	-	5	6	1.97
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	2		-	-	-	1	-	-	-	-	-	33		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Sommer														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	11	3.37
Mässig	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.92
Stark	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	1		-	-	-	-	-	-	-	-	-	13		
Degradierte Parzellen														
Nicht degradierte Parzellen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Wendend-intensiv														
Wendend-extensiv														
Herbst														
Grad	f	Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Le														

Tabelle 20: Überblick zur pulverisierten Bodenstruktur [Pc2]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Grad / Umfang	Frühling										# Parzellen	% von 313
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%		
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	313	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	8	2.56
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	0.96
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	11	3.51
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen												
Wendend-intensiv												
Leicht	8	-	-	-	-	-	-	-	-	2	5	1.56
Mässig	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.96
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Total betr. Parz.	11	0	0	0	0	1	0	0	2	8	8	2.56
Total unbetr. Parz.	125	21	156	177	177	37	17	8	83	83	83	26.23
Sommer												
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen												
Wendend-intensiv												
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	326	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	9	2.76
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	6	1.84
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	15	4.60
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen												
Wendend-intensiv												
Leicht	9	-	-	-	-	1	-	-	-	5	311	95.40
Mässig	6	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5	1.56
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.96
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Total betr. Parz.	15	0	0	0	0	1	5	1	1	8	8	2.56
Total unbetr. Parz.	144	68	39	160	160	24	62	4	61	61	61	18.91
Herbst												
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen												
Wendend-intensiv												
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	305	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen												
Wendend-intensiv												
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	305	100.00
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00
Total betr. Parz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Total unbetr. Parz.	159	89	57	138	138	38	61	7	61	61	61	18.91

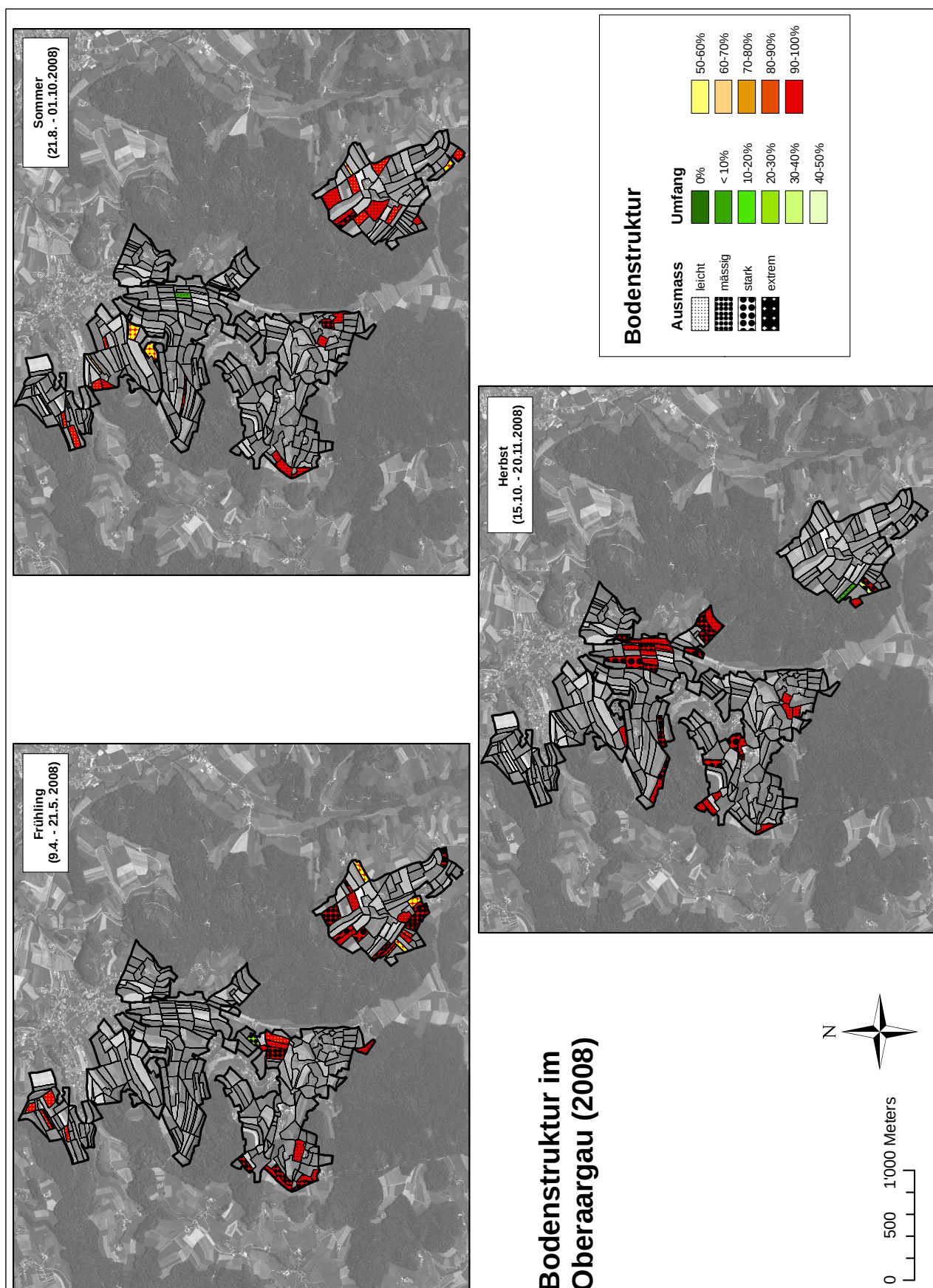


Abbildung 43: Saisonaler Zustand der Bodenstruktur. Mit wenigen Ausnahmen ist ausschliesslich Ackerbauland betroffen. Schwarze Punkte symbolisieren den Indikator Pc1, gelbe jenen von Pc2 (Karten: Urs Grob).

das Abfließen auf die unten angrenzende Parzelle, wo Erosion ausgelöst werden kann. Gemäss einer Aussage eines Bauern aus Gondiswil spielte sich das eben geschilderte Ereignis auf einer Pferdeweide ab, so dass auf der unteren Getreideparzelle Erosion eintrat. Bei den Bearbeitungstechniken stellen für beide Indikatoren die gepflügten Anbauverfahren den Hauptteil, gefolgt von den nicht-wendenden und direkt gesäten Verfahren. Ausser im Frühling, wo auf den Pflug die Direktsaat und die nicht-wendenden Verfahren folgen, bleibt dieses Muster erhalten. Auf konventionellen bewirtschafteten Parzellen entfallen immer über 40% aller aufgeweichten Formen, bei den Pulverisierten sogar mindestens 60%. Für den aufgeweichten Zustand sind zudem oft unbekannte/keine Bearbeitungen mitverantwortlich. Die Verteilung für die Nutzpflanzen widerspiegelt wiederum ein ähnliches Schema wie für die Bodendegradationsindikatoren zuvor. Vor allem Wintergerste, -weizen und das Saatbeet scheinen anfällig auf eine schlechte Bodenstruktur zu sein. Erwähnenswert ist die Situation für die Sonderkulturen wie Blumen oder Spargeln, welche bei niederschlagsarmen Perioden auf einen pulverisierten Zustand ansprechen. Bei der Bodenbedeckung gilt für beiden Indikatoren, je stärker das Ausmass, umso weniger gut ist die Gesamtbedeckung (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B). Im Vergleich einer leichten und starken Degradierung der Bodenstruktur war für ersteren Zustand sowohl die Pflanzen-, als auch die Mulchbedeckung besser.

5.3.2.3 VERSCHLÄMMUNG UND VERKRUSTUNG

Wie im Abschnitt 5.3.1.1 bereits erwähnt, steht die flächenhafte Erosion stark mit der Verschlämmung und Verkrustung des Oberbodens in Verbindung. Einige Informationen können in diesem Abschnitt nachgelesen werden, welche hier nicht noch einmal wiederholt werden. Vergleicht man die Tabellen 16 & 21 sowie Abbildungen 39 & 44 von den beiden Indikatoren, lässt sich eine hohe Kongruenz bezüglich der Anzahl Formen und räumlichen Ausdehnung ablesen. Grössere Abweichungen konnten oft auf direkt gesäten Parzellen festgestellt werden, wo jeweils der Oberflächenabtrag unabhängig von der Verschlämmung und Verkrustung ablief oder umgekehrt. Am meisten Verschlämmungen und Verkrustungen traten im Frühling mit 35.8% (112) auf, am wenigsten im Sommer 9.8% (32) und Herbst 11.8% (36). Wie bei der flächenhaften Erosion treten die Verschlämmungen und Verkrustungen grundsätzlich über den gesamten Flächenumfang auf (Tabelle 38 & Abbildung 44). Die Verschlämmung und Verkrustung konnte im saisonalen Verlauf generell auf Kulturland und mit wenigen Ausnahmen auf frisch gemähtem Grünland bewertet werden. Auf Weideland trat diese Degradierung nie auf. Dies führt dazu, dass im Frühling 98%, Sommer 94% und Herbst 100% der Verschlämmungen und Verkrustungen auf das Kulturland entfallen. Bei der Verteilung zur Bodenbearbeitung sind die konventionellen Verfahren zwar dominant,

allerdings ist die Anzahl Degradierungen bei direkt gesäten Parzellen im Frühling und Sommer nicht unbedingt tief, immerhin schrumpfte die Anzahl Degradierungsformen im Sommer auf null ab. Insgesamt sind im Frühling von allen 38 Direktsaatfeldern deren 82% degradiert, bei den konventionellen Verfahren sind es 79% (64 von total 81 Parzellen). Im Sommer lag das Verhältnis der Direktsaat bei 20% und 27% beim Pflug, im Herbst bei 37% und 29%. Aufgrund der Ernteperiode der Kulturen (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B) lässt sich ein möglicher Erklärungsansatz formulieren. Ende August sind viele Getreidearten geerntet, weshalb im September (entspricht Jahreszeit Sommer) die Pflanzenbedeckungen des Kulturlands vermindert sind und die Mulchbedeckung oft auch relativ niedrig ausfällt. Die Verschlämmung und Verkrustung findet mit einer hohen Wahrscheinlichkeit auf Wintergerste und -weizen sowie dem Saatbeet statt. Im Frühling entfallen von 112 degradierten Parzellen satte 87% (97) auf diese drei Kulturen. Besonders die Wintergersten und -weizen weisen eine hohe Trefferquote auf. Bei Winterweizen sind 94% (51 der 54), bei Winterweizen 91% (32 der 35) Parzellen degradiert. Im Sommer verteilen sich die 32 Degradierungen auf die Kulturen Rüben, Stoppelfeld, Mulchsaatfeld und Grünland. Insgesamt bilden diese vier Kulturen 66% (21 von 32 Fällen) des Gesamtanteils an Verschlämmungen und Verkrustungen. Im Herbst konnte ein ähnliches Muster wie im Sommer beobachtet werden, wo abermals Wintergerste und -weizen einen überdurchschnittlich starken Anteil beanspruchen. Im Vergleich zum Frühling sind allgemein weniger Degradierungen zu verzeichnen, so waren bei Wintergersten beispielsweise nur noch 26% (15 von 58 Parzellen) degradiert. Im Herbst konnte bei den Kräutern mit 40% (4 von 10 Parzellen) zudem eine relativ hohe Degradierungsrate festgestellt werden. Im Hinblick auf die Verschlämmungen und Verkrustungen ist die Bodenbedeckung wie für alle anderen Bodendegradierungen eine zentrale Einflussgröße. Aus den Grafiken (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B) kann entnommen werden, dass vor allem Parzellen mit einem unbedeckten Oberflächenanteil zwischen 30 bis 70% stark degradierungsgefährdet sind.

Tabelle 21: Überblick zur Verschlämmung und Verkrustung [Pk]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Frühling													# Parzellen	% von 313
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%			313	100.00
Leicht	-	1	-	-	-	-	-	-	-	54			55	17.57
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40			40	12.78
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17			17	5.43
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			0	0.00
Total	-	1	-	-	-	-	-	-	-	111				
											Degradierte Parzellen		112	35.78
											Nicht degradierte Parzellen		201	64.22
Landnutzungstypen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Leicht	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-extensiv							
	54	-	1	1	25	8	4							
	39	-	1	1	6	6	1							
	17	-	-	-	-	1	4							
	Extrem	-	-	-	-	-	-	0						
Total betr. Parz.	110	0	2	2	31	15	9							
Total unbetr. Parz.	28	21	184	175	7	2	1							
Sommer														
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%			# Parzellen	% von 326
Leicht	2	3	-	1	-	-	-	-	-	18			24	7.36
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8			8	2.45
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			0	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			0	0.00
Total	2	3	-	1	-	-	-	-	-	28				
											Degradierte Parzellen		32	9.82
											Nicht degradierte Parzellen		294	90.18
Landnutzungstypen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Leicht	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-extensiv							
	22	-	2	2	-	8	-							
	Mässig	8	-	-	-	2	1							
	Stark	-	-	-	-	-	-							
	Extrem	-	-	-	-	-	-	-						
Total betr. Parz.	30	0	2	2	0	10	1							
Total unbetr. Parz.	129	68	97	158	25	57	4							
Herbst														
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%			# Parzellen	% von 305
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25			25	8.20
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11			11	3.61
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			0	0.00
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			0	0.00
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38				
											Degradierte Parzellen		36	11.80
											Nicht degradierte Parzellen		269	88.20
Landnutzungstypen														
Bodenbearbeitungstechniken														
Leicht	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-extensiv							
	25	-	-	-	10	1	-							
	Mässig	11	-	-	4	1	-							
	Stark	-	-	-	-	-	-							
	Extrem	-	-	-	-	-	-	-						
Total betr. Parz.	36	0	0	0	14	2	0							
Total unbetr. Parz.	123	89	57	138	24	59	7							

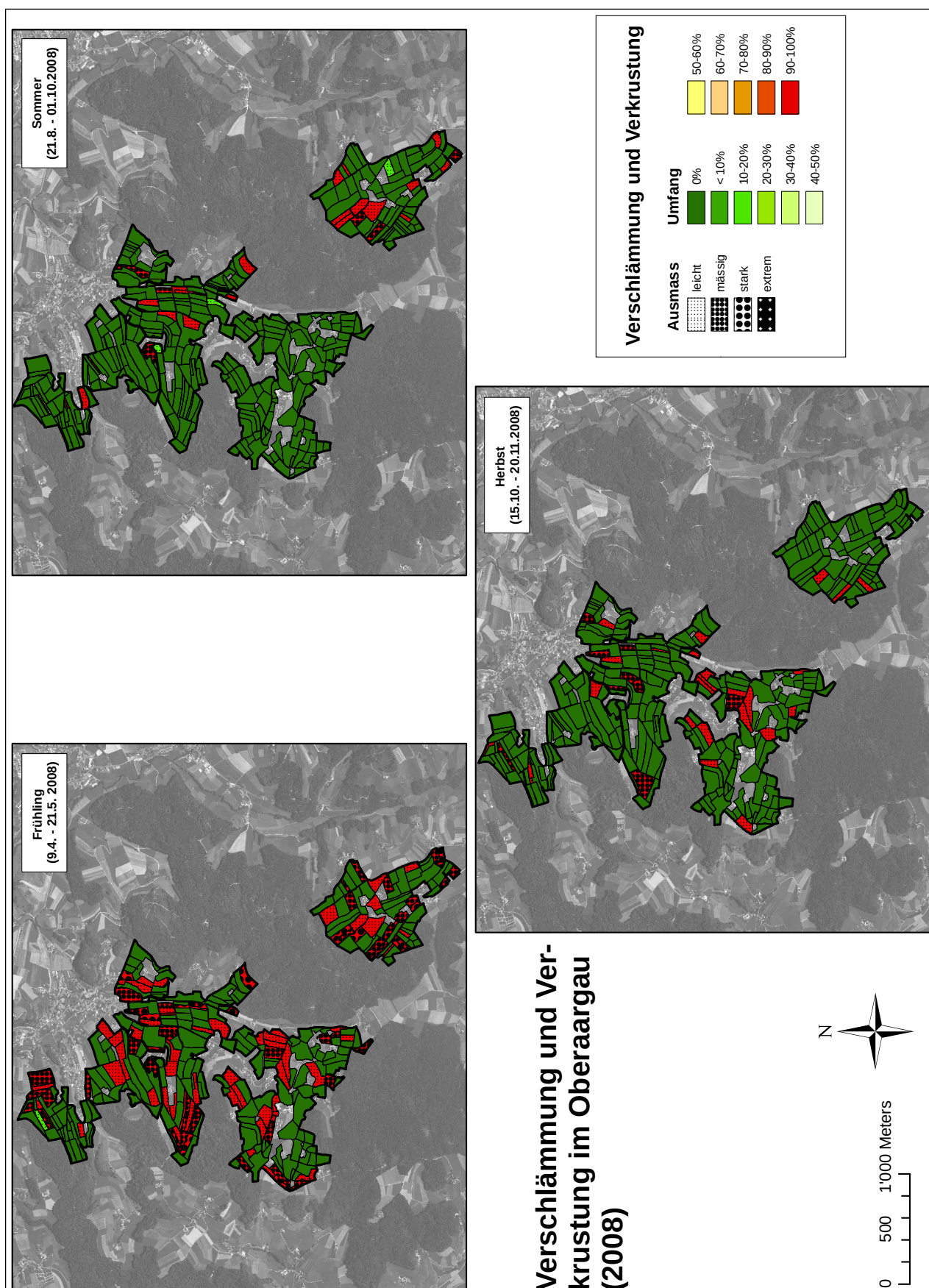


Abbildung 44: Saisonaler Zustand der Verschlämmung und Verkrustung. Die Verschlämmung und Verkrustung korreliert in hohem Mass mit der Oberflächenerosion wie Abb. 39 zeigt (Karten: Urs Grob).

5.3.3 BIOLOGISCHE DEGRADIERUNGEN (BIOLOGICAL DEGRADATION)

Bei den biologischen Degradierungen werden die Indikatoren der reduzierten Bodenbedeckung und die verminderten Regenwurmaktivitäten erläutert und besprochen. Im Kapitel zu den Methoden wurde darauf hingewiesen, wie wichtig diese beiden Indikatoren bezüglich der Bodendegradierungsprävention sind. Insbesondere die Aktivitäten der Regenwurmpopulationen wirken begünstigend für die Bodenstruktur und -tragfähigkeit, was sich wiederum auf die Bodenfruchtbarkeit auswirkt. Den Regenwürmern wird zugeschrieben, dass sie die Arbeit des Pflugs übernehmen, natürlich kostenlos.

5.3.3.1 REDUZIERTER BODENBEDECKUNG

Die Bewertung zur Bodenbedeckung lehnt sich an die unter Abschnitt 4.4.3 vorgestellte Tabelle 10. Erste Ergebnisse zur Bodenbedeckung wurden bereits im Abschnitt 5.2.3 in Form der Abbildungen 30 bis 33 präsentiert. Die Werte zur reduzierten Bodenbedeckung bilden immer einen Durchschnittswert der gesamten Parzellenbedeckung ab, da die Bedeckung einer Parzelle nicht über die gesamte Fläche homogen sein kann. In der Tabelle 22 ist der Gesamtüberblick zur Degradierung dargestellt. Im Anschluss an die Tabelle 22 folgt die Abbildung 45, welche die Degradierung in ihrer räumlichen Ausdehnung zeigt. Sowohl in der Tabelle 22 als auch in der Abbildung 45 fällt auf, dass die Reduzierung der Bodenbedeckung fast ausschliesslich über die gesamte Parzellenfläche auftritt. Nur im Sommer wurde die Degradierung einzig auf einer Fläche von 0-10% beobachtet. Im Ausmass ist eminent, dass viele Degradierungen der Kategorie extrem angehören. Verursacht wird diese extreme Degradierung durch das Saatbeet, wo zu Beginn der neuen Kultur keine Bedeckung auszumachen ist, insofern keine Direktsaat oder Mulchsaat durchgeführt wurde. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodenbedeckungszustände lassen sich anhand der Tabelle 22, der Abbildung 45 und der Abbildung zu den Saat- und Erntezeitpunkten (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B) schön aufzeigen. Im Frühling und Herbst waren 37% (117) und 37% (112) der Parzellen unzureichend bedeckt, im Sommer waren es 28% (93) der Parzellen. Im Frühling (April/Mai) befinden sich viele Kulturen im Keimstadium, wodurch die Bedeckung schlechter ist. Im Herbst (Oktober/November) ist der Bodenbedeckungszustand ähnlich, wo viele Kulturen geerntet werden. Ende Sommer (August/September) befanden sich viele Kulturen noch im Wachstum, weshalb die Bedeckung besser war und die Anzahl degradiertter Parzellen sank. Bezüglich der Bodenbedeckung ist kaum verwunderlich, dass bei den Landnutzungstypen das Kulturland das Hauptgewicht der beobachteten Degradierungen ausmacht.

Tabelle 22: Überblick zur reduzierten Bodenbedeckung [Bc]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Frühling												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 313
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	313	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	63	20.13
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	26	8.31
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	3	0.96
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	117	25	7.99
Degradiente Parzellen												
											117	37.38
Nicht degradierte Parzellen												
											196	62.62
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen	Nicht-wendend intensiv										Wendend-intensiv	
	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv
Leicht	56	-	7	7	20	10	-	-	-	-	26	19
Mässig	25	-	1	1	5	1	-	-	-	-	18	3
Stark	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	14
Extrem	24	1	-	1	-	-	10	10	10	10	62	9
Total betr. Parz.	108	1	8	9	25	11	10	10	10	10	62	9
Total unbetr. Parz.	28	20	148	168	13	6	0	0	0	0	3	9
Sommer												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 326
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	326	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	52	15.95
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	18	5.52
Extrem	1	-	-	-	-	-	-	-	-	16	6	1.84
Total	1	-	-	-	-	-	-	-	-	92	17	5.21
Degradiente Parzellen												
											93	28.53
Nicht degradierte Parzellen												
											233	71.47
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen	Nicht-wendend intensiv										Wendend-intensiv	
	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv
Leicht	44	3	5	7	6	12	-	-	-	-	27	9
Mässig	18	-	-	-	2	7	-	-	-	-	9	3
Stark	6	-	-	-	-	3	-	-	-	-	3	9
Extrem	17	-	-	-	1	3	4	4	4	4	48	21
Total betr. Parz.	85	3	5	7	9	25	4	4	4	4	48	21
Total unbetr. Parz.	74	65	94	153	16	42	1	1	1	1	21	9
Herbst												
Grad / Umfang	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%	# Parzellen	% von 305
Leicht	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	305	100.00
Mässig	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	36	11.80
Stark	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	30	9.84
Extrem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	13	4.26
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	33	10.82
Degradiente Parzellen												
											112	36.72
Nicht degradierte Parzellen												
											193	63.28
Bodenbearbeitungstechniken												
Landnutzungstypen	Nicht-wendend intensiv										Wendend-intensiv	
	Kulturland	Weideland	Grünland	nicht bekannt/erkannt	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv	Wendend-intensiv
Leicht	34	1	1	1	14	9	-	-	-	-	12	13
Mässig	30	-	-	-	13	4	-	-	-	-	8	8
Stark	13	-	-	-	4	1	-	-	-	-	7	22
Extrem	33	-	-	-	2	2	16	7	7	7	56	5
Total betr. Parz.	110	1	1	1	33	22	16	7	7	7	56	5
Total unbetr. Parz.	49	88	56	137	5	45	0	0	0	0	6	6

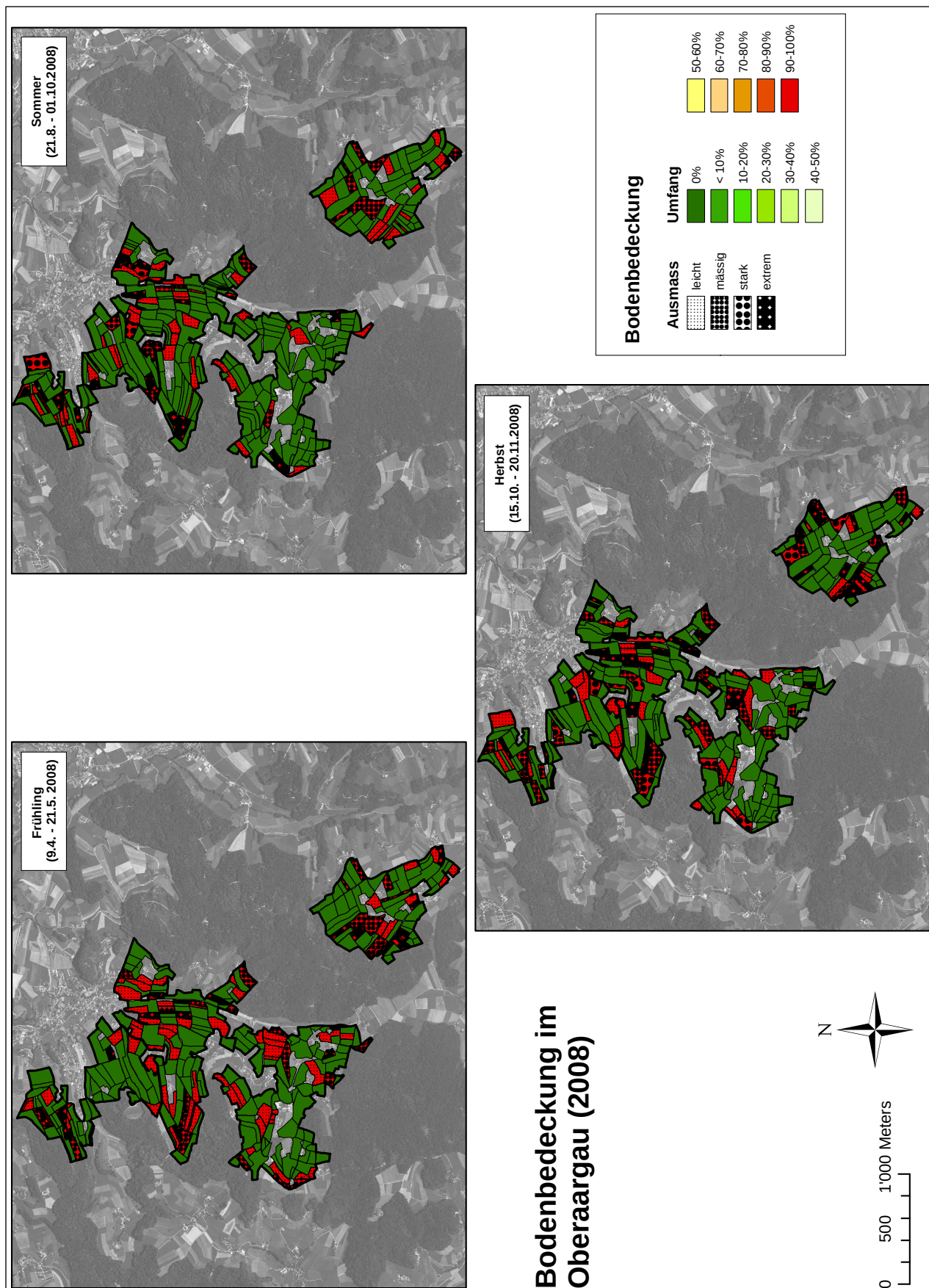


Abbildung 45: Saisonaler Zustand der Bodenbedeckung. Hauptsächlich sind Ackerbau- und gemähte Wiesen von mangelhafter Bodenbedeckung betroffen (Karten: Urs Grob).

Im Frühling entfallen 92%, Sommer 91% und Herbst 98% aller ungenügenden Bodenbedeckungen auf das Kulturland. Es konnten aber auch reduzierte Bodenbedeckungszustände beim Grün- und Weideland festgestellt werden. Beim Grünland waren Parzellen betroffen, die entweder frisch gemäht oder frisch angesät wurden. Wenn bei Weideland eine reduzierte Bodenbedeckung feststellbar war, so war auch immer eine Verdichtung vorhanden. Die Viehtritte reduzieren die Bodenbedeckung und schädigen die Grasnarben. Durch den hohen Anteil an Degradierungen beim Kulturland hebt sich wiederum das konventionelle Verfahren durch einen hohen Anteil von den anderen Verfahren ab. Interessant ist die hohe Quote der Direktsaat. Ein Grund könnte im Saat- und Beobachtungszeitpunkt liegen. Im Vergleich zum Pflug sind bei der Direktsaat die Degradierungen in der Kategorie leicht, was heisst, dass mindestens eine Bodenbedeckung zwischen 50 bis 60% vorhanden war. Selten war die Mulchbedeckung so hoch, dass keine Degradierung eintrat. Im Bereich der betroffenen Kulturpflanzen sind natürlich jene Parzellen betroffen, welche sich in Fruchtfolge befinden, also erneut Wintergerste, -weizen oder Mais, die den Boden erst spät decken (Anhang CD - Zusatzinformationen Bereich B). Ferner sind oft die Mulch- und Stoppelfelder leicht degradiert. Eine Sonderstellung haben die frisch gepflügten Parzellen inne, da sie aktuell über keine Bodenbedeckung verfügen. Bei solchen Fällen wurde aus diesem Grund immer die höchste Degradierungsstufe extrem bewertet.

5.3.3.2 VERMINDERTE REGENWURMAKTIVITÄTEN

Die letzte Bodendegradierung, welche hier erläutert wird, berücksichtigt die Aktivitäten der Regenwürmer. Wie die Tabelle 23 und Abbildung 46 illustrieren, wurden die Bewertungen immer für die gesamte Parzellenfläche (90-100%) erhoben. Anders als bisher wird die Degradierung nicht in die Kategorien leicht bis extrem, sondern in leicht vermindert, vermindert und stark vermindert eingeteilt. Die saisonale Abfolge zeigt, dass die Regenwurmaktivitäten im Frühling am stärksten vermindert waren, im Sommer und Herbst ist eine Abnahme zu vermerken. Im Frühling waren 41% (127), Sommer 28% (92) und Herbst 29% (89) der Parzellen degradiert. Mit anderen Worten waren im Frühling auf 59%, Sommer 72% und Herbst 71% aller Parzellen unverminderte Regenwurmaktivitäten anzutreffen. Wie schon zuvor beim Bodenbedeckungsindikator ist schwerpunktmässig das Kulturland von einer verminderten Regenwurmaktivität betroffen. Im Frühling stammen 92% aller Degradierungen aus dem Kulturland, Sommer 100% und Herbst 99%. Dabei sind in allen drei Jahreszeiten besonders die Kulturen Wintergerste, -weizen, Mais, Raps, Mulchfelder sowie das Saatbeet, wo die Population erheblich gestört und dezimiert wird, tangiert. Die anderen Landnutzungstypen Grün- und Weideland sind kaum beeinträchtigt. Im Bereich des Bodenmanagements sind die konventionellen Verfahren im Vergleich zur Direktsaat mehr degradiert.

Tabelle 23: Überblick zur Verminderung der Regenwurmakktivität [B]. Verteilung nach Grad und Umfang, Landnutzungstyp und Bodenbearbeitungstechnik (Quelle: Urs Grob).

Grad / Umfang	Frühling										# Parzellen	% von 313
	0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	80-90%	90-100%		
Normal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186	313	100.00
Leicht vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	186	59.42
Vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	186	24.13
Stark vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	186	10.65
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	313	313	100.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht vermindert	55	8	19	8	2	4	12	2	0	24	186	12.96
Vermindert	42	1	4	2	-	-	2	-	0	36	186	19.35
Stark vermindert	20	-	-	-	-	-	-	-	10	10	186	5.38
Total betr. Parz.	117	9	23	10	2	4	14	2	10	70	313	22.39
Total unbetr. Parz.	19	147	15	167	-	-	3	-	0	1	313	0.31
Sommer												
Normal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	326	326	100.00
Leicht vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	326	8.59
Vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	326	15.03
Stark vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	326	4.60
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	326	326	100.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht vermindert	28	-	6	-	-	-	7	-	-	15	326	4.59
Vermindert	49	-	4	-	-	-	12	-	-	33	326	10.12
Stark vermindert	15	-	-	-	-	-	1	-	-	10	326	3.07
Total betr. Parz.	92	0	10	0	0	0	20	0	0	58	326	17.82
Total unbetr. Parz.	67	89	15	160	-	-	47	-	-	11	326	3.37
Herbst												
Normal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	305	305	100.00
Leicht vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	305	7.87
Vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	305	11.80
Stark vermindert	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	305	9.51
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	305	305	100.00
Degradierte Parzellen												
Nicht degradierte Parzellen												
Landnutzungstypen												
Bodenbearbeitungstechniken												
Wendend-intensiv												
Leicht vermindert	24	-	14	-	-	-	4	-	-	6	305	1.97
Vermindert	35	-	3	-	-	-	9	-	-	24	305	7.87
Stark vermindert	29	-	-	-	-	-	-	-	-	23	305	7.54
Total betr. Parz.	88	0	17	0	0	0	13	0	0	53	305	17.38
Total unbetr. Parz.	71	89	21	138	-	-	48	-	-	8	305	2.62

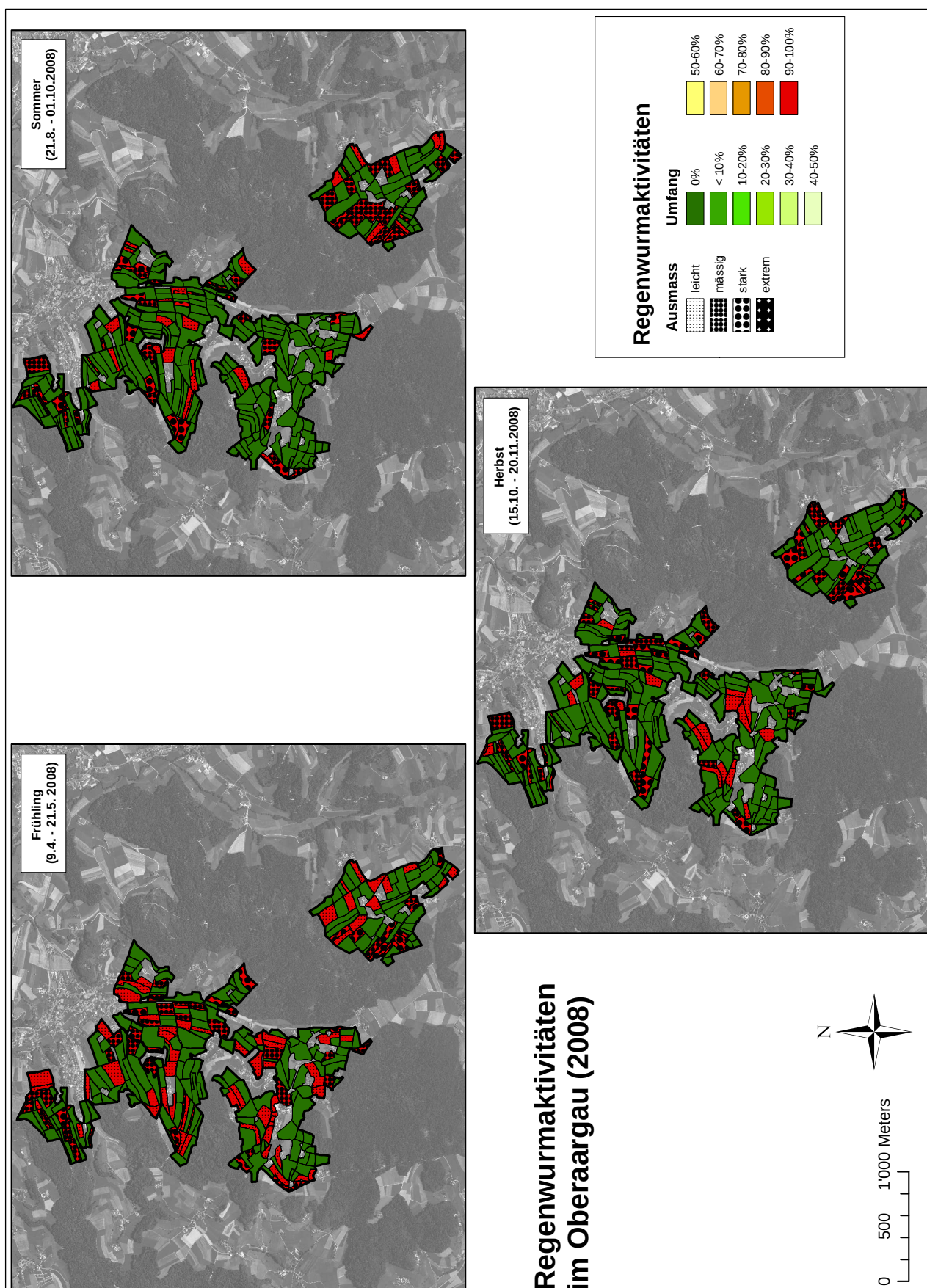


Abbildung 46: Saisonaler Zustand der Wurmaktivitäten. In feuchten Monaten (Herbst) sind die Aktivitäten höher als im Sommer, dies hängt aber auch von der ändernden Landnutzung ab (Karten: Urs Grob).

Zwar sind im Direktsaatsystem über die drei Jahreszeiten auch verminderte Wurmaktivitäten festzustellen, allerdings liegt deren Ausmass schwerpunktmässig im leicht verminderten Bereich. Die Direktsaat präsentiert beispielsweise keine Degradierungen im stark verminderten Zustand, bei den konventionellen Verfahren liegen dagegen immer mindestens vierzehn Parzellen mit einer stark verminderten Regenwurmaktivität vor. Bezüglich der Bodenbedeckung gilt, dass je besser diese ist, desto weniger sind die Wurmaktivitäten reduziert. Anders formuliert ist der Anteil an unbedecktem Boden grundsätzlich über 70%, wenn das Ausmass stark vermindert bewertet wird (Anhang D - Zusatzinformationen Bereich B). Insgesamt ist die Wurmaktivitäten stark von der Landnutzung und somit von der Kultur und dessen Bodenmanagement abhängig. Ausserdem konnte beobachtet werden, dass der Austrag von Gülle den Regenwurmbestand stark grundsätzlich dezimiert. Elsässer (o. J.) schreibt in seinem Bericht, dass mit Ausnahme von Regenwürmern und Milben die meisten Bodentiere langfristig positiv auf die zusätzliche Nahrungsquelle in Form von Gülle reagieren. Zwar fördert die Güllung die Regenwurmfauna, jedoch verringert sich deren Besiedlungsdichte.

5.3.4 OFF-SITE DEGRADIERUNGSEFFEKTE (OFF-SITE DEGRADATION EFFECTS)

Die Erosion durch Wasser verursacht direkte und indirekte Schäden auf dem Acker und ausserhalb. Daraus erwachsen vielfältige direkte Kosten und indirekte Folgekosten, so Mosimann et al. (1991: 21ff). Die Off-site Schäden widmen sich ausschliesslich den indirekten Folgeschäden/-kosten. So trägt die Bodenerosion zur Gewässerverschmutzung bei und verunreinigt benachbarte, naturnahe Ökosysteme oder anderes Kulturland. Neben den immateriellen Schäden entstehen dadurch volkswirtschaftliche Kosten für Sanierungen und Notmassnahmen. Im Jahr 1986 hatte es in Melchnau innerhalb von 20 Minuten fast 80 mm geregnet, so Duppenenthaler in der UFA Revue (Roggli 2009: 37f). Melchnau erlebte ein Hochwasser, wodurch massenweise Erde auf den Parkplatz des Dorfplatzes geschwemmt wurde. Diese Off-site Schäden wurden im Feldformular mit insgesamt sieben Indikatoren berücksichtigt. Allerdings wurden während den Beobachtungen nur wenige off-site Schäden erfasst (Anhang CD - Überblick Bereich B). Einige Male konnten Gewässerverschmutzungen (Bodenabtrag in Kanalisation) sowie diverse Akkumulationen auf Kulturland und Infrastruktur erfasst und bewertet werden. Die Bewertung der Schäden ist schwierig abzuschätzen und zudem war die Anzahl der Off-site Schäden zu gering, um weiter darauf einzugehen. Interessante Informationen zu diesem Abschnitt liefern Ledermann et al. (2008b) in ihrem Bericht zur Bewertung und Quantifizierung von Off-site Effekten in der Schweiz.

5.4 BEREICH C – URSACHEN DER BODENDEGRADIERUNG

Direkte Ursachen sind unmittelbar wirksame Faktoren, welche Bodendegradierungsprozesse auslösen. Bei den direkten Ursachen handelt es sich oft um eine Folge von indirekten Ursachen. Indirekte Ursachen beinhalten ökonomische, sozio-ethische, politische und demographische Faktoren sowie fehlendes Wissen über die Ressource Boden, die zu einer Bodennutzung führen, welche die natürlichen Stoff- und Energiekreisläufe beeinträchtigt und unterbricht. Heiniger & Herweg (1994: 25ff) zählen zu den indirekten Ursachen Rahmenbedingungen wie Landbesitzstrukturen, Landwirtschaftspolitik, Bevölkerungswachstum, usw., die sich entscheidend auf degradierungswirksame Handlungen auswirken. In der vorliegenden Untersuchung konnten diese indirekten Ursachen nicht berücksichtigt werden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass, wenn der Bodenschutz sich lediglich an den direkten Ursachen orientiert, die Bekämpfung von Degradierungen lediglich Symptomcharakter erlangt. Der nächste Abschnitt behandelt folglich die wichtigsten Haupt- und Nebenursachen für jede Jahreszeit, welche für die bewerteten Bodendegradierungen verantwortlich sind. Nebst der Unterscheidung von verschiedenen Ursachen kann zusätzlich differenziert werden, ob es sich um eine Haupt- oder Nebenursache handelt. Bei einer Erosion können auf diese Weise beispielsweise der Wasserzufluss einer oben angrenzenden Parzelle als Hauptgrund und die Topographie als Nebengrund bewertet werden. In den Abbildungen 46 und 47 sind die fünf häufigsten Ursachen für die drei Jahreszeiten illustriert. Alle anderen Ursachen wurden kaum aufgezeichnet, weshalb sie nicht dargestellt werden. Eine Gesamtübersicht mit allen Ursachen liegt auf der CD bereit (Anhang CD - Überblick Bereich C). Eine besondere Relevanz nimmt, die Topographie/Relief ein, welche, wie oben im Beispiel geschildert, hauptsächlich im Zusammenhang mit flächenhaften und linienhaften Erosionen beobachtet wurde. Gemäss Mosimann et al. (1991: 37) können ab einer Hangneigung von >8 bis 10% deutlich höhere Erosionsraten festgestellt werden. Zudem bestimmen Leitlinien wie Hangmulden oder muldenförmige Tiefenlinien den Oberflächenabfluss stark.

Die Abbildungen 47 und 48 zeigen eindeutig, dass vor allem die Bodenbearbeitung, reduzierte Bodenbedeckung sowie verminderte Infiltrationsraten die massgeblichen Verursacher der Bodendegradierungen sind. Die Säule der Ursachen bezieht sich auf die Anzahl Ursachen aus dem ganzen Untersuchungsraum. Es muss allerdings bedacht werden, dass die einzelnen Ursachen für mehrere Bodendegradierungen auf der separaten Parzelle verantwortlich sein können. Aus diesem Grund sind im Frühling zum Beispiel bei der Bodenbearbeitung mehr als 313 Ursachen gezählt worden. Die Ursachen reduzierte Bodenbedeckung und verminderte Infiltration können im Grunde als Begleiterscheinung zur Landnutzung und

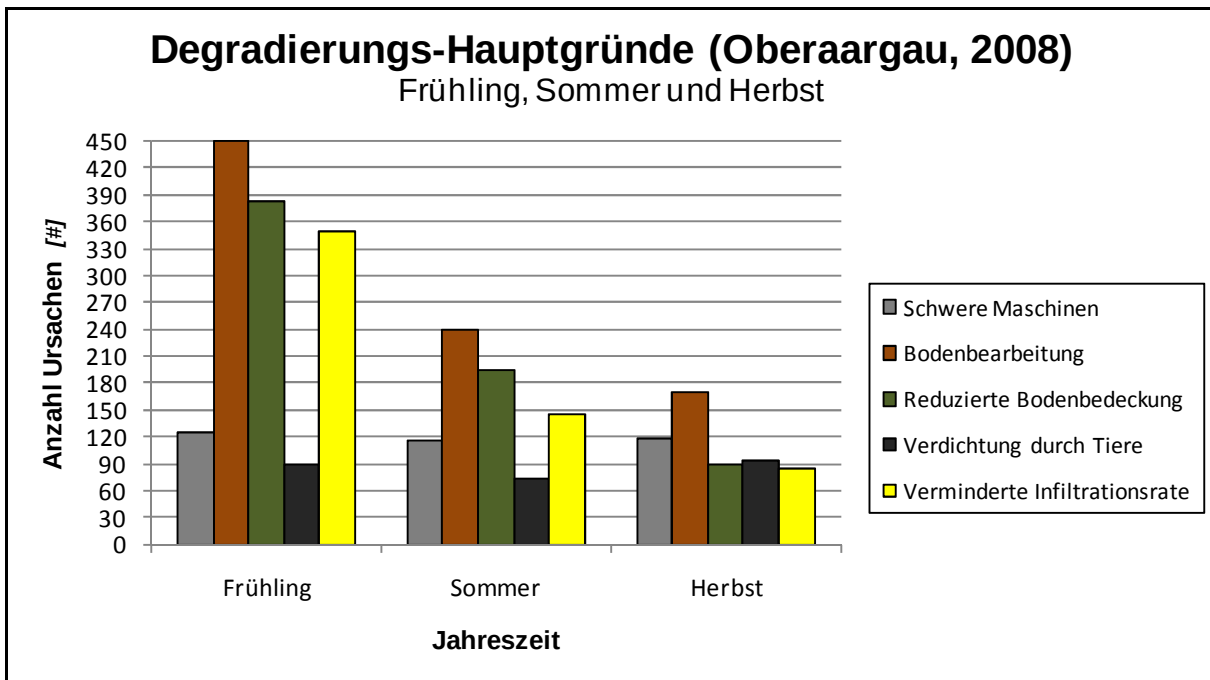


Abbildung 47: Verteilung der fünf häufigsten Hauptursachen für die Bodendegradierungen; ausgewertet nach Jahreszeiten (Quelle: Urs Grob).

deshalb zum Bodenmanagement betrachtet werden. Auch die schweren Maschinen sind eine Begleiterscheinung der Landnutzung und der Bodenbewirtschaftung, wobei allerdings auch schwere Landmaschinen auf Grasland Verdichtung hervorrufen können. Im Frühling wurden gesamthaft am meisten Degradierungen erfasst, dementsprechend weist diese Jahreszeit auch am meisten Ursachen auf. In besonderem Mass ist die Bodenbearbeitung für Degradierungen verantwortlich. In der Abbildung 47 ist das anhand der braunen Säule einfach abzulesen. Da der Anteil an Kulturland über die Jahreszeit abnimmt, sinkt generell die Anzahl der Hauptgründe (Bodenbearbeitung, reduzierte Bodenbedeckung und verminderte Infiltrationsrate). Daraus lässt sich schliessen, dass für das Kulturland die Ursachen eng miteinander verbunden sind. Beim Grasland geht aus den Feldbeobachtungen und den Auswertungen hervor, dass es entscheidend ist, ob eine Parzelle als Kunstwiese (Grünland) oder als Weideland bewirtschaftet wird. Beim Weideland wurde öfters eine Verdichtung durch Tiere bewertet, weshalb diese auch als Ursache genannt wird. In Extremfällen können schwere Trittschäden Verdichtungen hervorrufen, welche zu einer schlechteren Infiltrationsrate und unter Umständen zu Oberflächenabfluss sowie Erosion im unteren Feld führen können. Im Frühling wurden am wenigsten Weideparzellen bewertet, allerdings ist die Anzahl Ursachen höher als im Herbst, wo über viermal so viele Weideparzellen gezählt wurden. Der Grund liegt daran, dass die Ursache Verdichtung durch Tiere im Frühling auf den separaten Parzellen mehrmals Ursache für Degradierungen war. Die Interpretation der Abbildungen 47 und 48 ist also mit Vorsicht zu geniessen. Auch bei den Nebenursachen ist die

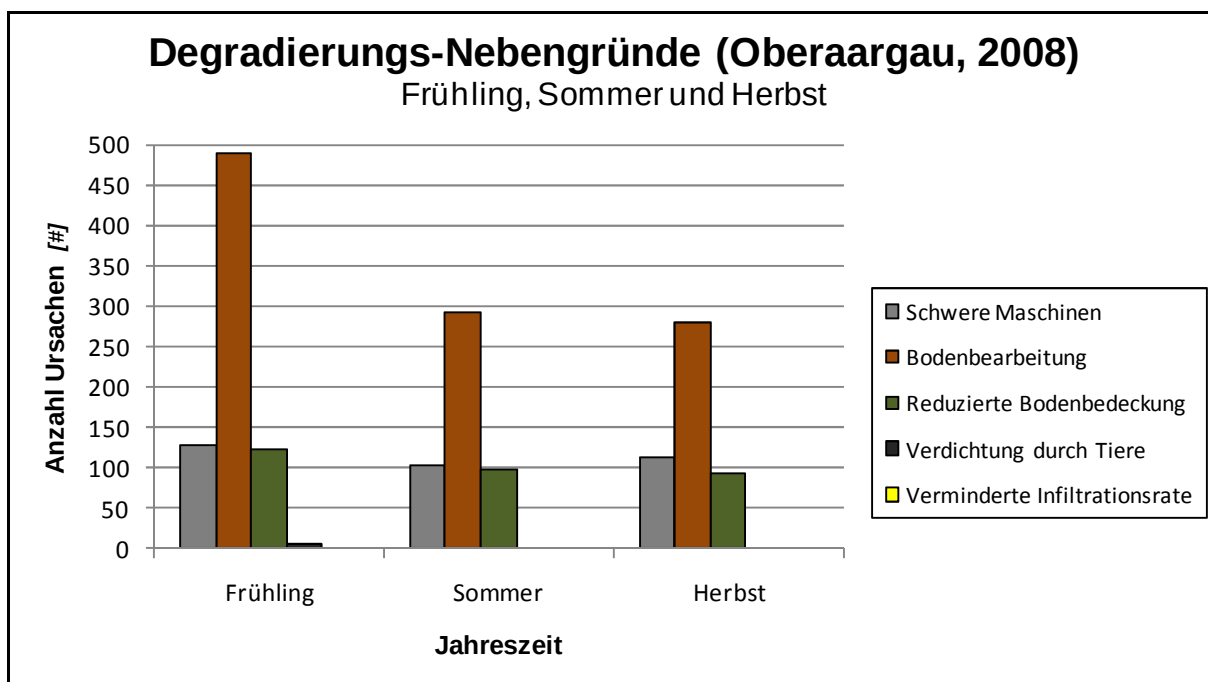


Abbildung 48: Verteilung der fünf häufigsten Nebenursachen für die Bodendegradierungen; ausgewertet nach Jahreszeiten (Quelle: Urs Grob).

Bodenbearbeitung mit Abstand am dominantesten (Abbildung 48). Die schweren Maschinen bewegen sich auf einem ähnlich hohen Level wie zuvor die Hauptgründe. Etwas weniger dominant ist die reduzierte Bodenbedeckung bei den Nebenursachen. Mithilfe der oberen beiden Abbildungen wird ersichtlich, dass das Bodendegradierungsrisiko wesentlich von der Landnutzung und dem Bodenbearbeitungsmanagement abhängt. In den folgenden Abschnitten 5.4.1 bis 5.4.5 wird noch einmal auf die fünf häufigsten Ursachen eingegangen. Die Reihenfolge entspricht der Abfolge des Feldfragebogens.

5.4.1 SCHWERE MASCHINEN

Auf durchschnittlich 38% der Parzellen im Untersuchungsgebiet waren schwere Maschinen der Hauptgrund für Bodendegradierungen. Würde für die Bewertung nur das Kulturland berücksichtigt werden, wäre der Durchschnittswert um ein Vielfaches höher, wenn man die Tabelle 18 (Abschnitt 5.3.2.1) konsultiert. Allerdings kann daraus nicht geschlossen werden, dass der Boden auf Grasland nicht verdichtet ist. Durch die intensive Grasbewirtschaftung kann durchaus Verdichtung auftreten, allerdings ist die Gefährdung aufgrund der besseren Bodenstabilität bedeutend geringer. Schwere Maschinen waren aber auch Nebenursachen für andere Bodendegradierungen. Beispielsweise hemmen die Fahrspuren die Pflanzenbedeckung oder lösen Erosionsrillen aus. Auf durchschnittlich 36% der Parzellen waren schwere Maschinen die Nebenursache für Bodendegradierungen.

5.4.2 BODENBEARBEITUNG

Die Bodenbearbeitung ist mit Abstand die häufigste Ursache für Bodendegradierungen, sei es als Haupt- oder Nebenursache. Die Bodenbearbeitung ist beispielsweise hauptverantwortlich für den Verlust der Bodenfruchtbarkeit, die schlechte Bodenstruktur, die verringerte Bodenbedeckung und den Rückgang der Bodenlebewesen. Ferner wirkt sich die Bodenbearbeitung auf die Erosion, Verschlämmung und Verkrustung sowie Verdichtung aus und beeinflusst durch den veränderten Luft- und Wärmehaushalt die Bodenfeuchte. In vielen Fällen ist die Bearbeitung auch eine Nebenursache wie beispielsweise für die Bodenverdichtung. Da schwere Maschinen der Hauptgrund für Verdichtung sind, wurde die Bodenbearbeitungstechnik nur noch ein Nebenursache klassifiziert. Ein nicht nachhaltiges Bodenmanagement verfeinert und zerstört die Bodenstruktur und -tragfähigkeit, was das Verdichtungsrisiko fördert.

5.4.3 REDUZIERTER BODENBEDECKUNG

Die reduzierte Bodenbedeckung ist simultan eine Bodendegradierung (vgl. Bc) und eine Bodendegradierungsursache (c1). Die Ursachen für eine verminderte Bodenbedeckung sind in erster Linie auf das Bodenbearbeitungsverfahren und den Verlust der Bodenfruchtbarkeit (vgl. Cn) zurückzuführen. Wie die Ursache der Bodenbearbeitung kann die Bodenbedeckung mit diversen Degradierungen in Verbindung gebracht werden. Bei dieser Untersuchung war dies im Besonderen der Fall für die flächenhafte Erosion und die Verschlämmung und Verkrustung. Der Abtrag des Bodens beeinflusst wiederum den Rückgang der Bodenfruchtbarkeit (abgeschwemmter Humus, organische Substanz), womit eine Wechselwirkung zwischen den Degradierungsarten entstehen kann (Abbildung 6). Der Anteil an Parzellen mit reduzierter Bodenbedeckung liegt im Frühling bei 37%, Sommer 29% und Herbst 37% (Abschnitt 5.3.1.1, Tabelle 22).

5.4.4 BODENVERDICHUNG DURCH TIERE

Jeder Weidegang bringt eine gewisse Belastung der Grasnarbe und des Bodens mit sich. Wo sich das Vieh häufig aufhält, zum Beispiel rund um Viehtränken, bei engen Passagen, unter Bäumen etc., kann die Grasnarbe durch die Tritte lokal zerstört werden. Im Untersuchungsgebiet wurden meistens kleinflächige Schäden an Standorten beobachtet, wo es zwangsläufig und regelmässig zu Viehansammlungen kam. Grossflächiger Viehtritt wurde dagegen nur selten erfasst. Solche Schäden entstehen oftmals im Zusammenspiel unter

ungünstigen natürlichen Voraussetzungen wie nassen Böden und unzweckmässigem Weidemanagement (z.B. Standweide). Um Verdichtungen vorzubeugen, sollten vermehrt längere Ruhe- und Regenerationsphasen eingeplant werden. Diesem Grundsatz wird oftmals zu wenig Achtung beigemessen, wodurch sogenannte "Viehgangeln" und tiefe Trittlöcher entstehen können. Besonders problematisch ist die Beweidung steiler Hänge mit schweren Tieren unter nassen Bodenverhältnissen während mehreren Wochen. Im Untersuchungsgebiet in der Region Oberrhein waren die Viehtritte hauptsächlich verantwortlich für Bodenverdichtungen und verschiedentlich für reduzierte Bodenbedeckungen. In extremen Fällen verursachten die Viehtritte sogar Wasseransammlungen und Stauwasser an den verdichteten Stellen. Im Frühling waren rund 10%, Sommer 36% und Herbst 42% der Parzelle von Verdichtung durch Vieh betroffen. Diese relativen Werte widerspiegeln die Zunahme des Anteils an Weideparzellen gegen Herbst.

5.4.5 VERMINDERTE INFILTRATION

Die verminderte oder beeinträchtigte Infiltrationsrate wurde hauptsächlich als Ursache bei flächenhaften und linienhaften Erosionen, Verschlammungen und Verkrustungen, Staunäsen sowie im weitesten Sinne für den Rückgang der Bodenfruchtbarkeit aufgezeichnet. Nebst der Bodenstruktur (Textur) und dem Humusgehalt ist die Wasserdurchlässigkeit des Bodens entscheidend. Je besser die Infiltrationsrate eines Bodens ist, desto geringer ist dessen Anfälligkeit auf Erosion oder Verschlammung und Verkrustung. Wird das Wasser an der Infiltration gehindert oder gar verhindert, so steigt das Erosivitätspotential des Wassers. Aufgrund der Beobachtungen kann vermutet werden, dass die Infiltration im Frühling am meisten herabgesetzt war, weil zu dieser Jahreszeit eindeutig am meisten flächenhafte Erosionen sowie Verschlammungen und Verkrustungen registriert wurden. Im Frühling waren schliesslich 38%, Sommer 18% und Herbst 12% aller Parzellen von verminderter Infiltration betroffen.

5.5 BEREICH D – KONSERVIERUNGSMASSNAHMEN

Gemäss WOCAT/LADA besteht eine der dringendsten Herausforderungen der Menschheit darin, nicht nur die Bodendegradierungen sondern auch die Bodenkonservierungsmassnahmen zu erfassen, kartieren und bewerten. Aus diesem Grund wurden zu den Bodendegradierungen zusätzlich die Konservierungsmassnahmen bewertet. Bei den Konservierungsmassnahmen werden nicht wie bei den Degradierungen deren Ausmass bewertet, sondern die Effektivität und dessen Umfang. WOCAT/LADA (Liniger 2007: E14ff) präsentiert

im QM-Handbuch sechzehn verschiedene Konservierungsgruppen vor, von welchen im Interesse der Arbeit acht ausgewählt und modifiziert wurden. Die einzelnen Massnahmen sind im Abschnitt 4.6 erläutert. Die zur Kenntnis genommen und bewerteten Konservierungsmassnahmen wurden stets über den gesamten Parzellenumfang angewendet. Ausschliesslich bei den Massnahmen Streifenanbau, Hecken sowie Terrassen wäre ein kleinerer Anwendungsumfang denkbar, doch wurden diese während den drei Jahreszeiten nie gesichtet. Eigentlich bestehen im Untersuchungsgebiet einige Hecken, allerdings sind diese nicht als hydrologische Barrieren in Parzellenmitte lokalisiert, sondern an den Parzellenrändern. Die Bewertung der Effektivität stellte sich als problematisch heraus, weil keine Kontrollparzellen vorhanden waren, um eine Abschätzung vorzunehmen. Wie im Abschnitt 4.7 bereits erklärt, kam die Bewertung bezüglich eines gewünschten optimalen Zustands (z.B. Naturwiese) und nicht im Vergleich zu einer gepflügten Parzelle zustande. In den folgenden Abschnitten werden nun die Ergebnisse zu fünf Konservierungsmassnahmen erläutert.

5.5.1 DIREK TSAAT

Eine schlechte Bodenstruktur ist oft Ausgangslage für verschiedene Bodendegradierungen, so auch für die Verdichtung oder Erosion. Bei den konventionellen Bodenbearbeitungstechniken wird die schlechte Bodenstruktur im Allgemeinen gefördert. Nach Schätzungen von Fachleuten sind in der Schweiz bereits 15-20% der Böden verdichtet und 20% der offenen Ackerflächen von Erosion betroffen (Nowack et al. 1996: 5f). Welche Massnahmen gegen die verschiedenen Degradierungen angewendet werden, ist Teil der nächsten Abschnitte. Aus dem Abschnitt 5.2.4 kann entnommen werden, dass die Direktsaat im Untersuchungsgebiet nur einen kleinen Anteil des Bodenmanagements ausmacht. Dennoch liegt der Anteil mit 7.5 bis 12.5% über dem schweizerischen Durchschnitt. Gemäss den Beobachtungen ist eine regelmässige Direktsaat auf die Gebiete Reisiswil und Melchnau I sowie II beschränkt (Abbildung 51). Besonders ausgeprägt ist die Direktsaat im Gebiet Reisiswil, das im Frühling 61%, Sommer 48% und Herbst 53% aller direkt gesäten Parzellen im Untersuchungsgebiet beherbergt. Bezüglich der Effektivität waren die direkt gesäten Parzellen im Frühling und im Herbst insgesamt ein wenig schlechter als im Sommer. Ursache für diese Schwankungen sind einerseits der Saat- und Erntekalender und andererseits die klimatischen Bedingungen während den Jahreszeiten. Am meisten Parzellen sind durchschnittlich in der Kategorie hoch mit elf Parzellen anzutreffen (Abbildung 49). Dicht gefolgt kommt die Kategorie mässig (zehn Parzellen) und sehr hoch mit neun Parzellen. Eine niedrige Effektivität weisen durchschnittlich vier direkt gesäte Parzellen auf. Im Vergleich zu den konventionell bewirtschafteten Parzellen bewahrheiten sich die Direktsaatfelder als weniger degradierungsanfällig, weil

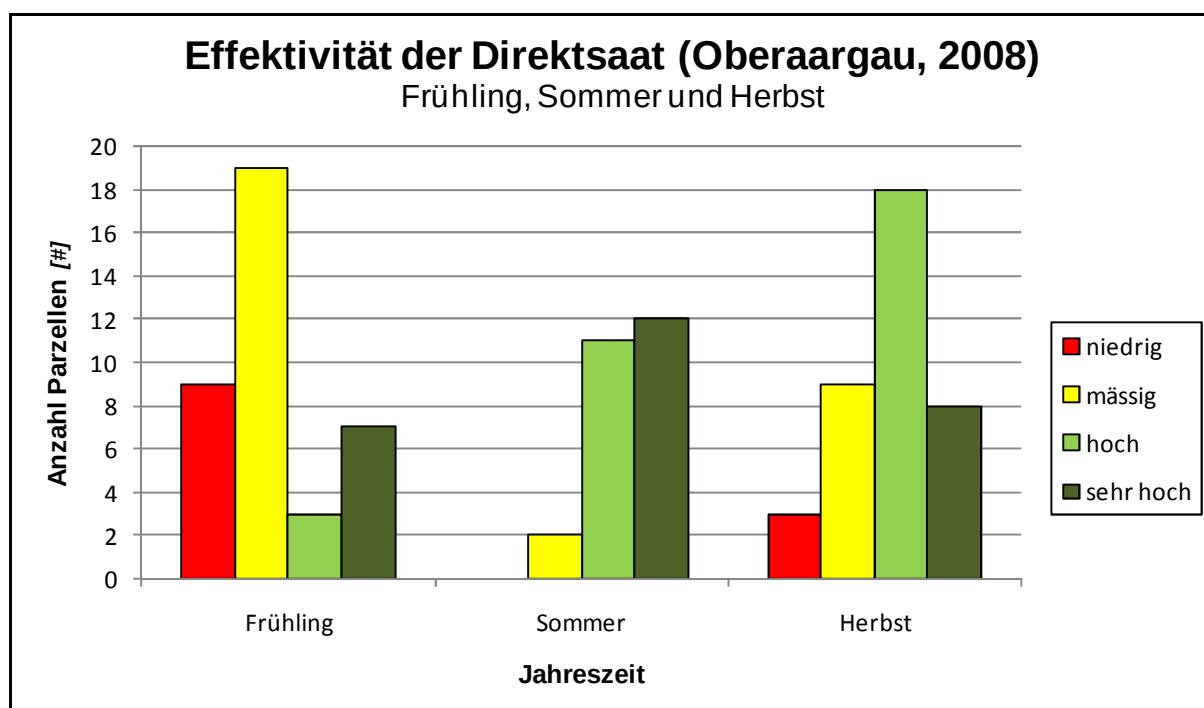


Abbildung 49: Einstufung der Effektivität von Direktsaat gegenüber der Bodendegradierung (Quelle: Urs Grob).

sie grundsätzlich eine bessere Bodenstruktur und -tragfähigkeit aufweisen. Außerdem ist die Bodenfauna auf Direktsaatfelder oftmals um ein Vielfaches belebter als auf Pflugparzellen (vgl. Synthese-Kapitel).

5.5.2 MULCHSAAT

Eine weitere bodenschonende und dadurch konservierende Anbautechnik ist die Mulchsaat. Verglichen zur Direktsaat ist die Mulchsaat im Untersuchungsgebiet weiter und regelmässiger verbreitet (Abbildung 52). Die Anzahl unter Mulchsaat stehender Parzellen ist zudem deutlich höher als bei der Direktsaat. Vor allem im Sommer und Herbst wurden ca. ein Fünftel aller Parzellen im Untersuchungsgebiet gemulcht, im Frühling lediglich 5%. Dies könnte ein Fehlerwert sein, weil zu Beginn der Feldarbeiten dieses Anbauverfahren noch kaum bekannt und deshalb schwierig zu erkennen war. Diese Unsicherheit wirkt sich auf die Verteilung der Effektivität in Abbildung 50 aus. Während die Kategorien niedrig, mässig und hoch in allen drei Jahreszeiten ähnlich verteilt sind, ist die Kategorie sehr hoch im Sommer und Herbst überaus stark. Mit anderen Worten liegt der durchschnittliche Parzellenanteil bei sehr hoch bei 31, hoch und mässig jeweils sieben und niedrig drei Parzellen. Wie die Direktsaatfelder sind auch die Mulchsaatparzellen weniger anfällig auf Bodendegradierungen als gepflügte Parzellen (vgl. Synthese). Im Vergleich der beiden bodenschonenden Anbauverfahren

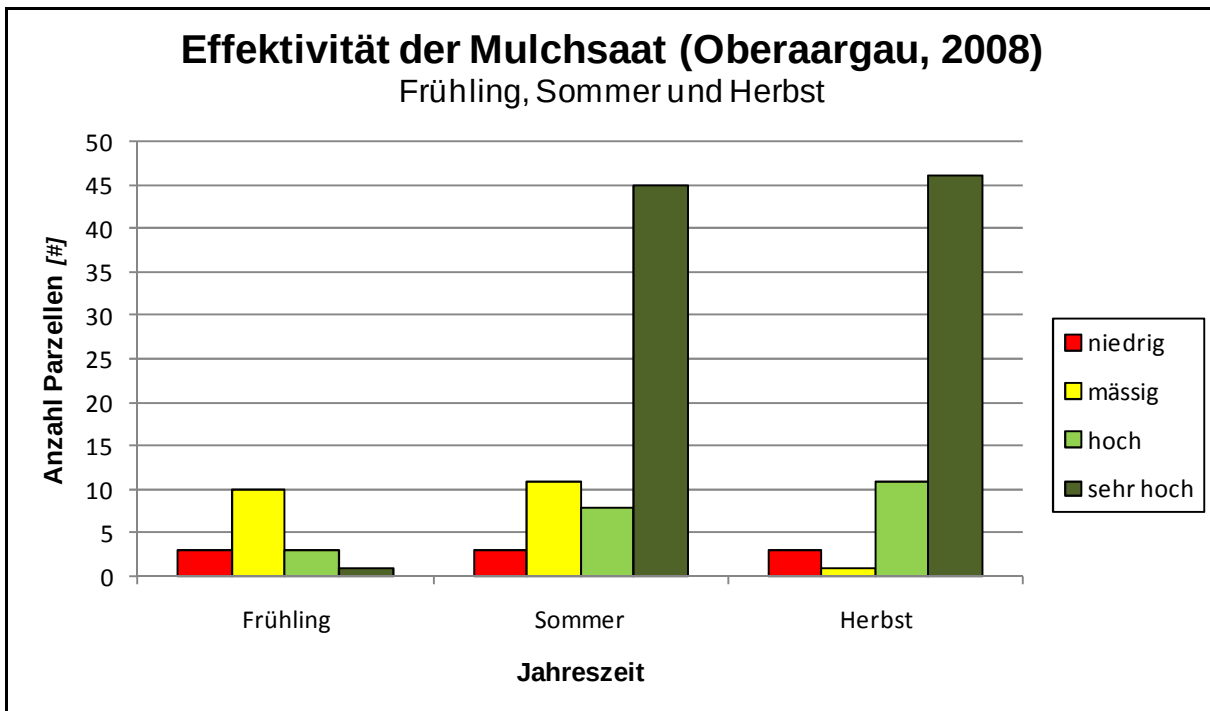


Abbildung 50: Einstufung der Effektivität von Mulchsaat gegenüber der Bodendegradierung (Quelle: Urs Grob).

ren lässt sich allerdings feststellen, dass im Frühling und Herbst bei den Direktsaatfeldern die Anzahl Bodendegradierungen höher sind als bei den gemulchten Feldern. Im Sommer ist die Situation umgekehrt, wo die Mulchsaatfelder mehr Bodendegradierungen aufweisen als die Direktsaatfelder. Diese Erkenntnis ist überraschend, hätte man doch annehmen können, dass die Direktsaat im direkten Vergleich besser abschneidet als die Mulchsaat. Ein möglicher Grund für diese Ergebnisse basiert möglicherweise in der Vorgehenseise der Feldbeobachtungen, welche auf visuellen Beobachtungen und Bewertungen basiert. Anstatt nur die Bodenoberfläche zu bewerten, sollte zusätzlich das Bodeninnere analysiert und bewertet werden. Hier würden die Unterschiede beider Verfahren unter Umständen deutlicher.

5.5.3 DÜNGUNG UND NÄHRSTOFFMANAGEMENT

Die Düngung und das Nährstoffmanagement werden an dieser Stelle nicht näher thematisiert. Während den Feldarbeiten wurden die aktuellen Düngungszustände zwar dokumentiert, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass in der Schweizer Landwirtschaft bei allen Landnutzungstypen gedüngt wird. Infolgedessen wurde im Nachhinein eine flächendeckende Düngung angenommen. Ferner ist eine Bewertung deren Effektivität fast unmöglich.

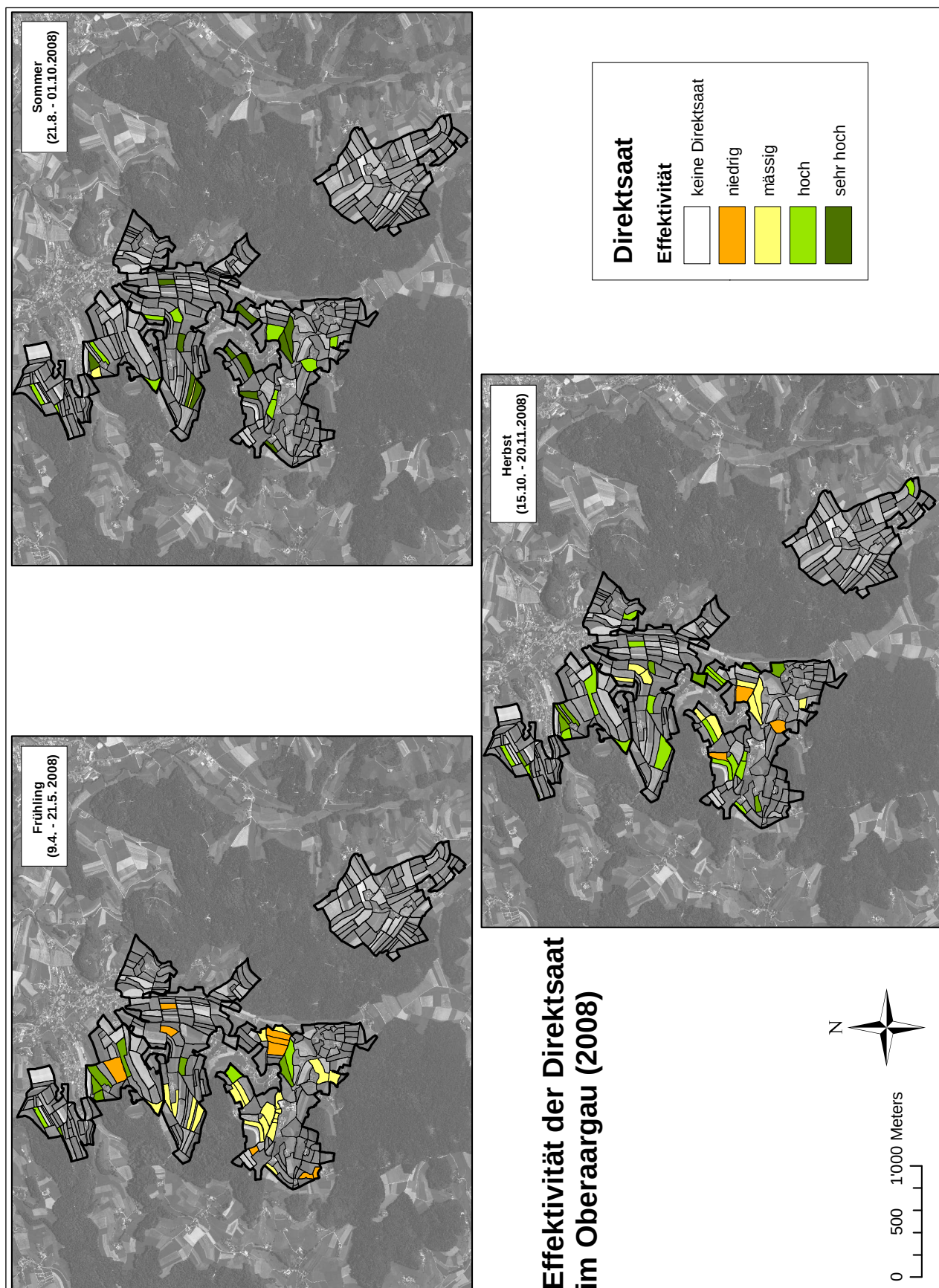


Abbildung 51: Effektivität der Direktsaat für die drei Jahreszeiten. Die Direktsaat ist im Frühling und Herbst am dominantesten, im Sommer nimmt sie leicht ab (Karten: Urs Grob).

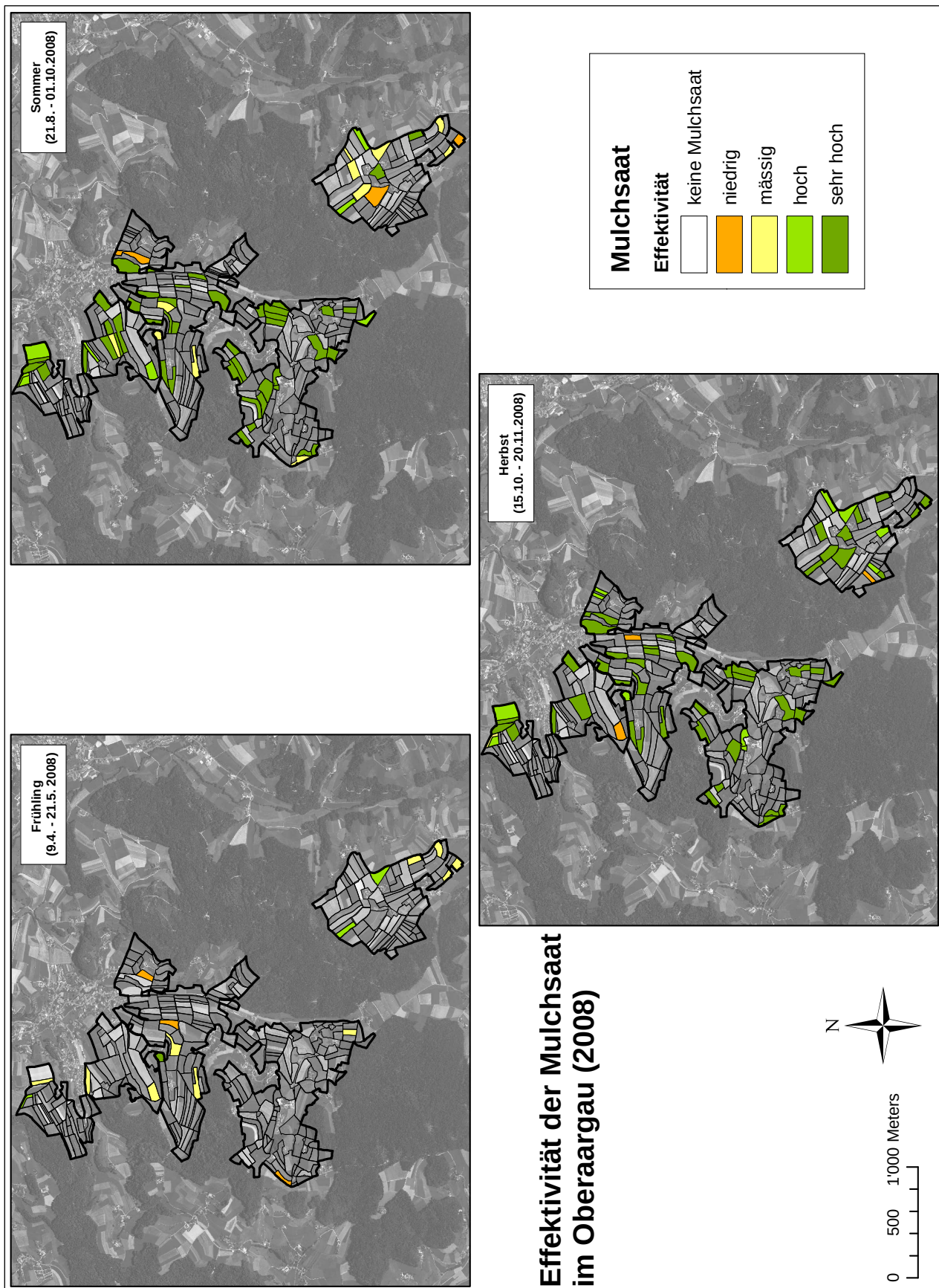


Abbildung 52: Effektivität der Mulchsaat für die drei Jahreszeiten. Besonders im Sommer und Herbst ist die Mulchsaat häufig aufgetreten, am häufigsten im Sommer mit 67 Parzellen (Karten: Urs Grob).

5.5.4 FRUCHTFOLGE

Im Oberaargau sind generell keine Monokulturen aufgetreten, weil alle Parzellen sich in einer Fruchtfolge befinden. Wie bei der Direktsaat, Mulchsaat und Düngung ist eine Bewertung der Effektivität der Fruchtfolge problematisch. Im Vergleich zu Monokulturen ist ein Landwirtschaftssystem mit Fruchtfolge grundsätzlich immer effektiver. Weil ein Vergleich mit Monokulturen im Sinne einer Kontrollgruppe nicht möglich war, wurde deren Wirksamkeit wiederum anhand der Anzahl Bodendegradierungen, respektive einem erwünschten optimalen Zustand bewertet. Sobald eine Parzelle trotz Fruchtfolge mehrere Degradierungen aufweist, wird die Effektivität geringer eingeschätzt und umgekehrt. Während Grasland normalerweise eine sehr hohe Effektivität inne hat, nimmt diese mit der Nutzungsänderung zu Weideland oftmals ab. Dieser Wechsel offenbart sich in der Zunahme der Kategorie mässig (mehr Weideland) und der Abnahme der Kategorie sehr hoch (weniger Grasland). In absoluten Zahlen bedeutet dies im Jahreszeitenverlauf den Rückgang der Graslandparzellen von 156 auf 57, während dessen das Weideland von 21 auf 89 Parzellen zunimmt. In der Abbildung 55 ist das ganze räumlich dargestellt. Die Abnahme der niedrig effektiven Fruchtfolgen lässt sich damit erklären, dass gegen den Winter vermehrt auf eine gute Bodenbedeckung geachtet wird, weshalb mehr Grasland und Weideland genutzt wird. Die durchschnittliche Anzahl Parzellen liegt bei der Kategorie niedrig bei 30, mässig 150, hoch 34 und sehr hoch 101. Die hohen Durchschnittswerte kommen bei mässig und sehr hoch durch den hohen Anteil an Grasland (Grünland und Weideland) zustande.

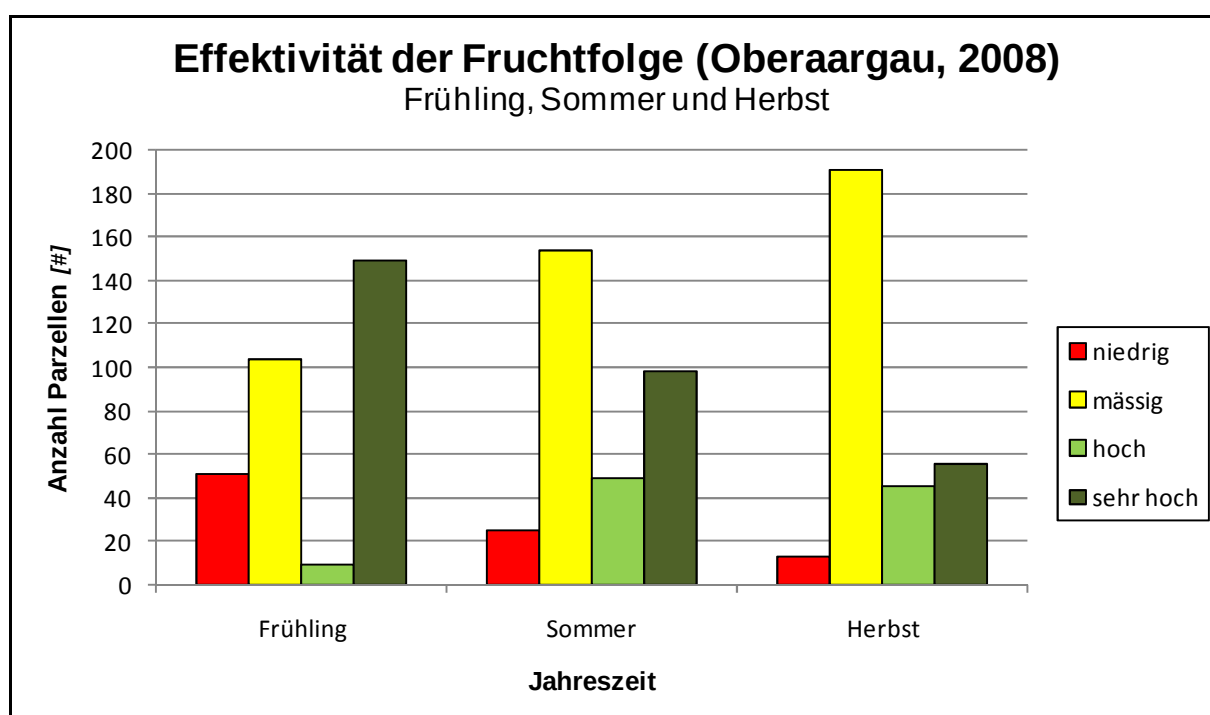


Abbildung 53: Einstufung der Effektivität von Fruchtfolge gegenüber der Bodendegradierung (Quelle: Urs Grob).

5.5.5 GRÜNLANDMANAGEMENT

Die Konservierungsmassnahme konzentriert sich auf alle Grünlandparzellen, egal, ob es sich dabei um Grün- oder Weideland handelt. Abbildung 54 zur Effektivität des Grünlandmanagements besitzt ähnliche Merkmale wie jene zur Fruchtfolge. Das hat wie schon erwähnt stark mit dem Landnutzungswechsel zu tun. Nur die Kategorie niedrig nimmt im saisonalen Verlauf leicht zu, weil bei den 89 Weideparzellen einige ein uneffektives Grünlandmanagement aufzeigten. Mittels den Abbildungen 49, 50, 53 und 54 kann eruiert werden, dass Grünparzellen dank der geringen Bodenbearbeitung und der dichten Bedeckung allgemein weniger gefährdet sind auf Bodendegradierungen. Es überrascht daher nicht, dass das Grünlandmanagement hinter der Fruchtfolge die zweithäufigste Konservierungsmassnahme ist. Wieso das Grünlandmanagement so wichtig ist, illustriert Tabelle 14. Gemessen an der Anzahl Parzellen belegt das Kulturland zwar durchschnittlich 52% des Gesamtparzellentotals, im Vergleich zum Umfang besetzt das Kulturland allerdings wenig Fläche. Das Grünland besetzt immer mindestens einen durchschnittlichen Flächenanteil von 85% (263.73 ha) der total 310.7 ha. Im Frühling liegt dieser Wert mit 87% (271 ha) noch etwas höher. Die durchschnittliche Anzahl Parzellen liegt bei der Kategorie niedrig bei 3, mässig 58, hoch 35 und sehr hoch bei 101 Parzellen. Die hohen Durchschnittswerte kommen bei mässig und sehr hoch durch den hohen Anteil an Grünland (Grasland und Weideland) zustande.

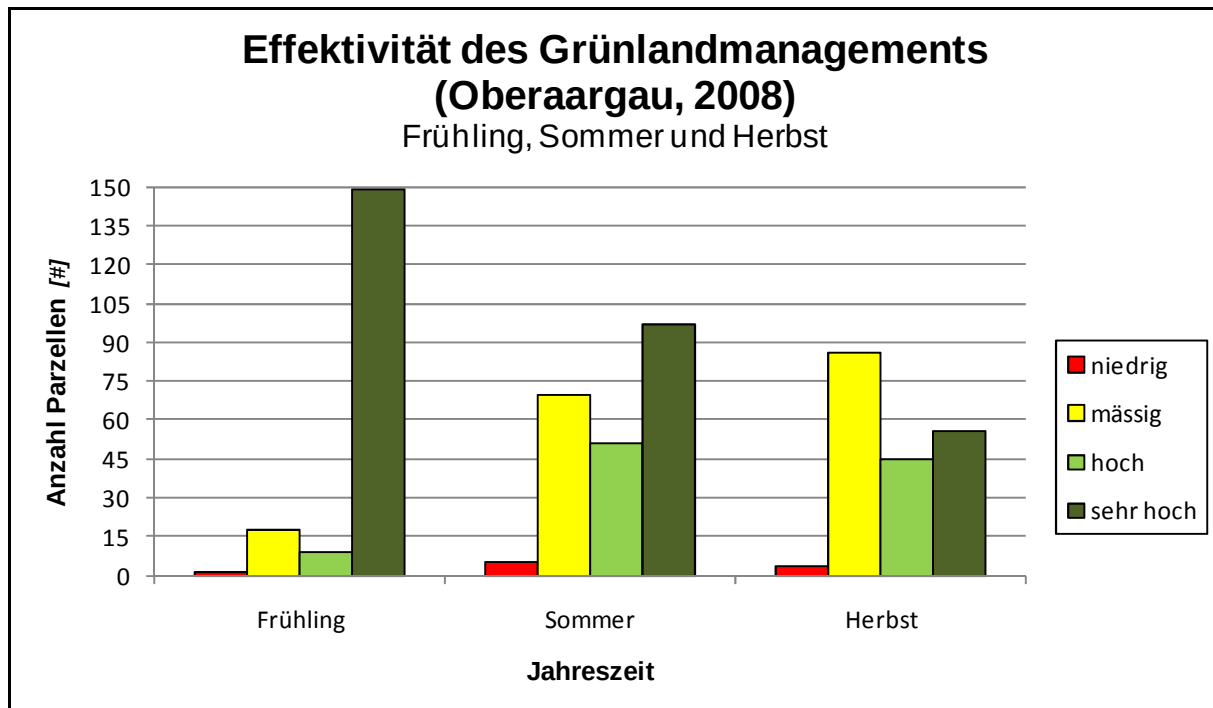


Abbildung 54: Einstufung der Effektivität des Grünlandmanagements gegenüber der Bodendegradierung (Quelle: Urs Grob).

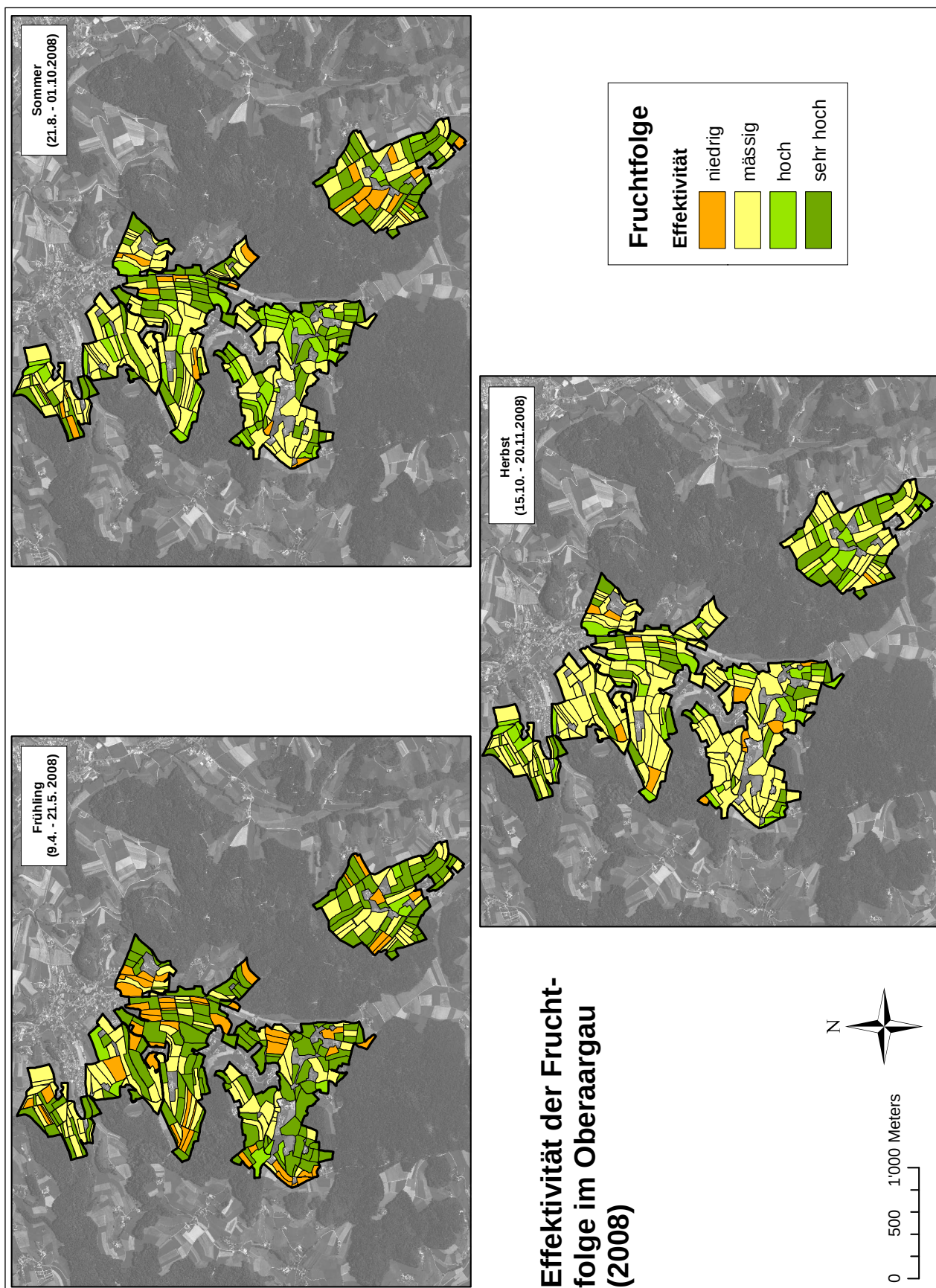


Abbildung 55: Effektivität der Fruchtfolge für die drei Jahreszeiten. Am häufigsten sind Ackerlandparzellen in ihrer Effektivität als niedrig beurteilt (vgl. Abb. 30) worden (Karten: Urs Grob).

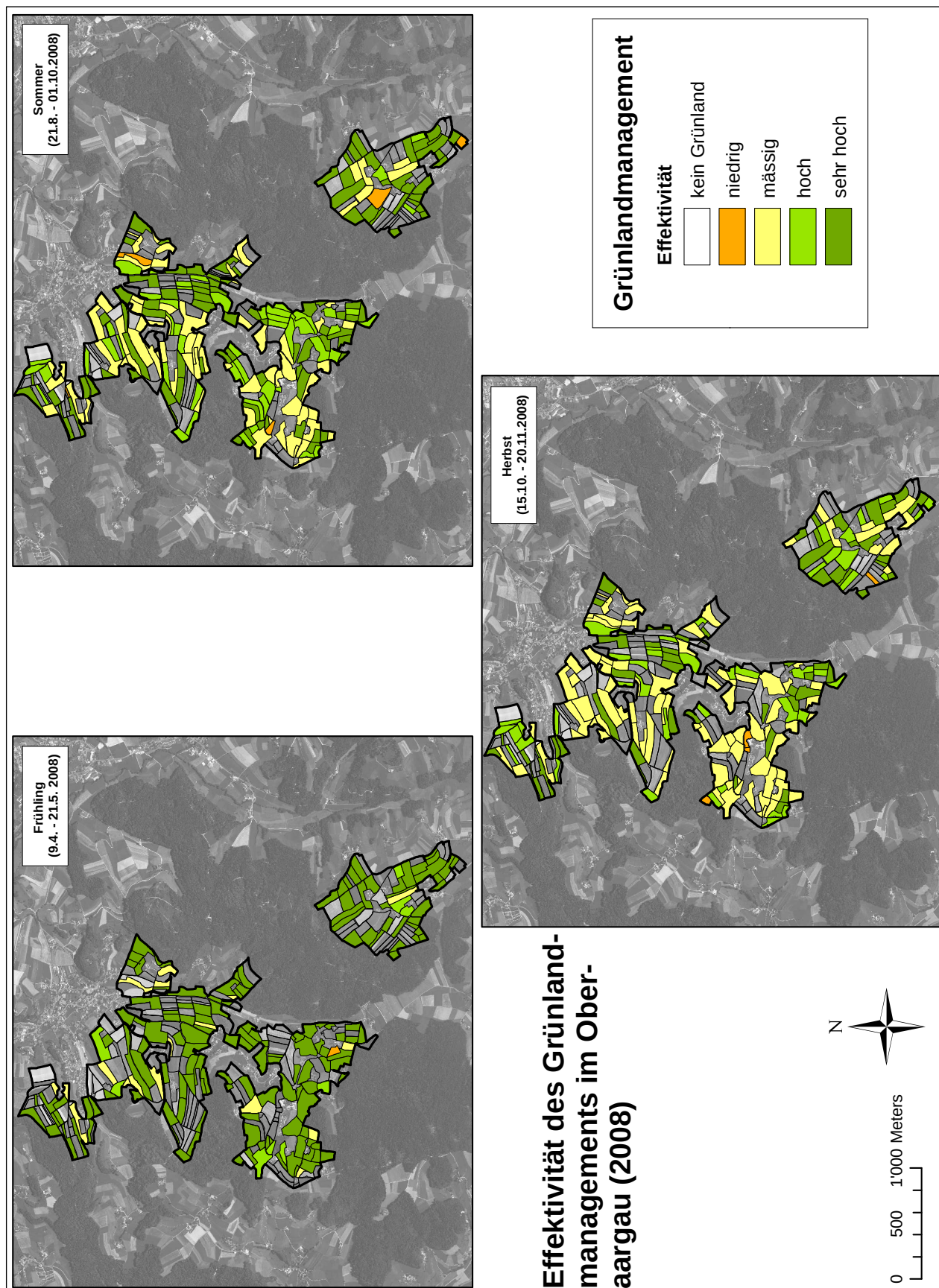


Abbildung 56: Effektivität des Grünlandmanagements für die drei Jahreszeiten. Die zunehmende Weidefläche im Herbst wird in Form einer reduzierten Effektivität deutlich (Karten: Urs Grob).

6 DISKUSSION

Die Zielsetzungen der Untersuchung bestehen gemäss dem Kapitel Einleitung aus den methodischen und inhaltlichen Zielen. Zu Beginn der Arbeit bildeten die methodischen Zielsetzungen den Schwerpunkt, wo es darum ging, die Methodik von WOCAT/LADA anzupassen, zu testen und in einem Untersuchungsgebiet anzuwenden. Bei der Methodik handelt es sich um das QM (Questionnaire on the Map). Im Anschluss an die methodischen Anpassungen folgten die inhaltlichen Zielsetzungen, bei welchen schwerpunktmässig beabsichtigt wird, für ein Untersuchungsgebiet verschiedene Landnutzungssysteme bezüglich einer Bewertung der Bodendegradierungen herauszuarbeiten. Die unter 1.4.1 und 1.4.2 aufgelisteten Zielsetzungen werden in den folgenden Abschnitten aufgearbeitet und diskutiert.

6.1 METHODISCHE ZIELSETZUNGEN

Anpassung und Abstimmung des WOCAT/LADA Benutzerhandbuchs (QM) auf Schweizer Verhältnisse

Mit der Unterstützung von Hanspeter Liniger, Karl Herweg, Thomas Ledermann und Judith Gasser wurde sowohl im Büro als auch im Feld in intensiven Konversationen die Verwendbarkeit der WOCAT/LADA Methodik diskutiert. Der wesentliche Unterschied zur original WOCAT/LADA Methodik besteht bei dieser Untersuchung aus visuellen Beobachtungen und Bewertungen. Ausserdem fand die Bewertung nicht auf nationaler, regionaler sondern lokaler Ebene statt, das heisst in einer Auflösung auf Gemeindeebene. Es wurden somit parzellscharfe Untersuchungen durchgeführt. Angesichts der aufgelisteten Änderungen mussten die Schlüsselemente des ursprünglichen QM an die neuen Schweizer Verhältnisse angepasst werden. Bei den Schlüsselkomponenten handelt es sich im Wesentlichen um die vier Hauptbereiche des Feldfragebogens (vgl. Kapitel Methodik). Schon während den ersten Gesprächen konnte festgestellt werden, dass nicht alle vorgeschlagenen Attribute von WOCAT/LADA realisierbar sind. So konnten zum Beispiel nur die direkten Ursachen in den Feldfragebogen einfließen, weil keine Expertenbefragungen stattfanden. Und weil die Beobachtungen lediglich über acht Monate verliefen war es beispielsweise nicht möglich, Veränderungen der Bodendegradierungen über eine längere Zeitperiode (Degradierungsraten) zu analysieren oder Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen zu bewerten. Nur beim Landnutzungstyp Wald konnten dank der Mithilfe eines Försters Bewertungen zu den Auswirkungen auf die Ökosystemdienstleistungen generiert werden. Für das Ackerbauland

war dies aus Zeitgründen nicht möglich. Es ist aber denkbar, dass aufgrund der Ergebnisse der Arbeit weitere Untersuchungen vom CDE lanciert werden, um Ökosystemdienstleistungsbewertungen für das Kulturland zu erzeugen.

Entwerfen und Erstellung von spezifischen Feldformularen für die verschiedenen Landnutzungstypen sowie eines Methodenkatalogs

Anlässlich der grundlegenden Veränderung des methodischen Vorgehens mussten neue Feldfragebögen/-protokolle ausgearbeitet werden. Im Laufe dieses Entwicklungs- und Optimierungsprozesses entstanden zwei handliche und zweckorientierte Formulare für das Ackerbauland und den Wald. Parallel entstand während der ganzen Untersuchung ein sogenannter Methodenkatalog, welcher die einzelnen Indikatoren veranschaulichen und erklären soll. Dieser orientiert sich mit Schwerpunkt auf das Ackerbauland, wo er besonders bei der Bewertung des Degradierungsausmasses eine Hilfestellung leisten soll. Nebst Bilderdokumentationen sind darin Texte und Illustrationen zu den verschiedenen Indikatoren enthalten. Der Methodenkatalog ist nicht komplett oder völlig ausgereift, vielmehr sollte er weiterentwickelt werden. Bei einigen Indikatoren wäre es zudem von Vorteil, wenn einfache und schnell durchführbare Tests zur Durchführung bereit stehen würden. Gezielte Laboranalysen würden die auf visueller Basis entstandenen Bewertungen unter Umständen sinnvoll ergänzen und bestätigen. Im Idealfall würde für jeden Bodendegradierungsindikator eine Methode wie jene von Prasuhn und Fischler (2007) vorliegen.

Durchführung, Überprüfung und Kritik des WOCAT/LADA QM

Nach einer langen Vorbereitungszeit, in welcher die angepasste Methodik mittels eines Studentenfeldkurses in Murist (April 2008) getestet wurde, wurden die ersten Bewertungen in der Region Oberraargau durchgeführt. Unmittelbar nach den ersten Felddaten wurde das Feldformular noch einmal modifiziert, es kamen die Indikatoren zur Bodenstruktur (Pc1/Pc2) hinzu. Ab dem 30. April 2008 und bis zum Schluss der Beobachtungen blieb das Feldformular in seiner Form bestehen. Ursprünglich sollten Bewertungen für vier Jahreszeiten absolviert werden. Im Winter (Februar) war die Schneedecke jedoch so dick, dass keine Feldbeobachtungen mehr möglich waren. Übrig blieben die Jahreszeiten Frühling, Sommer und Herbst. Die Auswertung der Daten hat gezeigt, dass die Unterschiede bezüglich des Degradierungsausmasses und -umfangs während den drei Jahreszeiten kaum signifikant ist. Trotzdem konnte festgestellt werden, dass die klimatischen Bedingungen Einfluss auf die Anzahl Degradierungen haben kann. Daher wird vorgeschlagen, dass bei künftigen Bewertungen in diesem Rahmen nur noch die Jahreszeiten Frühling und Herbst berücksichtigt werden. Der Frühling hat sich generell als Jahreszeit mit umfangreichen und vielen Degra-

dierungen ausgezeichnet. Wie im Herbst ist im Frühling die Bodenbedeckung nicht unbedingt vorteilhaft, was die Wahl bestärkt. Im Sommer erlangen die meisten Kulturen ihr maximales Wachstum, weshalb der Boden weniger auf Degradierungen anspricht. Zudem kann das Wetter im Sommer allgemein als weniger stürmisch und launisch beschrieben werden als im Frühling und Herbst. Unklar bleibt der Einfluss des Klimawandels, welcher die Wahl der Beobachtungsjahreszeiten beeinflussen könnte. Zweifellos sind viele Indikatoren abhängig vom Wetter. Die linienhafte Erosion wurde in dieser Untersuchung beispielsweise nur im Herbst erfasst, aber auch andere Indikatoren wie die Verschlämmung und Verkrustung sind von den klimatischen Bedingungen gesteuert. Nicht nur, es darf nicht vergessen werden, dass die verschiedenen Landnutzungssysteme und Kulturpflanzen die Bodendegradierungen entscheidend beeinflussen. Die Durchführung der Arbeit konnte ferner aufdecken, dass nicht alle Indikatoren für eine visuelle Bewertung geeignet sind. Bestes Beispiel ist der Indikator des Rückgangs der Bodenfruchtbarkeit (Cn). Dieser konnte im Feld nicht eindeutig nachgewiesen werden, vielmehr wurde er in Verbindung zur flächenhaften und linienhaften Erosion angenommen. Wenn also Erosion beobachtet und bewertet wurde, so wurde ein Rückgang der Bodenfruchtbarkeit vermutet. Dies ist sicherlich nicht grundsätzlich falsch, allerdings kann deren Ausmass und Umfang nicht abgeschätzt werden. In diesem Fall sind standardisierte Laboranalysen kaum zu umgehen. In der Tabelle 24 sind die essentiellen Indikatoren aufgeführt, welche für eine visuelle Bewertung empfehlenswert und aussagekräftig sind. Die Anpassung der Methodik strebte zusätzlich eine Beurteilung bezüglich der Verwendbarkeit der Indikatoren an. Die Tabelle enthält nur noch die acht zweckmässigsten Bodendegradierungsindikatoren. Wie die anderen Tabellen sind die drei Jahreszeiten mit deren Gesamtanzahl Parzellen dargestellt. Es handelt sich um eine Kreuztabelle, denn auf den x- und y-Achsen sind in derselben Anordnung die Indikatoren (Abkürzungen) aufgelistet. Die fett gedruckten Zahlen zeigen immer die total beobachteten Degradierungsformen. Im Frühling wurden zum Beispiel total 120 flächenhafte Erosionen (Wt) oder 174 Verdichtungen (Pc) bewertet. Anhand der Kreuztabelle kann abgelesen werden, auf wie vielen Parzellen gleichzeitig andere Degradierungen beobachtet wurden. Das heisst im Beispiel der flächenhaften Erosion vom Frühling, dass auf den total 120 flächenhaft erodierten Parzellen gleichzeitig 105 Verdichtungen (Pc) sowie Verschlämmungen und Verkrustungen (Pk), 108 verminderte Regenwurmaktivitäten und 95 reduzierte Bodenbedeckungen zu verzeichnen waren. Mit Hilfe der Tabelle 24 kann eine hohe Übereinstimmung der Indikatoren aufgezeigt werden, was veranschaulicht, dass die Indikatoren sich für visuelle Bewertungen eignen. Damit können die Schwachpunkte der Methodik noch einmal aufgelistet werden. Die visuelle parzellenscharfe Bewertung ermöglicht einerseits eine relativ rasche und detaillierte Analyse des Bodenzustands. Allerdings wird es ziemlich schwierig umfangreiche Daten für ganze

Tabelle 24: Kreuztabelle der Degradierungsindikatoren, geordnet nach Jahreszeiten. Die fett gedruckten Zahlen entsprechen den beobachteten Ereignissen. Abkürzungen siehe unten (Quelle: Urs Grob).

FRÜHLING								Total Parzellen: 313
	Wt	Wg	Pc	Pc1	Pc2	Pk	Bc	Bl
Wt	120							
Wg	-	0						
Pc	105	-	174					
Pc1	19	-	17	28				
Pc2	10	-	8	-	11			
Pk	105	-	98	21	9	112		
Bc	95	-	98	18	11	89	117	
Bl	108	-	111	21	11	98	101	127
SOMMER								Total Parzellen: 326
	Wt	Wg	Pc	Pc1	Pc2	Pk	Bc	Bl
Wt	59							
Wg	-	0						
Pc	57	-	183					
Pc1	6	-	9	14				
Pc2	7	-	15	-	15			
Pk	24	-	29	3	7	32		
Bc	42	-	83	8	14	24	93	
Bl	46	-	91	8	13	28	70	92
HERBST								Total Parzellen: 305
	Wt	Wg	Pc	Pc1	Pc2	Pk	Bc	Bl
Wt	37							
Wg	10	11						
Pc	37	11	212					
Pc1	10	2	26	36				
Pc2	-	-	-	-	0			
Pk	36	10	36	9	-	36		
Bc	36	11	110	21	-	35	112	
Bl	33	10	89	18	-	32	87	89

Abkürzungen: **Wt** = flächenhafte Bodenerosion; **Wg** = linienhafte Bodenerosion; **Pc** = Bodenverdichtung; **Pc1** = aufgeweichter/durchnässter Boden; **Pc2** = pulverisierter Boden; **Pk** = Verschlammung und Verkrustung; **Bc** = Reduzierte Bodenbedeckung; **Bl** = Verminderte Regenwurmaktivität.

Regionen oder Länder zu erheben. Die Durchführung hat ferner gezeigt, dass sich nicht alle Indikatoren gleich gut für eine visuelle Bewertung eignen. Indikatoren wie der Rückgang der Bodenfruchtbarkeit (Cn) oder Verlust der Bodenfeuchtigkeit (Ha) sind für solche Durchführungen problematisch. Ausserdem konnte aufgrund der angepassten Methodik keine Bewer-

tung zu den Ökosystemdienstleistungen vollbracht werden. Hierzu hätten zusätzliche Experteninterviews/-befragungen absolviert werden müssen, was den Umfang der Arbeit deutlich überschritten hätte. Es wird daher vorgeschlagen, anhand der herauskristallisierten Landnutzungssystemen weitere Arbeiten aufzusetzen, welche sich mit den Ökosystemdienstleistungen befassen, welche mittels sogenannten partizipativen Expertenbefragungen (engl.: Participatory Expert Assessment; PEA) erhoben werden können. Man darf nicht vergessen, dass die Herausforderung der nächsten Generationen darin liegt, die Ökosysteme schützen zu können. Dafür müssen sie zuerst bewertet werden, um geeignete Lösungsansätze umsetzen zu können. Abschliessend muss erwähnt werden, dass die Bewertungen stark von subjektiven Eindrücken sowie persönlichen Neigungen und Wahrnehmungen abhängen. Durch den standardisierten Fragebogen und den Methodenkatalog soll der Subjektivität zuvorgekommen werden. Das begründet, weshalb die Weiterentwicklung des Methodenkatalogs in Zukunft so wichtig sein wird.

6.2 INHALTLICHE ZIELSETZUNGEN

Die vorliegende Untersuchung basiert auf dem DPSIR Modell, welches im Kapitel zur Theorie vorgestellt wurde. Die Vorteile des Modells ist, dass die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Einflussgrössen, die sich auf die Umwelt auswirken, separat und unter dem Blickwinkel der Kausalität untersuchen lassen. Für die Untersuchung war das von grossem Vorteil, weil durch die angepasste Methodik nur auf die Einflussgrössen Zustand, Ursachen und Konservierungsmassnahmen eingegangen werden kann. In der Einleitung des Berichts ist geschrieben, dass das Problem der Bodendegradierung und somit der Landdegradierung eine globale Herausforderung darstellt. Mit der Zustandsbewertung von WOCAT/LADA soll ein essentieller Beitrag zur Identifizierung und Bekämpfung von Bodendegradierung geleistet werden, um eine nachhaltige Nutzung der Bodenressource und Biodiversität sicherzustellen. Die Arbeit ist somit ein Teil eines globalen Unterfangens, das Phänomen der Bodendegradierung besser zu verstehen, um entsprechende Massnahmen einleiten zu können. Die Auswertung konnte nachweisen, dass bezüglich der Bodendegradierungen in der Schweizer Landwirtschaft verschiedene Landnutzungssysteme bestehen (vgl. Synthese). In den folgenden Abschnitten werden nicht die in der Einleitung formulierten Hypothesen beantwortet, vielmehr sollen einige wichtige Aspekte in Zusammenhang der Bodendegradierung aufgegriffen werden. Die Hypothesen werden im letzten Kapitel der Arbeit beantwortet.

6.2.1 BODENBEDECKUNG

Die Auswertungen zur Untersuchung haben bewiesen, dass je besser der Boden bedeckt ist, desto geringer ist grundsätzlich das Degradierungsrisiko. In diesem Zusammenhang spielen viele Faktoren eine entscheidende Rolle, denn bereits die Wahl des Landnutzungstyps ist von entscheidender Bedeutung. Je nach Landnutzungstypen werden unterschiedliche Kulturpflanzen bewirtschaftet, welche auf ein besonderes Bodenmanagement angewiesen sind. Das Kapitel zu den Resultaten zeichnet ab, dass grasbedeckte Parzellen einerseits anzahlmässig weniger Degradierungen aufzeigen, und andererseits deren Gesamtzustand besser ist als jener von Ackerbauland. Verantwortlich für diesen Umstand ist die hohe Bodenbedeckung, welche normalerweise über 70% ist, und der Fruchtfolge. In einer Fruchtfolge bleibt die Graskultur üblicherweise mehrere Jahre bestehen, wodurch sich der Boden regenerieren kann. Die Auswertungen haben bewiesen, dass sobald Grasland intensiver genutzt wird, beispielsweise durch eine Viehhaltung, das Degradierungsrisiko steigt. Je nach Intensität der Viehhaltung können stärkere Degradierungen auftreten, welche unter Umständen denen des Kulturlandes ähnlich sein können. Beim Kulturland ist die Bodenbedeckung grundsätzlich schlechter, was ein massiv erhöhtes Degradierungsrisiko zur Folge hat. Im Untersuchungsgebiet ist die Anzahl der Kulturlandparzellen zwar relativ hoch, allerdings ist deren flächenmässige Ausdehnung gering. Im Abschnitt 5.5.5 ist dokumentiert, dass mindestens 85% der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (263.73 von 310.7 ha) mit Grasland bedeckt sind. Wäre der Anteil an Kulturland höher, so wäre das Risiko von Bodendegradierungen höher. Dies lässt sich anhand der Arbeit von Gasser (2008) aufzeigen. Vergleicht man die Abbildung über die Anzahl Degradierungen pro Parzelle (Abbildung 57) mit Gassers (2008: 96), stellt man erhebliche Unterschiede fest. Ausser in der Jahreszeit Frühling, welche viele orange-violette-rote Farben aufweist, dominieren bei dieser Untersuchung die Farbtöne grün, welche keine bis wenige Degradierungen symbolisieren. Bei Gasser (ibid.) sind mehrheitlich die roten Farbtöne, welche viele Degradierungen symbolisieren, dominant. Eine Erklärung liefern Ledermann et al. (2008b), welche im Bericht schreiben, dass in Estavayer-le-Lac die Landwirtschaft relativ intensiv ist, mit einer hohen Mechanisierung und einem hohen Anteil an Hackfrüchten und Mais. Nur wenig Kulturland sei unter Grasland bewirtschaftet. In der Region Oberaargau sei die landwirtschaftliche Nutzung aufgrund der ausgeprägten Topographie und den bodenschonenden Anbauverfahren vergleichsweise weniger intensiv. Die vorgestellten Bodeneigenschaften (Abbildung 3 & Tabelle 6) widerspiegeln den hohen Anteil an Kunstwiesen und Weideland. Damit kann zum nächsten wichtigen Aspekt übergeleitet werden, dem Bodenmanagement.

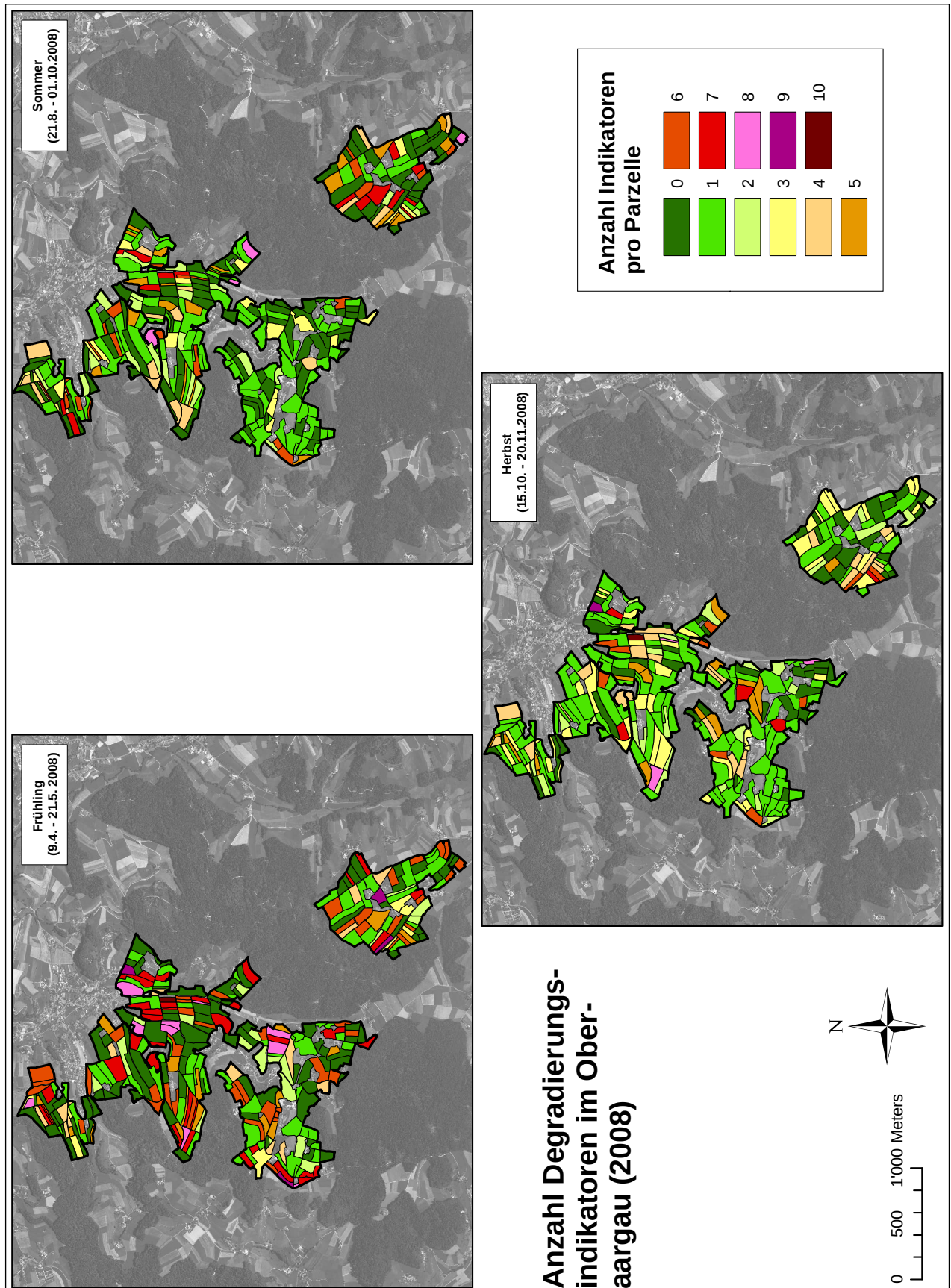


Abbildung 57: Saisonaler Zustand der Anzahl Degradierungsindikatoren pro Parzelle. Im Frühling traten am häufigsten Parzellen mit sechs oder mehr Indikatoren gleichzeitig auf (Karten: Urs Grob)

6.2.2 BODENMANAGEMENT

Die Auswertungen im Untersuchungsgebiet haben ferner belegt, dass die Bodenbearbeitung das Degradierungsrisiko wesentlich erhöht. Ein ähnliches Bild ist bei Gasser (ibid.) festzustellen. Untermauert werden diese Erkenntnisse durch die Diplomarbeit von Hauert. Sie stellte in ihrer Arbeit deutliche Unterschiede im Vergleich der direkt gesäten und konventionell bewirtschafteten Parzellen fest (2007: 136f). Insbesondere die Tragfähigkeit, Bodenoberfläche, Bodengefüge und -struktur sowie Regenwurmaktivität schneiden beim Direktsaatssystem besser ab, als beim Pflugsystem. Beim Abschätzen der Regenwurmhäufen, über welche deren Aktivitäten abgeleitet wurde, konnten markante Unterschiede zwischen den beiden Anbauverfahren nachgewiesen werden. Die Tabelle zur Regenwurmaktivität (Tabelle 23) dokumentiert, dass deren Aktivitäten bei den bodenschonenden Verfahren weniger stark beeinträchtigt sind als bei den konventionellen Anbauverfahren. Ausgedrückt in relativen Zahlen waren im Frühling 67% aller bodenschonenden Parzellen bezüglich der Regenwurmaktivitäten degradiert, bei den konventionellen Verfahren 99%. Im Sommer lag das Verhältnis bei der Direktsaat um die 33%, bei den konventionellen Verfahren um 84%. Im Herbst waren lag das Verhältnis noch bei 30% und 87%. Am besten waren die Aktivitäten der Regenwürmer im Herbst zu beobachten, wo auch am wenigsten Degradierungen zu verzeichnen sind. Dies hängt sicherlich mit den klimatischen Bedingungen ab. Im Frühling und Sommer ist der Boden tendenziell trockener und harter, wodurch die Regenwürmer sich wahrscheinlich vornehmlich in den unteren Bodenschichten aufhalten. Wie bei vielen anderen Bodendegradierungsindikatoren sind auf Direktsaatfelder ebenso Degradierungen beobachtbar, welche in ihrem Ausmass allerdings grundsätzlich weniger gravierend auftreten als vergleichsweise bei gepflügten Parzellen. Die Bodenbearbeitung wirkt sich überdies auf die Pflanzen- und Mulchbedeckung aus. Dieser Unterschied ist im Vergleich der beiden genannten Systeme deutlich sichtbar, wo das Direktsaatfeld ständig bedeckt und das gepflügte Feld zu Beginn der Saat ungedeckt ist. Für letzteren Fall sollte deshalb eigentlich gelten, je weniger Pflanzenreste sich an der Bodenoberfläche befinden, desto grobscholliger muss das Saatbeet hergerichtet werden, um auf diese Weise den Boden und die aufgehende Saat vor klimatischen Einflüssen zu schützen (Hofer & Sturny 2009: 28). Leider wird das Saatbeet noch heute vielerorts fein hergerichtet, was eigentlich völlig unnötig ist. Als nächstes sollen einige Worte über die Fruchtfolge verloren werden.

6.2.3 FRUCHTFOLGE

Die Fruchtfolge ist ein zentrales, wenn nicht das zentralste Element in Zusammenhang der Bodendegradierungen. Über die Fruchtfolge wird in gewisser Weise über die Art der Land-

nutzung, die Bodenbedeckungsverhältnisse oder das Bodenbearbeitungsmanagement entschieden. Geplante Fruchtfolgen und Parzelleneinteilungen begünstigen die Bodenstruktur und den Humusgehalt nachhaltig. Im Abschnitt 4.5.3.2 wurde beispielsweise geschildert, dass die Stabilität der Bodenkrümel durch die Anlage einer Kunstwiese innerhalb weniger Monate rasch zunimmt. Versuche bestätigten, dass der Grasanteil in einer Kunstwiese die Gefügestabilität direkt beeinflusst. Im Gegensatz zu einer Klee-Reinsaat ist die Klee-Gras-Mischung besonders effektiv. In der Schweiz ist die Fruchtfolge im Allgemeinen auf sechs bis sieben Jahre ausgelegt, wovon zwei bis vier Jahre Kunstwiese sind. Eine angepasste Fruchtfolge ist der Erfolg zu einer bodenschonenden Landwirtschaft. Risikobehaftete Kulturen können dadurch besser kontrolliert werden. Die Auswertungen haben gezeigt, dass das Degradierungsrisiko bei Mais, Hackfrüchten, Wintergetreide, Ackergemüse und dem Saatbeet hoch ist. Zu diesem Schluss kommen in einem anderen Zusammenhang auch Mosimann et al. (1991: 101). Bei ihrer Einteilung der erosionsgefährdeten Kulturen liegen die Kunstwiesen mit einer sehr geringen Gefährdung auf dem ersten Platz. Wintergerste und -roggen sowie Hafer und Raps sind demnach einer geringen, Winterweizen, Ackererbsen- und -bohnen einer mittleren und Mais, Rüben, Kartoffeln, Soja und Tabak einer grossen Erosionsgefährdung ausgesetzt. Die Einstufung nach Mosimann et al. lässt sich aufgrund der Ergebnisse gewissermassen auf den Bodendegradierungskontext übertragen. Verfolgt man die Entwicklung der Fruchtfolge im Untersuchungsgebiet, so kann ein markanter Wechsel zum Grasland diagnostiziert werden. Der Wechsel steht auch in Verbindung mit dem zunehmenden Weidelandanteil, welcher infolge der Rückkehr des Viehs deutlich steigt. Mit diesem Graslandmanagement kann durchaus von einer bewussten Vorbereitung auf den Winter ausgegangen werden. Ohnehin ist im Herbst auf den Ackerbaulandparzellen oftmals eine schlechte Bodenbedeckung infolge der Ernte vorzufinden. Im Vergleich zum Frühling und Sommer sind im Herbst sichtlich mehr Parzellen weniger ausreichend bedeckt (Abbildung 36). Beeinträchtigt sind vor allem die Gebiete, welche einen geringeren Graslandanteil und einen höheren Anteil an konventionellen Anbauverfahren aufweisen. Betroffen sind demgemäss die Gebiete Melchnau I & II sowie Gondiswil. Junge Kulturen wie Wintergetreide oder Raps sind während den Wintermonaten durch eine ungenügende Bodenbedeckung beispielsweise von flächenhafter Erosion gefährdet. Wenn der Boden nicht gefroren oder mit Schnee bedeckt ist, können heftige Niederschläge im Herbst und Frühling Erosion auslösen.

6.2.4 SAISONALE MERKMALE

Wie die Bodenbedeckung sind viele Indikatoren des Feldformulars saisonabhängig. Im Herbst ist der Boden einer enormen Belastung ausgesetzt, wie die Abbildung 58 illustriert.

Das Säulendiagramm zeigt für die drei Jahreszeiten, wie viele Parzellen zum Bewertungszeitpunkt wie viele Degradierungen aufweisen. Im Frühling konnten von insgesamt 313 auf 67 Parzellen eine Bodendegradierung beobachtet werden. Die Anzahl Parzellen mit einer Degradierung stieg im Sommer auf 100 und Herbst 118 an. In den Kategorien eine bis vier Degradierungen pro Parzelle ist der Herbst führend, danach zeichnet sich ein Wechsel ab. Bei mehr als fünf Degradierungen pro Parzelle ist der Frühling dominant. Gleichzeitig neun oder zehn Degradierungen pro Parzellen wurden nur im Frühling und Herbst beobachtet. Die Abbildung 58 dokumentiert somit saisonale Unterschiede bezüglich des Degradierungsverhaltens. Durchschnittlich waren im Herbst 83% aller Parzellen degradiert, gefolgt vom Frühling mit 71 und Sommer 69%. Eine rigorose Gegenüberstellung der saisonalen Resultate ist allerdings nicht möglich, weil wie erwähnt, gewisse Indikatoren von saisonalklimatischen Rahmenbedingungen abhängig sind. Beispielsweise wurde der Indikator Verlust der Bodenfeuchtigkeit (Ha) schwerpunktmässig im Sommer zu dokumentiert. Saisonal abhängig scheint auch die Landnutzung zu sein. Der erhöhte Weidanteil hievt den Herbst bei der Kategorie mit einer bis vier Degradierungen an die Spitze. Die Landnutzungsänderung wirkt sich direkt auf das Bodenmanagement aus. Der Anteil bodenschonend bewirtschafteten Parzellen nahm vom Frühling bis Herbst von 55 auf 99 Parzellen zu, derweilen die konventionellen Anbauverfahren von 81 auf 68 Parzellen sanken.

6.2.5 VERGLEICH MIT ANDEREN UNTERSUCHUNGEN

Der Bericht versuchte während dem gesamten Verlauf andere Forschungsberichte einzubringen und zu thematisieren. Bezüglich des Untersuchungsgebiets in der Region Oberrhein sind in besonderem Mass die Arbeiten von Chisholm (2008) und Ledermann et al. (2008a: 263ff) zu erwähnen. Wäre die vorliegende Untersuchung über ein volles Jahr durchgeführt worden, so hätten durchaus ähnliche Erosionsraten wie jene von Ledermann et al. (ibid.) erreicht werden können. Dazu müssten die flächenhaften und linienhaften Erosionen allerdings summiert werden, um sich dem maximalen Wert von 32 t ha^{-1} zu nähern. Ledermann et al. (ibid.) streichen in ihren Berichten die Bedeutung der Landnutzung, Kulturtyp, Bodenbedeckung sowie Bodenmanagement ebenfalls hervor. Wie wichtig die Kenntnis über die Landnutzung ist, kann anhand der Arbeit von Chisholm (ibid.) dargelegt werden. Er berechnete potentielle Erosionsereignissen auf Parzellen, von welchen in Wahrheit aufgrund deren Landnutzung kaum erosionsgefährdet ausgeht. Ledermann et al. (2008: 271ff) stellten

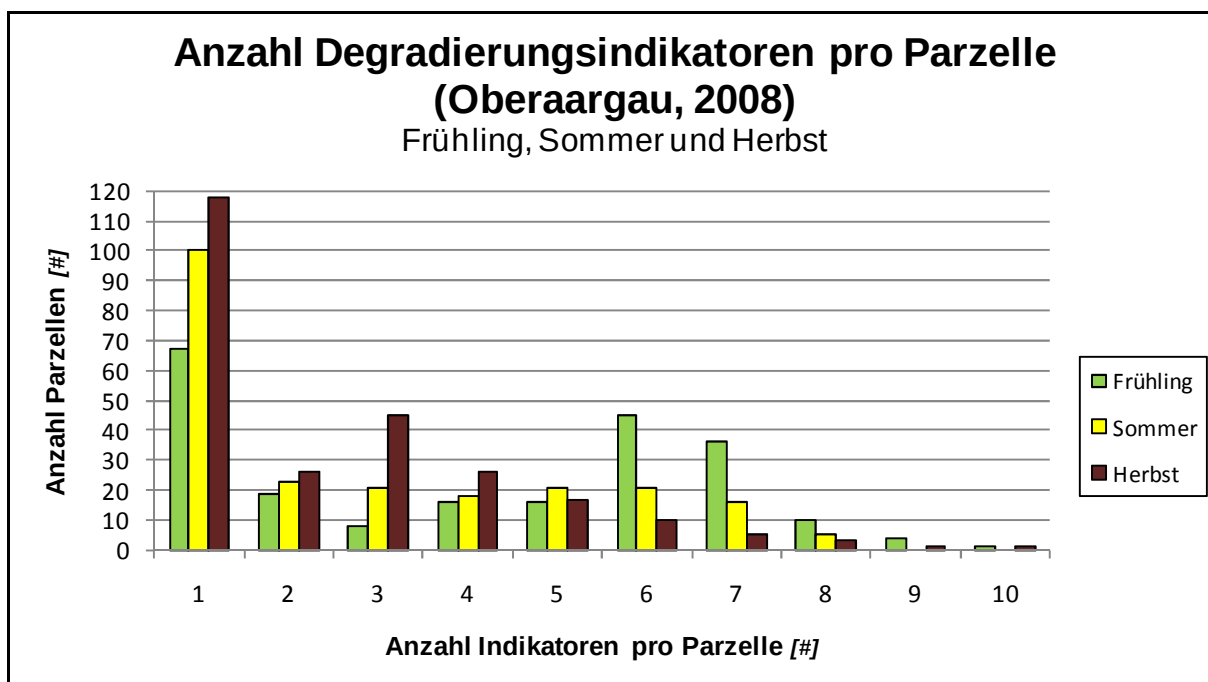


Abbildung 58: Saisonale Verteilung der Anzahl Degradierungsindikatoren pro Parzelle (Quelle: Urs Grob).

in der Region Oberaargau zwischen Oktober 2005 und 2006 lediglich auf 23% (total 352 Parzellen) der Parzellen Erosion fest. Wird der Durchschnittswert dieser Arbeit aus den flächenhaften und linienhaften Erosionen berechnet, ergibt sich ein relativer Wert von 24.9%. Der Fokus der Arbeit lag nicht primär in der Erosionsbewertung, allerdings konnten dank der visuellen Abschätzmethodik von Prasuhn & Fischler (2007) vergleichbare Werte zu jenen von Ledermann et al. (ibid.) und Chisholm (ibid.) hervorgebracht werden. Gisler (2009) konnte durch parzellenspezifische Daten das AVErosions-Modell realitätsnäher testen. Seine Ergebnisse schränken sich leider auf das Gebiet von Frienisberg (BE) ein, weshalb keine Vergleichsdaten vorliegen. Ähnliches gilt für die Arbeiten von Engesser (2009), welcher die Wirkung von Hecken als hydrologische Barrieren analysierte. Seine Ergebnisse sind auf Murist beschränkt. Hauert (2007) liefert einige Anhaltspunkte zur Bodenstruktur und -tragfähigkeit im Vergleich der Direktsaat und den konventionellen Anbauverfahren.

Schliesslich soll an dieser Stelle abschliessend die Untersuchung von Gasser (2009) erwähnt werden, welche eine Parallelarbeit in Murist leistete. Die Untersuchungsgebiete Murist und Oberaargau unterscheiden sich zwar wie beschrieben ziemlich stark, allerdings sind Gemeinsamkeiten feststellbar. Treten Abweichungen auf, wie etwa jene zu den Abbildungen über die Anzahl Degradierungsindikatoren pro Parzelle, so können diese erklärt werden. Dieser Aspekt erscheint wichtig und zeugt von der Wichtigkeit beider Untersuchungen.

TEIL IV

Synthese

7 SCHLUSSFOLGERUNG

7.1 THEORIE

Erstmals wurde das Phänomen der Wüstenbildung in den 80er Jahre anlässlich der Sahel-Katastrophe erkannt. Zugleich wurde eine Korrelation zwischen der Landnutzung und der sogenannten Desertifikation konstatiert. Der Begriff Desertifikation definiert die Abnahme oder Zerstörung des biologischen Potenzials des Landes/Bodens. Der Begriff der Landdegradierung wird in diesem Zusammenhang oft als Landdegradierung beschrieben, welcher sich an den in der Bodenkunde gebräuchlichen Begriff der Bodendegradierung anlehnt. Schnell einmal wurde erkannt, dass die Landdegradierung, respektive Bodendegradierung hauptsächlich durch menschliche Einflüsse verursacht wird. Im Jahre 1990 erstellte UNEP und ISRIC eine Weltkarte zu der vom Menschen verursachten Bodendegradierungen (GLASOD), welche das erste wissenschaftlich-systematische Programm zur Bewertung der Desertifikation darstellte. Der Nachteil dieser Karte ist, dass sie von Bodenkunde- und Umweltexperten aus der ganzen Welt erstellt wurde und daher keine Aussagen über kleinräumige dynamische Prozesse möglich sind. Um die Ursachen, den Zustand und die Auswirkungen der Bodendegradierungen besser verstehen zu können, wurde im Jahr 2006 aus WOCAT und LADA das WOCAT/LADA DESIRE Projekt gegründet. Das Projekt konzipiert ein Handbuch, welches die Bewertung von Bodendegradierungen und Konservierungsmassnahmen ermöglicht. Hierzu orientiert sich das Projekt am weltweit harmonisierten DPSIR-Modell. Ähnlich wie in den sechs weltweiten Pilotprojekten wurde diese Bewertungsmethodik in der Schweiz angewendet. Dazu musste die ursprüngliche Methodik allerdings entsprechend angepasst, getestet und erstmals durchgeführt werden. Dies war ein wichtiger Bestandteil der methodischen Zielsetzungen, da nicht Expertenbefragungen, sondern visuelle Feldbewertungen durchgeführt wurden.

7.2 METHODIK

Ein elementarer Bestandteil der Arbeit besteht im Anpassen, Testen und Anwenden der WOCAT/LADA Methodik. Grundlage des Projekts, und somit der Untersuchung, bildet das sogenannte "Questionnaire on the Map QM". Durch die Bewertung und Kartierung sollen das Ausmass und der Umfang von Bodendegradierungen und Konservierungsmassnahmen aufgezeigt werden. WOCAT/LADA führt die Pilotprojekte auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene durch. Für diese Untersuchung wurde jedoch eine höhere räumliche Auflösung

ausgewählt, weil keine Expertenbefragungen, sondern visuelle Bewertungen durchgeführt wurden. Vor diesem Hintergrund musste die WOCAT/LADA Methodik komplett angepasst werden. Die ganze Arbeit basiert auf dem unter Kapitel Methodik vorgestellten Feldformular, welches eine schnelle und grobe Zustandsbewertung ermöglicht. Die Modifizierung und das Erstellen eines begleitenden Methodenkatalogs war wesentlicher Bestandteil der Zielsetzung, welcher eine Bewertung des Bodenzustands überhaupt erst ermöglichte. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durchaus Indikatoren bestehen, welche für eine visuelle Feldbewertung geeignet sind. Daneben bestehen allerdings Indikatoren, welche entweder zu vernachlässigen oder durch einfache und schnell durchführbare Tests zu ergänzen sind. Der Feldfragebogen wurde kurz nach Beginn der Feldarbeit mit zwei weiteren Indikatoren ausgestattet. Der aktuelle Stand ist für den ersten Versuch sicher befriedigend, für weitere Untersuchungen sollte dieser aber weiter entwickelt werden. Dies gilt vor allem für den Methodenkatalog, welcher den Einstieg in die Arbeit wesentlich vereinfacht und Basis für die Bewertung ist. Nicht zuletzt sollte eine Basis für die erhobenen Daten geschaffen werden. All die Indikatoren mit ihren Zusatzattributen bieten die Möglichkeit, schier unbegrenzt Auswertungen generieren zu können. Man sollte sich aber auf das Wesentlichste beschränken, um auch die Übersicht nicht zu verlieren. Hier sei erwähnt, dass die verschiedenen Bereiche des Feldformulars meistens andere und aufwendige Auswertungsmethoden verlangen. Die Verwaltung und das Management der Daten sind der Schlüssel zu den angestrebten Ergebnissen und bedürfen in diesem Falle einer überdurchschnittlichen Hingabe. Im vorletzten Abschnitt werden nun die in der Einleitung formulierten Hypothesen beantwortet.

7.3 RESULTATE

Im Anschluss an die Digitalisierung, Überprüfung und Bereinigung der Daten wurden erste Ergebnisse bezüglich der Hypothesen generiert. Eine Hauptschwierigkeit war der Umfang der Daten. Hiermit sind die zahlreichen Indikatoren der vier verschiedenen Bereiche (*A* = Allgemeine Informationen, *B* = Bodendegradierungen, *C* = Ursachen und *D* = Konservierungsmassnahmen) mit ihren Subkategorien für insgesamt drei Jahreszeiten gemeint. Schwierigkeiten bestanden allerdings nicht nur bei der Datendigitalisierung, auch während den Feldarbeiten konnten einige Probleme festgestellt werden, die die Qualität der Daten in Frage stellen. Weil sich die Datenerhebung zu einem grossen Teil mit den Vorlesungen an der Universität überschneidet, konnten pro Woche nur zwei bis drei Tage für die Feldarbeit aufgebracht werden. Eine Gesamtbewertung innerhalb einer Woche wäre das Idealziel gewesen. Dies Ziel konnte aber nicht erreicht werden, gewöhnlich wurde für eine volle Bewertung (eine Jahreszeit) ein Monat in Anspruch genommen. Ledermann et al. (2008b) schrei-

ben, dass ein erfahrener Beobachter in einem bis zwei Tagen bis zu 200 ha kartieren. Für die umfangreiche Bewertung der verschiedenen Indikatoren sowie das intensive Foto-Monitoring erhöhten diesen Wert um das fünf- bis sechsfache. Innerhalb eines Monats verändern sich jedoch viele Parameter, wie die Pflanzenbedeckung oder die klimatischen Bedingungen. Aus diesem Grund sind die Daten nicht durchgehend homogen. Die Bewertung des jeweiligen aktuellen Zustands glättet diesen Mangel wiederum aus. Mit den erhobenen Daten konnten schlussendlich trotzdem vernünftige Resultate erzielt werden, welche im Anschluss erläutert werden sollen. Die erste Hypothese lautet:

Die verschiedenen Landnutzungssysteme kennzeichnen den Boden(-zustand) bezüglich der Bodendegradierungen unterschiedlich.

Im Abschnitt zur Theorie (4 & 4.4.1) wurden die drei Landnutzungstypen Grasland, Ackerbauland und Wald definiert. Der Wald wird wegelassen, weil der Schwerpunkt in den landwirtschaftlichen Nutzflächen liegt. Die Landnutzungstypen Grasland und Ackerbauland orientieren sich bezüglich der Degradierungen an den Kulturpflanzen, der Bodenbedeckung und dem Bodenmanagement, weshalb im Voraus fünf Landnutzungssysteme herauskristallisiert wurden. Für den Landnutzungstyp Grasland sind es die Landnutzungssysteme Grünland (Kunstwiesen) und Weideland (Kunstwiesen und Weideland), zum Ackerbauland gehören die Direktsaat, Mulchsaat und die konventionellen Anbauverfahren. Die Auswertungen zu den erhobenen Daten haben bestätigt, dass die verschiedenen Systeme unterschiedlich beeinträchtigt werden, respektive sie unterschiedlich anfällig auf Degradierungen sind. Im Vergleich zwischen den beiden Landnutzungstypen ist das Grasland gegenüber dem Ackerbauland wesentlich geringer degradiert. Allerdings spielt es innerhalb der Landnutzung Grasland eine entscheidende Rolle, wie intensiv der Boden genutzt wird. Schon eine Kunstwiese oder ein leichter Viehbestand kann zu Degradierungen führen. Diese Umstände konnten mehrmals wiederlegt werden, so etwa in den Abschnitten 4.5.3.1 oder 4.6. Bei den Landnutzungssystemen des Ackerbaulands zeichnen sich die Direktsaat, Mulchsaat und die konventionellen Anbauverfahren ebenfalls durch ein unterschiedliches Degradierungsverhalten aus. Die erhofften Unterschiede zwischen der Direktsaat und Mulchsaat blieben zwar aus, dagegen waren Unterschiede zwischen den bodenschonenden und konventionellen Anbauverfahren auszumachen. Eine Direktsaat kann gemäss den Daten eine komplette Degradierung nicht ausschliessen, allerdings wird das Ausmass im Vergleich zum konventionellen Verfahren reduziert. Das heisst, Parzellen unter konventioneller Bodenbearbeitung schneiden am schlechtesten ab. Gepflügte Parzellen zeigen generell eine schlechtere Bodenstruktur und -tragfähigkeit sowie eine reduzierte Regenwurmakktivität (Tabelle 19 sowie 23). Darüber hinaus verlangen sie eine höheren Arbeits- und Kosteneinsatz als bodenschon-

nende Verfahren. Werden die Abbildung der Landnutzung (Abbildung 30) und der Bodenbearbeitung (Abbildung 38) mit jener der Anzahl Degradierungen pro Parzelle (Abbildung 58) verglichen, wird die Korrelation zwischen der Landnutzung und dem Degradierungsrisiko sichtbar. Um diesen Zusammenhang weiter zu untermauern, wurden weitere Ergebnisse generiert. Bei der Abbildung 58 über die Anzahl Degradierungen pro Parzelle wird nicht ersichtlich, wie schwer und wie umfangreich die Degradierungen sind. Der Gesamtzustand einer Parzelle kann bei sechs leichten Degradierungen beispielsweise gleich gravierend sein wie bei zwei schwereren. Aus diesem Grund wurde für jede Parzelle deren Gesamtzustand aus der Multiplikation des Ausmasses (leicht = 1, mässig = 2, stark = 3 und extrem = 4) und Umfangs (0-10% = 0.05, 10-20% = 0.1, ..., 90-100% = 0.9) jeder Degradierung berechnet. Der Berechnungsschlüssel ist auf der CD zu finden (Anhang CD - Gesamtzustand). Wenn keine Degradierungen vorhanden sind, resultiert der Wert 0.00, bei einer maximalen Degradierung 3.60. Die Indikatoren, welche den Gesamtzustand repräsentieren, setzen sich aus den Bodendegradierungen (Bereich B) des Feldformulars zusammen, die Einflussgrössen der allgemeinen Informationen (Bereich A) werden nicht berücksichtigt. Ausser der Indikator der reduzierten Bodenbedeckung ist ein Spezialfall, welcher auch im Bereich B zu finden ist (Bc). Schlussendlich ergibt sich aus der Summe aller berechneten Werte ein Gesamtzustandswert für jede Parzelle. Damit die Schlusswerte eingeordnet werden konnten, wurden fünf Kategorien gebildet. Je höher die Kategorie ist, in welche die Parzelle eingeordnet wird, desto mehr ist sie degradiert. Die fünf Kategorien können in der Tabelle 25 nachgesehen werden. Parzellen in der ersten Kategorie (0) sind nicht degradiert, jene in der zweiten (1) Kategorie leicht, Dritten (2) mässig, Vierten stark sowie Fünften extrem. Für jede Kategorie ist dessen Werteskala illustriert. Damit eine Parzelle in die Kategorie leicht rutscht, muss ein Punktwert zwischen 0.05 bis 4.00 erreicht werden. Einmalig ist die Angabe über die total degradierten Parzellen. Im Frühling waren insgesamt 222 Parzellen degradiert, was 70.9% entspricht (222 von 313 Parzellen). Der Bereich der Landnutzungstypen illustriert das hohe Degradierungsrisiko vom Kulturland. Bei dieser Form der Landnutzung treten jeweils am meisten Bodenbeeinträchtigungen auf. Im Frühling sind beispielsweise von 222 degradierten Parzellen 134 aus dem Kulturlandbereich. Dies entspricht dem Anteil von 60.4%, im Sommer und Herbst sind es 62 sowie 57%. Die Darstellung zeigt weiter, dass sowohl Grünland als auch Weideland degradiert sein kann. Im Falle des Grünlands sind relativ viele Parzellen in der Kategorie 1 (leicht). Diese 67 Parzellen im Frühling resultieren aus geringen Degradierungen, wenn zum Beispiel die Bedeckung nach dem Grasmähen leicht reduziert ist oder nach Wintergersten vereinzelte Fusarien (*Rhynchosporium*-Blattfleckenkrankheit) in der Kunstwiese ausfindig zu machen sind. Im Falle der stark degradierten Weidparzelle handelt es sich um eine Pferdewiese, welche total verdichtet war. Aus den Verdichtungen entwickelten sich Folgedegradierungen wie reduzierte Bodenbedeckung oder Staunässe.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass das Ausmass der degradierten Grün- und Weidelandparzellen weniger gravierend ist als jenes der Kulturlandparzellen.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass die Grün- und Weidelandparzellen mit Ausnahmen gering bis gar nicht degradiert sind. Dahingegen sind die degradierten Kulturlandparzellen nicht selten in den Kategorien stark und extrem degradiert anzutreffen. Im Frühling sind zum Beispiel nur 1.4% (3 von 222 degradierten Parzellen) des Grünlandes in der Kategorie mässig, beim Kulturland sind es 26.1% (58 Parzellen), bei stark 16.2% (36 Parzellen) und extrem 8.6% (19 Parzellen). Bei der Spalte des Bodenmanagements wiederholt sich das oben erwähnte. Das heisst, bodenschonenden Anbauverfahren implizieren nicht per se optimalen Bodenzustand, vielmehr lindern sie deren Ausmass. Der Vergleich der Verteilung innerhalb der Kategorien zwischen Direktsaat und konventionellen Verfahren macht dies offensichtlich. Mit den Ausführungen und Begründungen lässt sich festhalten, dass vor allem das Kulturland ein hohes Degradierungspotential aufweist, die bodenschonenden Verfahren das Ausmass lindern und das Grasland tendenziell wenig bis gar nicht gefährdet ist. Beim Grasland muss allerdings unterschieden werden, ob es sich um Kunstwiese oder Weideland handelt. Letzteres kann, wie gezeigt, durchaus bis starke Degradierungen aufweisen. Bei all den Ergebnissen darf nicht vergessen werden, dass nur die oberste Bodendecke bewertet wurde, weil es sich um eine visuelle Methodik handelt. Würden die Böden tiefer bewertet, würde die Direktsaat wahrscheinlich besser abschliessen als die konventionellen Bodenbauverfahren. Bei starken Bodenverdichtungen sind die Schäden im Unterboden so gravierend, dass eine dauerhafte Behebung kaum mehr möglich oder sogar irreversibel ist. Weil viele Bodendegradierungen irreversibel sind, steht beim Bodenschutz das Vorsorgeprinzip an oberster Stelle. Die Untersuchung zeigt klar, dass im Zusammenspiel einer bodenschonenden Bodenbearbeitung und entsprechender Landnutzung weniger Bodenbeeinträchtigungen auftreten als beim konventionellem Bodenmanagement. Je mehr der Boden mechanisch bearbeitet wird, desto anfälliger ist er auf Degradierungen. Was sich in der Theorie abzeichnete, konnte mit den Ergebnissen verifiziert werden. Das zeigt, dass trotz einer relativ einfachen und "oberflächlichen" Bewertung ein realitätsnahes Ergebnis erzielt werden kann. Die Ergebnisse zeigen für alle fünf Landnutzungssysteme unterschiedliche Verhaltensweisen. Vergleicht man die Tabelle 25 mit der Abbildung 60 gelangt man zum Schlussresultat von eigentlich drei zu unterscheidenden Landnutzungssystemen. Differenziert werden können die Landnutzungssysteme der konventionellen und bodenschonenden Verfahren sowie die Graslandssysteme. Die geringen Unterschiede der Balken innerhalb der Landnutzungssysteme Direktsaat mit Mulchsaat sowie Grünland und Weideland (Abbildung 60) führen zum Zusammenschluss der beiden bodenschonenden sowie der beiden Grasland-Landnutzungssysteme.

Tabelle 25: Berechnete Gesamtparzellenzustände aus der Multiplikation von Ausmass und Umfang der Degradierungen. Klassifizierung der Parzellen in fünf Kategorien. Differenziert sind die Ergebnisse nach Landnutzung und Bodenbearbeitung (Quelle: Urs Grob).

Frühling		Landnutzung			Bodenbearbeitung						
KAT.	Werte	Kulturland	Grünland	Weideland	Unbekannt/Keine	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend extensiv	Wendend intensiv	# Parz.	% von 313
0	0	2	86	3	89	2	-	-	-	91	29.07
1	0.05 bis 4.00	21	67	17	84	10	5	-	6	105	33.55
2	4.05 bis 8.00	58	3	-	3	23	10	-	25	61	19.49
3	8.05 bis 12.00	36	-	1	1	3	1	6	26	37	11.82
4	12.05 bis 16.00	19	-	-	-	-	1	4	14	19	6.07
# degradierte Parz.		134	70	18	88	36	17	10	71	222	70.93
% von 313		42.81	22.36	5.75	28.12	11.50	5.43	3.19	22.68	70.93	
Sommer		Landnutzung			Bodenbearbeitung						
KAT.	Werte	Kulturland	Grünland	Weideland	Unbekannt/Keine	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend extensiv	Wendend intensiv	# Parz.	% von 326
0	0	20	78	3	80	3	17	-	1	101	30.98
1	0.05 bis 4.00	68	21	65	80	18	34	2	20	154	47.24
2	4.05 bis 8.00	40	-	-	-	4	12	1	23	40	12.27
3	8.05 bis 12.00	28	-	-	-	-	4	1	23	28	8.59
4	12.05 bis 16.00	3	-	-	-	-	-	1	2	3	0.92
# degradierte Parz.		139	21	65	80	22	50	5	68	225	69.02
% von 326		42.64	6.44	19.94	24.54	6.75	15.34	1.53	20.86	69.02	
Herbst		Landnutzung			Bodenbearbeitung						
KAT.	Werte	Kulturland	Grünland	Weideland	Unbekannt/Keine	Direktsaat	Nicht-wendend intensiv	Wendend extensiv	Wendend intensiv	# Parz.	% von 305
0	0	16	37	-	39	-	13	-	1	53	17.38
1	0.05 bis 4.00	66	19	89	99	26	37	-	12	174	57.05
2	4.05 bis 8.00	55	1	-	-	9	10	6	31	56	18.36
3	8.05 bis 12.00	19	-	-	-	2	1	1	15	19	6.23
4	12.05 bis 16.00	3	-	-	-	1	-	-	2	3	0.98
# degradierte Parz.		143	20	89	99	38	48	7	60	252	82.62
% von 305		46.89	6.56	29.18	32.46	12.46	15.74	2.30	19.67	82.62	

Nach der ersten soll nun die zweite Hypothese bearbeitet werden. Die in der Einleitung formulierte zweite Hypothese lautet:

Innerhalb des Landnutzungstyps Ackerbaulandland bestehen Kulturen, die ein höheres Potential zur Bodendegradierung aufweisen, als andere.

Basierend auf dem Bericht von Mosimann et al. (1991: 101) wurden die Nutzpflanzen Mais, Sonderkulturen (Tabak, Sonnenblumen, etc.), Kartoffeln, Wintergerste, Winterweizen und zusätzlich das Saatbeet auf ihre Degradierungsanfälligkeit untersucht. Aufgrund der Beobachtungen von Mosimann et al. (ibid.) wurden die Kulturen zu Beginn eingegrenzt. Ob es sich tatsächlich um degradierungsanfällige Nutzpflanzen handelt, sollte die Auswertung zeigen. Die Hypothese grenzt im Voraus alle Graslandparzellen aus, obwohl dort ebenfalls Degradierungen beobachtbar sind. Die Annahme über die Eingrenzung der Kulturen schien sich schon während den Auswertungen zu den acht erörterten Bodendegradierungen zu bewahrheiten (Abschnitt 5.3). In Form der Tabelle 26 kann dies entscheidend untermauert werden. Die Tabelle enthält eine Unterteilung der drei Jahreszeiten. Jede der Jahreszeiten illustriert die Übereinstimmung der spezifischen Bodendegradierung (x-Achse) mit den sechs Kulturen (y-Achse). Im Frühling waren zum Beispiel 88.9% (48 der insgesamt 54) Wintergerstenparzellen von flächenhafter Erosion betroffen. Die unterste Zeile der jeweiligen Jahreszeit verweist darauf, wie viele der gesamten Degradierungsformen auf die sechs Kulturen entfallen. Für die flächenhafte Erosion im Frühling hat das zur Folge, dass von den gesamthaft 120 Degradierungen deren 85% (102) auf eben diese sechs Kulturen fallen. Überdurchschnittlich anfällig sind die Wintergetreide Gerste und Weizen. Bei den elf linienhaften Erosionen im Herbst sind ausschliesslich Wintergetreidefelder betroffen, was nicht bedeutet, dass alle Wintergetreide erosionsgefährdet sind. Im Beispiel der Erosion müssen mehrere Faktoren zusammenspielen, damit die Degradierung eintritt. Nebst dem Niederschlag, der Topographie und den Mulden sind die Landnutzung, Kulturpflanze und das Bodenmanagement einflussreich. Der Saat- und Erntetermin kann die Degradierungsanfälligkeit auch bedeutend beeinflussen. Dies zeigt die Statistik, weil im Sommer viel weniger Wintergetreide als im Frühling und Herbst beobachtet wurde. Als Schlussfolgerung kann festgehalten werden, dass bei den sechs Kulturpflanzen ein erhöhtes Degradierungspotential vorhanden ist. Die sechs Kulturpflanzen belegen aber auch den grössten Anteil des gesamten Kulturlandes, weshalb die Wahrscheinlichkeit der Beeinträchtigung steigt. Die restlichen Degradierungen verteilen sich hauptsächlich auf die Graslandkulturen (Grün- und Weideland), welche durch die Viehhaltung öfters verdichtet sind. Im Herbst entfallen lediglich 42% (89 von 212 degradierten Parzellen) der Verdichtungen auf diese sechs Kulturen. Der

Tabelle 26: Korrelation zwischen den häufigsten Bodendegradierungen und degradierungsanfälligsten Kulturen. (Quelle: Urs Grob).

FRÜHLING								
Degradierungen								
Kultur/en	Flächenhafte Erosion (Wt)	Linienhafte Erosion (Wg)	Boden-Verdichtung (Pc)	Aufgeweichter Boden (Pc1)	Pulverisierter Boden (Pc2)	Verschlämmung & Verkrustung (Pk)	Minderung der Bodenbedeckung (Bc)	Verminderte Wurmkaktivitäten (Bl)
Kartoffeln	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Mais	2/6 ⁹	0/6	5/6	0/6	0/6	1/6	3/6	3/6
Saatbeet	17/23	0/23	12/23	6/23	3/23	14/23	23/23	22/23
Sonderkulturen	3/8	0/8	8/8	0/8	2/8	2/8	7/8	8/8
Wintergerste	48/54	0/54	52/54	9/54	3/54	51/54	43/54	46/54
Winterweizen	32/35	0/35	34/35	4/35	2/35	32/35	27/35	31/35
TOTAL	102/120¹⁰	0/0	111/174	19/28	10/11	100/112	103/117	110/127
SOMMER								
Degradierungen								
Kultur/en	Flächenhafte Erosion (Wt)	Linienhafte Erosion (Wg)	Boden-Verdichtung (Pc)	Aufgeweichter Boden (Pc1)	Pulverisierter Boden (Pc2)	Verschlämmung & Verkrustung (Pk)	Minderung der Bodenbedeckung (Bc)	Verminderte Wurmkaktivitäten (Bl)
Kartoffeln	3/4	0/4	4/4	1/4	0/4	1/4	3/4	4/4
Mais	14/28	0/28	26/28	1/28	1/28	3/28	13/28	15/28
Saatbeet	3/10	0/10	10/10	2/10	1/10	1/10	10/10	10/10
Sonderkulturen	7/12	0/12	12/12	0/12	3/12	2/12	10/12	9/12
Wintergerste	1/13	0/13	13/13	0/13	3/13	1/13	13/13	11/13
Winterweizen	1/1	0/1	1/1	0/1	0/1	1/1	1/1	1/1
TOTAL	29/59	0/0	66/183	4/14	8/15	9/32	50/93	50/92
HERBST								
Degradierungen								
Kultur/en	Flächenhafte Erosion (Wt)	Linienhafte Erosion (Wg)	Boden-Verdichtung (Pc)	Aufgeweichter Boden (Pc1)	Pulverisierter Boden (Pc2)	Verschlämmung & Verkrustung (Pk)	Minderung der Bodenbedeckung (Bc)	Verminderte Wurmkaktivitäten (Bl)
Kartoffeln	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Mais	0/1	0/1	1/1	0/1	0/1	0/1	1/1	1/1
Saatbeet	2/12	0/12	12/12	3/12	0/12	2/12	12/12	11/12
Sonderkulturen	4/6	0/6	6/6	0/6	0/6	4/6	6/6	6/6
Wintergerste	15/43	8/43	43/43	6/43	0/43	15/43	42/43	32/43
Winterweizen	8/27	3/27	27/27	4/27	0/27	8/27	24/27	19/27
TOTAL	29/37	11/11	89/212	13/36	0/0	29/36	85/112	69/89

Grund liegt bei der Ausgrenzung des Graslands, welches bei der Verdichtung stark beteiligt ist. Die Abbildung 59 illustriert schliesslich den Durchschnittswert aller sechs Kulturen. Auf

⁹ Bedeutet: Von insgesamt 6 Maisparzellen sind deren 2 von flächenhafter Erosion betroffen.

¹⁰ Bedeutet: Von insgesamt 120 flächenhafter Erosionen entfallen 102 auf die sechs Kulturpflanzen.

der horizontalen Achse sind die Bodendegradierungen aufgelistet, auf der vertikalen Achse wird das Verhältnis zwischen der Gesamtanzahl Degradierungen und den daran betroffenen Kulturen. Die Abkürzungen der Bodendegradierungen entsprechen jenen des Feldformulars. Ein Beispiel soll das Prinzip der Abbildung verdeutlichen. Im Frühling waren 120 flächenhafte Erosionen erfasst worden, von welchen 85% (102) auf die sechs genannten Kulturen entfallen. Wenn der Wert 1.00 erreicht wird, wie im Falle der Herbstkurve für die linienhafte Erosion, so sind alle Degradierungen auf diesen Kulturen vorgefallen. Mit Ausnahme der linienhaften Erosion ist die Übereinstimmung im Frühling mit über 60% sehr hoch. Vergleicht man im Liniendiagramm die Ergebnisse für den Sommer und Herbst, lassen sich die saisonalen Unterschiede feststellen. Die Verläufe der Linien sind quasi gespiegelt. Daraus kann abgeleitet werden, welche Indikatoren auf welche Wettereinflüsse reagieren. Bodendegradierungen, die eher auf feucht nasse Verhältnisse ansprechen, weisen im Herbst hohe Werte auf, umgekehrt ist es für die Indikatoren, welche auf trockene Klimabedingungen ansprechen.

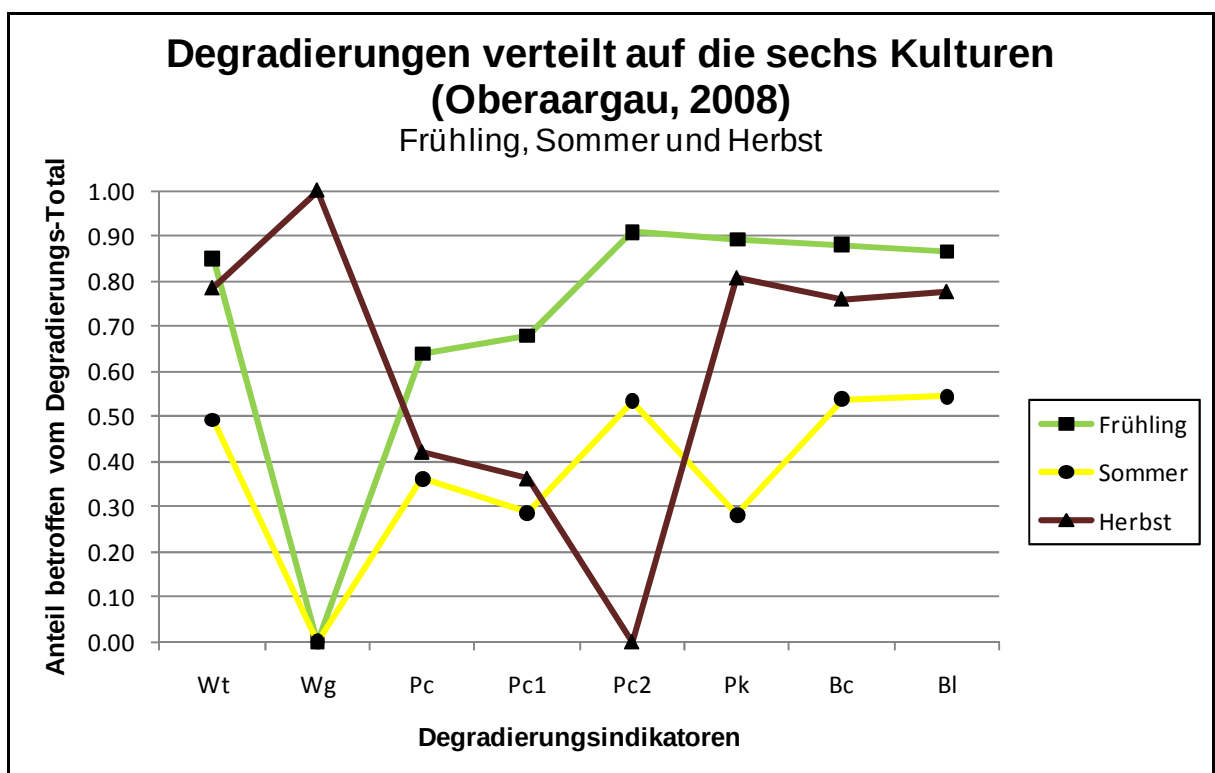


Abbildung 59: Verhältnis zwischen der Anzahl an Degradierungen und den sechs Kulturen (Quelle: Urs Grob).

Abkürzungen: **Wt** = flächenhafte Bodenerosion; **Wg** = linienhafte Bodenerosion; **Pc** = Bodenverdichtung; **Pc1** = aufgeweichter/durchnässter Boden; **Pc2** = pulverisierter Boden; **Pk** = Verschlammung und Verkrustung; **Bc** = Reduzierte Bodenbedeckung; **BI** = Verminderte Regenwurmaktivität.

Zum Schluss folgt an dieser Stelle die dritte und letzte Hypothese, die heisst:

Die Konservierungsmassnahmen innerhalb des Untersuchungsgebiets reduzieren die Bodendegradierung.

Von den acht aufgelisteten Konservierungsmassnahmen des Feldfragebogens wurden lediglich fünf beobachtet, wovon schlussendlich nur die Direktsaat, Mulchsaat, Fruchtfolge und das Graslandmanagement ausgewertet wurden. Die Düngung ist ein Ausnahmefall, bei welchem angenommen werden kann, dass sie auf allen Parzellen stattfindet. Aus diesem Grund wird sie nicht weiter verfolgt. Um herausfinden zu können, ob die Konservierungsmassnahmen die Bodendegradierungen reduzieren, wurde die Abbildung 60 entworfen. Beim Balkendiagramm sind auf der vertikalen Achse die fünf verschiedenen Landnutzungssysteme, auf der horizontalen Achse die Werteskala abgebildet. Einerseits stellt die Skala die durchschnittliche Anzahl Indikatoren, andererseits den durchschnittlichen Gesamtzustand auf, welcher dimensionslos ist. Im Prinzip stellt die Abbildung 60 die Durchschnittswerte der Abbildung 58 und der unter der ersten Hypothese vorgestellten Gesamtzustandsberechnung dar. Bei den berechneten Balkenlängen der verschiedenen Landnutzungssysteme handelt es sich um die Mittelwerte der drei Jahreszeiten. Ohne auf die Werte einzugehen, hebt sich das konventionelle Anbauverfahren (zusammen aus extensiv und intensiv) auf den ersten Blick sichtlich von den anderen Landnutzungssystemen ab.

Richtet man den Blick auf die durchschnittliche Anzahl Indikatoren (blau), so ist das konventionelle Verfahren im Durchschnitt von fünf unterschiedlichen Degradierungen betroffen. Dieser Wert liegt eindeutig über jenen der anderen vier Landnutzungssysteme. Das Diagramm zeigt weiter, dass die Mulchsaat im Durchschnitt weniger Indikatoren als die Direktsaat, das Weideland verhältnismässig relativ viele und das Grünland kaum Degradierungsindikatoren aufweisen. Betrachtet man nun den durchschnittlichen Gesamtparzellenzustand (rot), wird offensichtlich, dass das Ausmass und der Umfang beim konventionellen Verfahren im Vergleich mit den anderen Landnutzungssystemen gravierender ist als die durchschnittliche Anzahl Indikatoren. Während beim Weideland die durchschnittliche Anzahl Indikatoren bei über eins liegt, ist dessen Gesamtzustand tiefer. Für das Grünland ist das Verhältnis fast ausgeglichen. Somit kann aufgezeigt werden, dass die Konservierungsmassnahmen Direktsaat und Mulchsaat präventive Wirkung im Hinblick auf die Bodendegradierungen einnehmen. Im Grunde halbieren die bodenschonenden Anbauverfahren das Ausmass des Gesamtparzellenzustands. Am grössten ist das Potential beim Grasland, das den Boden nur gering oder kaum belastet.

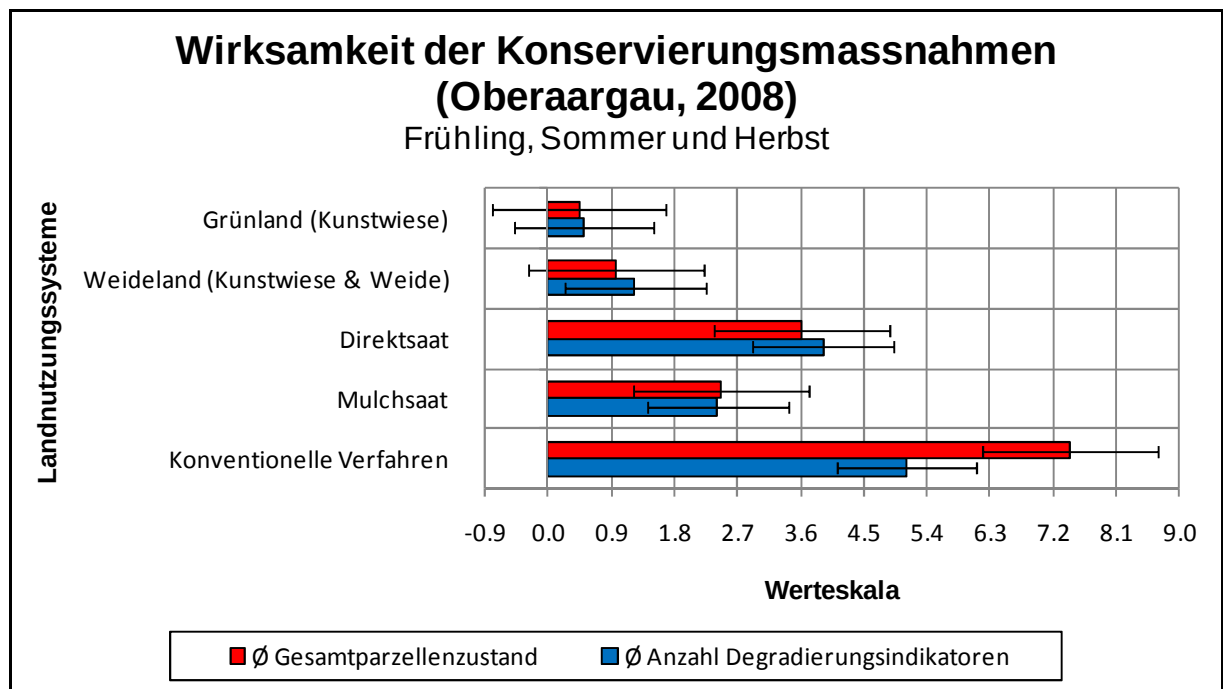


Abbildung 60: Wirksamkeit der Konservierungsmassnahmen am Beispiel der fünf Landnutzungssysteme dargestellt. Vergleich der durchschnittlichen Anzahl Degradierungsindikatoren und des durchschnittlichen Gesamtparzellenzustands der drei Jahreszeiten; inklusive deren Standardabweichung (Quelle: Urs Grob).

Dies liefert indirekt den Hinweis, dass eine angepasste Fruchtfolge ebenfalls präventiv wirken kann, wenn zum Beispiel auf Grasland umgestellt wird. Die Ausgangshypothese kann somit verifiziert werden. Nicht wie erwartet, schneidet die Direktsaat "schlecht" ab. Eine mögliche Erklärung liefert die Methodik, welche durch das visuelle Bewerten limitiert ist. Die Bewertung beschränkt sich aus diesem Grunde nur auf die Bodenoberfläche, interessant wäre zu analysieren, in welchem Zustand sich die jeweiligen Böden in der Tiefe befinden. Gerade bei der Direktsaat wird vermutet, dass sie im Erdinneren effektiv auf die Fauna sowie Bodenstruktur und -tragfähigkeit wirkt. Die Standardabweichung der Abbildung 60 gibt den Bewertungen eine qualitative Bedeutung, indem sie anzeigt, wie weit die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert ist. Da die Standardabweichung der Auswertung in Abbildung 60 relativ gross ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Abweichung vom Durchschnitt vergleichsweise gross ist.

7.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Mit dem Anpassen, Entwickeln und Anwenden der WOCAT/LADA Methodik konnte der Zielsetzung der Beschreibung und Bewertung des Bodenzustands umfassend und systematisch nachgegangen werden. Ursprünglich wurde die Methodik entwickelt, um über Expertenbefragungen das Ausmass und den Umfang der Bodendegradierungen und Konservierungs-

massnahmen beschreiben und bewerten zu können. Mit dem Ziel, geeignete Indikatoren und einfache Feldmethoden für die Feldbeobachtungen zu identifizieren, wurde diese Grundlage wesentlich angepasst. Grundsätzlich ist die Umsetzung der Methode nicht problematisch, höchstens war sie sehr umfangreich und zeitintensiv. Die Untersuchung erwähnt deren Schwachstelle, welche in Form von ungeeigneten Indikatoren und der fehlenden Bewertung der Ökosystemdienstleistungen liegt. Auf der anderen Seite ist klar festzustellen, dass mehrere Indikatoren für eine visuelle Bewertungsmethodik taugen. Durch die visuellen Bewertungen sind die Ergebnisse stark subjektiv geprägt. Künftig sollte ein besserer Mix zwischen einfachen Standardmethoden und den bisherigen quantitativen Methoden erarbeitet werden. Von Vorteil sollten sich diese Standardmethoden auf jene Indikatoren beziehen, die visuell schwierig zu bewerten sind. In diesem Zusammenhang sind die Arbeiten von Hauert und Lorenz Ruth angesprochen, welche den organischen Bodengehalt für verschiedene Landnutzungssysteme und Fruchtfolgezyklen analysieren. Für weitere Untersuchungen befürworten die Schlussergebnisse der methodischen Zielsetzungen ferner die Jahreszeiten Frühling und Herbst als Bewertungsperioden. Zwar sind die Indikatoren abhängig von den klimatischen Bedingungen, allerdings sind die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten nicht signifikant. Im Herbst herrschten ideale Bodenbedingungen, auch die Erfahrung und der Umgang mit dem Kontext waren am grössten. Bei den inhaltlichen Zielsetzungen konnten eindeutige Unterschiede der Bodenzustände für die Landnutzungssysteme illustriert und erklärt werden. In abnehmender Reihenfolge besitzen die konventionellen Anbauverfahren das grösste Degradierungspotential, gefolgt von den bodenschonenden Verfahren und den Grasland-Landnutzungssystemen. In diesem Zusammenhang konnte illustriert werden, dass vor allem sechs Kulturpflanzen von den Bodendegradierungen betroffen sind. Insbesondere die Wintergetreide scheinen anfällig auf diverse Degradierungen zu sein. In diesem Sinne gilt die Aussage: Je intensiver die Bodenbearbeitung, desto gravierender ist das Ausmass und der Umfang der Degradierungen. In Zukunft sollte das Interesse auf die Bewertung der Ökosystemdienstleistungen gelegt werden, was Expertenbefragungen unumgänglich macht. Mit den Ergebnissen der Untersuchung darf nicht nur dank den befriedigenden Endresultaten, sondern ebenfalls mit der Vergleichbarkeit der Theorie und anderen Untersuchungen zufrieden sein.

Dem Boden als ernährungssichernde Ressource für die Zukunft wird oft wenig Rechnung getragen. Dem Schutz und der Erhaltung des Bodens kommt eine grosse Bedeutung zu. Künftig muss der Boden vermehrt unter bodenschonenden Anbauverfahren bewirtschaftet werden, um die Nachhaltigkeit gewährleisten zu können. Einer bodenschonenden Bewirtschaftung haftet in erster Linie ein Ertragseinbruch an. Kurzfristige Produktionen können den Boden allerdings irreversibel schädigen. Im Verlauf der Zeit wird sich ein bodenscho-

nender Anbau auszahlen und der Boden wird es mit ertragsreichen Ernten zurückzahlen. Für immer mehr Menschen wird in Zukunft immer weniger Fläche zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund muss der Ackerbau der Zukunft auf kleinem Raum, hochproduktiv und nachhaltig sein. Mit dem Ackerbau wird ein System in Frage gestellt, das sich im Wettlauf um eine höhere Produktivität seit langem durchgesetzt hat, nämlich die strikte Trennung von Ackerland und Wald. Heute herrscht die landläufige Meinung, dass Bäume in den Wald und Kulturen in den Acker gehören, so Jäger & Lindau (2009: 49f). Dies war nicht immer so, bis vor 50 Jahren waren die Bäume allgegenwärtig in der Agrarlandschaft. Die grosse Wende erfolgte mit dem Einzug der Flurbereinigung und der strikten gesetzlichen Abgrenzung zwischen Ackerbau und Waldwirtschaft, was zu einer Entmischung von Bäumen und Offenland geführt hat. Die Kombination von Acker- und Waldnutzung, das sogenannte Agroforst-System, bringt zweifellos verschiedene Vorteile, wie Holz, Obst, Schatten und Schutz, mit sich. Durch die verschiedenen Wurzelwerke können die Nährstoffe bei einem Agroforst-System im Vergleich zu Monokulturen aus mehreren Bodenschichten gewonnen werden. Dadurch, dass die Landwirtschaft auf "mehreren Etagen" stattfindet, werden die Ressourcen viel effizienter genutzt und die Photosyntheseleistung erheblich gesteigert. Das System zeichnet sich aus, indem es nur dann produktiver als Monokulturen ist, wenn die Systempartner Wasser, Licht und Nährstoffe räumlich und zeitlich unterschiedlich nutzen. Da bei den Ackerkulturen die Wasser- und Nährstoffvorräte im Oberboden bereits vor dem Blattaustrieb der Bäume verbraucht werden, treiben die Bäume ihre Wurzeln automatisch tiefer. So bildet sich laut Jäger & Lindau (ibid.) unterhalb des Wurzelraums der Ackerfrucht eine Art "Auffangnetz" für Ressourcen. Voraussetzung für dieses multifunktionale Ackerbausystem ist die Beteiligung mindestens zweier Pflanzenarten, darunter eine mehrjährige, verholzende. Gemäss Jäger & Lindau (ibid.) haben Untersuchungen aus England im langjährigen Mittel mit dem Agroforst-System 30% mehr Erträge als bei getrennten Wald- und Ackerflächen erzielt. Ähnliche Resultate lieferte das europäische Gemeinschaftsprojekt¹¹ "Safe" in Versuchen in Italien und Frankreich. Das Agroforst-System bietet daneben weitere Vorteile. Die intensive Unterwurzelung schützt die Flächen vor Wind- und Wassererosion und Nährstoffverlusten, bietet eine beträchtliche Kohlendioxidsenke, schafft zusätzlichen Lebensraum und verteilt das Risiko auf zwei oder mehr Kulturen. Auch für die Schweiz bietet dieses System Potenzial. Die in der Schweiz bestehenden Hochstammbobst-Wiesen und Streuobst-Flächen sind per Definition eigentlich nichts anderes als Agroforst-Systeme. Dessen Bestand nahm seit 1951 aber kontinuierlich um bis zu 75% ab. Für den Standort Schweiz ist die Kombination von Ackerbau und Wertholz (astfreies Stammholz) oder Obstbäumen zur Fruchtproduktion besonders interessant. Berechnungen aus den Untersuchungen haben

¹¹ Silvoarable Agroforestry For Europe: <http://www1.montpellier.inra.fr/safe/>

zwar ergeben, dass sich im Vergleich zu Monokulturen Agroforst-Flächen in den ersten 15 Jahren Einkommenseinbussen von bis zu 5% ergeben. Durch ein erhebliches Sparkapital an Holz wird dieser auf lange Sicht aber mehr als wettgemacht. Die neuartige Acker-Wald-Nutzung verlangt zwar ein Umdenken in der Landwirtschaft, ist aber ein richtiger Schritt in eine nachhaltige Bewirtschaftung. Bestätigt wird die Effizienz des Agroforst-System anhand der Resultate dieser Arbeit. Die Auswertung der Waldfragebögen hat gezeigt, dass der Wald ein gesundes Ökosystem mit einem relativ geringen Degradierungspotential ist. Im Vergleich zur Landwirtschaft sind die Degradierungen im Wald geringer. Heutzutage übt der Mensch direkt (Holzgewinnung) und über die Landwirtschaft indirekt (Ammoniakverflüchtigung beim Gülleaustragen mit dem Druckfass) Druck auf den Wald aus. Eine Kombination des Ackerbaus und der Forstwirtschaft scheint daher effektiv ein gewisses Potenzial aufzuweisen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Achermann, B. & Volz, R. (2004). Nährstoffe aus der Luft machen Waldböden sauer. Umwelt Schweiz. In: Magazin Umwelt 2/2008. Holz – wieder ein sicherer Wert.
- Affolter, G. & Kraft, B. (2008). Hofdünger noch besser einsetzen. UFA-Revue 10, 44-45
- Anken, T., Berweger, J., Sturny, W.G., Mouchet, P.-A., Hügi, K., Reinhard, H. & Kramer, E. (2000). Boden schonen mit dem Fünflibertest. UFA-Revue 7-8/00, 31-34.
- Arbeitsgruppe Bodenerosion Nordwestschweiz (o.J.). Merkblatt Bodenerosion: Erosion – eine schleichende Gefahr.
- Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 (1980). Grundlage für die Raumplanung. Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement (EJPD).
- Borer, F. (2006). Chancen und Risiken beim praktischen Vollzug des physikalischen Bodenschutzes in der Forstwirtschaft. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Bulletin 28. Errungenschaften im physikalischen Bodenschutz, 7-10.
- Brundtland, G.H. (Hg.) (1987). Our common future. The world Commission on Environment and Development. Oxford.
- Bundesamt für Statistik (BFS) (2001). Bodennutzung im Wandel. Arealstatistik Schweiz. Neuenburg.
- Bundesamt für Statistik (BFS) (2008). Forstwirtschaft der Schweizer. Taschenstatistik 2008. Neuenburg.
- Bundesamt für Statistik (BFS) (2009). Schweizer Landwirtschaft. Taschenstatistik 2009. Neuenburg.
- Bundesamt für Statistik (BFS)/Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2008). Umweltstatistik Schweiz. In der Tasche. Neuenburg / Bern.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2007). Bodenschutz Schweiz – Ein Leitbild. Abteilung Stoffe, Boden, Biotechnologie.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2004). Waldprogramm Schweiz (WAP-CH) – Handlungsprogramm 2004-2015. In: Schriftenreihe Umwelt Nr. 363. Bern.

- Chervet, A., Fehr, M. & Streit, B. (2008c). Direktsaat spart Kosten und Zeit. UFA-Revue 4, 52-54.
- Chervet, A., Müller, M. & Weisskopf, P. (2008b). Der Boden profitiert. UFA-Revue 3, 44-46.
- Chervet, A., Sturny, W.-G. & Tschannen, S. (2008d). Erfolgreich umstellen. UFA-Revue 5, 38-40.
- Chervet, A., Sturny, W.-G. & Zihlmann, U. (2008a). Ertragreiche Direktsaat. UFA-Revue 2, 28- 30.
- Chisholm, M. (2008). Analyse der Bodenerosion mit der AVErosion-Extension für ArcView. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- Engeler, R. (2009). Kommt der Pflug zu neuen Ehren? UFA-Revue 3, 22-23.
- Engesser, M. (2009). Analyse des Einflusses hydrologischer Barrieren auf die Bodenerosion mit der AVErosion-Extension. Bachelorarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- Erdmann, K.-H. (1998). Nachhaltige Entwicklung als regionale Perspektive. In: Nachhaltigkeit als Leitbild der Umwelt- und Raumentwicklung in Europa, im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Geographie. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Foster, R.H. (2006). Methods for assessing land degradation in Botswana. Earth & Environment 1: 238-276 . School of Earth & Environment, University of Leeds, Leeds, W. Yorkshire
- Friedli, S. (2006). Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – Unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- Fülling, O. (2008). Mäuse und ihre Gegenspieler. UFA-Revue 4, 40-41.
- Gasser, J. & Grob, U. (2008a). Feldprotokoll.
- Gasser, J. & Grob, U. (2008b). Methodenkatalog für die Anwendung des WOCAT/LADA-Tools in der Schweiz.
- Gasser, J. (2009). Variation of land degradation indicators on cultivation land within a year. A case study in a commune of Swiss Plateau in 2008 using field observation me-

- thods. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- GEF (Global Environment Facility) (2006). Monitoring progress and measuring impact. Washington DC.
- GfEU (1995). Natürliche Ressourcen – Nachhaltige Nutzung, Berichte zu Entwicklung und Umwelt Nr. 14, Gruppe für Entwicklung und Umwelt (GfEU), Geographisches Institut Universität Bern.
- Gurtner, M. (1999). Bodendegradierung und Bodenkonservierung in den Anden Kolumbiens. Eine Nachhaltigkeitsstudie im Rahmen des WOCAT-Programms. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- Häni, Ch. (2008). Bodenbewirtschaftung mit Pioniergeist. UFA-Revue 1, 36-37.
- Hauert, Ch. (2007). Vergleich von Bodeneigenschaften im Direktsaat- und Pflugsystem mit Reflexionsspektroskopie und physikalischen Feldmethoden in den Gebieten Frienisberg und Oberaargau. Diplomarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Abteilung CDE, Bern.
- Hauert, Ch., Herweg, K. & Liniger, HP. (2008). Methodological catalogue for the assessment of soil degradation and conservation in the Swiss Plateau, WOCAT/LADA, University of Berne.
- Heiniger, O. & Herweg, K. (1994). Die Ressource Boden. Degradierungsprozesse und Ansätze zu einer nachhaltigen Nutzung des Bodens. Bericht zu Entwicklung und Umwelt Nr. 10, Gruppe für Entwicklung und Umwelt (GfEU), Bern.
- Heinloth, K. (1996). Energie und Umwelt. Klimaverträgliche Nutzung von Energie. B.G. Teubner/vdf Hochschulverlag AG, Stuttgart/Zürich.
- Hug, H. (2009). Sichere Klee gras-Anlagen. UFA-Revue 7-8, 42-43.
- Hug, H., Stettler, M. & Suter, D. (2008). Sonderthema – Kunstwiese in der Fruchtfolge. UFA-Revue 6, 2-9.
- Hurni, H. (1996). With the assistance of an international group of contributors: Precious Earth: From Soil and Water Conservation to Sustainable Land Management. International Soil Conservation Organisation (ISCO) and Centre for Development and Environment (CDE). Bern

- Hurni, H., Herweg, K. & Ludi, E. (1998). Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen zwischen Vision und Realität. In: Nachhaltigkeit als Leitbild der Umwelt- und Raumentwicklung in Europa, im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Geographie. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Jäger, M. & Lindau, A. (2009). Multifunktionaler Ackerbau. UFA-Revue 9, 49-50.
- Jäggi, M. (2008). Befragung zum Wald, Sommer 2008.
- Ledermann, Th., Herweg, K. Liniger, HP., Schneider, F., Hurni, H. & Prasuhn, V. (2008a). Erosion Damage Mapping: Assessing Current Soil Erosion Damage in Switzerland. CDE Berne, University of Berne.
- Ledermann, T., Herweg, K., Liniger, HP., Schneider, F. & Prasuhn, V. (2008b). Applying erosion damage mapping to assess and quantify off-site effects of soil erosion in Switzerland." CDE Berne, University of Berne (Special Issue).
- Lexikon der Geographie in vier Bänden (2002). Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg - Berlin.
- Lexikon der Geowissenschaft in sechs Bänden (2000). Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg - Berlin.
- Liniger, HP. & Critchley, W. (2007). Where the land is greener. Case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. WOCAT, Berne.
- Liniger, HP., van Lynden, G., Nachtergaele, F. & Schwilch, G. (2008). A Questionnaire for Mapping Land Degradation and Sustainable Land Management. CDE/WOCAT, FAO/LADA, ISRIC Berne.
- Lüscher, P., Thees, O., Frutig, F. & Sciacca, St. (2005). Physikalischer Bodenschutzes im Wald als Teil der Arbeitsqualität. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Bulletin 28. Errungenschaften im physikalischen Bodenschutz, 7-10.
- Mäkel, R. & Walther, D. (1993). Naturpotential und Landdegradierung in den Trockengebieten Kenias. In: Erdkundliches Wissen, Schriftenreihe für Forschung und Praxis. Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Mascher, F. (2009). Richtige Kombination führt zum Ziel. UFA-Revue 4, 44-45.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trend, Volume 1. Island Press. Washington DC.

- Mosimann, T. & Mosimann-Baumgartner, B. (1996). Die Gefährdung der Böden in der Schweiz. Syndrome der Bodengefährdung, Abschätzung der zerstörten und belasteten Bodenflächen, Trends. WWF Schweiz, Zürich.
- Mosimann, T., Maillard, A., Musy, A., Neyroud, J.-A., Rüttimann, M. & Weisskopf, P. (1991): Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten, ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes "Nutzung des Bodens in der Schweiz", Liebefeld Bern. 18S.
- Mosimann, T., Mosimann-Baumgartner, B., Friedrich, K., Asmussen, K. & Lähns, M. (2003). Erosionsbekämpfung und Schutz der Böden durch die Bewirtschaftung im Kanton Basel-Landschaft. Entwicklungstrends aus dem Monitoring 1982 – 2002 und Folgerungen für die Beratung. Amt für Umweltschutz und Energie (AUE), Liestal.
- Nowack, K., Oberholzer, B. & Niggli, U. (1996). Welche Landbewirtschaftung ist bodenverträglich? WWF Schweiz, Zürich.
- Prasuhn, V. & Fischler, M. (2007). Wie viel Erde geht verloren? UFA-Revue 11, 37-44.
- Prasuhn, V. & Grünig, K. (2001). Evaluation der Ökomassnahmen. Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Rekenholz (FAL) Schriftenreihe FAL 37.
- René, S. & Walder, R. (2009). Düngung jetzt planen. UFA-Revue 3, 62-63.
- Rey, L. (2004). Wer direkt sät, erntet Vorteile. Umwelt Schweiz. In: Magazin Umwelt 2/2004.
- Roggli, M. (2007). Pflanzenschutz und Düngung auf die natürliche Tour. UFA-Revue 11, 33-34.
- Roggli, M. (2009). Jährlich 840'000 t Boden bachab. UFA-Revue 6, 36-37
- Schaffer, H.-P. (2004). Vor lauter Bäumen den Waldboden noch sehen. Umwelt Schweiz. In: Umwelt 2/05 Bodenschutz.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (2002). Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg-Berlin.
- Seeger, M. (2001). Boden und Bodenwasserhaushalt als Indikatoren der Landdegradierung auf extensivierten Nutzflächen in Aragón / España. Dissertation des Instituts für Physische Geographie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br.
- Spilker, B. (2009). Wasserversorgung berücksichtigen. UFA-Revue 3, 70-71.

- Stettler, M. & Thür, F. (2009). Nicht zu viel Druck aufsetzen. UFA-Revue 6, 22-25
- Stocker, H.-G. & Diepenbrock, W. (1999). Agronomische Artenpässe landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Bedeutung und Anbauverfahren wichtiger landwirtschaftlicher Fruchtarten in Kurzfassung. Shaker Verlag, Aachen.
- Stocking, M. & Murnaghan, N. (2001). Handbook for the Field Assessment of Land Degradation. Earthscan Publication Ltd, London, UK.
- Suter, D. (2008). Wie lange hält die Wirkung an? UFA-Revue 6, 8-10 SH.
- UFA-Revue (2008). Kurz-News – 3% Direktsaat. UFA-Revue 9, 35.
- UFZ-Berichte 2/2006. Das Millennium Ecosystem Assessment und seine Relevanz für Deutschland – Zusammenfassung. Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig.
- UNEP/UNDP/World Resources Institut (1992). World Resources 1992-93, Oxford.
- Van der Veer, S. & Zobrist, U. (2008). Sonderheft – Herausforderung Kartoffelbau. UFA-Revue 2, 6-7.
- Von Flüe, W. & Hodel, U. (2009). Schnell wirkende Lösung. UFA Revue 1, 36-37.
- Weber, B. (2008). Augenmerk auf Bodenschonung. UFA-Revue 6, 26-27.
- Zihler, J. (2004). Nur intakte Böden sichern das Überleben. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). In: Schriftenreihe Umwelt 2/04 Bodenschutz, Bern.

FORSCHUNGSBERICHTE

- COST (2006). About COST – European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research. COST Office, Brüssel.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (1994). Welt im Wandel. Die Gefährdung der Böden – Hauptgutachten 1994. Economica-Verlag, Bonn.
- WOCAT Symposium (2008). Promoting Sustainable Land Management for Local and Global Impacts. 20. October, Bern.

ZEITUNGSARTIKEL

- Hofer, P. & Sturny, W.-G. (2009). Jeder Eingriff hinterlässt Spuren. Schweizer Bauer, Samstag 5. September 2009, 28.
- Hofer, P. (2008). Rücksicht auf den Boden. Schweizer Bauer, Samstag 20. September 2008, 30.
- Jecker, N. (2008). Mäuseplage ärgert Bauern – und behindern Piloten. 20 Minuten, Bern/Region, Dienstag 6 Mai 2008, 5.
- Lehmann, A. (2008a). Ist Erosion überhaupt zu vermeiden? Schweizer Bauer, Samstag 26. Juli 2008, 26.
- Lehmann, A. (2008b). Wie intensiv bearbeiten? Schweizer Bauer, Samstag 30. August 2008 28.
- Lehmann, A. (2008c). Im Gülleloch Platz schaffen. Schweizer Bauer, Samstag 13. September 2008, 44.
- Manser, R. (2009). Der Wald steht unter Stress. Der Bund, Freitag 15. Mai 2009, 8.
- Menzi, H. & Stadelmann, F.-X. (2009). Ammoniakverluste einst und heute. Schweizer Bauer, Mittwoch 26. August 2009, 17.
- NEWS (2009). Ackerland löst sich in Luft auf. Gratiszeitung NEWS, Freitag 12 Juni 2009, 17.
- Oberholzer, H.-R., Schwarz, R., Weisskopf, P. & Zihlmann, U. (2009). Schweizer Böden – Die verborgene Grundlage der Landwirtschaft. Schweizer Bauer, Samstag 4. April 2009, 17-21.
- Spuhler, M. (2009). Fusarien noch auf tiefem Niveau. Schweizer Bauer, Mittwoch 16. September 2009, 16.

INTERNET

- Elsässer, M. (o. J.). Gülledüngung auf Dauergrünland und Artenschutz – ein unlösbarer Widerspruch?.

MetwoSchweiz (2009). Mittlere jährliche Niederschlagsrate Madiswil, Stand 26.06.2009:
([http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/tabellen.Par.0011.
DownloadFile.ext.tmp/niederschlagssummen.pdf](http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/tabellen.Par.0011.DownloadFile.ext.tmp/niederschlagssummen.pdf))

ANHANG CD

