

Kohlenstoffverlust aus entwässerten Schweizer Hochmooren

Masterarbeit der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern

vorgelegt von
Lena Gubler
2009

Leiter der Arbeit:
Prof. Dr. Peter Germann, Geographisches Institut, Universität Bern
Dr. Jens Leifeld, ART Reckenholz, Zürich



Dank

Ganz herzlich möchte ich mich bei folgenden Personen bedanken, die mich während dem Arbeitsprozess begleitet und unterstützt haben:

Dr. Jens Leifeld, für die Betreuung dieser Arbeit. Für die fachliche Kompetenz, die Geduld und die Motivation, mit der er mich während des ganzen Jahres in jeder Situation unterstützt hat.

Dr. Andreas Grünig, für die grosse fachliche und praktische Hilfe, für sein enormes Moorwissen und die Begeisterung für alles Moorige, welche er mir vermittelt hat.

Dr. Peter Germann, für die Bereitschaft, trotz seiner Pensionierung, meine Arbeit bis zum Schluss zu betreuen.

Dr. Willy Tinner, für die unkomplizierte Bereitschaft mir den weissrussischen Torfbohrer sowie die Plastikhalbschalen zur Verfügung zu stellen.

Robin Giger, für die Einführung und ständige Hilfe im Labor, sowie die Durchführung der Elementaranalysen meiner Proben.

Dr. Jürg Fuhrer und der ganzen Gruppe Lufthygiene / Klima an der ART, für das Ermöglichen dieser Arbeit und für die freundliche und warme Stimmung, mit der sie mich in der ART empfangen und begleitet haben.

Den kantonalen Naturschutzstellen, für die Bewilligungen in den entsprechenden Hochmooren Proben entnehmen zu dürfen.

Stephanie Meyer und Karen Budge, für die Hilfe beim Probenehmen.

Der lokalen Feuerwehr, für die rasche Reaktion auf den ersten Veraschungsversuch der Torfproben im Muffelofen.

Dr. Hans Jörg Bachmann, für die Erlaubnis zur Veraschung meiner Torfproben die prepAsh-Maschine zu benutzen.

Hans-Ruedi Bosshard, für die geduldige Einführung, Betreuung und Hilfe beim Veraschen der Proben in der prepAsh-Maschine.

Dr. Pierre-Luigi Calanca, für die Zusammenstellung der genauen Klimadaten zu den jeweiligen Standorten.

Beni Stocker, Ruth Huber, Silva Lieberherr, Sabine Lenggenhager, Martina Cantieni und Samuel Gubler für die geduldige Denkhilfe, die Korrektions- und Gestaltungsarbeiten.

Zusammenfassung

Hochmoore sind wegen ihrer Fähigkeit zur Akkumulation von organischem Material in Form von Torf wichtige Kohlenstoffsinken. Vom gesamten Bodenkohlenstoff werden 30 % in Moorböden gespeichert, obwohl diese nur ungefähr 5 % der Landmasse ausmachen (Clymo et al., 1998). Wird das natürliche Ökosystem jedoch gestört und das Moor drainiert, kehrt sich der Netto-CO₂-Fluss um. Der oxidative Abbau setzt zum Zeitpunkt der Drainage ein und der gespeicherte Kohlenstoff wird durch die mikrobielle Mineralisierung in Form von CO₂ freigesetzt. Das Moor wird zur CO₂-Quelle. Wegen dem stattfindenden Klimawandel sind in der gemässigten Zone zukünftig tendenziell wärmere Temperaturen im Sommer zu erwarten (IPCC, 2007). Somit wird die Evapotranspiration erhöht, was zu einer verstärkten Senkung des Wasserspiegels in Mooren führt. Je tiefer der Wasserspiegel liegt, desto mehr Torf ist dem aeroben Abbau ausgesetzt. Hochmoore, als speziell sensible Ökosysteme, reagieren schnell auf die erwähnten direkten und indirekten anthropogenen Einflussfaktoren.

Ziel dieser Arbeit ist zum einen, die Datengrundlage über die CO₂-Emission aus entwässerten Schweizer Hochmooren zu verbessern. Zum andern soll die angewandte Methode zur Abschätzung des Kohlenstoffverlusts aus Hochmooren validiert werden. Da die Untersuchung nicht auf vorhandene Messreihen abgestützt werden konnte, wurde zur Abschätzung der Emissionsrate die integrative Methode des Glühverlusts gewählt. Die Methode basiert auf dem Prinzip der Aschegehaltsmessung; durch den verstärkten oxidativen Abbau unter aeroben Bedingungen in einem entwässerten Hochmoor, akkumuliert sich die mineralische Substanz in einem oberflächennahen Oxidationshorizont. Anhand der Differenz zwischen diesem unnatürlicher Aschepeak und dem ungestörten Aschehintergrund im tieferen Katotelm, kann der Verlust an organischem Kohlenstoff berechnet werden.

Als Untersuchungsgebiete wurden zwei entwässerte Hochmoore im Kanton Zug gewählt, wobei das eine von einem lichten Fichtenwald bewachsen ist. Zusätzlich wurde ein wiedervernässtes Hochmoor im Kanton Zürich untersucht, um das Akkumulationsverhalten nach einer erfolgten Regenerationsmassnahme zu beurteilen. Als Referenzstandort diente ein naturnahes, ungestörtes Hochmoor im Kanton Jura.

Die Messungen und darauf basierenden Berechnungen des Kohlenstoffverlusts in den entwässerten Hochmooren ergaben eine jährliche CO₂-Emissionsrate von $0.14 (\pm 0.21) \text{ kg C} / (\text{m}^2 \text{ a})$ im Falle des offenen Standortes und eine entsprechende Emissionsrate von $0.61 (\pm 0.22) - 1.26 (\pm 0.45) \text{ kg C} / (\text{m}^2 \text{ a})$ im bewaldeten Hochmoor. Dies lässt darauf schliessen, dass die Mineralisierung organischen Materials von der zusätzlichen Durchlüftung in der Rhizosphäre eines Waldes massiv gesteigert wird. Über das Verhalten des CO₂-Flusses im wiedervernässten Hochmoor konnte keine sinnvolle Aussage gemacht werden, da mit der angewandten Methode kein Kohlenstoffverlust feststellbar war.

Die Methode des Glühverlusts zur Abschätzung von Kohlenstoffverlust in Torfböden ist mit sehr grossen Unsicherheiten behaftet. Sie darf deshalb nur in ombrotrophen Hochmooren angewandt werden. Und selbst in solchen, vergleichsweise gut isolierten Ökosystemen, sollte das Resultat nur als grobe Abschätzung betrachtet werden.



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Hochmoorgenese	1
1.2 Hochmoorvegetation und -morphologie	2
1.3 Torfakkumulation	4
1.4 Moore als Komponente im Kohlenstoffkreislauf	5
1.4.1 Kohlenstoffspeicher	5
1.4.2 Kohlenstoffquelle	5
1.4.3 Methanflüsse	7
1.4.4 Wiedervernässung	8
1.5 Hochmoore der Schweiz	10
1.6 Messmethoden des Kohlenstoffflusses aus Hochmoorböden	11
1.7 Zielsetzung und Fragestellung	13
2 Untersuchungsgebiete	15
2.1 Das Eigenried	15
2.1.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung	15
2.1.2 Topografie, Klima und Vegetation	16
2.2 Das Ägeriried	20
2.2.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung	20
2.2.2 Topografie, Klima und Vegetation	23
2.3 Das Hagenmoos	25
2.3.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung	25
2.3.2 Topografie, Klima und Vegetation	27
2.4 Etang de la Gruère	28
2.4.1 Entstehung und Geschichte	29
2.4.2 Topografie, Klima und Vegetation	30
3 Material und Methoden	32
3.1 Grundlage	32
3.2 Feldarbeit	33
3.2.1 Standortbeprobung	33
3.2.2 Technik der Probenahme	34
3.3 Laboranalysen	36
3.3.1 Aufbereitung des Probenmaterials	36
3.3.2 Thermogravimetrische Analytik	37
3.3.3 Elementaranalyse	39

3.3.4 pH-Wert	39
3.3.5 Elektrische Leitfähigkeit	40
3.4 Datenanalysen	40
3.4.1 Berechnung der Lagerungsdichte	41
3.4.2 Berechnung des Kohlenstoffs im Profil	41
3.4.3 Berechnung des Kohlenstoffverlusts	42
3.4.4 Fehlerberechnung und Fehlerquellen	44
3.4.5 Statistische Auswertung der Elementaranalyse	45
4 Resultate	46
4.1 Bodenphysikalische Parameter	46
4.2 Bodenchemische Parameter	47
4.2.1 pH-Wert	47
4.2.2 Elektrische Leitfähigkeit	47
4.2.3 Aschegehalt	48
4.2.4 Elementaranalyse	54
4.2.4.1 C / N-Verhältnis	55
4.2.4.2 O / C- und H / C-Verhältnis	58
4.2.4.3 Van Krevelen Plot	61
4.2.5 Kohlenstoffverlust	63
5 Diskussion	66
5.1 Beurteilung der Messresultate	66
5.1.1 Lagerungsdichte	66
5.1.2 pH-Wert	66
5.1.3 Elektrische Leitfähigkeit	67
5.1.4 Elementaranalyse	67
5.1.4.1 C / N-Verhältnis	67
5.1.4.2 H / C-Verhältnis	68
5.1.4.3 O / C-Verhältnis	69
5.1.4.4 Van Krevelen Plot	71
5.1.5 Aschegehalt	71
5.2 Beurteilung der Datenanalyse	72
5.2.1 Wiedervernässung	73
5.2.2 Bewaldeter vs. offener Standort	73
5.3 Beurteilung der Methode	74
5.3.1 Seebodenalp vs. Eigen- und Ägerried	74
5.3.2 Fehlerquellen	76

5.3.2.1 Hypothese 1	76
5.3.2.2 Hypothese 2	80
5.3.2.3 Hypothese 3	80
5.3.2.4 Hypothesen 4 und 5	81
5.3.2.5 Hypothese 6	82
5.3.3 Fazit zur Validierung der Methode	82
5.3.4 Verbesserung der Methode	83
5.4 Vergleichsdaten aus der Literatur	84
5.4.1 Kohlenstoffgehalt	84
5.4.2 Das C / N-Verhältnis	85
5.4.3 Aschegehalt	85
5.4.4 CO ₂ -Emissionsrate	87
6 Schlussfolgerungen	90
7 Literatur	91
8 Anhang	97

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einflussfaktoren und Auswirkungen auf Gasflüsse in einem Hochmoor	7
Abb. 2: Gasflüsse in einem intakten Moor: Im Akrotelm können bis zu 90 % des im Katotelm gebildeten Methans wieder abgebaut werden. Die tatsächliche Methanemission hängt demzufolge auch von dem aktuellen Wasserstand ab.	8
Abb. 3: Schematische Darstellung von Treibhausgasflüssen während verschiedenen Nutzungsstadien eines Moores	9
Abb. 4: Moorentwicklung in der Schweiz seit 1800	10
Abb. 5: Klimadiagramm Eigenried: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)	17
Abb. 6: a) Reaktionszahl, b) Mooszah, und c) Vegetationstypen im Eigenried	18
Abb. 7: Altmatt: aus Früh und Schröter, 1904: «Zustand der Moore im Juli 1894.»	21
Abb. 8: Ausschnitt Ägeriried aus Ewald, K., Der Landschaftswandel, LK 1132	22
Abb. 9: Klimadiagramm Ägeriried: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)	23
Abb. 10: Gletscherseen in Rifferswil / Kappel a. A. nach der letzten Eiszeit (Die Seen wurden in das heutige Kartenbild projiziert.)	26
Abb. 11: Klimadiagramm Hagenmoos: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)	27

Abb. 12: Torfabbau im Etang de la Gruère, Anfang letztes Jahrhundert	29
Abb. 13: Klimadiagramm Gruère: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)	30
Abb. 14: Weissrussischer Torfbohrer / Torfprobe in Halbschale	35
Abb. 15: Aufbereitete Proben	36
Abb. 16: PrepAsh-Maschine 129 mit eingelassenen Porzellantieglern	37
Abb. 17: Dichte Eigenried; Mittelwert: 0.07 g / cm ³	46
Abb. 18: Dichte Ägeriried; Mittelwert: 0.11 g / cm ³	46
Abb. 19: Dichte Hagenmoos; Mittelwert: 0.08 g / cm ³	46
Abb. 20: Dichte Gruère; Mittelwert: 0.07 g / cm ³	46
Abb. 21: pH Eigenried Mittelwert: 5	47
Abb. 22: pH Ägeriried Mittelwert: 3.8	47
Abb. 23: pH Hagenm. Mittelwert: 4.4	47
Abb. 24: pH Gruère Mittelwert: 4.2	47
Abb. 25: Elektr.Leitfähigkeit Eigenried Mittelwert: 37 µS / cm	48
Abb. 26: Elektr.Leitfähigkeit Ägeriried Mittelwert: 46 µS / cm	48
Abb. 27: Elektr.Leitfähigkeit Hagenm. Mittelwert: 36 µS / cm	48
Abb. 28: Elektr. Leitfähigkeit Gruère Mittelwert: 25 µS / cm	48
Abb. 29: Vergleich der drei Bohrkerne (A – C) des Eigenrieds: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich	49
Abb. 30: Vergleich der drei Bohrkerne (A – C) des Ägeririeds: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich	50
Abb. 31: Vergleich der drei Bohrkerne (A – C) des Etang de la Gruère: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich	51
Abb. 32: Aschegehalt Eigenried (± SE)	53
Abb. 33: Aschegehalt Ägeriried (± SE)	53
Abb. 34: Aschegehalt Hagenmoos (± SE)	53
Abb. 35: Aschegehalt Gruère (± SE)	53
Abb. 36: Vier Tiefenprofile des mittleren Anteils an a) organischem Kohlenstoff (OC %) und b) Wasserstoff (H %) der Standorte Eigenried, Ägeriried, Hagenmoos und Gruère	54
Abb. 36: Vier Tiefenprofile des mittleren Anteils an c) Sauerstoff (O %) und d) Stickstoff (N %) der Standorte Eigenried, Ägeriried, Hagenmoos und Gruère	55
Abb. 37: C / N-Verhältnis der Standorte Eigenried, Ägeriried, Hagenmoos und Gruère	56
Abb. 38: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried	57
Abb. 39: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Ägeriried	57
Abb. 40: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos	57

Abb. 41: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère	57
Abb. 42: O / C- und H / C-Verhältnis der Standorte Eigenried, Ägerried, Hagenmoos und Gruère	58
Abb. 43: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried	59
Abb. 44: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Ägerried	59
Abb. 45: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos	59
Abb. 46: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère	59
Abb. 47: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried	60
Abb. 48: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Ägerried	60
Abb. 49: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos	60
Abb. 50: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère	60
Abb. 51: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Tiefe sortiert (25 cm Auflösung und Standardabweichung)	61
Abb. 52: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Standort sortiert	62
Abb. 53: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Standort sortiert. Mittelwert und Standardabweichung	63
Abb. 54: molares O / C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Eigenried	70
Abb. 55: molares O / C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Ägerried	70
Abb. 56: molares O / C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Hagenmoos	70
Abb. 57: molares O / C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Gruère	70
Abb. 58: OS-OC-Korrelation, Eigenried	80
Abb. 59: OS-OC-Korrelation, Ägerried	80
Abb. 60: OS-OC-Korrelation, Hagenmoos	81
Abb. 61: OS-OC-Korrelation, Gruère	81

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittlere Aschegehalte der vier Standorte in gestörtem und ungestörtem Bereich	52
Tab. 2: Kohlenstoffgehalte (kg / m^2), Kohlenstoffverluste (kg / m^2) bei einer Bohrtiefe von 2 respektive 0.5 – 1.2 m (Ägerried) und jährliche OC-Verlustrate (kg / m^2) der Hochmoore Eigenried, Ägerried und Gruère. (Ägerried: OC-Verlustraten für das Entwässerungsjahr 1880 und 1944)	64
Tab. 3: Jährliche CO_2 - Emission aus den Hochmooren Eigenried, Ägerried und Gruère. (Ägerried: OC-Verlustraten für das Entwässerungsjahr 1880 und 1944)	65
Tab. 4: Chemische Zusammensetzung von Nassdepositionen in Payerne in mg pro Liter, Vergleich zweier Zeitperioden: 1985 – 1991 und 1998 – 1999 (EMPA in: SHOTYK, 1994, NABEL)	78
Tab. 5: Aschegehaltmessungen in Hochmoortorf von der eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe, 1918 – 1920	85
Tab. 6: Vergleichswerte eigener Messungen: Maximaler und minimaler Aschegehalt	86
Tab. 7: Internationaler Vergleich von CO_2 -Emissionen aus entwässerten Hochmooren in $\text{kg C} / (\text{m}^2 \text{ a})$.	87

Abbildungsverzeichnis Anhang

Abbildung 1: Kartenausschnitt Eigenried, LK 1131, 1:25'000	97
Abbildung 2: Kartenausschnitt Ägerried, LK 1132, 1:25'000	97
Abbildung 3: Kartenausschnitt Hagenmoos, LK 1111, 1:25'000	97
Abbildung 4: Kartenausschnitt Etang de la Gruère, LK 1105, 1:25'000	97
Abbildung 5: Beprobung im Eigenried	98
Abbildung 6: das Hagenmoos	98
Abbildung 7: der Etang de la Gruère	98
Abbildung 8: Beprobung im Etang de la Gruère	98
Abbildung 9: Sphagnum recurvum	98
Abbildung 10: Sphagnum capillifolium	98
Abbildung 11: Kartenausschnitt aus «Moorgebiet von Altmatt- Rothenthurm und Einsiedeln-Schwanentau-Willerzell», 1:25'000.	99
Abbildung 12 – 15: Ausschnitte aus der Siegfriedkarte, 1871 – 1897	99
Abbildung 16: Legende zur Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. J. Früh, 1896 – 1903	100
Abbildung 17: Ausschnitt aus der Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. Früh, 1896 – 1903; Zug-Rothenthurm-Kappel a. A., 1896 – 1903	100
Abbildung 18: Ausschnitt aus der Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. Früh, 1896 – 1903; Tramelan-Saignélegier	100
Abbildung 19: Legende zur Moorausbeutungskarte, 1923	101
Abbildung 20: Ausschnitt (Tramelan-Saignélegier) aus der Karte zur Maschinen- und Handstichausbeutung in den Jahren 1917 – 1920; Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, Abteilung Torfversorgung	101
Abbildung 21: Ausschnitt (Zug-Rothenthurm-Kappel a. A.) aus der Karte zur Maschinen- und Handstichausbeutung in den Jahren 1917 – 1920; Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei, Abteilung Torfversorgung	101
Abbildung 22: Plan des Torffeldes Eigenried aus dem Jahr 1920	102
Abbildung 23: Massnahmenplan für die Wiedervernässung des Hagenmoos von Karl-Hans Göttlich	103
Abbildung 24: Ascheprofile Eigenried, Bohrkerne A – C	107
Abbildung 25: Ascheprofile Etang de la Gruère, Bohrkerne A – C	121
Abbildung 26: Ascheprofil Hagenmoos, Bohrkerne A – C	135
Abbildung 27: Ascheprofil Ägerried, Bohrkerne A – C	149
Abbildung 28: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Eigenried	163
Abbildung 29: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Ägerried	163
Abbildung 30: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Hagenmoos	163

Abbildung 31: Q-Q-Normal-Plot, H / C-Profil, Gruère	163
Abbildung 32: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Eigenried	163
Abbildung 33: Q-Q-Normal-Plot, O / C-Profil, Ägerried	163
Abbildung 34: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Hagenmoos	164
Abbildung 35: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Gruère	164
Abbildung 36: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Eigenried	164
Abbildung 37: Q-Q-Normal-Plot C / N-Verhältnis, Ägerried	164
Abbildung 38: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Hagenmoos	164
Abbildung 39: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Gruère	164

Tabellenverzeichnis Anhang

Tabelle 1: pH und elekt. Leitfähigkeit Eigenried, Bohrkern B	104
Tabelle 2: pH und elektr. Leitfähigkeit, Ägerried, Bohrkern B	104
Tabelle 3: pH und elektr. Leitfähigkeit, Hagenmoos, Bohrkern C	105
Tabelle 4: pH und elektr. Leitfähigkeit, Etang de la Gruère, Bohrkern C	105
Tabelle 5: Aschegehalt Eigenried	108
Tabelle 6: Dichte Eigenried	110
Tabelle 7: 1. Messung Elementaranalyse, Eigenried B	112
Tabelle 8: 2. Messung Elementaranalyse, Eigenried B	114
Tabelle 9: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Eigenried B	116
Tabelle 10: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Eigenried B	118
Tabelle 11: Aschegehalt Gruère	122
Tabelle 12: Dichte Gruère	124
Tabelle 13: 1. Messung Elementaranalyse, Gruère	126
Tabelle 14: 2. Messung Elementaranalyse, Gruère	128
Tabelle 15: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Gruère C	130
Tabelle 16: H / C-, C / N- und O / C-Verhältnisse, Gruère C	132
Tabelle 17: Aschegehalt Hagenmoos	136
Tabelle 18: Dichte Hagenmoos	138
Tabelle 19: 1. Messung Elementaranalyse, Hagenmoos C	140
Tabelle 20: 2. Messung Elementaranalyse, Hagenmoos C	142
Tabelle 21: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Hagenmoos C	144
Tabelle 22: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Hagenmoos C	146
Tabelle 23: Aschegehalt Ägerried	151

Tabelle 24: Dichte Ägeriried	152
Tabelle 25: 1. Messung Elementaranalyse, Ägeriried	150
Tabelle 26: 2. Messung Elementaranalyse, Ägeriried	150
Tabelle 27: Mittelwerte der Messungen 1 und 2 der Elementaranalyse, Ägeriried	153
Tabelle 28: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Ägeriried	153
Tabelle 29: Datenüberblick	154
Tabelle 30: Vegetationsbestände Eigenried.	156
Tabelle 31: Vegetationsbestände Ägeriried.	159
Tabelle 32: Vegetationsbestände Hagenmoos.	161

1 Einleitung

Hochmoore sind zuverlässige Umweltarchive. Die Sphagnummoore werden häufig zur Analyse von atmosphärischem Metall- und Polleneintrag verwendet. Dies dient der Rekonstruktion der menschlichen Aktivitäts-, Vegetations- und Klimageschichte. Die Hochmoore in der Schweiz entstanden im Holozän nach dem Rückzug der Gletscher der Würmeiszeit, somit kann Hochmoortorf Informationen der letzten > 11'000 Jahre enthalten.

1.1 Hochmoorgenese

Die Entstehung von Mooren ist auf zwei unterschiedliche Ausgangslagen zurückzuführen und ist von der Topografie, dem Klima, der Vegetation, dem Boden, den Organismen und der Zeit abhängig (Shotyk, 2009):

- 1) Paludifikation: Die Entstehung erfolgt durch einen Wechsel vom trockenen in den nassen Zustand.
 - a) Soligen: Die Infiltration wird von einem undurchlässigen Bodenhorizont erschwert, das Wasser wird gestaut. Der Grundwasserspiegel ist nahe der Bodenoberfläche.
 - b) Ombrogen: Der hohe Niederschlag und das kühle Klima begünstigen ein rasches Moorwachstum auf schlecht entwässertem Untergrund.
- 2) Verlandung: Die Entstehung erfolgt durch einen Wechsel vom nassen in den trockenen Zustand.
 - a) Der Prozess, bedingt durch organische Sedimentation und Pflanzenwachstum im See, verläuft von den Ufern gegen die Seemitte. Zuerst setzt ein verstärktes Algenwachstum ein. Danach beginnen sich andere feuchtigkeitsliebende Pflanzenarten anzusiedeln.

Moorböden sind wassergesättigt und sauerstoffarm. Dadurch wird der mikrobiologische Abbau gehemmt, was die Primärproduktion die Zersetzungsrate übersteigen lässt (Bragazza et al., 2006). Es findet eine Akkumulation organischen Materials statt (siehe Kapitel Torfakkumulation).

Bei günstigen klimatischen Bedingungen wird die Torfakkumulation rasch vorangetrieben und die Moore wachsen aus dem Einflussbereich des Grund- oder Hangwassers heraus. Die so entstandenen, gewölbten Hochmoore werden nun ausschliesslich von Regenwasser gespiesen; sie sind ombrotroph (gr. ombros = Regen, trophie = Ernährung). Da der Wassereintrag nur aus dem Niederschlagswasser besteht, erfolgt auch die Nährstoffzufuhr ausschliesslich aus der Atmosphäre.

Niederschlag enthält nach Messungen des NABELs¹ 0.15 Cl (mg/l), 0.34 NO₃ (mg/l), 0.36 SO₄ (mg/l), 0.09 Na (mg/l), 0.04 K (mg/l), 0.03 Mg (mg/l), 0.25 Ca (mg/l)², besitzt einen durchschnittlichen pH von ca. 5 und eine elektrische Leitfähigkeit von 12 µS/cm. Verglichen mit Leitungswasser in Bern³ mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 443 µS/cm und einem pH von ca. 7 ist Regenwasser also sehr nährstoffarm und leicht sauer.

1.2 Hochmoorvegetation und -morphologie

Die Hochmoorvegetation ist an das anaerobe, nährstoffarme Milieu angepasst und dementsprechend einzigartig. Die Hochmoorkörper sind meist frei von Baumbewuchs. Sollte es Bäumen dennoch gelingen, sich im Hochmoor anzusiedeln, werden sie meist nur 10–50 cm hoch, wie zum Beispiel die Zwergbirke (*Betula nana*). An den leicht geneigten Randlagen eines intakten Hochmoors befindet sich typischerweise ein Hochmoorwald (Pinetum), welcher hauptsächlich aus Bergföhren (*pinus montana*) und Waldföhren (*pinus sylvestris*) besteht (Baumgartner, 2002). Auf dem Torfkörper selbst dominieren die Torfmoose der Gattung *Sphagnum* das Vegetationsbild (Beispiele siehe Anhang, Abbildung 9–10). In der Schweiz kommen fünfzig von weltweit über 300 verschiedene Arten Torfmoosen vor (www.flora-fauna.ch). Sie sind erkennbar an ihrer rötlichen bis bräunlichen Farbe. *Sphagnum*torf zeichnet sich durch eine sehr hohe Kationenaustauschkapazität aus (vergleichbar mit derjenigen von Tonmineralen) (Dierssen, 2001). Die Torfmoose nehmen die spärlich vorhandenen Nährstoffe des Regenwassers mittels einer H⁺-Abgabe auf (Baumgartner, 2002). So versauern sie den Boden zusätzlich.

Eine weitere Eigenschaft der Torfmoose ist ihre Wasserspeicherkapazität. Sie können, dank ihrem enormen Porenvolumen bis zur 30-fachen Wassermenge ihres Trockengewichts speichern. Intakte Hochmoore wölben sich daher oft mehrere Meter über den Umgebungsuntergrund auf und bilden eine Art Schwämme, die das Regenwasser aufsaugen und speichern können. Mit dieser Eigenschaft tragen die Hochmoore wesentlich zur Abflussregulierung bei, indem sie den direkten Oberflächenabfluss heftiger Niederschlagsereignisse dämpfen (Baumgartner, 2002).

Das hochmoortypische Mikrorelief ist geprägt von Bulten und Schlenken. Die Bulten stellen Torfhügel dar, die sich >20 cm über die Mooroberfläche wölben. Sie können eine Fläche von mehreren Quadratmetern bedecken. Die Grösse und Höhe der Bulthügel sind von der hydrologischen Situation, dem Klima sowie von

¹ Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe, BAFU.

² Durchschnittswerte von fünf NABEL-Stationen aus dem Jahr 2001: Dübendorf, Magadino, Payerne, Chaumont und Rigi.

³ Eigene Messung, Okt. 2008.

der Vegetation abhängig, da diese drei Faktoren den Humifizierungsgrad massgebend beeinflussen und somit die Regelmässigkeit des Mooswachstums und der Torfakkumulation bestimmen (Casparie, 1969). Auf den Bulten wachsen mässig austrocknungstolerante Pflanzen wie zum Beispiel das streifblättrige Frauenhaarmoos (*Polytrichum commune*), die Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*), die Moosbeere (*Vaccinium macrocarpon*), der rundblättrige Sonnentau (*Drosera rotundifolia*), das scheidige Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) und *Sphagnum fuscum*, *S.-russowii* und *S.-rubellum*. Als Schlenken bezeichnet man die Mulden zwischen den Bulten, sie weisen dieselbe Grösse auf wie letztere. Schlenken sind beinahe dauerhaft wassergesättigt. In den Schlenken ist typischerweise die Blumenbinse (*Scheuchzeria palustris*), die Schlammsäge (*Carex limosa*) und die Sphagnen *cuspidatum*, *-recurvum* und *-subsecundum* zu finden. Am Fuss der Bulten, in der intermediären Zone, ist das *Sphagnum magellanicum*, *-palustre*, *-apillosum*, *-subnitens* und *-tenellum* angesiedelt. Das Pflanzenwachstum findet hauptsächlich auf oder am Fuss der Bulten statt. Nebst den Bulten und Schlenken kommen auch offene Wasserstellen vor, welche als Mooraugen, Blänke oder Kolk bezeichnet werden (Grünig et al., 1986).

Der Torfkörper von Hochmooren ist unterteilt in einen oberflächennahen Horizont, das Akrotelm (bis 20–50 cm) und das tiefer gelegene Katotelm. Das Akrotelm besteht aus der lebenden Moosvegetation und dem kürzlich abgestorbenen, wenig oder noch nicht zersetzten Pflanzenmaterial. Die Lagerungsdichte des Akrotelm ist dementsprechend gering. Der Wasserspiegel im Akrotelm ist saisonal variabel; während trockenen Perioden herrschen im Akrotelm und besonders in den gewölbten Bulten aerobe Bedingungen. Dadurch laufen im Akrotelm die Abbauprozesse viel schneller ab, als im Katotelm. Von der produzierten Biomasse werden 80–95 % im Akrotelm abgebaut. Die übrigen 5–20 % gelangen ins Katotelm (Minkkinen et al., 2008). Daraus entsteht das kompakte, angereicherte organische Sediment, der Torf. Das Katotelm ist in einem intakten Moor permanent wassergesättigt. Oft wird das Akrotelm als die aktive und das Katotelm als die inaktive Schicht bezeichnet.

Torf enthält per Definition > 30 % organische Substanz (Scheffer / Schachtschabel, 2008). Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Torfs werden von der dominierenden Vegetation des Moores bestimmt. Als Moor gilt eine Anreicherung von Torf mit einer Mächtigkeit von mindestens 40 cm (Bodenklassifikation der Schweiz, www.geo.unizh.ch).

1.3 Torfakkumulation

Der Torf von Hochmooren bildet sich aus dem abgestorbenen Pflanzenmaterial der Hochmoorvegetation. Weist das Moor beispielsweise einen hohen Anteil an Seggen (*Carex*) auf, ist der Torf faserig und besitzt eine eher helle Farbe. Sphagnummoore bestehen aus kompaktem, dunklem Sphagnumtorf.

Die einzelnen Moospflanzen wachsen an der Spitze, während sie am unteren Ende laufend absterben; eine Pflanze ist somit nie länger als einige Zentimeter. Während leicht abbaubare Stoffe wie Cellulose und Stärke nach dem Absterben der Pflanze noch im Akrotelm zersetzt werden und CO₂ freisetzen, wird der schwer zersetzbare Anteil organischen Materials, wie zum Beispiel Lignin im Katotelm angereichert. Nach Freeman, Ostle und Kang (2004) darf die Konservierungskapazität im anaeroben Milieu nicht nur der Abwesenheit von Sauerstoff, dem tiefen pH, den tiefen Temperaturen oder dem Mangel an Nährstoffen für die mineralisierenden Bakterien zugeschrieben werden. Denn auch im anaeroben Milieu, wie zum Beispiel in einer Kläranlage, finden viele Abbauprozesse statt. Durch Sauerstoffmangel wird einzig das Enzym Phenoloxidase gehemmt. Phenoloxidase ist für den Abbau von phenolischen Verbindungen, die Hauptbausteine von Huminbildnern wie zum Beispiel Lignin, verantwortlich. Die Aktivität dieses Enzyms ist abhängig von Sauerstoff. Ist dieser nicht vorhanden, können sich phenolische Verbindungen anreichern. Die Aktivität von Hydrolase wiederum wird durch eine Anreicherung von phenolischen Verbindungen stark gehemmt. Nebst dem Sauerstoff, beeinflusst auch die Temperatur die Aktivität der Phenoloxidase und indirekt der restlichen Enzyme; bei erhöhter Temperatur nimmt die Aktivität der Enzyme stetig zu (Freeman, Evans, Monteith, 2001).

Die Anreicherung und Konservierung von organischem Material ist demzufolge vor allem auf die durch Sauerstoffmangel hervorgerufene Unterbindung eines einzigen Enzyms zurückzuführen, welches durch seine fehlende Abbauwirkung die Aktivität weiterer Enzyme beeinträchtigt. Der anaerobe Abbau wird stark gehemmt, jedoch nicht gänzlich unterbunden. Der Torf in tieferen Lagen ist stärker zersetzt als in oberflächennahen. Die langsam ablaufende anaerobe Zersetzung emittiert unter anderem Kohlenstoff in Form von CH₄ (siehe Kap. 1.4.3).

Dank der Kohlenstoffanreicherung, die mit der Torfbildung einhergeht, können Moore zu den wichtigen Kohlenstoffsenken auf einer Zeitskala von > 10'000 Jahren gezählt werden. In der Schweiz beträgt das Torfwachstum ca. 1 mm/a.

1.4 Moore als Komponente im Kohlenstoffkreislauf

1.4.1 Kohlenstoffspeicher

Zu den grossen Kohlenstoffspeichern gehören die Ozeane (38'000 Gt C), die Biosphäre (730 Gt C), der Boden (1'500 Gt C) und die Atmosphäre (750 Gt C) (IPCC, 2007). Zwischen diesen Speichern findet ein permanenter Austausch statt, welcher, unter natürlichen Bedingungen, annähernd im Gleichgewicht liegt.

Im Boden (0–100 cm) des Festlandes werden ca. 1500 Gt Kohlenstoff gespeichert. Obwohl die Fläche der Moore an der gesamten Landoberfläche nur 5 % (ca. 500 Mio ha) ausmacht, werden weltweit 28 % des gesamten Bodenkohlenstoffs in Mooren gespeichert, was 60 % des atmosphärischen Kohlenstoffs gleichkommt. Dies entspricht 455 Gt Kohlenstoff (Clymo et al., 1998).

Intakte Moore der gemässigten bis kalten Zone weisen ein Sequestrationspotential von $0.45 (\pm 0.2) \text{ t C / (ha a)}$. In der Schweiz ergibt dies eine jährliche C-Bindung von $9 (\pm 4) \times 10^3 \text{ t C / a}$ (Leifeld et al., 2003).

Der im Torf angereicherte Kohlenstoff ist für Jahrtausende dem C-Kreislauf entzogen. Findet ein Inkohlungsprozess⁴ statt, so bleibt der Kohlenstoff sogar über Jahrmillionen gespeichert.

1.4.2 Kohlenstoffquelle

Moore sind sehr sensible Ökosysteme und reagieren schnell auf externe Einflüsse (Alm et. al, 2001. In: Vasiliev, 2001). Der stattfindende Klimawandel wirkt sich stark auf die C-Akkumulation aus. Die saisonale Änderung von Temperatur und Niederschlag verändert das Torfwachstum; längere Warm- und Trockenperioden im Sommer erhöhen die Evapotranspiration, was den Grundwasserspiegel temporär sinken lässt. Dadurch beschleunigt sich die Zersetzungsrate des Torfs und der CO₂-Ausstoss erhöht sich. Das Sequestrationspotential von Mooren nimmt ab.

Nebst Klima- und Temperaturänderungen müssen hier auch direkt anthropogene Eingriffe in Moorlandschaften erwähnt werden. Um ein Moor landwirtschaftlich nutzbar zu machen ist eine Drainage unumgänglich. Diese hat massive Auswirkungen auf die C-Akkumulationskapazität eines Moores. Wird ein Moor entwässert, spricht man von einem Sekundärmoor. Der Torf des Primärmoores mit über 90 % Wassergehalt verliert an Volumen und verdichtet sich; der Prozess der Torfsackung setzt sofort nach der Entwässerung ein. Die Lagerungsdichte und der Aschegehalt des entwässerten Bodens nehmen zu. Durch die Durchlüftung des Bodens und den Abbau der organischen Substanz, steigt die Bodentemperatur an. Das Milieu verändert sich und erlaubt ein breiteres Pflanzenwachstum.

⁴ Umwandlung von Torf in Kohle.

Durch die Störung des anaeroben Milieus eines Primärmoores setzt die Oxidation der organischen Substanz ein. Das Enzym Phenoloxidase wird nicht mehr gehemmt und baut die phenolischen Verbindungen ab. Dieser Abbau beschleunigt die Aktivität der Hydrolase, was die Zersetzung verstärkt vorantreibt. 60–70 % des Moorschwundes wird der Oxidation des organischen Materials angerechnet (Presler, Gysi, 1989/Eggelsmann, 1976). Sobald ein Moor drainiert wird, kehrt sich der Netto-CO₂-Fluss um. Die CO₂-Senke wird zur CO₂-Quelle. Die Oxidation des organischen Materials kann anhand der Respirationsgleichung beschrieben werden:



Die Oxidationsrate hängt stark von Niederschlags-, Temperatur- und Nutzungsfaktoren ab. Der Torf wird in Gebieten mit negativer Wasserbilanz (Niederschlag ≤ Evapotranspiration) schneller zersetzt als in niederschlagsreichen. Lange Winter und tiefe Temperaturen verlangsamen die Torfmineralisierung. Zudem beeinflusst die Entwässerungstiefe die von der Oxidation betroffenen Torfschichten (siehe Abb. 1).

Die jährlichen globalen CO₂-Emissionen von entwässerten Moorgebieten werden auf 182–272 Millionen t geschätzt (Immirzi et al., 2001), dies entspricht 0.05–0.07 Gt C/a (bei einer globalen CO₂-Gesamtemission von rund 4 Gt C/a (IPCC, 2007)). Je nach Nutzung und Breitengrad der Moorgebiete können die Emissionsraten jedoch stark variieren.

Die Drainage eines Moores löst nicht nur CO₂-Emissionen aus, sondern vernichtet gleichzeitig auch eine CO₂-Senke. In einer Bilanzrechnung muss demzufolge die verlorene Sequestrationskapazität den Emissionswerten zusätzlich angerechnet werden.

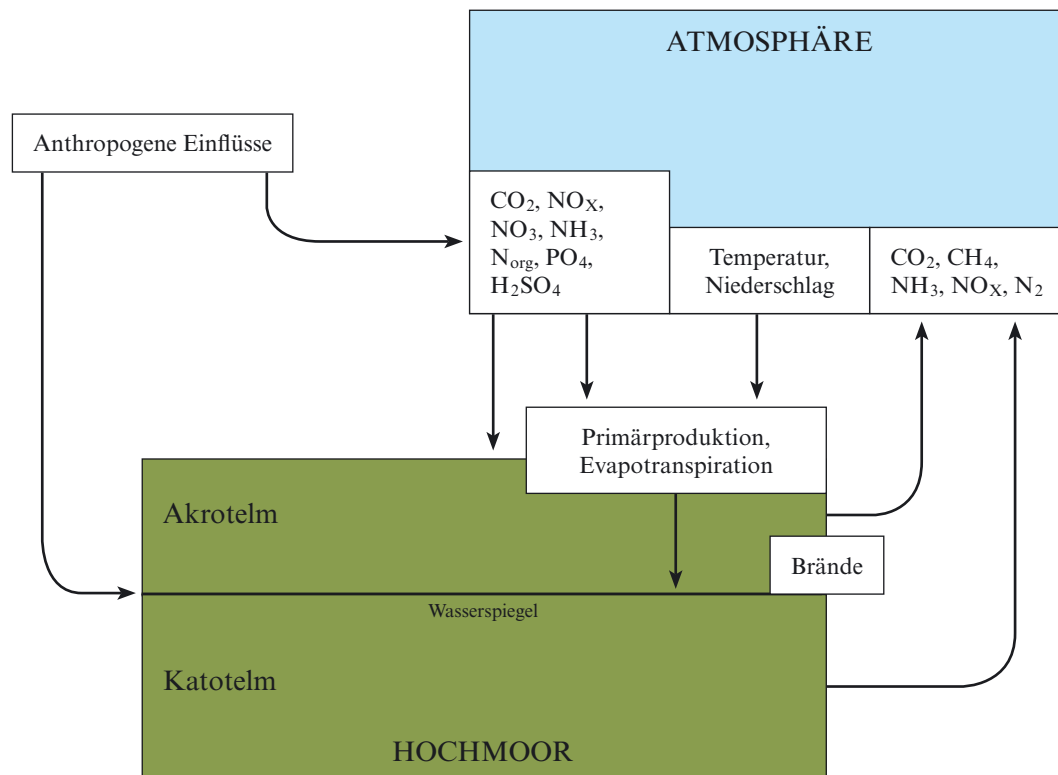


Abb. 1: Einflussfaktoren und Auswirkungen auf Gasflüsse in einem Hochmoor

Quelle: nach Alm et al., 2001; Furrer und Stauffer, 1986

1.4.3 Methanflüsse

Ein intaktes Moor emittiert CH_4 , welches bei der Zersetzung von organischem Material unter anaeroben Bedingungen zustande kommt (siehe Abb. 2). CH_4 ist, trotz der geringeren Konzentration von 1774 ppb (parts per billion) in der Atmosphäre, ein wichtiges Treibhausgas, da sein global warming potential (GWP) um einen Faktor 25 grösser ist als dasjenige von CO_2 (atmosphärische Konzentration von 379 ppm (IPCC, 2007)). Unter diesen Bedingungen kann von einem «Treibhausgas negativen» Moor gesprochen werden, falls die C-Akkumulationsrate die CH_4 -Emission um einen Faktor > 25 übertrifft. Der Zeitpunkt, an dem die klimarelevanten Gasemissionen in CO_2 -Äquivalenten eines im Gleichgewicht befindlichen, diejenigen eines anthropogen gestörten Moores gleicher Beschaffenheit übersteigen, liegt je nach Ausgangslage und Berechnungsmethode zwischen 1000–2000 Jahren (Immirzi et al., 1992). Da Methanflüsse je nach Feuchtegebietstyp, Moorvegetation und Klimaverhältnissen stark variieren, sind allgemeine Aussagen jedoch mit grossen Unsicherheiten behaftet.

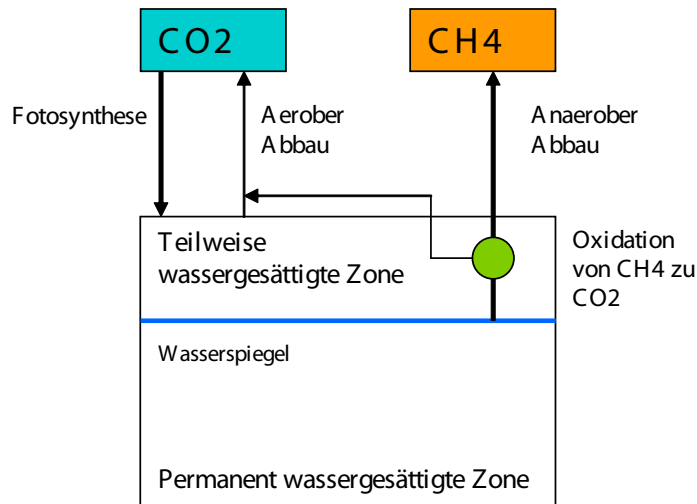


Abb. 2: Gasflüsse in einem intakten Moor: Im Akrotelm können bis zu 90 % des im Katotelm gebildeten Methans wieder abgebaut werden. Die tatsächliche Methanemission hängt demzufolge auch von dem aktuellen Wasserstand ab.

Quelle: eigene Darstellung

Da in der Schweiz wenige Daten über Methanflüsse aus Feuchtgebieten vorhanden sind, müssen zur Abschätzung der CH_4 -Emission aus Schweizer Mooren Daten aus dem Ausland beigezogen werden. A. Grünig (1996) stützt sich bei seiner Schätzung auf Daten aus Schweden (Svensson et al., 1991, In: Grünig, 1996), wonach 1 m^2 128 g CH_4 pro Jahr ausstösst. Übertragen auf die Schweiz, gerechnet mit einer Vegetationsperiode von 150 Tagen – da 75 % der Moorfläche auf über 1000 m. ü. M. liegt – ergibt dies einen Emissionswert von $<0.3 \text{ t CH}_4$ pro Hektar und Jahr.

1.4.4 Wiedervernässung

Das Ziel einer Wiedervernässung als Regenerationsmethode besteht zum einen darin, die Hochmoorvegetation in ihren natürlichen Zustand zurück zu führen und zu erhalten. Zum andern soll sich erneut eine wachsende Torfmoosgesellschaft bilden, welche zur Torfakkumulation beiträgt. Zudem soll die hydrologische Funktion des Moores als Wasserspeicher in der Landschaft wiederhergestellt werden.

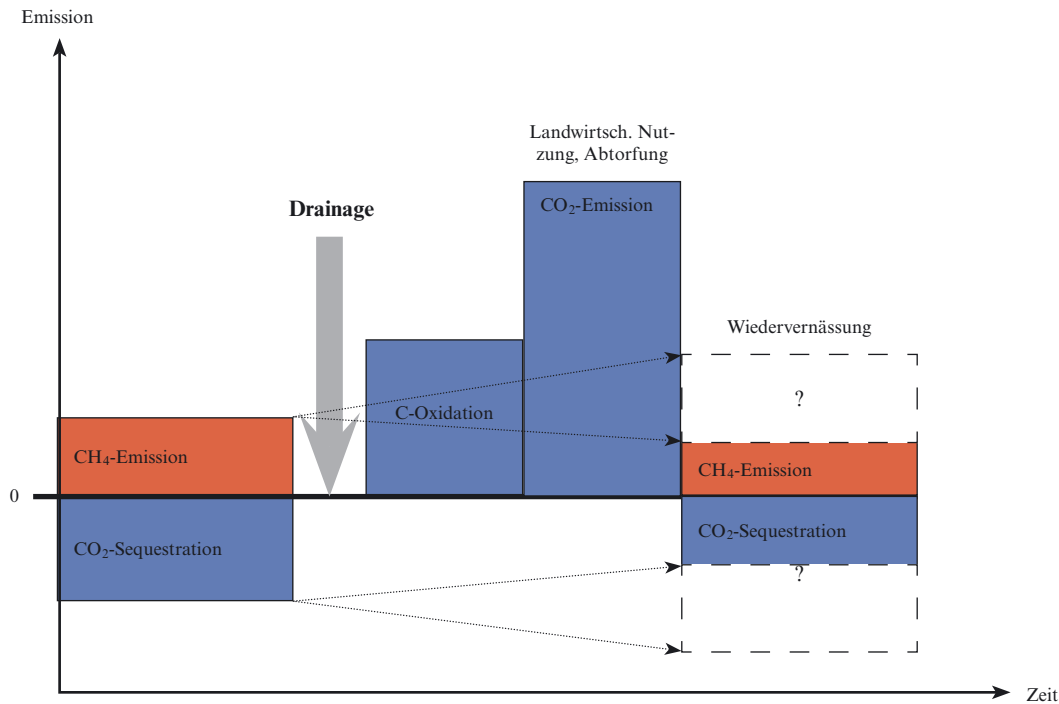


Abb. 3: Schematische Darstellung von Treibhausgasflüssen während verschiedenen Nutzungsstadien eines Moores

Quelle: Nach Holmgren et al., 2008

Dazu müssen folgende Massnahmen getroffen werden:

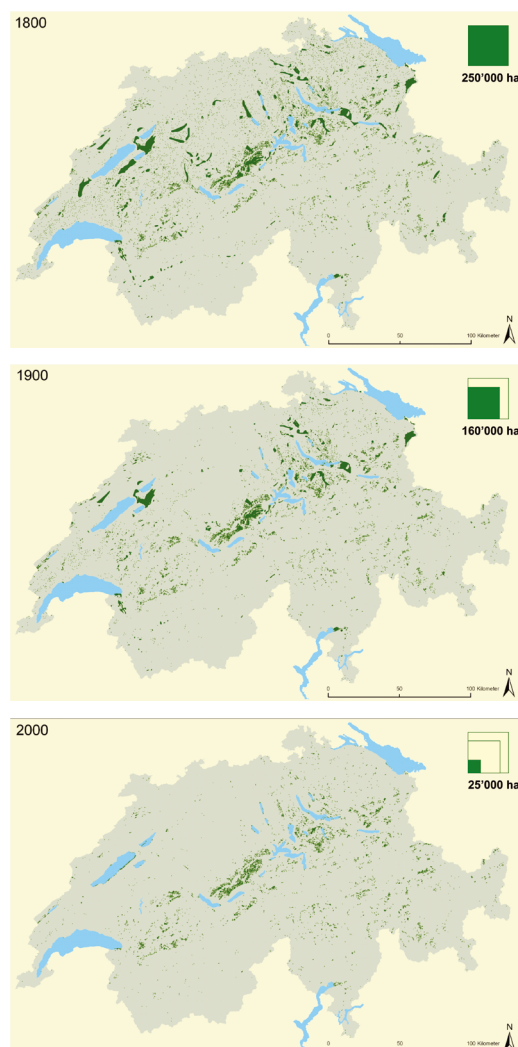
Die hydrologischen Verhältnisse müssen zu Gunsten der Hochmoorvegetation verbessert werden; der Wasserspiegel muss schrittweise erhöht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei einem raschen Anstieg des Wasserspiegels die Gefahr von Eutrophierung besteht. Die Sphagnen dürfen nicht überspült werden, deshalb muss der Wasserspiegel langsam, 2–3 cm pro Jahr, angehoben werden. Zur Regulierung müssen die natürlichen Abflüsse mit Wehren geschlossen werden.

Einige Flächen müssen entbuscht, entwaldet oder wenigstens aufgelichtet werden. Das eingewanderte Pfeifengras sollte einmal im Jahr geschnitten werden. Die Massnahmen sind ohne schweren Maschineneinsatz durchzuführen. Zur Kontrolle der Grundwasserstände müssen an verschiedenen Orten Pegelrohre installiert werden (Lüönd und Göttlich, 1982).

1.5 Hochmoore der Schweiz

Über die Hälfte aller Schweizer Hochmoore befindet sich in den nördlichen Voralpen. Der hohe Jahresniederschlag und die gehemmte Infiltration des schlecht durchlässigen Flyschuntergrunds ermöglichten ein schnelles Torfwachstum. Eine weitere Konzentration von Hochmooren ist im Jura zu finden. Schweizer Hochmoore sind mit einer Durchschnittsgrösse von drei Hektaren sehr klein, verglichen mit Hochmooren in Nordeuropa (Grünig, 1994).

Von den ursprünglich über 10'000 ha Hochmoorfläche in der Schweiz sind heute noch 15 % vorhanden und unter nationalen Schutz gestellt. Dies betrifft eine Fläche von 0.04 % der Landesfläche der Schweiz, oder 1'500 ha. Von diesen 1'500 ha Hochmoorfläche befindet sich jedoch nur ein Drittel in einem Primärzustand. Die restlichen 1'000 ha wurden entwässert (Grünig, 1994).



In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde begonnen die Schweizer (Hoch-) Moore zur Torfgewinnung systematisch abzubauen. Für die dicht besiedelten Gebiete des Mittellandes bot die Brenntorfnutzung eine Möglichkeit, die stark übernutzten Wälder zu schonen. In der Zeit der Gewässerkorrekturen im 19. Jahrhundert wurden die grossen Flachmoore im Mittelland trockengelegt. Die gewonnenen Flächen wurden nebst den Torfabbaufächen als Weideland und Anbauflächen genutzt. Die beiden Weltkriege stellten zwei weitere Höhepunkte in der Geschichte der Moorentwässerung dar. Während in den Jahren 1917–1920 die Schweizerische Torfgesellschaft (S. T. G.) die Torfindustrie in der Schweiz ankurbelte, sorgte der Plan Wahlen («Anbauschlacht») zwischen 1941–1947 für die Entwässerung zahlreicher Feuchtgebiete. Im Laufe der letzten zwei Jahrhunderten verschwanden

Abb. 4: Moorentwicklung in der Schweiz seit 1800

Quelle: Grünig, 2007

90 % der Hochmoore aufgrund von Entwässerung, Abtorfung, Forstwirtschaft, intensiver Landwirtschaft und Düngereintrag aus der Luft (siehe Abb. 4).

Dank der angenommenen Rothenthurminitiative im Jahr 1987 wurde 1991 eine erste Verordnung zum Schutz der Hoch- und Übergangsmoore erlassen. 549 Hoch- und Übergangsmoore wurden bis heute als «Moorlandschaft von nationaler Bedeutung» klassifiziert und unter Schutz gestellt. Der Vollzug der Schutzmassnahmen untersteht den Kantonen. Häufig ist eine extensive landwirtschaftliche Nutzung der sekundären Hochmoore nötig, um das trocken gelegte Gelände nicht verbuschen zu lassen. Viele drainierte Hochmoore werden heutzutage zur Streugewinnung genutzt und einmal jährlich geschnitten (Graf et al., 2007).

1.6 Messmethoden des Kohlenstoffflusses aus Hochmoorböden

Oft werden Abschätzungen zum Kohlenstoffverlust aus Mooren anhand der beobachteten Torfsackung angestellt. Dieses Abschätzverfahren setzt genaue Beobachtungsaufzeichnungen über die Torfmächtigkeit vor, während und nach der Entwässerung voraus. Die Methode ist angewiesen auf möglichst detaillierte Messreihen. Die Sackungsrate ist stark abhängig von der Torfart, der Zersetzungsrate, der Lagerungsdichte und der Torfmächtigkeit (Oleszczuk, 2008). Da es sehr schwer ist, festzustellen, ob der Torfschwund durch Sackung oder aerobe Zersetzung zustande kommt (Schils et al., 2008), ist diese Methode nur zur groben Abschätzung geeignet. Es wird von prozentualen Anteilen zwischen 60–70 % der Gesamtsackung ausgegangen, welche durch oxidative Abbauprozesse zustande kommen (Eggelsmann, 1967). Die restlichen 30–40 % des Torfschwundes müssen unterteilt werden in 1) die schnell ablaufende Torfsackung unweigerlich nach der Entwässerung und 2) die langsame konstante Torfabenkung, welche sich über Jahre hinweg zieht (Presler und Gysi, 1989).

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung von Kohlenstoffverlust besteht darin, den aktuellen Gasfluss an der Bodenoberfläche zu messen. Mittels einer Massenbilanz zwischen den Inputs, d.h. der Photosynthese und den Outputs, d.h. der gemessenen Respiration und des Kohlenstoffs, der durch die Ernte entzogen wird, kann die tatsächliche Emission berechnet werden (Grønlund et al., 2008). Golovatskaya et al. (2001) wendete zur CO₂-Fluss-Messung eine Absorptionsmethode an der Bodenoberfläche an. Dabei reagiert die gesamte aus dem Boden austretende Gasmenge unter hohem Druck mit einem chemischen Absorptionsmittel. Wird der Druck anschliessend wieder gesenkt, trennt sich das Kohlendioxid von der

Chemikalie und kann isoliert gemessen werden. Vasiliev et al. (2001) analysierte den aktuellen CO₂-Fluss mittels eines an der Bodenoberfläche installierten Chromatographen. Verschiedentlich wurden auch direkte CO₂-Flussmessungen mit der Eddy-Kovarianz Technik (EC) durchgeführt (Lohila et al., 2004). Diese Methode, welche mit Infrarotstrahlung operiert, bedarf einer hoch spezialisierten Ausrüstung. Experimente stellen eine weitere Möglichkeit dar, den Kohlenstoffverlust aus entwässertem Torf abzuschätzen. Crow und Wieder führten 2001 in den USA entsprechende Experimente durch, in denen sie gesammelte Torfbohrkerne im Labor verschiedenen externen Bedingungen aussetzten und die entsprechenden Emissionsraten der Bohrkern, stellvertretend für das ganze Moor, im Labor festhielten.

Solche Gasflussmessungen liefern genaue Ergebnisse zur Abschätzung des Kohlenstoffverlustes, bergen aber auch den grössten sowohl zeitlichen als auch finanziellen Aufwand in sich. Diese Methoden benötigen alle eine regelmässige Messreihe über eine längere Zeitperiode hinweg, um ein repräsentatives Resultat zu erzielen, welches sowohl die Saisonalität als auch jährliche Veränderungen berücksichtigt. Zudem ist es sehr schwierig, die autotrophe Wurzelatmung von der heterotrophen Atmung der Torfzersetzer zu unterscheiden (Vasiliev et al., 2001). Eine Fehlzuordnung des Gasursprungs kann zu bedeutenden Fehlern in der Abschätzung des Kohlenstoffflusses führen.

Die Methode des Glühverlustes, welche anhand des Aschegehalts den Kohlenstoffverlust berechnet, operiert im Gegensatz zu den oben erwähnten Methoden nicht mit Messreihen. Die Archivfunktion des Torfs wird genutzt, um anhand eines einzelnen Bohrkerns von 2 Metern Tiefe die Information über bis >3'000 Jahre (Shotyk, 1998) der Hochmoorgeschichte zu erfahren. Die Zeitreihe wird so zu sagen einer einzelnen Probe entnommen, dies verringert den zeitlichen Aufwand um ein Vielfaches. Die gewonnene Kapazität kann dazu genutzt werden, die Probemenge zu erhöhen. Eine grössere Anzahl Wiederholungsmessungen führt zu einer höheren Plausibilität des Resultats.

1.7 Zielsetzung und Fragestellung

Mit der Ratifizierung des Koytoprotokolls im Juli 2003 verpflichtet sich die Schweiz, ihren CO₂-Ausstoss bis ins Jahr 2012 um 8 % unter das Niveau von 1990 zu senken. Zur Überwachung der Treibhausgase (THG) in der Atmosphäre wird jährlich ein nationales Treibhausgasinventar erstellt, welches den Verlauf der relevanten THG dokumentiert. Darin werden auch die Böden als potentielle Kohlenstoffspeicher oder -senken berücksichtigt (National Inventory Report of Switzerland, 2008). Aber obwohl landwirtschaftlich genutzte organische Böden darin eine wichtige Rolle spielen, basieren die Berechnungen, welche ins Klimagasinventar einfliessen, auf nur wenigen Messungen (Leifeld, 2003).

Die Datengrundlage zum Kohlenstofffluss in entwässerten Schweizer Hochmooren fällt ebenfalls sehr spärlich aus. Zur Abschätzung von jährlichen Kohlenstoffverlusten werden häufig Daten von Messungen aus dem Ausland beigezogen. Diese Arbeit soll dazu beitragen, die Datengrundlage zu verbessern, sie zu aktualisieren und den lokalen Gegebenheiten anzupassen. Hochmoore werden unter dem Aspekt der globalen Erwärmung zunehmende Wichtigkeit im Beitrag des CO₂-Eintrags in die Atmosphäre erlangen (Ise et al., 2008). Hinter der Verbesserung der Datengrundlage zum Kohlenstoffverlust aus Schweizer Hochmooren steht deshalb das langfristige Ziel, Hochmoore im Klimagasinventar der Schweiz als Kohlenstoffquellen bzw. -senken differenzierter berücksichtigen zu können.

Das Thema dieser Masterarbeit wurde 2008 von der Gruppe Lufthygiene-Klima an der Forschungsanstalt Reckenholz ausgeschrieben. Die Arbeit verfolgt zwei Ziele: Das erste Ziel ist inhaltlichen Charakters und besteht darin die CO₂-Emission aus Schweizer Hochmooren abzuschätzen. Zweitens verfolgt die Arbeit ein methodisches Ziel, indem die angewandte Methode des Glühverlustes zur Abschätzung des Kohlenstoffverlustes validiert werden soll. Da zu den meisten der gewählten Untersuchungsgebiete keine vorangehenden Messresultate vorliegen, kann auf keine Zeitreihenmessung zurückgegriffen werden. Die integrative Methode des Glühverlusts scheint daher sehr geeignet zu sein, da zudem eine gewisse Anzahl an Wiederholungsmessungen pro Standort durchgeführt werden kann. Die finanziell unaufwendige Methode soll auf ihre Güte überprüft werden, um weiteren Untersuchungen eine Möglichkeit zur Verfügung zu stellen, mit wenigen Mitteln plausible Werte zu generieren. Damit liesse sich die Datengrundlage in der Schweiz weiter verdichten.

2003–2005 wurde auf der Seebodenalp von Nele Rogier ein Projekt zur Abschätzung der jährlichen CO₂-Emission aus Schweizer Hochmooren durchgeführt (Rogier, 2008). Dabei wurde, unter anderem, ebenfalls mit der Methode des Glühverlusts gearbeitet. Das Untersuchungsgebiet von Rogier liegt in einer ähnlichen klimatischen und topografischen Umgebung, wie das dieser Masterarbeit. Die gewählte Messmethode und Analyse dieser Arbeit stützt sich auf diejenige von Nele Rogiers Dissertation (2005); die Resultate sollten dank diesen Begebenheiten gut vergleichbar sein. Unterschiede in der Methode und der Datenanalyse werden diskutiert (siehe Kap. 5.3.1).

Aus der oben dargelegten Zielsetzung ergeben sich für diese Arbeit folgende Fragestellungen:

Inhaltlich:

Wie hoch ist die jährliche CO₂-Emission pro Quadratmeter eines entwässerten Hochmoors in der Schweiz?

Wie wirkt sich eine Wiedervernässung eines entwässerten Hochmoors auf den CO₂-Fluss und das Torfwachstum aus?

Verhalten sich bewaldete entwässerte Hochmoore anders als offene Standorte?

Methodisch:

Ist die Glühverlustmethode geeignet zur Abschätzung des Kohlenstoffverlusts aus Hochmooren?

2 Untersuchungsgebiete

Die Auswahl der Standorte erfolgte mit der Hilfe von A. Grünig. Es wurde nach entwässerten Hochmooren mit einer Torfmächtigkeit von > 2 m gesucht. Wichtig dabei war, dass das Hochmoor seit der Entwässerung nicht abgetorft wurde. Das Moor soll, ausser der Entwässerung und extensiver landwirtschaftlicher Nutzung, keinem anthropogenen Eingriff ausgesetzt gewesen sein, da ansonsten die getroffenen Annahmen dieser Arbeit nicht gegeben wären.

Das Eigenried am Zugerberg und das Ägerried bei Rothenthurm, beide im Kanton Zug, entsprechen diesen Anforderungen. Zum Vergleich wurde ausserdem ein wiedervernässtes Hochmoor in die Untersuchung miteinbezogen. Dazu wurde das Hagenmoos bei Kappel am Albis im Kanton Zürich gewählt, welches seit 1982 wiedervernässt wird. Als Referenzstandort wurde der Etang de la Gruère im Kanton Jura gewählt, welcher als eines der wenigen ungestörten Hochmoore in der Schweiz gilt. Zur Beprobung der Moore wurden bei den zuständigen Naturschutzämtern die Bewilligung eingeholt.

2.1 Das Eigenried

Kanton Zug ($382^{\circ} 730' - 383^{\circ} 300' / 220^{\circ} 400' - 218^{\circ} 600'$)

Kartenmaterial siehe Anhang, Abbildungen 1, 12, 17, 20–21

Das Eigenried liegt südöstlich von Zug auf dem Zugerberg auf 990 m.ü.M. Es erstreckt sich über eine Fläche von 25 ha und besitzt stellenweise Torfkörper von > 3.5 m Mächtigkeit. Seit der Rothenturminitiative 1987 ist das Eigenried als «Hochmoor von nationaler Bedeutung» klassifiziert und steht unter Naturschutz.

2.1.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung

Die Moore auf dem Zugerberg entstanden auf der Grundmoräne des Reussgletschers. Die Pollenanalysen, von Werner Lüdi im Jahr 1928 auf dem «hinteren Geisboden» vorgenommen, belegen, dank einem Pinuspollen-Peak in drei Meter Tiefe, dass das Eigenried bereits zur «Föhrenzeit»⁵ bestanden haben muss (Lüdi, 1939). Sein Ursprung ist demzufolge kurz nach dem Gletscherrückzug der letzten Eiszeit anzusiedeln. Dank den günstigen Bedingungen für das Torfwachstum, bildete sich auf dem Flachmoor allmählich ein gewölbtes Hochmoor. Die Siegfriedkarte⁶ aus dem Jahr 1897 bildet das Eigenried («Eichenried») als homogene Moorfläche ab, mit einem natürlichen Bach in der Mitte der Fläche, welcher das Moor in Richtung Osten entwässert (siehe Anhang, Abbildung 12).

⁵ Postglaziales Zeitalter 10'000–9'000 B. P.

⁶ Topographischer Atlas der Schweiz (1870–1949); Mittelland, Jura und Südtesseen im Massstab 1:25'000 und die Alpen im Massstab 1:50'000.

Walter Höhn vermerkte bei seiner ersten Begehung des Eigenrieds im Jahr 1916, «noch nie ein so ursprüngliches, von der Kultur wenig berührtes Hochmoor geschaut» zu haben. Nur das Mähen mit der Sense hätte bewirkt, dass sich vom Rande her Kleinseggen- und Wollgrasbestände unter die Hochmoorvegetation mischten. Seit 1890 wurde der südliche Teil des Moores in kleinem Masse für den privaten Torfgebrauch genutzt, die Hydrologie des gesamten Moores wurde dadurch aber vernachlässigbar wenig gestört.

Im Sommer 1919 wurde mit der grossflächigen Entwässerung begonnen. Eine drei Kilometer lange Seilbahn wurde erbaut, welche den Torf vom Eigenried zum Bahnhof Walchwil transportierte (Probst, E., 1923). Später wurden Schienen verlegt, worauf der Torf in Karren fortgebracht wurde. Auf der Moorfläche von 25 ha sind nur wenige Stellen übrig, welche nicht abgetorft wurden.

2.1.2 Topografie, Klima und Vegetation

Der Zugerberg ist von südost-nordwest ausgerichteten langen Seitenmoränen und kurzen senkrecht dazu verlaufenden Endmoränen geprägt. So entstanden drei aufeinanderfolgende, durch die Endmoränen getrennte Moore: 1. der Geissboden, 2. der Schaftboden und 3. das Eigenried (früher auch «Eichenried»). Das Eigenried liegt in einer leichten Hanglage; es ist in einen höher gelegenen Teil im Nordwesten und einen tiefer gelegenen Teil im Südosten aufgeteilt. Durch die massive Abtorfung ist dies jedoch nicht mehr deutlich ersichtlich. Am nordöstlichen Ende wird das Moor durch einen leicht ansteigenden Rottannenwald abgelöst.

Die Drainagegräben verlaufen in Südwest-Nordost-Richtung. Die Gräben wurden mit einem Abstand von ungefähr 20 Metern angelegt. Diese parallel verlaufenden Drainagegräben münden in einen der Hauptentwässerungsgräben von einer Tiefe > 3.5 m, welcher im südöstlichsten Teil das Moor verlässt. Heute wird das Eigenried einmal im Jahr zur Streugewinnung geschnitten, dies bewahrt die geschützte Landschaft vor Verbuschung.

Das vorherrschende Klima ist sehr niederschlagsreich und die Durchschnittstemperaturen liegen vergleichsweise tief:

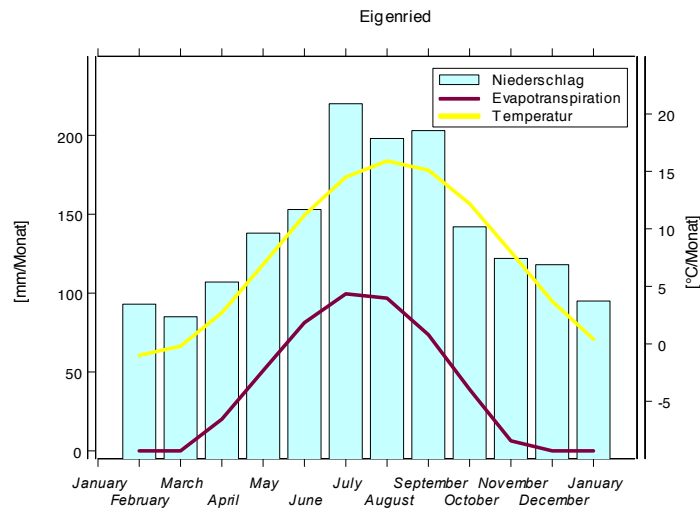
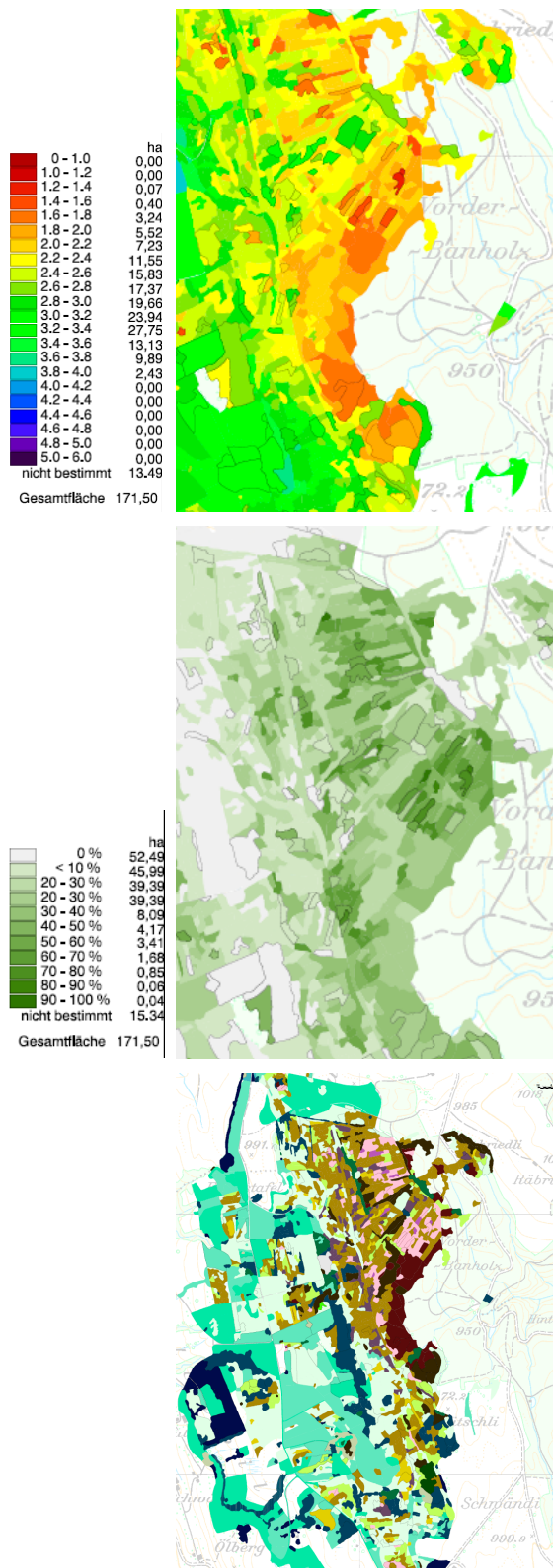


Abb. 5: Klimadiagramm Eigenried: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)

Quelle: Niederschlagsdaten: Schwarb, M., 2001, 2002 | Temperatur und Strahlungsbilanz: Z'graggen, L., 2001, 2002

Mit einem langjährigen Jahresmittel von 1664 mm Niederschlag und 369 mm Evapotranspiration ist die Wasserbilanz am Zugerberg positiv. Die durchschnittlichen Niederschlagsmaxima liegen im Juni (220 mm), der niederschlagsärmste Monat ist der Februar mit 85 mm. Auch die Evapotranspiration erreicht im Juni mit knapp 100 mm ihr Maximum. In den Wintermonaten November–Februar kommt die Evapotranspiration gänzlich zum Erliegen. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 7.5 °C, mit einem Maximum von 16 °C im Juli und einem Minimum von -1 °C im Januar.



Anhand der Reaktionszahl (ein quantitativer Wert für das Vorkommen von Säure- bis Basezeigerpflanzen) auf Abbildung 6a, sind die wenig beeinflussten Flächen zu erkennen. Dasselbe Bild zeigt auch die Moosdichte und die Vegetationsbeschaffenheit auf (siehe Abb. 6b und 6c); wobei rosa für eine intakte Hochmoorvegetation, beige für ein Kleinseggenried und braunrot für einen Moorwald steht.

Am nordöstlichen Rand des Eigenrieds tritt die Hochmoorvegetation noch in ihrer natürlichsten Konstellation auf, wobei sich auch dort, dank anthropogenen Störungen, zunehmend ein Kleinseggenried ansiedelt, erkennbar am Vorkommen der Braunsegge (*Carex fusca*), der Sternsegge (*Carex stellulata*), des Laubmoos (*Hypnum arcuatum*) und des Sumpfveilchens (*Viola palustris*). Die Ausbildung von Bulten und Schlenken wird durch den jährlichen Schnitt unterbunden. Es treten verschiedene Torfmoose, darunter das *Sphagnum fuscum* und das *S. magellanicum* auf. An trockeneren Stellen kommt das *S. nemoreum* und *S. palustre* vor, an nährstoffreicheren Stellen dominiert das *S. recurvum*. Als besonderer Nässezeiger wird die Alpen-Rasenbinse (*Trichophorum alpinum*) und das Rollblatt-Sichelmoos (*Drepanocladus revolvens*) gefunden. Entlang von Fusswegen, auf verdichtetem Torf wächst die Vogelmiere (*Stellaria media*), der Wegerich (*Plantago major*) und der Hohlzahn (*Galeopsis segetum*). An Randbereichen von Abtorfungsstellen ist die Sumpfsegge (*Carex acuta*) anzutreffen. Die Drainagegräben sind teilweise von Birken gesäumt, welche Pfahlwurzeln besitzen und sich deshalb auf den meist entwässerten Uferändern der Gräben am schnellsten ansiedeln können (Heitzmann, 1973).

Abb. 6: a) Reaktionszahl, b) Mooszähl, und c) Vegetationstypen im Eigenried

Quelle: www.wsl.ch/land/inventory

Im Jahr 2003 wurde von der Beratungsstelle für Moorschutz der Eidg. Forschungsanstalt WSL im Eigenried eine umfassende Vegetationsaufnahme durchgeführt (Küchler, M., 2003). Im Anhang in Tabelle 30 sind 13 Aufnahmen am nordöstlichen Rand des Eigenrieds (683° 000' – 683° 300' / 220° 000' – 220° 400') in loga-

<i>Agrostis capillaris</i> L.	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.
<i>Andromeda polifolia</i> L.	<i>Mentha aquatica</i> L.
<i>Betula pubescens</i> Ehrh. / B	<i>Molinia caerulea</i> aggr.
<i>Calliergonella cuspidata</i> (Hedw.) Loeske	<i>Polytrichum strictum</i> Brid.
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	<i>Potentilla palustris</i> (L.) Scop.
<i>Carex echinata</i> Murray	<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.
<i>Carex hostiana</i> DC.	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.
<i>Carex lasiocarpa</i> Ehrh.	<i>Sphagnum recurvum</i> P. Beauv.
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	<i>Sphagnum subsecundum</i> Nees
<i>Carex panicea</i> L.	<i>Succisa pratensis</i> Moench
<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	<i>Trichophorum cespitosum</i> (L.) Hartm.
<i>Climacium dendroides</i> (Hedw.)	

rithmischer Skala nach Bedeckungsgrad aufgeführt. Hier werden die Hauptbestände erwähnt:

Im Dossier zur Naturschutzplanung des Kantons Zug (1973) wird vermerkt, dass das Eigenried nicht mehr als ursprüngliches Mooregebiet bezeichnet werden darf. Es bestehe vorwiegend aus Riedern (Streuwiesen) und die Dominanz des Pfeifengrases (*Molinia caerulea*) sei deutlich zu erkennen (Heitzmann, 1973).

Der Torf besteht, nach Untersuchungen von Werner Lüdi (1939), bis auf 2,50 m, hauptsächlich aus *Sphagnum-Eriophorum*-Torf. Darauf folgt ein geringmächtiger Horizont von reinem *Sphagnum*-Torf, der von stark zersetztem, nicht genau bestimmbar Torf abgelöst wird. Dem mergeligen Untergrund (in 3.50 m Tiefe) liegt eine Schicht *Hypnaceum*-Torf auf.

2.2 Das Ägeriried

Kanton Zug (693° 600' – 694° 500' / 221° 320' – 219° 980')

Kartenmaterial siehe Anhang, Abbildungen 2, 5, 11, 13, 17, 20

Die Moore von Biberbrugg-Altmatt-Rothenthurm lassen sich, nach Früh und Schröter (1904), in drei Teilgebiete gliedern:

1. Das nördliche Teilgebiet südlich von Biberbrugg
2. Das Altmatt-Rothenthurmgebiet
3. Das Rothenthurm-Altmattgebiet

Das Ägeriried gehört zum 2. Teilgebiet; es liegt westlich der Landstrasse Rothenthurm-Biberbrugg am westlichen Ufer der Biber auf 900 m. ü. M. Das Ried besteht aus einem Flachmoor und einem darauf gewachsenen Hochmoor. An der beprobten Stelle, auf einem Hochmoorkörper, befanden sich 1.20 m mächtige Torfhorizonte. Die besagten Hochmoorkörper weisen heute eine Ausdehnung von ca. 20 auf 750 Meter auf. Seit der Rothenthurminitiative 1987 ist auch das Ägeriried unter Schutz gestellt.

2.2.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung

Die Moore bei Rothenthurm entstanden auf tonhaltigem Moränenschutt vom Muota-Reussgletscher. Das Tal der Biber ist geprägt durch eine Serie von Endmoränen, welche dem Killawangen-, Schlieren- und Zürich-Stadium entsprechen (Grünig, 1992). Die Tonminerale des Moränenschuttes wurde teilweise ausgeschwemmt und als fluviales Sediment entlang der Biber abgelagert. Diese, von J. Früh als Lehm bezeichneten, undurchlässigen Ablagerungen, liessen, dank der geringen Neigung des Flusslaufes von 0.3 %, vor 10'000 Jahre entlang der Biber Flachmoore entstehen. Darauf wuchsen, dank den dafür günstigen klimatischen Bedingungen, die Hochmoore.

Laut Früh und Schröter (1904) galten die Moore von Einsiedeln bis in die Mitte des XVIII Jahrhunderts als «unnütze, faule Mööser». Erst 1750 wurde dem «Durben-Kommissarius» der Stadt Zürich erlaubt, einige Probelöcher in den Torf zu stechen. Ein Jahr später wurde zwischen Einsiedeln und der Stadt Zürich der Turbentraktat geschlossen. Dieser erlaubte der Stadt Zürich die Torfförderung auf 20 Jahre hinaus. Zuerst wurden jedoch die Moore bei Einsiedeln, welche heute vom Sihsee bedeckt sind, angeschnitten. In der Altmatt wurde, gemäss A. Escher v. d. Linth (Früh und Schröter, 1904), erst in den Jahren 1794–96 mit der Entwässerung der Moore begonnen. Das Ägeriried, westlich der Kantonsgrenze, wurde jedoch reichlich später entwässert und abgetorft.

Anfangs 18. Jahrhunderts wurde die Kartoffel in die Gegend eingeführt. Im Ägerried wurden gegen Ende des 18. Jahrhunderts am westlichen Rand Kartoffeläcker angelegt. Um das Pflanzenwachstum zu ermöglichen, mussten die Äcker auf spezielle Weise entwässert werden. Das Prinzip der Moorwölbäcker wurde entwickelt; zwei tiefe Gräben seitlich der schmalen, bänderartigen Äcker entzogen dem Boden das Moorwasser, welches anschliessend in ein rechteckiges Grabensystem abgeleitet wurde (Mühlethaler, 1995). Dies erlaubte eine lokale Entwässerung der Äcker, welche die Hydrologie des gesamten Moores nicht markant zu beeinflussen vermochte.

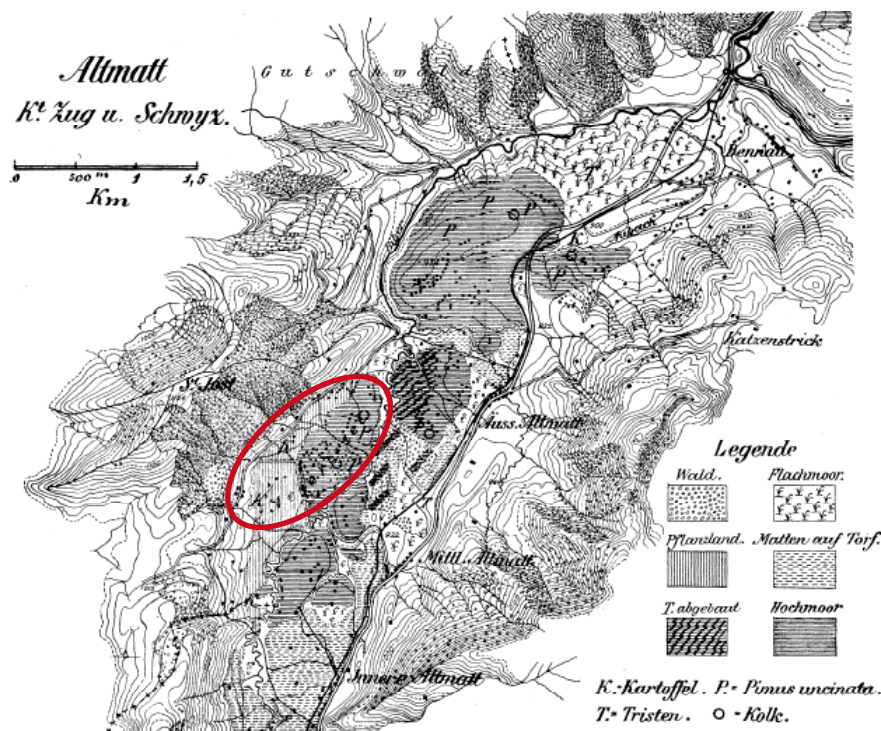


Abb. 7: Altmatt: aus Früh und Schröter, 1904: «Zustand der Moore im Juli 1894.»

Quelle: Früh und Schröter, 1904

Auf der Karte von Früh und Schröter aus dem Jahr 1894 können die verschiedenen Torfstiche lokalisiert werden (siehe Abb. 7). Während sich das Moor östlich der Biber, bei der äusseren Altmatt schon stark im Abbau befindet, sind im Ägerried erst punktuelle Torfstiche markiert. Unterhalb des Schriftzuges «Ägerried» ist das Vorkommen von *Pinus uncinata* (welche heute oft mit *pinus mugo* gleichgesetzt wird) mit zwei grossen «P»s vermerkt. Ebenfalls sind die mit «O» bezeichneten

«Kolke» (Mooraugen) eingezeichnet, was darauf hinweist, dass die Hydrologie des Hochmoors noch nicht gänzlich zerstört war. Am westlichen Moorrand befinden sich Kartoffeläcker, gekennzeichnet mit zwei grossen «K»s. Die Karte zeigt, dass das Ägeriried in den 1890er Jahren schon teilentwässert war. Im Jahr 1892, das Jahr der Feldbegehung von J. Früh, befindet sich das Hochmoor «auf mehr als der Hälfte stark im Abbau». Die Torfgewinnung wurde von Privaten und von Genossenschaften getätigt. Im Jahr 1895 wurde in der mittleren Altmatt eine Torfstreu Fabrik eröffnet, welche für einige Jahre in Betrieb blieb. Zuvor wurde der Torf an die Glasfabrik in Küsnacht (SZ) geliefert.

Das genaue Entwässerungsjahr kann aus der Karte aber nicht entnommen werden. Während die Kartoffeläcker schon längere Zeit bestanden haben dürften, kann angenommen werden, dass die eigentliche Entwässerung in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts vorgenommen wurde.

In den Jahren 1917–1920 haben sich verschiedene Händler und Industrielle aus Zürich, Wädenswil und Rapperswil in der Altmatt zur Torfförderung niedergelassen. Auch die Schweizerische Torfgesellschaft und hauptsächlich der Verband Schweizerischer Konsumvereine (Basel), welcher zwei Torfmaschinen installiert hatte, trieben die Torfausbeutung voran. Abbildung 13 im Anhang zeigt die ungefähre räumliche Verteilung des Torfabbaus im ersten Weltkrieg, welcher in stärkerem Mass östlich der Biber erfolgte.

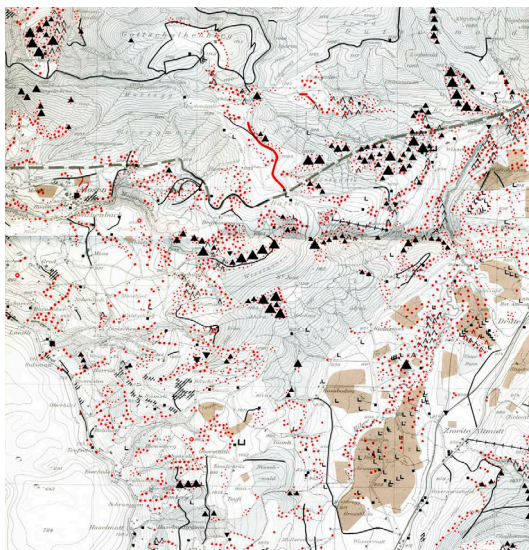


Abb. 8: Ausschnitt Ägeriried aus Ewald, K.,
Der Landschaftswandel, LK 1132

Quelle: Ewald, 1978.

Nach Ewald (1978) wurden die grösseren Moorflächen und Feuchtgebiete erst 1944 durch eine umfassende Melioration entwässert (siehe Abb. 8; braune Flächen). Die roten Punkte markieren einen naturnahen, vielfältigen Bereich. Das Wäldchen am ehemaligen Ostabhang des Hochmoors Ägeriried, ist mit einem grossen schwarzen Dreieck gekennzeichnet, was auf eine starke Aufforstung in den Jahren 1954–1971 hinweist. Im nördlichen Teil fand im gleichen Zeitraum eine natürliche Verwaldung statt (stehende spitzwinklige

Haken). Die liegenden rechtwinkligen Haken stehen für Verwüstung, womit meist verfallene Torfhütten gemeint sind. Grosse Einzelgebäude sind mit einem schwarzen Rechteck markiert (Ewald, 1978).

Das einst sieben Meter mächtige Hochmoor ist heute stark abgebaut und wird als Streuwiese genutzt. Es verbleiben einzig noch zwei nicht abgebaute Torfkörper am östlichen Rande des einstigen Hochmoors, welche früher den östlichen Rand zur Biber hin bildeten. Da der Zeitpunkt der ersten Entwässerung nicht völlig klar ist, wurde für die Berechnung der Kohlenstoffverluste von zwei unterschiedlichen Entwässerungszeitpunkten, 1880 und 1944, ausgegangen.

2.2.2 Topografie, Klima und Vegetation

Das Gelände ist von Biberbrugg Richtung Rothenthurm leicht ansteigend und von Grund- und Endmoränen durchzogen. Das Tal hebt sich klimatisch von der Umgebung ab: Es herrschen starke Winde vor, die durchs Tal geschleust werden; der Winter ist schneereicher und dauert länger als in umliegenden Gebieten. Der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 1766 mm, wobei der Juni der niederschlagsreichste (218 mm) und der Februar mit (99 mm) der niederschlagsärmste Monat darstellt. Auch die Evapotranspiration erreicht im Juni (105 mm) ihr Maximum bei einem jährlichen Mittel von 451 mm. Die Temperatur liegt bei einem jährlichen Mittel von 6.3 °C (Maximum im Juli bei 15.6 °C).

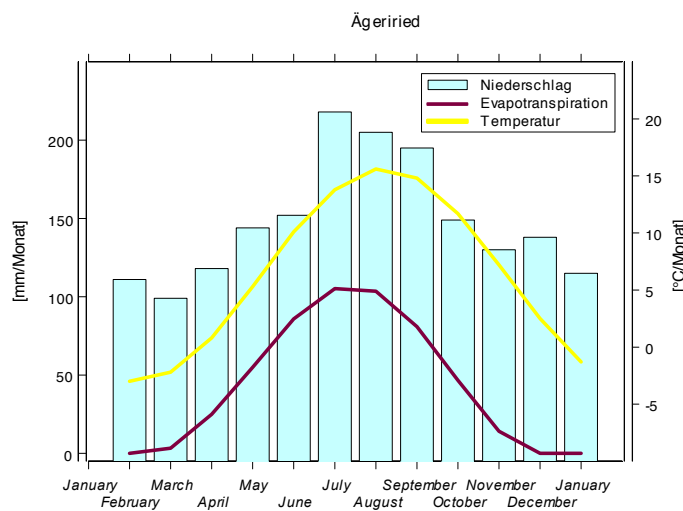


Abb. 9: Klimadiagramm Ägerried: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)

Quelle: Niederschlagsdaten: Schwarb, M., 2001, 2002 | Temperatur und Strahlungsbilanz: Z'graggen, L., 2001, 2002

Die beiden Torfkörper, welche vom Hochmoor Ägeriried noch vorhanden sind, werden durch eine natürliche Entwässerung zur Biber hin in einen südlichen und einen nördlichen Teil getrennt. 17 Vegetationsaufnahmen der Beratungsstelle für Moorschutz der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) aus dem Jahr 2006 beschreiben die Vegetationsbestände am östlichen Moorrand (693° 900' – 694° 150' / 220° 100' – 220° 200', siehe Anhang, Tabelle 31). Die Hauptbestände setzen sich folgendermassen zusammen (Küchler, M., 2006):

<i>Aulacomnium palustre</i> (Hedw.) Schwaegr.	<i>Molinia caerulea</i> aggr.
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull	<i>Pleurozium schreberi</i> (Hedw.) Mitt.
<i>Campylium stellatum</i> (Hedw.) J. Lange & C. Jens.	<i>Polytrichum strictum</i> Brid.
<i>Carex hostiana</i> DC.	<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.
<i>Carex nigra</i> (L.) Reichard	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.
<i>Carex pilulifera</i> L.	<i>Sphagnum recurvum</i> P. Beauv.
<i>Carex rostrata</i> Stokes	<i>Sphagnum tenellum</i> (Brid.) Bory
<i>Eriophorum angustifolium</i> Honck.	<i>Vaccinium uliginosum</i> aggr.
<i>Eriophorum vaginatum</i> L.	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.
<i>Menyanthes trifoliata</i> L.	

Durch die Drainage haben sich die Fichtenbestände verdichtet. Bäume und Sträucher haben dank ihrem gut entwickelten Wurzelsystem einen grösseren Einfluss auf den Wasserhaushalt eines Moores als die übrigen Pflanzen. Durch ihren grossen Wasserverbrauch erhöhen sie die Entwässerung im Wurzelbereich (Dierssen, 2001). Gegen die Biber hin, wo sich am östlichen Rand des Waldes auch ein Streifen landwirtschaftlicher Nutzwiese befindet, wurde der Wald in den Jahren 1954–1971 aufgeforstet.

Nach Früh (1883) besteht das Hochmoor des Ägeririeds hauptsächlich aus Sphagnumtorf (Sphagnen der Familie cymbifolium) durchsetzt mit Eriophorum vaginatum – Fasern.

2.3 Das Hagenmoos

Kanton Zürich (681° 800' – 682° 150' / 232° 050' – 232° 300')

Kartenmaterial siehe Anhang, Abbildungen 3, 14, 17, 20, 23

Das Hagenmoos liegt nordwestlich von Kappel am Albis, oberhalb Näfernhüsern im südöstlichen Teil des Brüggenwald auf 590 m. ü. M. Es bedeckt eine Fläche von 9–10 ha und ist > 2 m mächtig. Es wird durch die Gemeindegrenze Kappel a. A. - Rifferswil getrennt.

Ein Teil des Moores (1.2 ha auf Rifferswiler Seite) steht seit 1937 als Reservat unter kantonalem Schutz. In den Jahren 1942 und 1970 wurden weitere Gebiete gekauft und ebenfalls unter Schutz gestellt (Lüönd und Göttlich, 1982). 1991 wurde das Hagenmoos dann in das Bundesinventar für Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung aufgenommen.

2.3.1 Entstehung, Geschichte und Nutzung

Die Moorbildung im Brüggnernwald wurde durch die Lage in einer Hohlform zwischen zwei Moränenwällen des Muota-Reussgletschers (Bremgartenstadium) begünstigt. Der Standort oberhalb Kappel befindet sich in der Nähe der Endmoräne des maximalen Eisstandes des Reussgletschers in der Würmeiszeit. Der schluffreiche Untergrund liess einen See entstehen, aus welchem sich unter Verlandung allmählich ein Bruchmoor und darauf ein Seggenmoor entwickeln konnte. Erst mit der Entstehung eines nährstoffärmeren Übergangsmoores kam es schliesslich zur Ausbildung des Hochmoors (Schweizer, 1997).

In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts wird das «Haggen-Moos» bereits als Turbenland bezeichnet, was auf eine Nutzung des Torfs hinweist⁷. Aus einer Klage wegen übermässigen Holzverbrauchs in der Gemeinde Rifferswil im Jahr 1763 geht hervor, dass das Hagenmoos schon damals in Torf-Lose⁸ («Turben-Loose») eingeteilt war. Die damalige Allmend wurde also schon früh zur privaten Torfgewinnung genutzt, was die Hydrologie des gesamten Moores jedoch nur geringfügig beeinflusste (Schweizer, 1997).

⁷ Turbe = gestochener Torfziegel (franz. la tourbe = der Torf)

⁸ Moore wurden in Lose (Segmente) eingeteilt, welche für den privaten Torfabbau vergeben wurden.



Abb. 10: Gletscherseen in Rifferswil / Kappel a. A. nach der letzten Eiszeit
(Die Seen wurden in das heutige Kartenbild projiziert.)

Quelle: Schweizer, 1997

Im Jahr 1894 vermerkt J. Fröh (1904), das Hochmoor sei «an verschiedenen Stellen angeschnitten». Jedoch wurde von einem 9–10 ha grossen, «deutlich erhöhtem Hochmoor» berichtet, das von einem Pinetum bedeckt war.

Im ersten Weltkrieg wird das Hagenmoos massiv entwässert und abgetorft. Der südliche Teil in der Gemeinde Kappel (681.825, 681.990 / 232.065, 232.075) wird gänzlich abgetragen. Ein kleinerer Torfstich, nord-süd verlaufend, entsteht weiter östlich. Vor dem zweiten Weltkrieg wird der grosse Torfstich auf der Siegfriedkarte als offene Sumpffläche abgebildet (siehe Anhang, Abbildung 14). Die umliegenden Gebiete werden ebenfalls als Feuchtgebiete vermerkt, der nördliche Mühlebach ist jedoch schon kanalisiert.

Trotz kantonalem Schutz seit 1937, geht die Entwässerung und Torfförderung im zweiten Weltkrieg weiter. Nur in einem kleinen Streifen südöstlich des grossen Torfabstichs und im nördlichen Teil, auf Rifferswiler Seite, sind die Sphagnum-Torfe noch erhalten geblieben (Lüönd et al., 1982).

In den 70er Jahren waren die ehemaligen Feuchtgebiete gänzlich entwässert und unterlagen einer intensiven forstlichen Nutzung. Die Entwässerung erfolgt über drei künstliche Abflüsse, sowie durch unterirdische Sickerung. Lüönd und Göttlich (1982) unterteilen das Gebiet in seinem Bericht über das Schutzkonzept im Hagenmoos in sechs Teilgebiete (siehe Anhang, Abbildung 23). Sie unterscheiden die gänzlich abgetorften Gebiete des grossen Torfstichs, der mehr oder weniger intakte Bergföhrenwald nördlich des grossen Torfstichs, die wenig abgebaute Fläche im Osten des grossen Torfstichs, die Riedwiesen, die regelmässig geschnitten werden, den stark verbuschten Birkenbruchwald, den Fichten- und Waldföhrenwald und den forstlich genutzten Fichtenhorst (Lüönd und Göttlich, 1982). Die Wiedervernäsung wurde im Jahr 1982 aufgenommen.

2.3.2 Topografie, Klima und Vegetation

Die Topografie ist von Grundmoränen des Muota-Reussgletschers geprägt. Das Hochmoor liegt auf einer Anhöhe im Brüggenerwald. Das Moor selbst ist heute jedoch von Moränen umgeben, die sich vom Moor abheben.

Die Gebietswasserbilanz ist mit einem mittleren Jahresniederschlag von 1318 mm (max. Juni, 188 mm, min. Februar, 68 mm) und einer mittleren Evapotranspiration von 530 mm (max. Juni, 110 mm) positiv. Dies begünstigt ein schnelles Moorwachstum. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8.8 °C, mit einem Maximum im Juli bei 17.9 °C und einem Minimum von -0.2 im Januar.

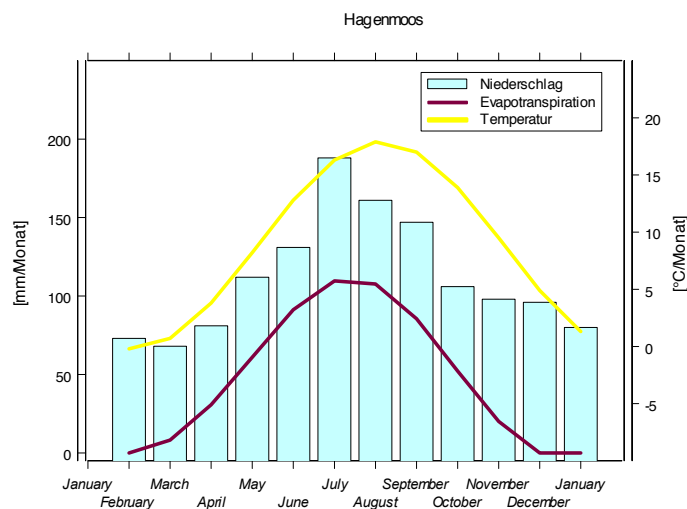


Abb. 11: Klimadiagramm Hagenmoos: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)

Quelle: Niederschlagsdaten: Schwarb, M., 2001, 2002 | Temperatur und Strahlungsbilanz: Z'graggen, L., 2001, 2002

Die einst typische Hochmoorvegetation wurde durch die Entwässerung des Gebietes beträchtlich beeinflusst. Die Zone mit dem genannten Pinetum wurde zwar nicht abgetorft, durch die Entwässerung aber gestört. Grosse Teile des Moores verbuschten. Im Jahr 1989 wurden auch im Hagenmoos Vegetationsaufnahmen durchgeführt (Küchler, M., 2004). 16 dieser Aufnahmen im nördlichen Gebiet des Hochmoors (681° 950' – 682° 050' / 232° 150' – 232° 200') sind in Tabelle 32 im Anhang abgebildet. Das Vegetationsbild wird von folgenden Arten dominiert:

<i>Carex acutiformis</i> Ehrh.	<i>Pleurozium schreberi</i> (Hedw.) Mitt.
<i>Carex rostrata</i> Stokes	<i>Sphagnum capillifolium</i> (Ehrh.) Hedw.
<i>Juncus effusus</i> L.	<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	<i>Sphagnum palustre</i> L.
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	<i>Sphagnum recurvum</i> P. Beauv.
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. / B	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.
<i>Pinus sylvestris</i> L. / B	

Tendenziell veränderte sich die Pflanzengesellschaft des Hochmoors durch die Entwässerung in Richtung eines Übergangsmoores und eines Kleinseggenriedes. Diese Trends zu stoppen und rückgängig zu machen, ist das Ziel der Wiedervernässung. Es ist jedoch ein Prozess, der nur langsam voran geht (Lüönd und Göttlich, 1982).

2.4 Etang de la Gruère

Kanton Jura (570° 520' / 232° 150')

Kartenmaterial siehe Anhang, Abbildungen 4, 15, 18, 21

Der Etang de la Gruère liegt 5 km nordwestlich von Tramelan in den Franches-Montagnes (Siehe Karte_im Anhang). Das Hochmoor liegt auf 1005 m. ü. M. zuoberst auf der gewölbten Halbinsel im markanten, vielarmigen See. Der Etang de la Gruère erstreckt sich über eine Fläche von 22.5 ha, wobei das Hochmoor nur 0.3 ha davon ausmacht. Die maximale Torfmächtigkeit beträgt 6.5 m (Joray, 1942).

Der Name Gruère rührt vom französischen Wort für Kraniche «la grue» her, es ist daher anzunehmen, dass das Moor früher von diesen Vögeln besiedelt war.

Der Etang de la Gruère ist eines der wenigen Hochmoore in der Schweiz, welches als unberührt bezeichnet werden darf und ist deshalb eines der best untersuchten Hochmoore überhaupt. In dieser Arbeit soll der Etang de la Gruère als Referenzstandort gelten.

Auch dieses Hochmoor ist in die Liste der «Hochmoore von Nationaler Bedeutung» aufgenommen worden. Unter Schutz steht es schon seit 1943.

2.4.1 Entstehung und Geschichte

Während des letzten Gletschervorstosses in der Würmeiszeit erreichte der Rhonegletscher das Hochplateau des Juras nicht. Lokale Vergletscherungen sind hingegen nicht auszuschliessen (Marmy, 1984).

Der Untergrund des Etang de la Gruère wird von Oxfordmergel dominiert. Dank einer lokal ausgebildeten Mulde in einer erodierten Antiklinale konnten sich das Schmelzwasser, das Wasser der umliegenden Quellen und der Niederschlag sammeln. Das Wasser floss bei der Mühle Gruère (beim heutigen Sägewerk) Richtung Südosten durch einen natürlichen Abfluss im Oxfordmergel. Auf den vernässten Stellen im Mergelgraben begann sich ein Flachmoor zu bilden; es folgte der klassische Verlauf eines Hochmoorwachstums auf einem Flachmoor. Die Datierung des untersten Torfhorizonts beläuft sich auf das kalibrierte Jahr $12'370 \pm 50$ (Shotyk et al., 1998).

1650 wurde am Ausgang der Talmulde eine Mühle errichtet. Um die Mühle in Betrieb zu nehmen, wurde der Dolinenlösungstrichter, welcher dem Moor als natürlichen Entwässerungsgraben diente mittels eines Dammes gestaut. So bildete sich der See la Gruère (Früh und Schröter, 1904 / Mulhauser, 1996). Die Mühle wurde später zu einer Sägerei umgenutzt, jedoch bis 1952 hydraulisch betrieben. Die massiven saisonalen Wasserschwankungen, welche durch unterschiedliche Nutzung des Sägewerkes hervorgerufen wurden, trugen zur starken Ufererosion bei.



Abb. 12: Torfabbau im Etang de la Gruère, Anfang letztes Jahrhundert

Quelle: Marmy, 1984

Im Ersten Weltkrieg wurde der östliche Teil des Flachmoores abgebaut (siehe Abb. 12). Als im Zweiten Weltkrieg der Druck auf die organische Energiequelle wieder zunahm, wollte man auch das Hochmoor abbauen. Doch inmitten der Förderarbeiten, die Maschinen waren bereits vor Ort, intervenierte der Naturfreundeverein von Saignelégier; er erreichte, dass sich die Gemeinde Saignelégier dem Torfabbau widersetzte. So sah sich Bern im Jahr 1943 gezwungen, den Etang de la Gruère unter provisorischen Schutz zu stellen. Das Hochmoor blieb unberührt. Das Provisorium wurde 1963 in einen definitiven Zustand umgewandelt und 1980 und 1983 vom Kanton Jura bestätigt.

2.4.2 Topografie, Klima und Vegetation

Das Hochmoor liegt auf einer Halbinsel inmitten des Sees la Gruère. Die Halbinsel bildet einen Hügel von 20 m Höhe. Das Hochmoor selbst wölbt sich ca. 6.5 m über dem Grund der Umgebung auf. Es befindet sich in der Mitte der Halbinsel.

Joray (1942) beschreibt das herrschende Klima folgendermassen:

»En résumé, les Franches-Montagnes ont un climat assez rude, de caractère continental par les températures, mais nettement océanique par les précipitations. L'hiver y est long et rigoureux ; l'été chaud, mais avec des nuits fraîches. Les précipitations assez abondantes et bien réparties se perdent en bonne partie dans le terrain carstique. Le pays est balayé par tous les vents, aussi les extrêmes de température sont-ils assez considérables. Les gelées précoces et tardives sont à craindre.« (Joray, 1942)

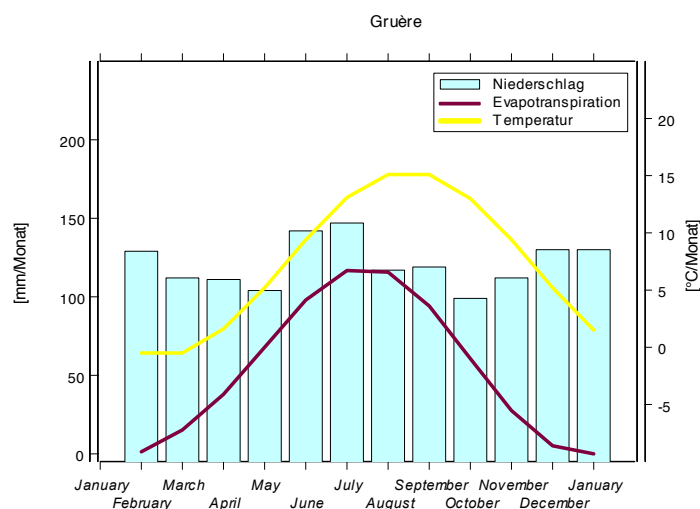


Abb. 13: Klimadiagramm Gruère: langjähriges Monatsmittel von Niederschlag (1971 – 1990), Evapotranspiration und Temperatur (1984 – 1993)

Quelle: Niederschlagsdaten: Schwarb, M., 2001, 2002 | Temperatur und Strahlungsbilanz: Z'graggen, L., 2001, 2002

Mit einer mittleren Jahrestemperatur von 7.3 °C, einem mittleren Jahresniederschlag von 1452 mm und einer mittleren jährlichen Verdunstung von 624 mm, liegt die jährliche Wasserbilanz der Franches-Montagnes ebenfalls im positiven Bereich. Die Höchst- und Tiefstwerte fallen auf dieselben Monate wie diejenigen der übrigen Standorte. Der Niederschlag hingegen ist ziemlich homogen übers Jahr verteilt, mit einem Maximum von 147 mm im Juni und einem Minimum von 99 mm im September.

Der Hauptvegetationsbestand des Hochmoors im Etang de la Gruère wurde von Zaccone et al. (2008) folgendermassen beschrieben:

<i>Sphagnum cuspidatum</i> , <i>S.-fuscum</i> ,	<i>Polytrichum strictum</i>
<i>S.-magellanicum</i> , <i>S.-nemoreum</i> ,	<i>Carex pauciflora</i>
<i>S.-papillosum</i> , <i>S.-recurvum</i> ,	<i>Carex heleonaste</i>
<i>S.-rubellum</i> und <i>S.-tenellum</i>	<i>Pinus montana</i>
<i>Andromeda polifolia</i>	<i>Juniperus communis</i>
<i>Drosera rotundifolia</i>	<i>Frangula alnus</i>
<i>Scheuchzeria palustris</i>	<i>Betula pubescens</i>
<i>Oxycoccus palustris</i>	<i>Lycopodium clavatum</i>
<i>Calluna vulgaris</i>	<i>Carex canescens</i>
<i>Eriophorum vaginatum</i>	<i>Pinus sylvestris</i>
<i>Vaccinium uliginosum</i>	<i>Picea excelsa</i>
<i>Betula nana</i>	<i>Deschampsia flexuosa</i>
<i>Vaccinium myrtillus</i>	<i>Nardus stricta</i>
<i>Vaccinium vitis-ideae</i>	<i>Trichophorum caespitosum</i>
<i>Carex limosa</i>	

3 Material und Methoden

3.1 Grundlage

Der Verlust an organischem Kohlenstoff seit der Entwässerung der Hochmoore wird anhand der Glühverlustmethode folgendermassen abgeschätzt:

Es wird davon ausgegangen, dass sich ein Torfboden nach einer Entwässerung dank der stattfindenden Durchlüftung stärker abbaut und schneller mineralisiert wird. Somit steigt der mineralisierte Anteil im oberflächennahen, aeroben Bodenbereich an. In tieferen Bereichen, welche nicht von der Drainage tangiert werden, liegt der Torf in natürlichem Zustand mit einem entsprechend niedrigen mineralischen Anteil vor.

Mittels Multiplikation des Verhältnis' zwischen dem natürlichen, konstanten Anteil an mineralischem Material in der ungestörten Tiefe des Torfbodens und dem entsprechenden Anteil an organischer Substanz in derselben Tiefe mit dem angereicherten mineralischen Anteil im drainierten Oberboden kann die fehlende organische Substanz berechnet werden. Ist der Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz bekannt, kann daraus der Kohlenstoffverlust abgeleitet werden. Die organische Substanz wird anhand der Gewichts Differenz beim Verglühen des Bodenmaterials ermittelt; Das organische Material wird bei hohen Temperaturen verglüht, die übrigbleibende Asche ist der mineralische Anteil der Bodenprobe.

Die Emissionsabschätzung darf aber nur unter folgenden Bedingungen gemacht werden; diese Arbeit basiert auf folgenden Hypothesen:

- 1) *Der Aschegehalt war vor der Drainage in allen Bodentiefen gleich hoch (natürlicher Aschehintergrund).*
- 2) *Die Oxidation des Torfs begann zum Zeitpunkt der Drainage und dauert heute noch an.*
- 3) *Der organische Kohlenstoffgehalt ist proportional zum Gehalt an organischer Substanz.*
- 4) *Das oxidierte C entweicht dem Torf direkt vor Ort in Form von CO₂.*
- 5) *Die Asche des oxidierten Torfs reichert sich an Ort und Stelle an.*
- 6) *Der heutige Aschegehalt des Torfs im tieferen Katotelm ist gleich hoch wie vor der Entwässerung.*

3.2 Feldarbeit

3.2.1 Standortbeprobung

Die Probenahme in den unter Kapitel 2 beschriebenen Untersuchungsgebieten soll nun betrachtet und sowohl der Zeitpunkt, als auch der genaue Ort beleuchtet werden.

Eigenried

Das Eigenried wurde als erster Standort am 22. September 2008 beprobt. Dem Hochmoorkörper im nordöstlichen Teil wurden drei Bohrkerne von zwei Metern entnommen. Als exakten Standort der Probenahme wurde jeweils die Mitte eines Drainagefeldes gewählt, die Stelle mit dem höchsten Wasserstand (siehe Anhang, Abbildung 1 und 5).

Ägeriried

Die Probenahme im Ägeriried erfolgte am 8. Oktober 2008, in dem südlicheren der beiden noch vorhandenen Torfkörper, welche durch eine natürliche Entwässerung voneinander getrennt sind. Die einzigen nicht abgebauten Torfkörper befinden sich auf dem ehemaligen Ostabhang des Hochmoors, heute sind sie die höchstgelegenen Gebiete des einstigen Hochmoors. Die Proben wurden am westlichen Waldrand des Moorwaldes entnommen, wo die Fichten und Birken sehr licht stehen (siehe Anhang, Abbildung 2). Deutlich ist die > 1 Meter mächtige Torfabstichkante am westlichen Rand des Torfkörpers zu erkennen. Die drei Bohrkerne wurden jeweils in einem Abstand von mindestens 3 m zur Abstichkante gestochen. Die Probenahme erwies sich als schwierig, da oftmals Fichten- und Staudenwurzeln das Einstechen des Bohrers verunmöglichten. In der Tiefe von 1.10 m–1.20 m ging der Torf in lehmigen Mineralboden über. Die geringe Mächtigkeit der Torfschicht ist durch die Randlage im ehemaligen Moor und die stark fortgeschrittene Sackung des Torfs zu erklären. Der dritte Bohrkern musste nach der Entnahme der ersten 50 cm abgebrochen werden, da der weissrussische Torfbohrer wegen Überlastung kaputt ging.

Hagenmoos

Die Proben des Hagenmoos' wurden am 23. September 2008 im nördlichen Teil des Hochmoors (Gemeinde Rifferswil) gestochen (siehe Anhang, Abbildung 4 und 6); In dem von Lüönd und Göttlich (1982) als «mehr oder weniger intakt» bezeichneten Birkenbruch- und Bergföhrenhochmoorwald (Lüönd, 1982), der also hauptsächlich durch Entwässerung gestört wurde. Durch die Wiedervernässung sterben die Waldkiefern (*Pinus sylvestris*), die sich im entwässerten Boden in der Mitte des

Hochmoors ansiedeln konnten, langsam wieder ab. Dies war an den vielen toten, umgekippten oder schief stehenden Bäumen zu erkennen (Siehe Anhang, Abbildung 6). Die Fichten ertragen den erhöhten, auf das Bodenoberflächenniveau angehobenen Wasserspiegel nicht.

Aufgrund des hohen Wasserspiegels war der Boden sehr durchnässt. Daher war es schwierig, die Bodenobergrenze klar zu erkennen. Das starke Mooswachstum hat zur Folge, dass die ersten 50 cm des Bodens aus praktisch unzersetztem Moos bestehen und eine sehr geringe Dichte aufweisen. Die Proben wurden ausschliesslich auf den Bulten gestochen, da die Schlenken wassergefüllt waren. Nach den ersten 50 cm wurde der Torf sehr kompakt. Die drei gestochenen Bohrkerne waren untereinander sehr homogen und wiesen alle in der Tiefe von 150–160 cm eine dunkle, schwarze Schicht auf.

Etang de la Gruère

Am 25. November 2008 wurden die Proben im stark verschneiten Etang de la Gruère gestochen. Die Bohrkerne wurden am höchsten Punkt der Halbinsel, wo sich der mächtigste Torfkörper befindet, entnommen (siehe Anhang, Abbildung 4 und 7). Die Stelle ist offen und nur vereinzelt von Bergkiefern (*Pinus montana*) und Moorbirken (*Betula pubescens*) bewachsen. Die Bulten und Schlenken waren trotz 30 cm Schnee zu erkennen. Auch hier wurden die Proben ausschliesslich auf den erhöhten Bulten gestochen. Die ersten 50 cm der Bohrkerne waren wenig zersetzt, einzelne Moose waren teilweise bis in die Tiefe von 1 m zu erkennen. Der Torf bildete eine kompakte, dunkelbraune Masse, die kurz nach der Entnahme aus dem Boden noch nachdunkelte.

3.2.2 Technik der Probenahme

Für diese Arbeit wurden die Proben mit einem weissrussischen Torfbohrer gewonnen. Der Torfbohrer besitzt ein 50 cm langes Stahlgehäuse, welches vorne in eine Spitze zusammenläuft, die ein gutes Eindringen in den Torfkörper erlaubt. Das halbrunde Gehäuse besitzt einen Durchmesser von 4.9 cm und ist mit einer beweglichen Klappe versehen. Der eine Rand des Gehäuses ist scharf geschliffen. Um den Bohrer beliebig tief in den Boden einzulassen, werden am oberen Ende mit einem inneren Gewinde und einer äusseren Verzahnung Verlängerungsstangen befestigt.

Der Torfbohrer wird mit geschlossener Klappe in den Torfboden eingestochen und um 180° gedreht. Die scharfe Kante des Bohrgehäuses schneidet das Torfmaterial seitlich aus dem Boden. Somit ist sichergestellt, dass es sich um unverdichtetes Material handelt, welches vom Einstich des Bohrers nicht beeinflusst wurde. Die

bewegliche Klappe, welche die Drehbewegung des Bohrers nicht mitmacht, schliesst sich nach der 180° Drehung; die Halbschale ist mit Torf aufgefüllt. Das Probematerial wird nun durch diese Metallklappe im Bohrer zurückgehalten. Um das Material anschliessend ungestört aus dem Bohrer zu entnehmen, wird die Klappe geöffnet. Durch die entgegengesetzte Drehbewegung wird das Probematerial herausgedreht und liegt dann auf der Oberfläche der Metallklappe:



Abb. 14: Weissrussischer Torfbohrer / Torfprobe in Halbschale

Angaben zum verwendeten weissrussischen Torfbohrer:

Länge: 50 cm

Durchmesser: 4.9 cm

Volumen: 471.44 cm³

Die 50 cm-Bohrkerne werden in Plastikhalbschalen gebracht, welche mit Frischhaltefolien umwickelt und einem transparenten Plastikschlauch geschützt werden. Pro Standort werden jeweils drei Bohrkerne bis zu einer Tiefe von zwei Metern (nach Möglichkeit) entnommen. Um einen Bohrkern von zwei Metern zu erhalten, wird der Bohrer viermal in den Torf eingelassen.

Fehlerquellen

Dank der Methode der seitlichen Torfentnahme dürfen Verdichtungsfehler ausgeschlossen werden. Als mögliche Fehlerquellen müssen aber folgende Begebenheiten gezählt werden:

Das Aufbewahren und Messen von Material, welches sich ausserhalb der Bohrerhalbschale befindet und somit nicht zum eigentlichen Bohrkern gehört, verfälscht das Resultat bei der späteren Berechnung der Lagerungsdichte. Andererseits kann auch Materialverlust während der Probeverschiebung vom Bohrer in die Plastikhalbschale zu späteren Verzerrungen des Resultates führen.

3.3 Laboranalysen

Die Methode des Glühverlustes beruht auf dem Gewichts- bzw. Massenverlust des Bodenmaterials während der Verglühung. Dazu müssen die Torfproben nach entsprechender Aufbereitung einer thermogravimetrischen Analyse unterzogen werden. Die Zusammensetzung der organischen Substanz wird anhand einer Elementaranalyse detailliert untersucht.

3.3.1 Aufbereitung des Probenmaterials

Die Bohrkern, in Halbschalen aufbewahrt, werden bis zur Aufbereitung im Kühlraum gelagert. Als erster Schritt der Aufbereitung werden die Bohrkern mit einer Schere in einzelne Segmente zerschnitten. Es wurde eine Auflösung von 3 cm gewählt. Ein Bohrkern von 2 m ergibt somit 67 Proben (wobei jeweils die letzte Probe aus nur 2 cm Material besteht). Diese werden in 50 ml-Bechergläser gefüllt und über Nacht im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Das Trockengewicht wird bestimmt.

Um einen hohen Homogenitätsgrad zu erreichen, wird die Probe nach dem Wägen mit einer Schneidemühle fein zermahlen. Falls sich danach noch grosse Partikel im gemahlenen Probenmaterial befinden, wird dieses von Hand mittels eines Mörsers zerkleinert. Die pulverisierte Probe wird in eine Plastikdose gefüllt und mit Tiefenangaben (in cm) beschriftet (Siehe Abb.15).



Abb. 15: Aufbereitete Proben

Eine solche Aufbereitung des Probenmaterials birgt mögliche Fehlerquellen in sich. Die Hauptfehlerquelle ist das ungenaue Auftrennen der Bohrkern in 3 cm-Segmente. Schon kleine Abweichungen haben einen Einfluss auf die errechnete Lagerungsdichte des Torfs. Um den Fehler möglichst klein zu halten, wurde ein Messband neben der Halbschale installiert. Somit lässt sich die Akkumulation allfälliger Ungenauigkeiten beim Zerschneiden des Bohrkerns vermeiden.

3.3.2 Thermogravimetrische Analytik

Die Methode des Glühverlusts basiert auf dem Prinzip des Gewichtsverlustes während der Veraschung: Das Probenmaterial wird eingewogen, bei 600°C verascht und anschliessend noch einmal gewogen. Der Anteil der Probe, welcher nach dem Verglühen zurückbleibt, ist der Aschegehalt. Die Gewichts Differenz zwischen der eingewogenen Probe und dem Aschegehalt ist somit der Anteil organischer Substanz der Ausgangsprobe. Anhand des Verhältnisses von organischer Substanz zum Aschegehalt kann in Hochmoortorf der Abbaugrad der ursprünglichen Torfprobe ermittelt werden. Je höher der Aschegehalt ausfällt, desto fortgeschrittener ist die Oxidation bzw. Mineralisierung des Torfs.

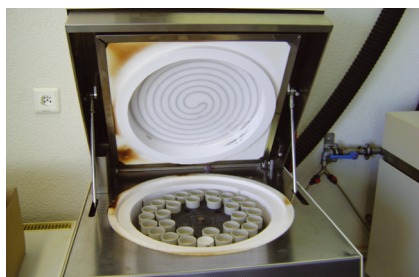


Abb. 16: PrepAsh-Maschine 129 mit eingelassenen Porzellantieglern

Das Probematerial wurde mittels einer prepAsh-Maschine⁹, ein Instrument der thermogravimetrischen Analytik, verascht (siehe Abb. 16). Dank dem vollautomatischen Trocknungs- und Veraschungssystem liefert die Maschine sehr präzise Ergebnisse. 0,4–0,5 g des gemahlten Probematerials wird mittels einer Waage, die an die prepAsh-Maschine angeschlossen ist, in Porzellantieglern eingewogen. Die Daten werden an die Maschine gesandt, welche die Proben anschliessend nach ausgewähltem Programm verglüht. Die Maschine hat ein Fassungsvermögen von 30 Tiegeln. Davon sind 29 mit Probematerial gefüllt. Am leeren Referenztiegel wird

⁹ Modell 129 der Firma Precisa

der tiegeleigene Gewichtsverlust während eines Arbeitsganges gemessen. Die eingebaute Analysewaage (Fehler: 10–4 g) wiegt jeden Tiegel in regelmässigem Abstand. Zudem befinden sich neben der Metallplatte, worin die Tiegel eingelassen sind, ein Temperatursensor sowie die Gaszufuhr.

Das Programm zur Veraschung von Torfproben sieht eine Trocknung der Proben während 90 Minuten bei 130°C vor. Dadurch gibt der Torf unter Gewichtsverlust die noch vorhandene Restfeuchte ab. Danach werden die Torfproben bei 600°C während ca. 150 min verascht, wobei nach 30 min die Sauerstoffzufuhr (3 l/min) für eine Stunde einsetzt.

Der Gewichtsverlust der Proben wird laufend festgehalten und im Veraschungsdiagramm wiedergegeben (siehe Anhang, ab Seite 165). Das Trockengewicht wird, nach der Entfernung der Restfeuchtigkeit, in Zahlen aufgezeichnet (Fähnchen 1 im Diagramm). Während der Erhitzung auf 600°C, verlieren die Torfproben entsprechend schnell an Gewicht. Sobald sich eine Gewichtskonstanz der Proben einstellt (d. h. wenn der Gewichtsverlust pro 30 min < 3 mg ist), stellt die Maschine automatisch ab. Das Gewicht des Aschegehaltes wird ebenfalls festgehalten (Fähnchen 2 im Diagramm m). Nach dem Abkühlen auf Zimmertemperatur, öffnet sich der Deckel der Maschine zur Reinigung der Tiegel. Ein Durchlauf dauert insgesamt 4 Stunden und 45 Minuten.

Fehlerquellen

Möglichen Fehler entstehen bei der Verbrennung zusätzlicher im Boden enthaltener Stoffe, was zu einem Gewichtsverlust der Probe führt, aber nicht als organische Substanz angerechnet werden sollte. Karbonat- oder gipshaltige Böden zum Beispiel dürfen nicht bei über 430°–500°C verascht werden, weil das Karbonat bzw. der Gips ansonsten verbrennen würde. Weiter besteht die Gefahr der Oxidation und des thermischen Zerfalls gewisser Eisenoxide, Tonminerale oder die Verdampfung von kristallinem Wasser. Die Methode eignet sich deshalb vor allem zur Analyse von Torf, wo von vernachlässigbar geringen Anteilen oben genannter Substanzen ausgegangen werden kann.

Der mögliche Fehler, welcher von der Restfeuchte her rühren könnte, die sich nach dem Trocknen bei 105°C noch in der Probe befindet, kann ausgeschlossen werden. Wie oben beschrieben, wird diese in der Trocknungsphase der prepAsh-Maschine eliminiert.

3.3.3 Elementaranalyse

Organische Substanz besteht zum grössten Teil aus C-N-O-H-Verbindungen. Die C-, N-, H- und O-Messungen erfolgen mittels eines «Euro EA Elementaranalysators» der Firma HEKAtech. Für die C-, N- und H-Messungen wird das in Zinkkartuschen eingewogene Probematerial (3–5 mg) in ein Reaktionsrohr eingeführt, wo es bei Temperaturen zwischen 1600°–1800°C, unter Einfluss von O₂ und einem Oxidationskatalysator zu NO_x, CO₂ und H₂O oxidiert. Im untern Abschnitt des Rohres wird das Gas NO_x mittels elementarem Kupfer zu N₂ reduziert. Mit einer chromatografischen Trennsäule werden die Reaktionsgase aufgetrennt und mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor gemessen. Wasserstoff wird im selben Lauf wie C und N als Wasser gemessen. Für die Sauerstoffmessung wird ein separater Lauf durchgeführt. Es werden ebenfalls 3–5 mg Probematerial in Silberkartuschen eingewogen und auf 1000° C erhitzt. Das O₂ wird gespalten, nach erfolgter Pyrolyse durch einen Kohlefilter zu CO reduziert und in dieser Form gemessen.

Von den Standorten Eigenried (EG), Hagenmoos (HM) und Gruère (GR) wurde jeweils ein ganzer Bohrkern gemessen (entsprechend Bohrkern EG b, HM c und GR c), wobei von einzelnen Proben nicht mehr genügend Probematerial vorhanden war, so dass in folgenden Tiefen Messlücken entstanden:

Eigenried: 153–156 cm

Gruère: 3–6 cm, 57–60 cm

Hagenmoos: 12–15 cm

Das Ägerried wurde anhand 13 Stichproben aus allen drei Bohrkernen gemessen. Alle Messungen wurden zweimal durchgeführt. In den Darstellungen sind jeweils die Mittelwerte dieser Messungen abgebildet.

3.3.4 pH-Wert

Der pH-Wert ist eine wichtige Grösse zur Bestimmung der Bodenacidität, welche auf bodenchemische Prozesse einen starken Einfluss hat. Je nach pH-Wert liegen Ionen in unterschiedlichen Spezies mit entsprechend unterschiedlichen Eigenschaften vor (Gasser, 2008).

Hochmoore weisen, wegen des geringen externen Ioneneintrags und der schlechten Streuqualität, einen sehr tiefen pH-Wert auf. Zudem geben die Sphagnum bei der Nährstoffaufnahme Protonen ab, was die Bodenacidität erhöht.

Zur pH-Messung wurde die von Scheffer / Schachtschabel (2002) für salzarme, saure Böden vorgeschlagene H₂O-Methode angewandt. Das frische Probenmaterial wird mit destilliertem H₂O verdünnt, gut geschüttelt und über Nacht stehen gelassen. Kurz vor der Messung mittels einer pH-Messsonde (Kalibration bei pH 4 und 7) wird die Probe nochmals gemischt.

Probleme bereitet das ungenaue Verdünnungsverhältnis; häufig wird zur H₂O-Methode ein Verdünnungsverhältnis von 1:5 gewählt. Dieses Verhältnis bezieht sich jedoch auf das Gewicht der Trockensubstanz der Probe. Da getrockneter Torf jedoch hydrophob ist, muss zur pH-Bestimmung unbedingt frisches Probenmaterial verwendet werden. Da der Torfboden eine sehr hohe Wasserabsorptionskapazität aufweist, braucht es eine beträchtliche Menge an zusätzlichem Wasser, um eine wässrige Lösung zu erhalten. Deshalb wurde das Verdünnungsverhältnis um einen Faktor 10–15 höher gewählt als vorgegeben.

3.3.5 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit (k) eines Bodens gibt Auskunft über den Ionengehalt der Bodenlösung. Mit der leicht messbaren Leitfähigkeit kann die Ionenstärke einer Bodenlösung berechnet werden, welche als Summe aller gelösten Ionen definiert ist. Anhand der Leitfähigkeit kann somit die Ionenstärke einer wässrigen Lösung geschätzt werden. In ionenarmen Böden gilt die empirische Gleichung nach Marion-Babcock (Gasser, 2008). Die Ionenstärke (I) mit der Einheit mmol/l kann anhand folgender Gleichung berechnet werden:

$$\log I = 1.159 + 1.009 \log k \quad [2]$$

Wobei:

k = elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S} / \text{cm}$)

Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit einer Messsonde an derselben Probe bestimmt, die für die pH-Messung verwendet wurde. Pro Standort wurde der pH-Wert sowie die elektrische Leitfähigkeit jeweils von einem der drei Bohrkerne gemessen. Dazu wurden alle 10 cm ein Viertel einer 3 cm-Probe entnommen und wie oben beschrieben aufbereitet. Das gewogene und anschliessend getrocknete Probenmaterial wurde nach der Messung der ursprünglichen Probe wieder beigegeben.

3.4 Datenanalysen

Anhand des gemessenen Aschegehalts kann die jährliche CO₂-Emissionsrate der untersuchten Moore berechnet werden, falls das Entwässerungsjahr bekannt ist und die in der Einleitung genannten Hypothesen als gegeben angenommen werden können.

Die genaue Grenze zwischen Boden und Atmosphäre ist in einem Moor oft schwer zu erkennen. Da die obersten 3–5 cm aus wachsenden Tormoosen bestehen, kann der Übergang zum eigentlichen Torf nicht klar ausgemacht werden. Zudem ist die Oberfläche typischerweise uneben. Um diese Ungenauigkeiten, welche sich auf die Tiefenangaben übertragen, zu korrigieren, werden die Tiefen der drei Bohrkern eines Standortes abgeglichen. Die drei Bohrkern weisen jeweils ein sehr ähnliches Tiefenprofil des Aschegehalts auf. Der markanteste Aschepeak wird als Tiefenmarker verwendet und bei allen drei Bohrkernen als Referenztiefe benutzt.

Bei den Standorten Hagenmoos, Eigenried und Ägerried werden die einzelnen Tiefenangaben um <10 cm korrigiert. Beim Etang de la Gruère handelt es sich um max. 30 cm, was plausibel ist, da ein wachsendes Hochmoor eine sehr inhomogene Oberflächenmorphologie (Bulten und Schlenken) aufweist. Ausserdem wurden die Proben im Etang de la Gruère unter einer Schneedecke gestochen. Die Tiefenangaben sind durch diese zusätzliche Schwierigkeit mit einer grösseren Ungenauigkeit belastet.

3.4.1 Berechnung der Lagerungsdichte

Um die Lagerungsdichte der einzelnen 3 cm-Segmente zu berechnen, wird die bei 105° C getrocknete Probe eingewogen. Das erhaltene Gewicht wird mit dem Gewichtsverlust der Restfeuchte korrigiert, die der Probe während der Trocknungsphase in der prepAsh-Maschine entweicht. Anhand des korrigierten Gewichts und dem Volumen des Bohrkernsegments von 3 cm wird die Lagerungsdichte bestimmt.

3.4.2 Berechnung des Kohlenstoffs im Profil

Die Masse der Asche in g pro Segment (seg.) mit Δz 3 cm lässt sich anhand des Volumens des Bohrkernsegments, der Lagerungsdichte (g/cm^3), der gesamten Probemasse ($\text{g}/\text{seg.}$) und des Aschegehaltes (%) errechnen. Folgende Angaben gelten jeweils für ein Segment.

$$AS = \frac{AS_{rel}}{100} M_{tot} \quad [3]$$

Wobei:

AS = Masse der Asche des Segments (g)

AS_{rel} = Aschegehalt (%)

M_{tot} = Masse des gesamten Segments (g)

Subtrahiert man den Ascheanteil (g) von der gesamten Segmentmasse (g), erhält man den Anteil an organischer Substanz (g). Der prozentuale Anteil des organischen Kohlenstoffs (OC) kann aus der Elementaranalyse entnommen werden. Wird die organische Substanz (OS) mit dem OC/OS-Verhältnis multipliziert, ergibt dies den Anteil an OC (g) im Bohrkern.

$$OC_{Bohrkern} = \sum_{i=1}^n (M_i - AS_i) \frac{OC}{OS} \quad [4]$$

Wobei:

n = Anzahl Segmente (≈ 67)

i = Segment

M = Masse des gesamten Segments (g)

AS = Masse des Ascheanteils des Segments (g)

3.4.3 Berechnung des Kohlenstoffverlusts

Es wird angenommen, dass der Aschegehalt vor der Entwässerung in allen Tiefen gleich hoch war (siehe Kap. 5.3.2.1). Nach der Drainage wird der Torf im entwässerten Bereich oxidiert; mineralisiertes Material beginnt sich, relativ zum Unterboden, anzureichern. Der Aschegehalt nimmt zu. Der natürliche, konstante Aschegehalt der ungestörten Schichten im Katotelm wird im Folgenden als «Aschehintergrund» bezeichnet. Der durchschnittliche OC-Gehalt in den ungestörten Schichten wird dementsprechend «OC-Hintergrund» genannt.

Um den Aschehintergrund zu bestimmen, wurden die Aschegehalte der drei Bohrkerns gemittelt und mit dem zweiseitigen, ungepaarten t-Test auf signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Segmenten getestet. Dazu wurde das 90 % Konfidenzintervall gewählt. Sobald sich die Streuung der Aschegehaltswerte in der Tiefe glättet und keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 cm-Segmenten mehr auszumachen sind, wird der Aschegehalt als Hintergrund klassifiziert. Dabei wurde von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen. Als Null- und Alternativhypothese gelten:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

$$H_A: \mu_x > \mu_y$$

Wobei:

μ_x = Mittelwert der Probe in Tiefe x, Bohrkerns A-C

μ_y = Mittelwert der Probe in Tiefe y, angrenzend unter x, Bohrkerns A-C

An den einzelnen Standorten wurde jeweils in allen drei Bohrkernen mit derselben Hintergrundtiefe gerechnet. Alle weiteren Berechnungen wurden für jeden Bohrkern einzeln durchgeführt.

Der Aschehintergrund des Bohrkerns C des Ägeririeds wurde aus den Mittelwerten der Bohrkern A und B berechnet, da der Bohrkern C wegen technischen Problemen nur bis in die Tiefe von 50 cm reicht, was oberhalb der berechneten Hintergrundtiefe liegt.

Mit dem jeweiligen Mittelwert des Aschehintergrunds (g), kann die verlorene Masse an OC (g) für jedes Segment der gestörten oberflächennahen Schichten berechnet werden. Ist der Aschegehalt eines Segments des gestörten Horizontes niedriger als der Mittelwert des Aschehintergrundes, wird dieses Segment gleich Null gesetzt.

$$\Delta OC = \sum_{i=1}^n \frac{OC_o}{AS_o} AS_i - OC_o \quad [5]$$

Wobei:

n = Anzahl Segmente (≈ 67)

i = Segment

ΔOC = OC verloren (g / Bohrkern)

OC_o = Mittelwert OC-Hintergrund (g)

AS_o = Mittelwert Aschehintergrund (g)

AS = Aschegehalt des Segments x (g)

Aus der Summe des verlorenen und des noch vorhandenen OCs ergibt sich die ursprüngliche Masse OC (g) im Bohrkern. Wird nun die Summe des vorhandenen OC von der Summe des ursprünglichen OCs subtrahiert, ergibt dies den gesamten Verlust an OC in g pro Bohrkern.

Die Querschnittsfläche eines Bohrkerns beträgt 9.43 cm^3 . Das Ergebnis wird demzufolge mit einem Faktor 1060.59 auf einen Quadratmeter hochgerechnet. Wird das Ergebnis durch die Anzahl entwässerter Jahre dividiert, erhält man eine jährliche OC-Verlustrate pro Quadratmeter.

3.4.4 Fehlerberechnung und Fehlerquellen

Die Mittelwerte, die zur Berechnung des ΔOC s eines jeweiligen Segments benutzt werden, sind mit einem gewissen Fehler behaftet, der von der Streuung der Hintergrundwerte abhängig ist.

Mit Hilfe der Standardabweichungen des OC- und des Aschegehaltshintergrundes wird der relative Fehler der Hintergrundmittel berechnet. Es gilt:

$$\Sigma_{rel} = 100 \frac{\sigma_0}{\mu_0} \quad [6]$$

Wobei:

σ_0 = Standardabweichung des Hintergrunds

μ_0 = Mittelwert des Hintergrunds

Um den relativen Fehler des Endresultates zu ermitteln, muss die Fehlerfortpflanzung berechnet werden:

$$\Sigma x_{rel} = \sqrt{\Sigma u_{rel}^2 + \Sigma w_{rel}^2 + \Sigma w_{rel}^2} \quad [7]$$

Wobei:

Σx_{rel} = relativer Fehler Kohlenstoffverlust im Bohrkern

Σu_{rel} = relativer Fehler Mittelwert Aschenhintergrund

Σw_{rel} = relativer Fehler Mittelwert OC-Hintergrund

Die relativen Fehler der drei Datensätze eines Standorts wurden gemittelt und ebenfalls auf ihre Fehler geprüft. Dazu wurde der Standardfehler der drei Fehlerwerte mit dem t-Wert des 95 % Konfidenzintervalls für $n = 3$ multipliziert.

$$\Sigma X_{rel} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \alpha \quad [8]$$

Wobei:

ΣX_{rel} = relativer Fehler des Standortmittelwertes

σ = Standardabweichung

n = Anzahl Daten

α = t-Wert bei 95 % Konfidenzintervall, $n = 3$ (3.18)

Je grösser die Streuung der Hintergrundwerte der Aschegehalte, desto grösser wird der mögliche Fehler der Endresultate. Die Streuung wird in einem annähernd isolierten System, welches nur vom relativ konstanten atmosphärischen Eintrag beeinflusst wird, als relativ gering angenommen. Oft ist aber gerade in dem gestörten Milieu der entwässerten Hochmoore die natürliche Isolation dieser Biotopie gegenüber ihrer Umwelt vermutlich nicht mehr vollständig gegeben (siehe Kap. 5.3.2).

3.4.5 Statistische Auswertung der Elementaranalyse

Aus den Elementarmessungen wurden die molaren O/C-, C/N- und H/C-Verhältnisse gebildet. Diese wurden anschliessend für jeden Standort auf ihre Abhängigkeit zur Tiefe getestet. Da die geploteten Elementarverhältnisse mit der Tiefe eine logarithmische Abnahme bzw. im Falle des C/N-Verhältnis' teilweise eine Zunahme aufweisen, wird eine logarithmische Regression angewandt um die Korrelation zu prüfen. Dazu wurde die Tiefe logarithmiert, um damit eine lineare Abhängigkeit zu überprüfen. Eine logarithmische Abnahme des Zersetzungsgrades gilt in den hier untersuchten Torfprofilen bis in die Bohrtiefe von 2 Metern. Wie sich der Zersetzungsgrad in Tiefen > 2 m verhält müsste separat untersucht werden. Anhand eines Q-Q-Normal-Plots (Programm SSPS) wurden die Residuen auf ihre Verteilung überprüft.

4 Resultate

4.1 Bodenphysikalische Parameter

Die Lagerungsdichte steigt, ausser im Eigenried, mit der Bodentiefe an. Sie ist durchgehend bei allen vier Standorten sehr gering (siehe Anhang, Tabelle 6, 12, 18 und 24).

Im Eigenried ist in den obersten 30 cm eine relative Verdichtung festzustellen. Darunter bleibt die Dichte konstant bei 0.7 g/cm^3 (siehe Abb. 17). Die Zunahme der Dichte, welche im Ägeriried ab $> 1 \text{ m}$ zu erkennen ist, kann auf den beginnenden Einfluss des Mineralbodens zurückgeführt werden, der in der Tiefe von 1.20 m liegt (siehe Abb. 18). Das Hagenmoos weist eine deutliche Verdichtung in der Tiefe von $160 - 165 \text{ cm}$ auf (siehe Abb. 19). Das Dichteprofil des Etangs de la Gruère nimmt ebenfalls mit der Tiefe zu. Die ersten 20 cm sind von sehr geringer Dichte, was auf aktives Wachstum der Torfmoose hinweist (siehe Abb. 20).

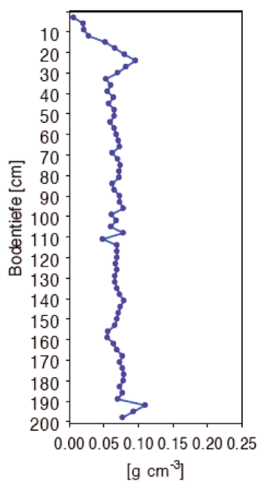


Abb. 17: Dichte Eigenried
Mittelwert: 0.07 g/cm^3

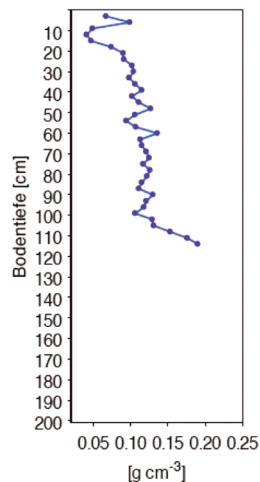


Abb. 18: Dichte Ägeriried
Mittelwert: 0.11 g/cm^3

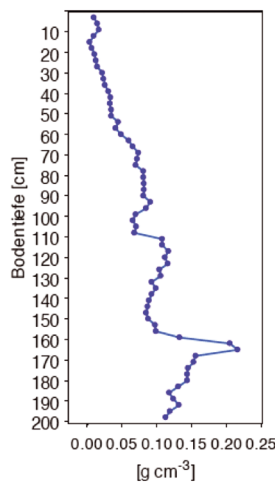


Abb. 19: Dichte Hagenmoos
Mittelwert: 0.08 g/cm^3

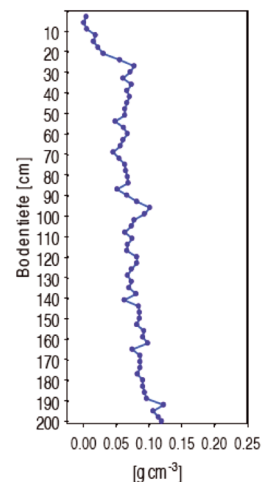


Abb. 20: Dichte Gruère
Mittelwert: 0.07 g/cm^3

4.2 Bodenchemische Parameter

4.2.1 pH-Wert

Der pH-Wert eines intakten Hochmoors liegt typischerweise zwischen 3 und 4. Die durchgeführten Messungen ergeben leicht höhere Werte, welche für anthropogen beeinflusste Hochmoore aber durchaus plausibel sind.

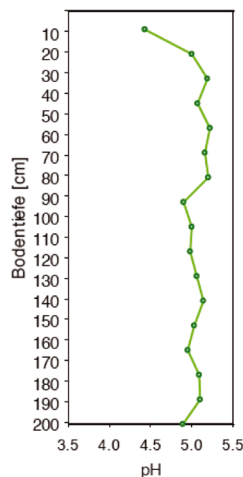


Abb. 21: pH Eigenried
Mittelwert: 5

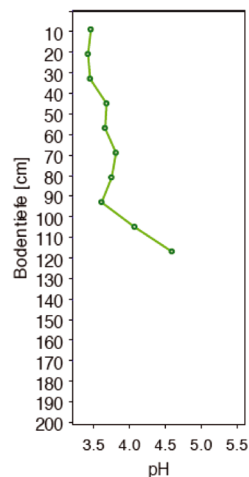


Abb. 22: pH Ägeriried
Mittelwert: 3.8

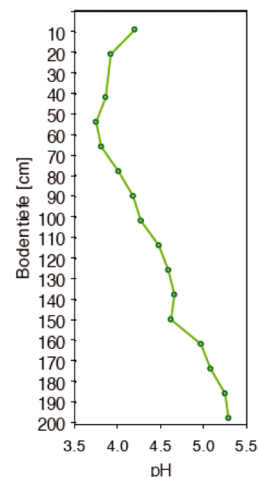


Abb. 23: pH Hagenm.
Mittelwert: 4.4

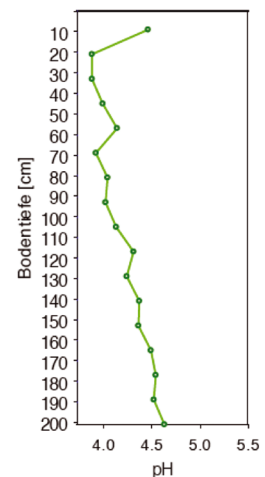


Abb. 24: pH Gruère
Mittelwert: 4.2

Das Eigenried weist mit Abstand den höchsten pH-Wert auf. Er schwankt zwischen 4.9–5.2, ausser in den obersten 20 cm, wo er deutlich abnimmt (siehe Abb. 21). In den restlichen Hochmooren steigt der pH-Wert tendenziell mit der Tiefe an. (siehe Abb. 22–24). Das Ägeririedprofil weist in der Tiefe von > 1 m einen abrupten Anstieg des pHs auf (siehe Abb. 22). Der pH-Wert des Etang de la Gruère hebt sich in der Tiefe von 6 cm deutlich von den restlichen Messungen ab (siehe Abb. 24).

4.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die geringen Werte der elektrischen Leitfähigkeit im Bereich von 25–46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bestätigen die herrschende Nährstoffarmut in der Bodenlösung der untersuchten Hochmoore. Die Bodenlösung des Eigenrieds erreicht eine mittlere elektrische Leitfähigkeit von 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die entsprechende Ionenstärke beträgt 551 mmol/l (siehe Abb. 25). Der Boden des Ägeriried ist stark durchwurzelt. Die Bodenlösung weist eine mittlere elektrische Leitfähigkeit von 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Dies entspricht einer

Ionenstärke von 687 mmol/l (siehe Abb. 26). Die Bodenlösung des Hagenmoos' ist in den oberen 75 cm ionenreicher als in den darunter liegenden Schichten, die durchschnittliche Leitfähigkeit beträgt 36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und eine Ionenstärke von 536 mmol/l (siehe Abb. 27). Die deutlich geringsten Werte weist der Etang de la Gruère mit 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und einer Ionenstärke von 371 mmol/l auf (siehe Abb. 28).

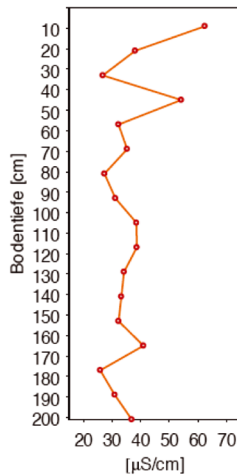


Abb. 25: Elektr.
Leitfähigkeit Eigenried
Mittelwert: 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$

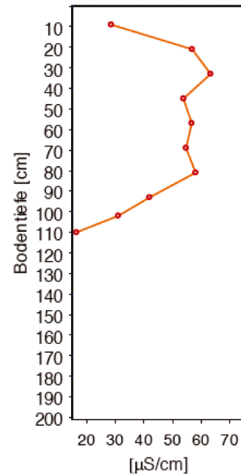


Abb. 26: Elektr.
Leitfähigkeit Ägerried
Mittelwert: 46 $\mu\text{S}/\text{cm}$

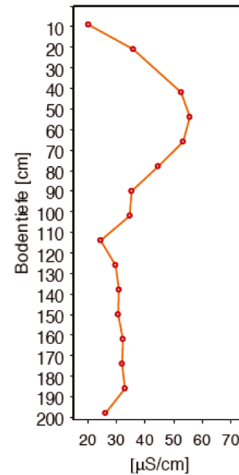


Abb. 27: Elektr.
Leitfähigkeit Hagenm.
Mittelwert: 36 $\mu\text{S}/\text{cm}$

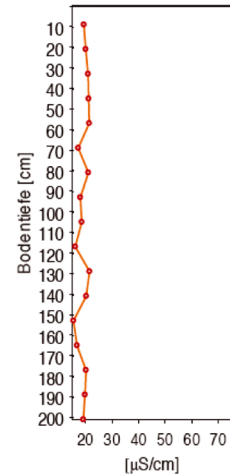


Abb. 28: Elektr.
Leitfähigkeit Gruère
Mittelwert: 25 $\mu\text{S}/\text{cm}$

4.2.3 Aschegehalt

Der Aschegehalt von Hochmoortorf ist, bedingt durch dessen Entstehung, sehr gering.

Eigenried

Das Eigenried erreicht einen Aschegehalt von max. 14 % in der Tiefe von 15–18 cm und von min. 2.1 % in den obersten 3 cm. Der Aschehintergrund beginnt hier in einer Tiefe von 57 cm. Der mittlere Aschegehalt im Aschehintergrund beträgt 4.04 %, im oberflächennahen, oxidierten Bereich erreicht er 6.33 %. Die drei Bohrkern weisen alle ein ähnliches Profilbild auf (siehe Anhang, Abbildung 24), unterscheiden sich jedoch in absoluten Werten sehr stark (siehe Abb. 29).

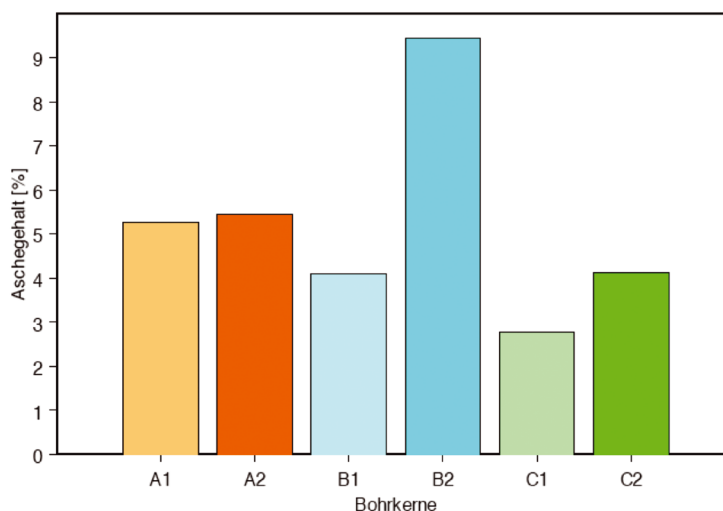


Abb. 29: Vergleich der drei Bohrkerne (A – C) des Eigenrieds: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich

Bohrkern A weist einen sehr hohen Aschehintergrund auf, welcher beinahe den Wert des oxidierten Bereichs erreicht (Faktor 1.03). Am deutlichsten ist der Unterschied (Faktor 2.3) zwischen gestörtem und ungestörtem Bereich im Bohrkern B zu erkennen. Der Bohrkern C weist allgemein den niedrigsten Aschegehalt auf. Der Unterschied (Faktor 1.5) zwischen Aschehintergrund und oxidierte Schicht tritt auch hier deutlich hervor.

Ägeriried

Der Torf des Ägeririeds ist durchgehend sehr aschearm. Der maximale Aschegehalt liegt bei 10.9 % in der Tiefe von 45 – 48 cm, der minimale bei 0.9 % in der Tiefe von 81 – 84 cm. Der Aschehintergrund beginnt im Ägeriried in der Tiefe von 69 cm und liegt bei allen drei Bohrkerne unter 2 %. Gemittelt über die drei Bohrkerne besitzt das Ägeriried im ungestörten Katotelm einen Aschegehalt von 1.5 % und in der gestörten oberflächennahen Schicht 4 %.

Da der Aschehintergrund des Bohrkerns C, wegen der geringen Beprobungstiefe, aus dem Mittelwert von Bohrkern A und B berechnet wurde, dürfen nur letztere interpretiert werden. Das Bild, das sich beim Vergleich der zwei gemessenen Bohrkerne (A und B) ergibt, ist sehr konstant; Beide weisen grosse Differenzen im Aschegehalt (Faktor 2.4–3) zwischen dem Aschehintergrund und dem oxidierten Bereich auf (siehe Abb.30).

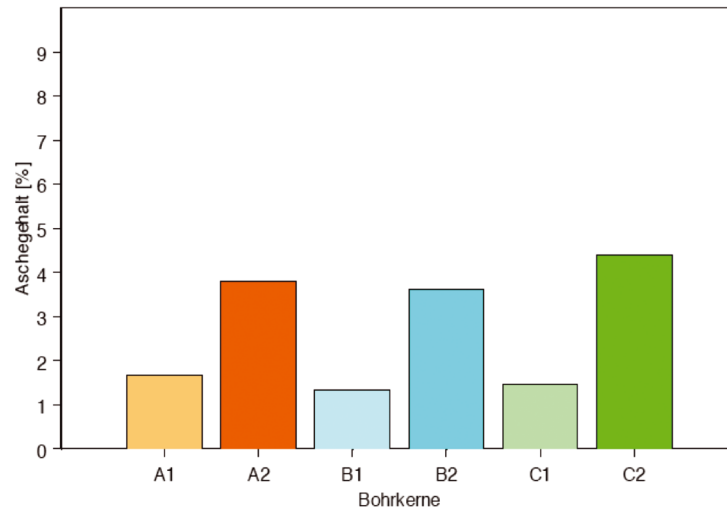


Abb. 30: Vergleich der drei Bohrkerne (A – C) des Ägeririeds: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich

Hagenmoos

Das wiedervernässte Hagenmoos zeigt als einziges der vier Hochmoore ein komplett anderes Profilbild. Im Gegensatz zu den andern drei Standorten, ist im Hagenmoos kein Oxidationshorizont mit einem erhöhten mineralisierten Anteil auszumachen. Der Aschegehalt nimmt linear zu, bis in die Tiefe von 156 cm, wo er sprunghaft ansteigt und einen markanten peak von > 40 % bildet. Unterhalb dieses Aschepeaks nimmt der Aschegehalt wieder ab und stabilisiert sich bei ca. 10 % (siehe Abb. 34). Somit können keine vergleichbaren Aussagen über den Aschehintergrund gemacht werden. Der relativ hohe mittlere Aschegehalt von 6.44 % reduziert sich auf 3.7 %, wird der Aschepeak bei 1.65 nicht mitberücksichtigt, und liegt somit in einem vergleichbaren Bereich mit den andern drei Standorten.

Etang de la Gruère

Der Etang de la Gruère, welcher als Referenzstandort gilt, lässt sich hingegen gut in einen oxidierten und einen anoxischen Bereich unterteilen. Der maximale Aschegehalt von 7.1 % wurde in einer Tiefe von 60 cm gemessen. Der minimale Aschegehalt von 0.3 % liegt bei 2 m. Der relative Ascheanteil liegt weit unter demjenigen der entwässerten Standorte, was auf ein ungestörtes Hochmoormilieu hinweist. Dennoch lässt sich mit demselben Verfahren, welches bei den zwei entwässerten Standorten angewendet wurde, ab der Tiefe von 72 cm ein Aschehintergrund erkennen. Oberhalb dieser 72 cm ist, mindestens in zwei der drei Bohrkernen (B und C), ein

deutlicher Aschegehaltsanstieg zu bemerken. Durchschnittlich wurde ein Aschehintergrund von 1.9 % und ein leicht erhöhter Aschegehalt von 2.3 % in den oberen 72 cm gemessen (Faktor 1.2). Beim Bohrkern A ist beinahe kein Unterschied zwischen dem Hintergrund und dem oberflächennahen Bereich festzustellen (Faktor 1.04). Die Bohrkern B und C deuten mit einem erhöhten Aschegehalt in den oberen 72 cm (Faktor 1.4 – 1.9) auf eine signifikante Störung hin (siehe Abb. 31).

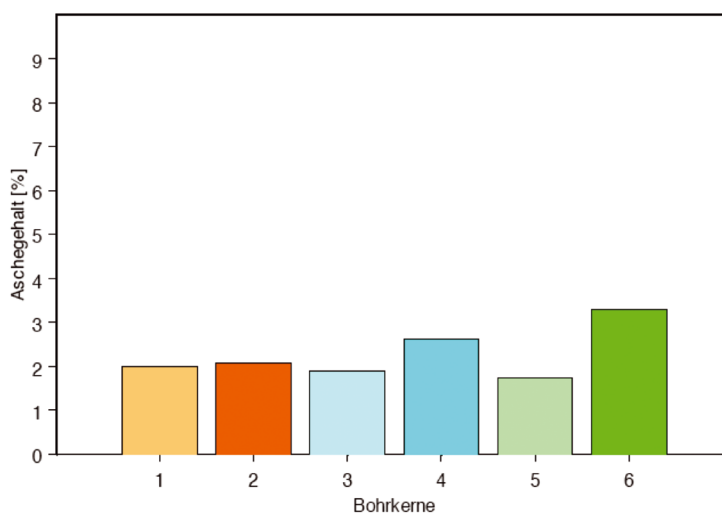


Abb. 31: Vergleich der drei Bohrkern (A – C) des Etang de la Gruère: 1) Aschegehalt (%) im anoxischen Bereich, 2) Aschegehalt (%) im oxidierten Bereich

Tab. 1: Mittlere Aschegehalte der vier Standorte in gestörtem und ungestörtem Bereich

<i>Standorte</i>	<i>Hintergrunds- Tiefe (cm)</i>	<i>Aschehintergrund ab Hintergrundtiefe: Asche %</i>	<i>Oxidationshorizont bis Hintergrundtiefe: Asche %</i>	<i>Aschen-Mittel %</i>
Eigenried Mittel	57	4.03	6.17	5.10
EG A	57	5.27	5.70	5.49
EG B	57	4.05	8.79	6.42
EG C	57	2.76	4.03	3.40
Ägerried Mittel	69	1.36	3.88	3.29
ÄR A	69	1.67	3.81	2.74
ÄR B	69	1.05	3.44	2.25
ÄR C	69	1.36	4.40	2.88
Hagenmoos Mittel	-			6.44
HM A	-			8.42
HM B	-			12.94
HM C	-			9.10
Gruère Mittel	72	1.80	2.53	2.01
GR A	72	2.00	2.07	2.03
GR B	72	1.88	2.63	2.26
GR C	72	1.73	3.29	2.51

Das Hagenmoos konnte nicht in einen Aschehintergrund und einen mineralisierten Bereich eingeteilt werden, da der Aschegehalt bis in die Tiefe von 160 cm regelmässig ansteigt bis dahin und keinen Aschepeak aufweist.

Im Folgenden sind die Ascheprofile auf einer Skala von 0–20 % dargestellt (siehe Abb. 32–35). Dieser Wert wird, ausser im Hagenmoosprofil, nie überschritten. Das genannte Profil wird deshalb in einer zusätzlichen Grafik auf einer Skala von 0–45 % abgebildet, um den Aschepeak in der Tiefe von 165 cm zu verdeutlichen (siehe Abb. 34).

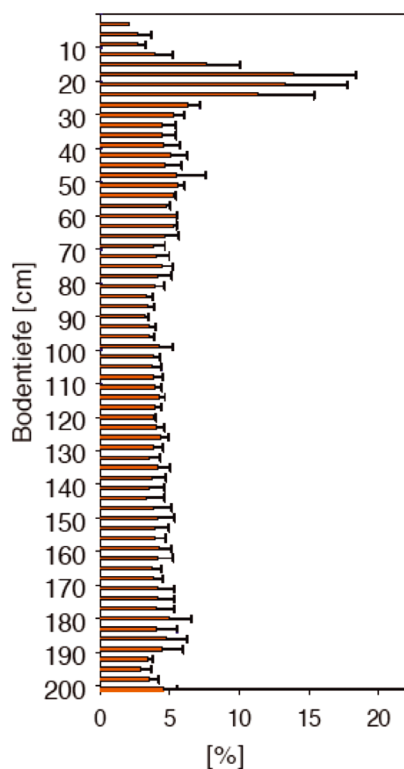


Abb. 32: Aschegehalt Eigenried (\pm SE)

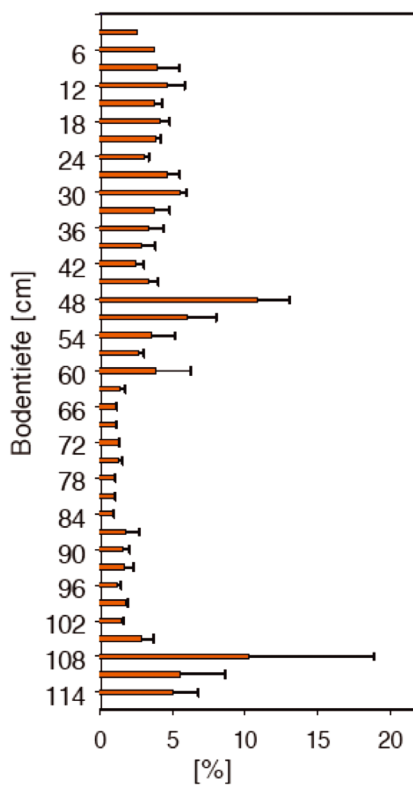


Abb. 33: Aschegehalt Ägerried (\pm SE)

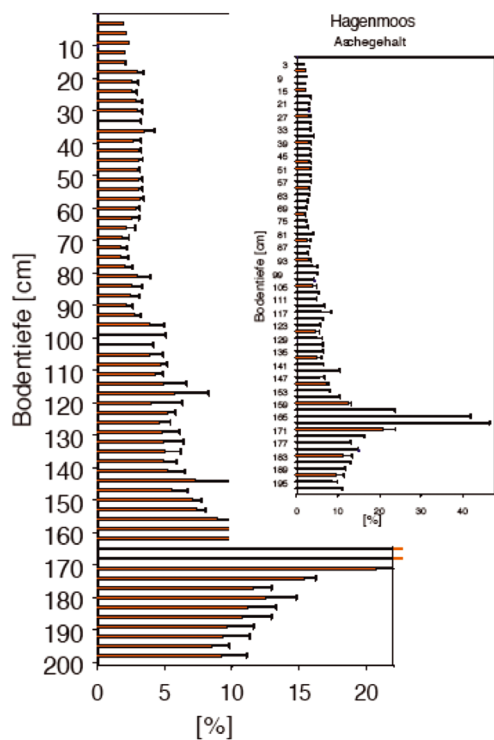


Abb. 34: Aschegehalt Hagenmoos (\pm SE)

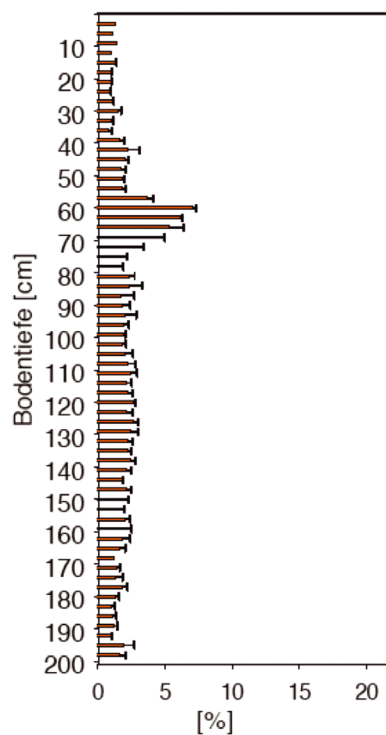


Abb. 35: Aschegehalt Gruère (\pm SE)

4.2.4 Elementaranalyse

Drei der vier Standorte weisen ähnliche Profilbilder auf (siehe Abb. 36). Der organische Kohlenstoff (OC) nimmt mit der Tiefe zu. Das Eigenried hat in der Tiefe zwischen 10 und 20 cm deutlich niedrigere OC-Gehalte, was auch schon im Dichte- sowie im Ascheprofil ersichtlich war. Das Hagenmoosprofil weicht in der Tiefe von 160–170 cm massiv von den übrigen Werten ab.

Die Wasserstoffprofile weisen keinen typischen Zu- oder Abnahmetrend auf. Auch hier ist der Einbruch im Eigenriedprofil zwischen 10–20 cm zu erkennen. Der Wasserstoffgehalt des Hagenmoos' nimmt in der Tiefe von 100 cm stark ab, um zwischen 160–170 cm ein Minimum zu erreichen.

Ein umgekehrter Trend zeigt sich in der Sauerstoffverteilung. Hier ist in allen Profilen eine leichte Abnahme mit der Tiefe zu erkennen.

Die Stickstoffverteilung ist in allen Standorten mit einer hohen Variabilität behaftet. Die typische Abnahme im Hagenmoos zwischen 160–170 cm ist im Stickstoffprofil nicht so deutlich zu erkennen, wie in den restlichen Elementarmessungen. Das Stickstoffprofil der anderen Standorte weist, verglichen mit den entsprechenden C-/H- und O-Profilen, einen gegenläufigen Trend auf.

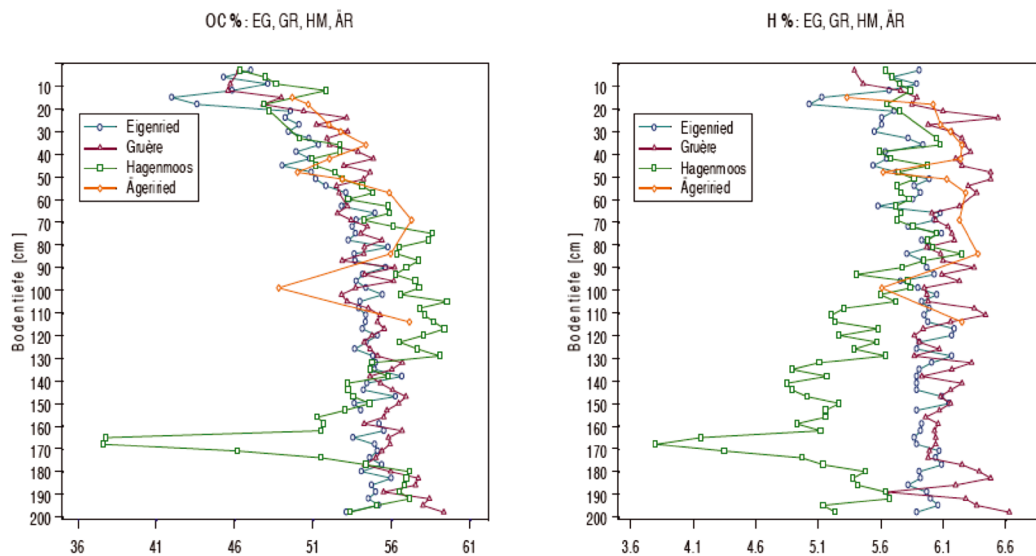


Abb. 36: Vier Tiefenprofile des mittleren Anteils an a) organischem Kohlenstoff (OC %) und b) Wasserstoff (H %) der Standorte Eigenried, Ägerried, Hagenmoos und Gruère

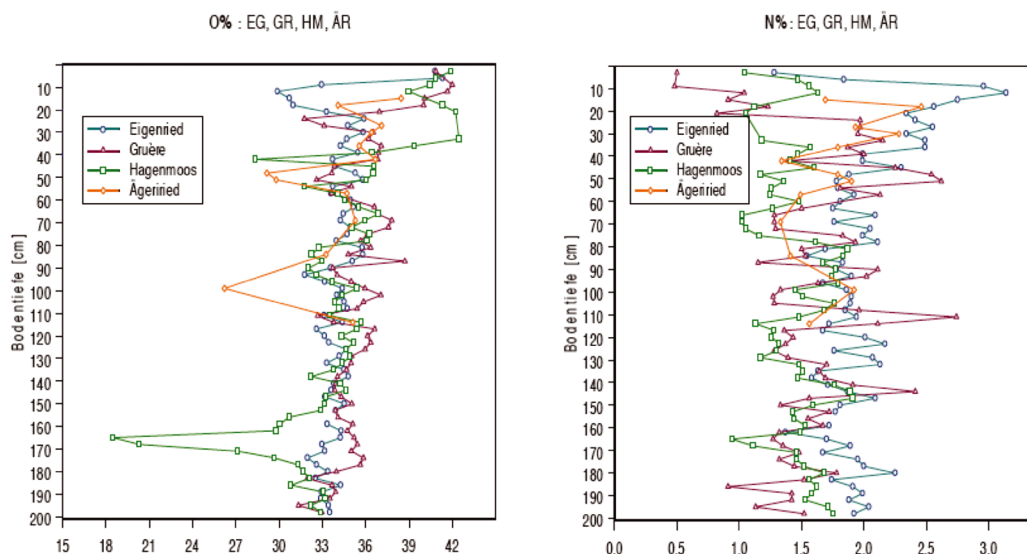


Abb. 36: Vier Tiefenprofile des mittleren Anteils an c) Sauerstoff (O %) und d) Stickstoff (N %) der Standorte Eigenried, Ägerried, Hagenmoos und Gruère

4.2.4.1 C/N-Verhältnis

In den obersten 10 cm aller Profile ist ein deutlicher Anstieg des C/N-Verhältnisses zu erkennen. Im Eigenried folgt auf die unzersetzten obersten Zentimeter die am stärksten zersetzte Schicht zwischen 10–25 cm, was mit den stark mineralisierten Bereichen der drei Bohrkerne übereinstimmt. Generell unterliegt das C/N-Verhältnis des Eigenriedprofils einem leicht steigenden Trend. Durchschnittlich liegt das C/N-Verhältnis des Eigenrieds mit dem Wert 27 unter den andern drei Standorten. Es ist somit das durchschnittlich am stärksten zersetzte Hochmoor der vier untersuchten Standorte. Dies stimmt auch mit den hohen Aschegehaltsmessungen überein.

Da das Ägerriedprofil nicht vollständig gemessen wurde, ist es schwierig, einen eindeutigen Trend festzustellen. Generell nehmen die Werte mit der Tiefe zu, was ebenfalls auf eine stärkere Zersetzung im Oberboden hinweist. Der Durchschnittswert liegt bei 31.

Im Gegensatz dazu nimmt das C/N-Verhältnis des Hagenmoos' mit der Tiefe leicht ab. Mit einem Durchschnittswert von 38 liegt auch der Torf des Hagenmoos' in einem sehr wenig zersetzten Bereich.

Das Profil des Etangs de la Gruère unterliegt, mit Werten zwischen 20–95, den grössten Schwankungen. Wie auch im Hagenmoos wird das Verhältnis mit zunehmender Tiefe tendenziell enger. Durchschnittlich beträgt das C/N-Verhältnis hier 38 (siehe Abb. 46).

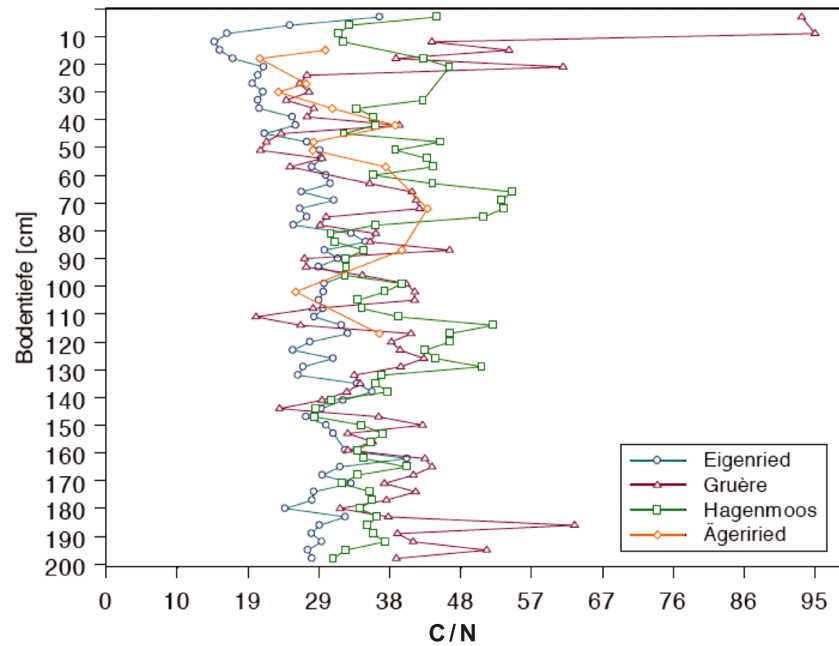


Abb. 37: C / N-Verhältnis der Standorte Eigenried, Ägerried, Hagenmoos und Gruère

Die C / N-Profile, welche sich für die vier Standorte ergeben, korrelieren nicht im selben Masse mit der Tiefe (z) des Torfs, wie dies im O / C- und H / C-Profil der Fall ist, was folgende Abbildungen verdeutlichen (siehe Abb. 47–50). Die Bestimmtheitsmasse liegen zwischen 0.01–0.244. Es wird bestätigt, dass die zwei entwässerten Torfprofile eine leichte Zunahme des C / N-Verhältnisses verzeichnen, während im wiedervernässten und im ungestörten Profil eine Abnahme festzustellen ist. Die 95 %-Konfidenzintervalle der Steigung (m) und des Achsenabschnitts (q), welche in der Legende angegeben werden, umfassen eine breite Spannweite. Im Fall des Ägerrieds und des Hagenmoos ist darf m demzufolge nicht mit Sicherheit als positiv bzw. negativ angenommen werden, da das Konfidenzintervall sowohl negativen als auch positiven Bereich umfasst. Anhand des aufgeführten Signifikanzniveaus (sig.) ist anhand folgender Skala zu entnehmen, ob die Korrelation statistisch signifikant ist, oder nicht:

sig. > 0.05 → nicht stat. signifikant

0.05 > sig. > 0.01 → stat. signifikant mit Konfidenzniveau 95 %

sig. < 0.01 → stat. signifikant mit Konfidenzniveau 99 %

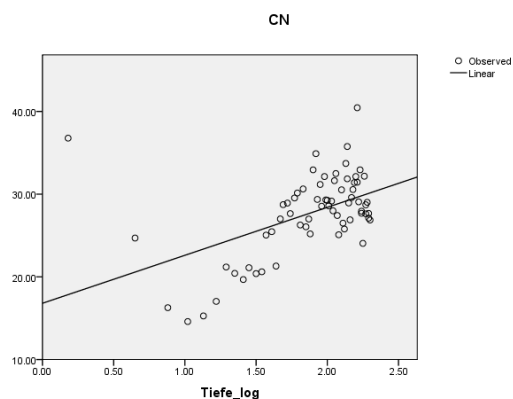


Abb. 38: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried

$$C / N = 5.8 \log(z) + 16.8$$

m: 3.3-8.3

q: 12-21.7

r^2 : 0.244

sig.: < 0.001

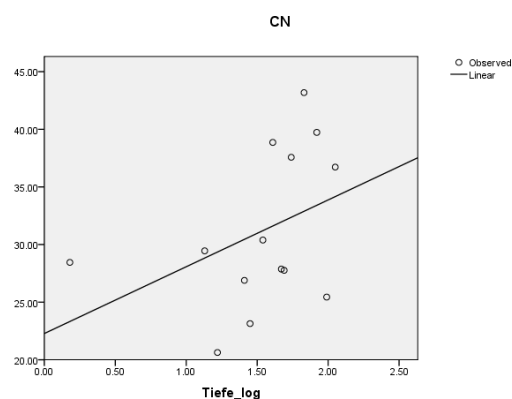


Abb. 39: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Ägerried

$$C / N = 5.8 \log(z) + 22.3$$

m: -2.5-14.1

q: 9-35.6

r^2 : 0.161

sig.: 0.155

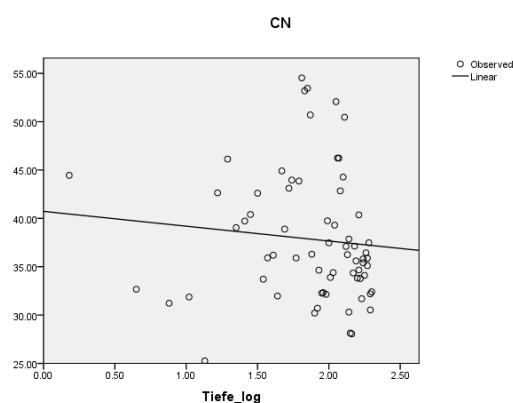


Abb. 40: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos

$$C / N = -1.5 \log(z) + 40.7$$

m: -5.4-2.3

q: 33.4-48.1

r^2 : 0.01

sig.: 0.428

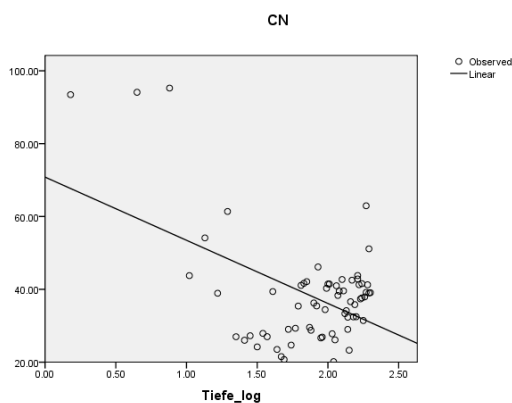


Abb. 41: C / N-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère

$$C / N = -17.3 \log(z) + 70.8$$

m: -24.9-(-9.7)

q: 56.2-85.4

r^2 : 0.242

sig.: < 0.001

4.2.4.2 O/C- und H/C-Verhältnis

Das molare O/C-Verhältnis nimmt in allen Profilen mit der Tiefe ab, und erreicht einen Wert zwischen 0.4 und 0.46 in der Tiefe von zwei Metern. Auch das molare H/C-Verhältnis nimmt mit der Tiefe ab. Im Hagenmoosprofil ist in der Tiefe von 80 cm ein starker Einbruch festzustellen. Während sich das Hagenmoosprofil bei einem Wert von 1.15 stabilisiert, erreichen die zwei Profile Eigenried und Gruère Werte von 1.3–1.35 in der Tiefe von 2 m.

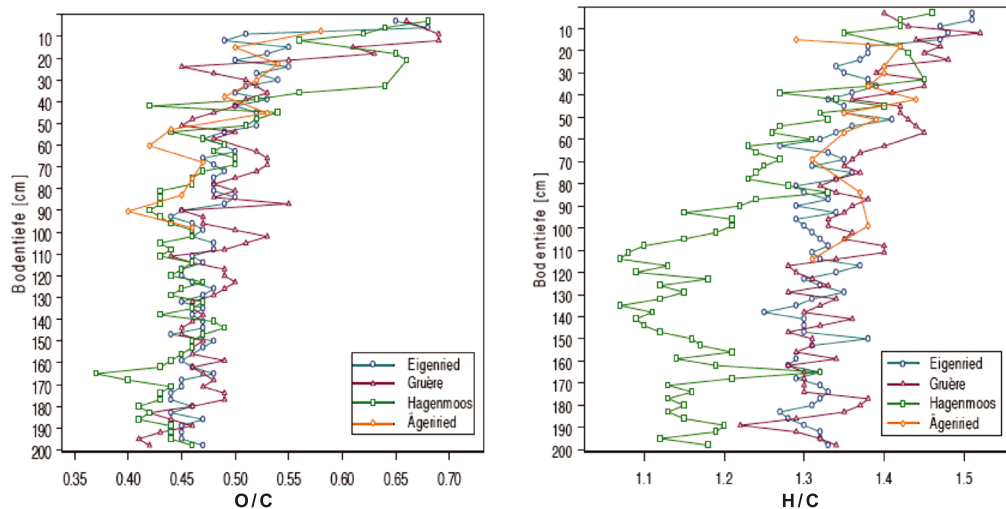


Abb. 42: O/C- und H/C-Verhältnis der Standorte Eigenried, Ägerried, Hagenmoos und Gruère

Nach der Interpretation der Q-Q-Normal-Plots (siehe Anhang, Abbildung 28–35), dürfen die Residuen der O/C- und H/C-Profilen als normalverteilt angenommen werden. Folgende Grafiken zeigen anhand der logarithmischen Regressionsgerade zwischen dem O/C- bzw. dem H/C-Verhältnis und der Tiefe eine signifikante Abhängigkeit. Die Bestimmtheitsmasse (r^2) der H/C-Profile liegen zwischen 0.5–0.7 (siehe Abb. 43–46). Wobei das Ägerriedprofil hier nicht mit berücksichtigt wurde, da diese Messungen, wie erwähnt, eine Auswahl aus allen drei Bohrkernen darstellen und deshalb keine signifikante Korrelation zu erkennen ist, was durch das kleine r^2 und die breite Spannweite des Konfidenzintervalls der Steigung (m), welche sowohl eine positive als auch eine negative Steigung zulässt, zum Ausdruck kommt. Die O/C-Profile ergeben ein ähnliches Bild. Mit r^2 zwischen 0.5 und 0.75 konnte, ausser im Ägerriedprofil, ebenfalls eine signifikante Abhängigkeit nachgewiesen werden (siehe Abb. 42–45). In der Abbildungslegende sind sowohl Bestimmtheitsmass, Regressionsgerade, das 95%-Konfidenzintervall für die Steigung (m) und den Achsenabschnitt (q) als auch das Signifikanzniveau (sig.) aufgeführt.

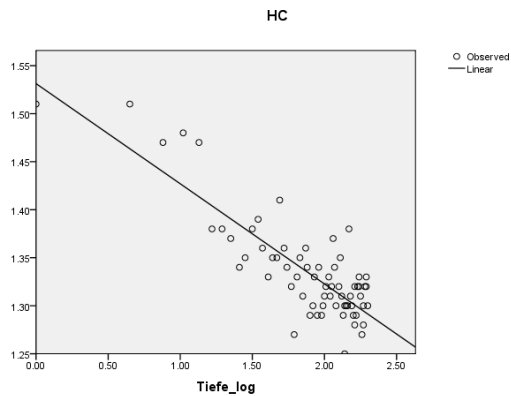


Abb. 43: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried

$$H / C = -0.107 \log(z) + 1.537$$

$$m: -0.124 - (-0.09)$$

$$q: 1.505 - 1.569$$

$$r^2: 0.715$$

$$\text{sig.:} < 0.001$$

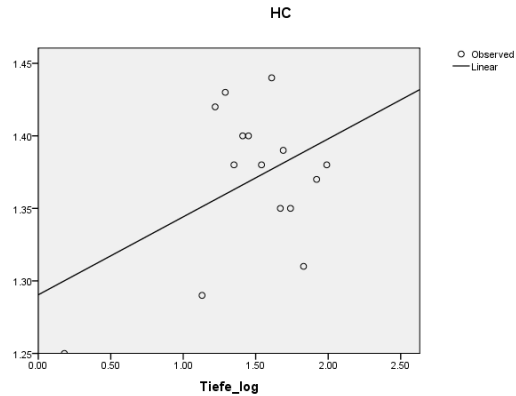


Abb. 44: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Ägerried

$$H / C = 0.054 \log(z) + 1.29$$

$$m: -0.011 - 0.118$$

$$q: 1.192 - 1.389$$

$$r^2: 0.2$$

$$\text{sig.:} 0.094$$

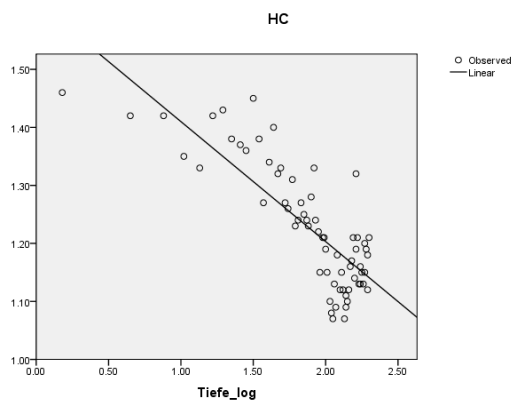


Abb. 45: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos

$$H / C = -0.2 \log(z) + 1.603$$

$$m: -0.235 - (-0.164)$$

$$q: 1.534 - 1.671$$

$$r^2: 0.667$$

$$\text{sig.:} < 0.001$$

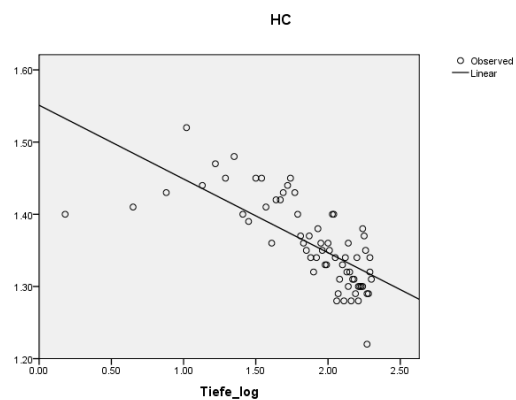


Abb. 46: H / C-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère

$$H / C = -0.102 \log(z) + 1.551$$

$$m: -0.126 - (-0.078)$$

$$q: 1.504 - 1.598$$

$$r^2: 0.521$$

$$\text{sig.:} < 0.001$$

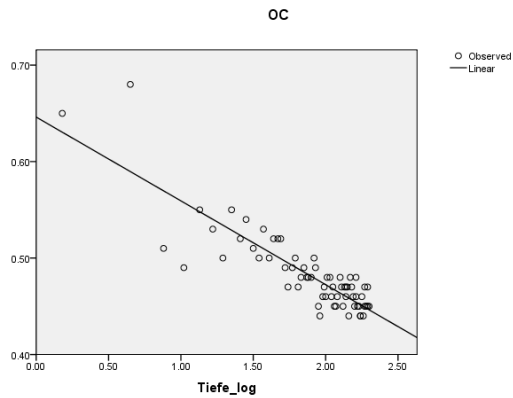


Abb. 47: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Eigenried

$$O / C = -0.087 \log(z) + 0.646$$

$$m: -0.099 - (-0.075)$$

$$q: 0.623 - 0.67$$

$$r^2: 0.753$$

$$\text{sig.}: < 0.001$$

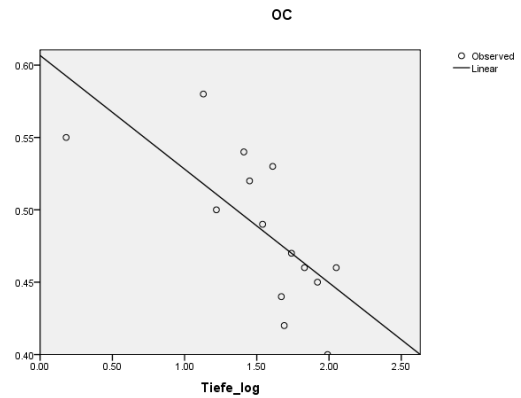


Abb. 48: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Ägerried

$$O / C = -0.07 \log(z) + 0.593$$

$$m: -0.117 - (-0.023)$$

$$q: 0.518 - 0.668$$

$$r^2: 0.501$$

$$\text{sig.}: 0.005$$

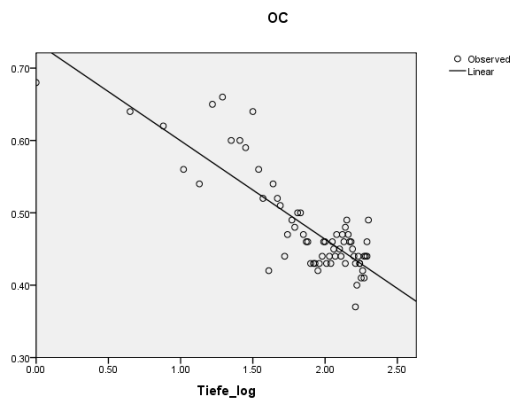


Abb. 49: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Hagenmoos

$$O / C = -0.136 \log(z) + 0.736$$

$$m: -0.157 - (-0.115)$$

$$q: 0.695 - 0.776$$

$$r^2: 0.715$$

$$\text{sig.}: < 0.001$$

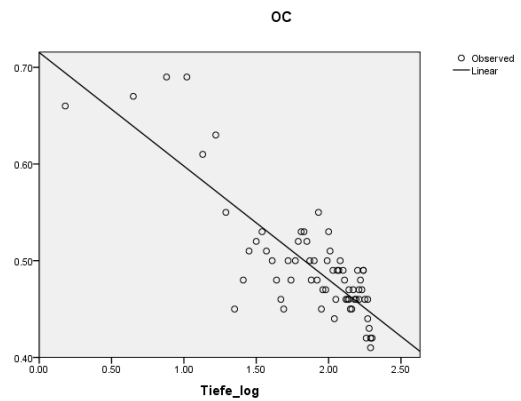


Abb. 50: O / C-Verhältnis vs. Tiefe, Gruère

$$O / C = -0.117 \log(z) + 0.715$$

$$m: -0.137 - (-0.098)$$

$$q: 0.677 - 0.753$$

$$r^2: 0.682$$

$$\text{sig.}: < 0.001$$

4.2.4.3 Van Krevelen Plot

Mit den molaren O/C- und H/C-Verhältnissen des Torfs lässt sich die Zusammensetzung des organischen Materials abschätzen. Alle biochemischen Verbindungen, wie Lignin, Kohlenhydrate, Proteine, Lipide, etc. haben typische H/C-, O/C-Verhältnisse. Im van Krevelen-Plot (Preston et al., 2006.) werden die charakteristischen H/C-, O/C-Verhältnisse der verschiedenen Verbindungen abgebildet. Ist das O/C-Verhältnis > 1 und das HC-Verhältnis > 2 , besteht die Substanz vorwiegend aus Glukose. Da Polyphenole von Sphagnum ein vergleichbares O/C und H/C-Verhältnis haben wie Lignin, ist diese Grafik im Fall von Sphagnumtorf sinnvoll anwendbar.

Werden die Proben, ungeachtet ihres Standortes, nach der Tiefe sortiert, ergibt sich folgendes Bild:

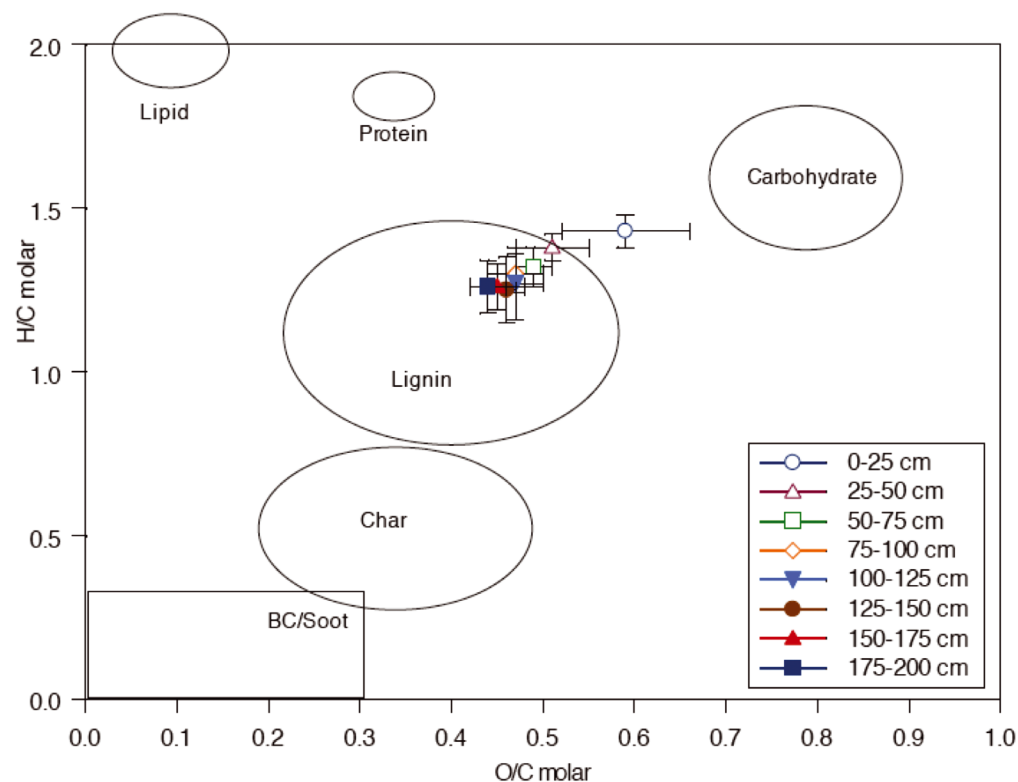


Abb. 51: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Tiefe sortiert (25 cm Auflösung und Standardabweichung)

Der Zersetzungsgrad nimmt mit der Tiefe signifikant zu ($r^2 = 0.866$, bei einer logarithmischen Trendlinie mit der Gleichung: $y = 0.892 \ln(x) + 0.2447$). Zwar ist eine Abnahme des Zersetzungsgrad mit dem Alter des Torfs festzustellen, dennoch ist auch in der Tiefe von 175–200 cm noch ein deutlicher Zersetzungsprozess und eine relative Anreicherung von Polyphenolen ersichtlich.

Werden die Proben nach ihrem Standort sortiert, zeigt sich, dass die Proben mit dem höchsten Ligninanteil aus dem Hagenmoos stammen. Der Torf der andern drei untersuchten Hochmoore enthält einen leicht erhöhten Kohlenhydratanteil (siehe Abb. 52/53).

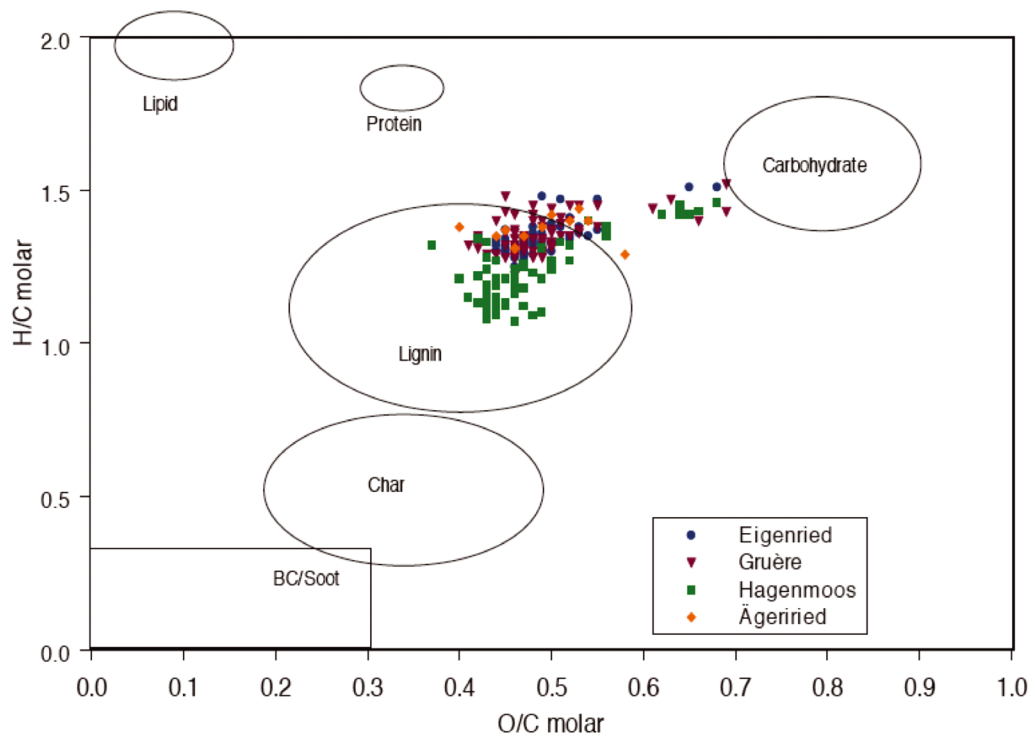


Abb. 52: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Standort sortiert

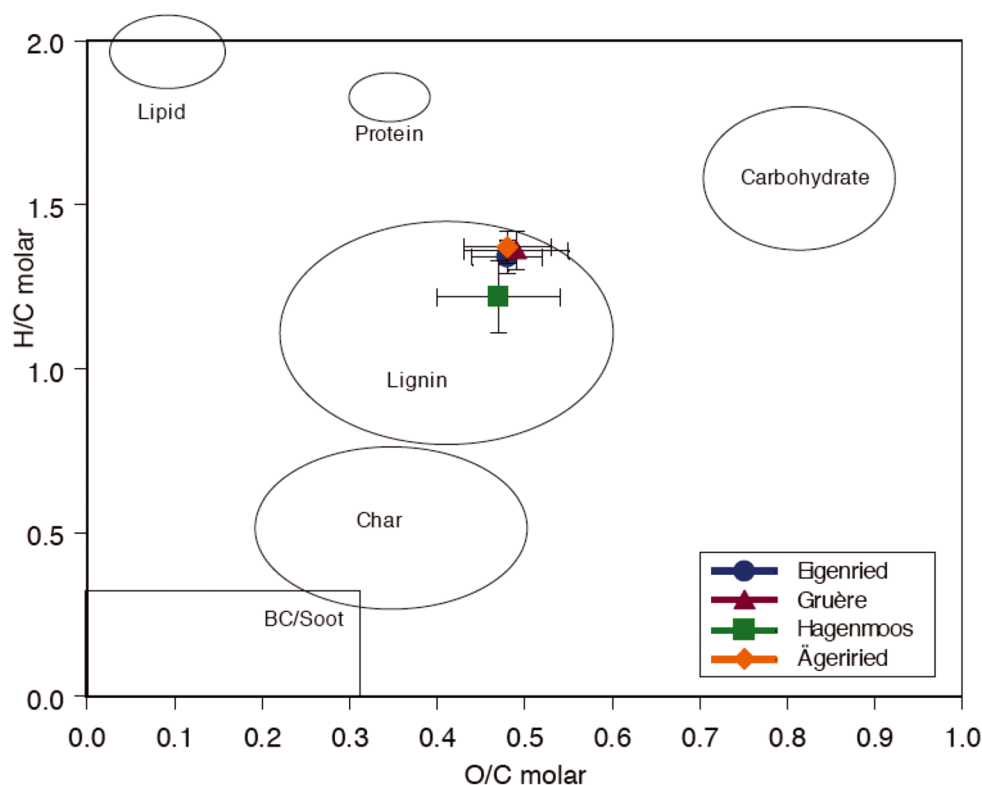


Abb. 53: Van Krevelen Plot: Eigenried, Gruère, Hagenmoos, Ägerried nach Standort sortiert. Mittelwert und Standardabweichung

4.2.5 Kohlenstoffverlust

Mit den Ergebnissen der Elementaranalyse und des Glühverlusts können die Kohlenstoffgehalte der Hochmoortorfe berechnet werden.

Die Variabilität¹⁰ zwischen den Bohrkernen des Eigenrieds liegt mit 85 % sehr hoch. Das Ergebnis ist also mit einer grossen Unsicherheit behaftet.

Das Ägerried weist einen sehr hohen OC-Verlust auf. Die Variabilität liegt hier bei 19.4 %. Es werden Werte dargestellt für die zwei Hauptentwässerungsperioden in den Jahren 1880 und 1944 (siehe Kap.2.2.1). Je nach angenommenem Hauptentwässerungsjahr unterscheiden sich die jährlichen OC-Verlustraten deutlich.

Da der Etang de la Gruère als ungestörtes Hochmoor gilt, ist kein Entwässerungsjahr bekannt. Wird jedoch das Jahr 1943 als solches angenommen (siehe Kap.2.4.1), ergeben sich die unten eingetragenen Werte. Die gemittelten OC-Verluste liegen höher als beim Eigenried, wobei die Variabilität zwischen den einzelnen

¹⁰ $Var \% = \frac{\sigma(n_1, n_2, n_3)}{100 m}$, wobei: m = Mittelwert, σ = Standardabweichung

Bohrkernen mit 63.1 % ebenfalls sehr hoch ist. Dennoch ist in jedem Bohrkern ein deutlicher Verlust festzustellen. Teilweise ergeben sich jedoch relative Fehler von über 100 %, wodurch nicht mit Sicherheit ein Kohlenstoffverlust nachgewiesen werden kann.

Das Hagenmoos wurde nicht berücksichtigt, da im Profil kein signifikanter Oxidationshorizont auszumachen ist. Die deutliche Störung in 160 cm Tiefe der Bohrkerne darf nicht als Oxidationshorizont interpretiert werden. OC-Verluste fanden an diesem Standort nicht statt, oder sind nicht mehr zu erkennen.

Tab. 2: Kohlenstoffgehalte (kg / m^2), Kohlenstoffverluste (kg / m^2) bei einer Bohrtiefe von 2 respektive 0.5 – 1.2 m (Ägerried) und jährliche OC-Verlustrate (kg / m^2) der Hochmoore Eigenried, Ägerried und Gruère. (Ägerried: OC-Verlustraten für das Entwässerungsjahr 1880 und 1944)

<i>Standorte</i>	<i>OC kg / m^2 vorhanden</i>	<i>OC kg / m^2 urspr.</i>	<i>OC kg / m^2 verloren</i>	<i>Relativer Fehler: OC-Verlust OC kg / m^2</i>	<i>OC kg / m^2 Jährliche Verlustrate</i>	<i>Relativer Fehler: jährliche Verlustrate OC kg / m^2</i>
Eigenried total	65.88	74.82	12.20	(± 18.69)	0.14	(± 0.21)
EG A	64.24	68.9	3.96	(± 2.13)	0.04	(± 0.02)
EG B	71.46	89.42	23.58	(± 7.37)	0.26	(± 0.08)
EG C	61.94	66.16	9.04	(± 3.43)	0.1	(± 0.04)
Ägerried total (1880)	56.03	128.30	78.28	(± 27.83)	0.61	(± 0.22)
Ägerried total (1944)					1.26	(± 0.45)
ÄR A (1880)	95.052	129.6	65.80	(± 27.26)	0.51	(± 0.21)
ÄR A (1944)					1.06	(± 0.44)
ÄR B (1880)	65.0484	142.5708	95.15	(± 29.55)	0.74	(± 0.23)
ÄR B (1944)					1.54	(± 0.48)
ÄR C (1880)	20.965	87.675	73.89	(± 27.67)	0.58	(± 0.21)
ÄR C (1944)					1.19	(± 0.44)
Gruère total	68.84	85.22	19.16	(± 22.19)	0.29	(± 0.34)
GR A	58.28	73.26	7.49	(± 4.11)	0.15	(± 0.06)
GR B	67.52	104.26	18.37	(± 8.05)	0.28	(± 0.12)
GR C	80.74	143.98	31.62	(± 32.70)	0.49	(± 0.50)

Tab. 3: Jährliche CO₂- Emission aus den Hochmooren Eigenried, Ägerried und Gruère. (Ägerried: OC-Verlusten für das Entwässerungsjahr 1880 und 1944)

<i>Standorte</i>	<i>Jährliche CO₂-Emission t CO₂ / ha / a</i>	<i>rel. Fehler: t CO₂ / ha / a</i>
Eigenried total	4.96	± 7.61
EG A	1.61	± 0.87
EG B	9.60	± 3.00
EG C	3.68	± 1.40
Ägerried total (1880)	22.41	± 7.97
Ägerried total (1944)	46.26	± 16.45
ÄR A (1880)	18.84	± 7.80
ÄR A (1944)	38.89	± 16.11
ÄR B (1880)	27.24	± 8.46
ÄR B (1944)	56.23	± 17.47
ÄR C (1880)	21.15	± 7.80
ÄR C (1944)	43.67	± 16.10
Gruère total	10.80	± 12.15
GR A	4.22	± 2.31
GR B	10.36	± 4.54
GR C	17.82	± 18.43

5 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Messresultate und die Berechnungen diskutiert und anschliessend in einen breiteren Kontext gestellt, indem sie mit Ergebnissen anderer Untersuchungen verglichen werden. Es soll versucht werden, anhand der vorliegenden Zahlen, Antworten sowohl auf die methodische, als auch auf die inhaltlichen Fragestellungen zu finden.

5.1 Beurteilung der Messresultate

In einem ersten Schritt sollen hier die angestellten Messungen erläutert und interpretiert werden.

5.1.1 Lagerungsdichte

Die Lagerungsdichte korreliert positiv mit dem Aschegehalt. Die gemessenen Aschepeaks werden in den Dichteprofilen als lokale Verdichtungen widerspiegelt. Der Dichteanstieg im Oberboden der entwässerten Hochmoore kann zum einen dem verstärkten mikrobiellen Abbau des organischen Materials, zum andern der mit der Entwässerung einhergehenden Torfsackung angerechnet werden. Die zunehmende Verdichtung mit der Tiefe ist sowohl das Resultat der anaeroben Zersetzung, als auch der unter Druck stattfindenden langsamen Torfsetzung.

5.1.2 pH-Wert

Der mittlere pH, der in drei der vier Standorten den Wert 4.5 nicht überschreitet, bestätigt das erwartete saure Hochmoormilieu. Der stetige Anstieg des pHs mit der Tiefe lässt einen zunehmenden Einfluss des minerotrophen Flachmoorbereichs vermuten. Der deutliche Anstieg des pHs im Ägerriedprofil in 1.15 m Tiefe ist auf den angrenzenden Mineralboden und das darauf gewachsene Flachmoor zurückzuführen. Beim ersten Messpunkt in der Tiefe von 6 cm im Profil des Etangs de la Gruère darf ein Messfehler oder eine lokale Verunreinigung der obersten Probe vor oder nach der Entnahme nicht ausgeschlossen werden.

Der durchschnittliche pH-Wert des Eigenrieds, welcher bis in die Tiefe von zwei Metern nur kleinen Schwankungen unterliegt, fällt mit einem Mittelwert von 5 höher aus als die restlichen Messwerte. Eine komplett unterschiedliche chemische Zusammensetzung des Torfs gegenüber den andern Standorten kann ausgeschlossen werden (siehe Kap. 4.2.4.3), eine möglich Erklärung wäre vielmehr eine externe Störung des gesamten Profils (siehe Kap. 5.3.2.5).

5.1.3 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit, welche in allen Profilen durchschnittlich unter 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegt, zeigt die Nährstoffarmut der Bodenlösung in Hochmoorböden auf. Die tiefen Werte, welche im Etang de la Gruère gemessen wurden, bestätigen den ungestörten ombrotrophen Zustand dieses Hochmoors; sämtliche Einträge in die Bodenlösung stammen aus der Atmosphäre. Die elektrische Leitfähigkeit der beiden entwässerten Hochmoore liegt etwas höher, verglichen mit der Leitfähigkeit von Grundwasser (200–800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ¹¹ sind diese Unterschiede jedoch vernachlässigbar klein (AWEL, 2005).

Die Ionenkonzentration in der Bodenlösung des Hagenmoos' weist im Oberboden einen Anstieg auf. Im Zusammenhang mit dem fehlenden Oxidationshorizont im Ascheprofil kann diese relative Konzentration gelöster Ionen als Indikator für eine stattfindende Auswaschung der mineralisierten Bodenpartikel interpretiert werden (siehe Kap. 5.3.2.4).

5.1.4 Elementaranalyse

Die Elementaranalyse der Torfprofile weist durchgehend auf eine verstärkte Zersetzung des Torfs mit zunehmender Tiefe hin. Das Minimum im Hagenmoosprofil in der Tiefe von 160–170 cm zieht sich, mit Ausnahme der N-Messung, durch alle Elementprofile. Dieser Einbruch im C-, O- und H-Profil entspricht dem gemessenen Ascheprofil des Hagenmoos', welches in derselben Tiefe einen markanten Anstieg des mineralischen Materials aufweist. Die Schicht, welche im frischen Torf als schwarze Masse erkennbar war, stellt sich somit als sehr sauerstoff-, kohlenstoff- und wasserstoffarme, stark zersetzte Substanz heraus.

5.1.4.1 C/N-Verhältnis

Beim Abbau der organischen Substanz wird N relativ zu C angereichert, da Kohlenstoff in Form von CO_2 bzw. CH_4 freigesetzt wird, während der Stickstoff von der Mikrobiomasse als Nährstoff aufgenommen wird und im Boden bleibt. Das C/N-Verhältnis dient somit als Indikator der mikrobiellen Zersetzung und der Abbaubarkeit; je enger das Verhältnis, desto fortgeschrittener der Zersetzungsgrad und geringer die Abbaubarkeit (Scheffer und Schachtschabel, 2002). Liegt das C/N-Verhältnis in einem Torfboden > 25 , gilt das Material als wenig zersetzt; den Mikroben fehlt der Stickstoff für den Aufbau ihrer Körpersubstanz, dadurch verlangsamt sich der weitere mikrobielle Abbau des organischen Materials (Jaton, 1977).

¹¹ Erfahrungswert der SLMB (schweizerisches Lebensmittelbuch)

Deutlich zu erkennen ist in allen vier Profilen der unzersetzte, oberflächennahe Mooshorizont in den obersten 10 cm. Diese Vegetationsschicht befindet sich im Wachstum und wird in gewissen Untersuchungen nicht zum eigentlichen Torfboden gezählt (Turetsky et al., 2004 / Zacccone et al., 2008).

Im wiedervernässten und im ungestörten Torfprofil zeichnet sich eine leichte Abnahme des C/N-Verhältnisses mit der Tiefe ab. Dies deutet auf den stärkeren Zersetzungsgrad im tieferen Katotelm hin. Die leichte Zunahme mit der Tiefe, welche hingegen in den entwässerten Hochmoorstandorten festzustellen ist, muss demzufolge auf eine stärker zersetzte oberflächennahe Torfschicht hindeuten. Jedoch ist zu bedenken, dass in allen Fällen eine schwache Korrelation vorherrscht (siehe Abb. 38–41). Im Hagenmoos und im Ägeriried kann, wegen dem weiten Konfidenzintervall der Steigung nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob diese positiv oder negativ ist. Die Aussagen sind also mit einer grossen Unsicherheit behaftet. Generell kann gesagt werden, dass die Zersetzungsprozesse in allen vier Profilen langsam ablaufen, da das C/N-Verhältnis durchschnittlich immer über 25 liegt. Allein im Eigenried wird dieser Grenzwert in den oberflächennahen Schichten (–45 cm) unterschritten; dank der günstigen Nahrungssituation der Mikroorganismen (dem rel. hohen N-Anteil) wird die Zersetzung zusätzlich verstärkt.

Auch ist das C/N-Verhältnis vom Ursprungsmaterial des Torfs abhängig. Grosse Schwankungen, wie sie in ausgeprägter Form im Profil des Etangs de la Gruère vorkommen (mit Werten zwischen 20–95), können daher auch auf eine Schichtung unterschiedlichen Vegetationsmaterials hindeuten (Zacccone et al., 2008).

5.1.4.2 H/C-Verhältnis

Auch das molare H/C-Verhältnis dient als Zersetzungsindikator. Die leichte Abnahme des H/C-Verhältnisses mit der Tiefe kommt durch die in den anaeroben Abbauprozessen stattfindende CH₄-Emission im wassergesättigten Moor zustande, wobei sich das C relativ zum H anreichert.

Der starke H/C-Einbruch im Hagenmoosprofil in der Tiefe von 80 cm (siehe Abb. 42) ist auf die Wasserstoffabnahme, die schon in Abb. 36 b) zu erkennen ist, zurückzuführen. Dies deutet auf stark zersetztes Material hin. Die signifikante Abnahme der H/C-Profile in den Messungen des Hagenmoos', des Eigenrieds und des Etangs de la Gruère bestätigen die Kohlenstoffanreicherung mit dem Alter des Torfs. Die Regressionsgeraden der H/C-Messungen der drei Standorte weisen alle ähnliche Steigungen (m) auf, wobei das H/C-Verhältnis des Eigenrieds der stärksten und das des Hagenmoos' der schwächsten Abnahme unterliegt (siehe Abb. 43–46).

Im Eigenried findet demzufolge die ausgeprägteste Kohlenstoffanreicherung statt. Die ähnlichen Parameter q und m lassen auf eine vergleichbare Torfzusammensetzung schliessen. Die grosse Streuung der Residuen im Ägeriried kann wiederum damit begründet werden, dass im Ägeriried nicht die gesamten Proben eines einzelnen Bohrkerns gemessen wurden, sondern nur eine Auswahl von 13 Proben aus allen drei Bohrkernen (siehe Kap. 3.2.3). Die leichte Zunahme des H/C -Verhältnis' mit der Tiefe liegt im Widerspruch zu den restlichen Informationen über die Torfzusammensetzung und den Zersetzungsgrad im Ägeririedtorf. Dies ist entweder mit einer ungewöhnlichen H -Anreicherung in der Tiefe zu erklären, oder kommt durch eine Verzerrung zustande, die von der beschränkten Vergleichbarkeit der drei Bohrkern verursacht wird. Da das Konfidenzintervall des Parameters m jedoch auch in dieser Messung vom negativen bis in den positiven Bereich reicht, können keine sicheren Aussagen über die Steigung gemacht werden.

5.1.4.3 O/C-Verhältnis

Zacccone et al. (2008) zeigen anhand Analysen an Hochmoortorf eine enge Korrelation zwischen dem molaren O/C -Verhältnis und dem Anteil an Karbohydraten und Karboxylgruppen auf. Das O/C -Verhältnis ist demzufolge für Hochmoortorf ein Zersetzungsindikator, der Angaben über den Vertorfungsgrad des Materials liefert. Der Sauerstoff wird durch oxidative Abbauprozesse verbraucht und in Form von CO_2 emittiert. Es findet ebenfalls eine relative Kohlenstoffanreicherung mit zunehmender Tiefe statt. Durch die signifikante Abnahme des O/C -Verhältnis' mit der Tiefe, wird die Abnahme an Karbohydraten in der Torfzusammensetzung in allen vier Profilen deutlich sichtbar. Wobei auch hier das Ägeriried aus erwähntem Grund die grösste Streuung aufweist. Die Parameter q und m der Regressionsgeraden der restlichen drei Standorte liegen wiederum in einem sehr ähnlichen Bereich. Das Eigenried weist auch in seinem O/C -Verhältnis den grössten Gradienten auf, das Hagenmoos den schwächsten, dadurch wird noch einmal ersichtlich, dass der Torf des Eigenrieds der stärksten chemischen Veränderung unterliegt (siehe Abb. 47–50).

Wird davon ausgegangen, dass die oberflächennahen Peaks in den Ascheprofilen durch oxidativen Abbau zustande gekommen sind, sollte das O/C -Profil demzufolge ein Negativbild des Ascheprofiles darstellen. Werden die beiden Messungen einander gegenübergestellt, ergibt sich folgendes Bild:

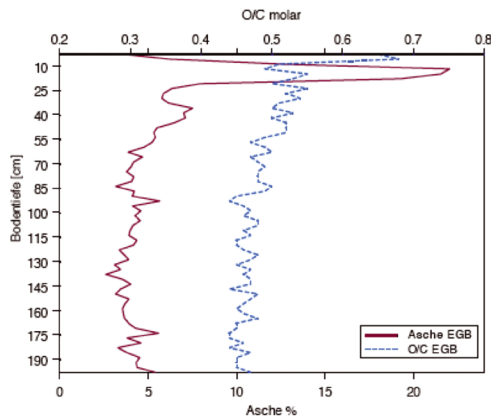


Abb. 54: molares O/C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Eigenried

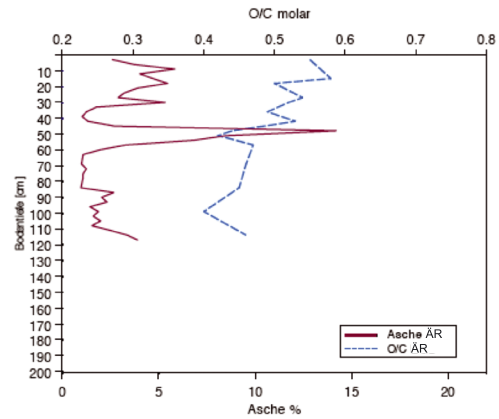


Abb. 55: molares O/C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Ägeriried

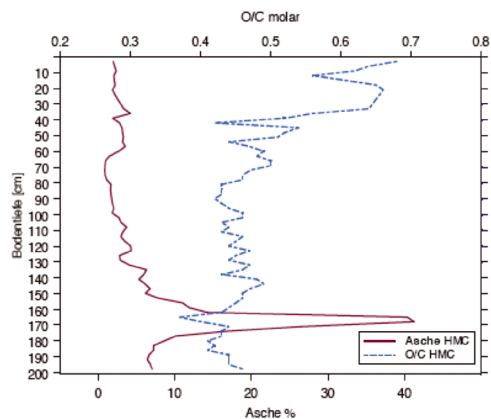


Abb. 56: molares O/C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Hagenmoos

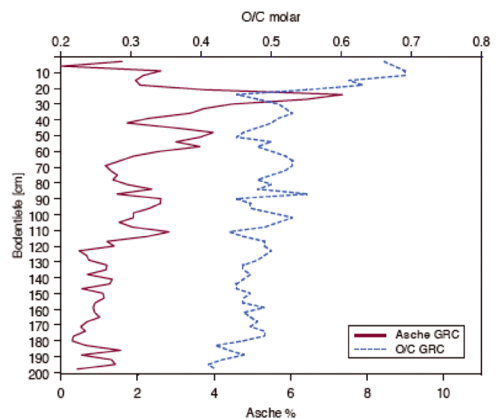


Abb. 57: molares O/C-Verhältnis und Aschegehalt vs. Tiefe. Gruère

Der jeweilige Verlauf des O/C-Profiles stimmt im Allgemeinen gut überein mit demjenigen des Ascheprofils. Allein die markanten Aschepeaks sind in den O/C-Profilen jeweils nicht entsprechend ausgeprägt. Werden diese jedoch als Oxidationshorizonte angenommen, sollten sie gerade im Eigen- und im Ägeriried im O/C-Profil deutlich zu erkennen sein. Wobei das Ägeririedprofil nicht dieselbe detaillierte Information enthält wie das Eigenriedprofil. Das Fehlen eines Negativpeaks in den O/C-Profilen wirft Fragen auf über den tatsächlichen Ursprung der Aschepeaks und dessen chemische Zusammensetzung. Gleichzeitig muss aber auch die Eignung des O/C-Verhältnis als Indikator für oxidativen Abbau hinterfragt werden.

5.1.4.4 Van Krevelen Plot

Mit der Gegenüberstellung des O/C- und H/C-Verhältnisses im Van Krevelen Plot (siehe Abb. 51) wird die Zersetzung des Torfs noch einmal verdeutlicht. Der Zersetzungsgrad nimmt mit der Tiefe exponentiell ab, dennoch ist auch in einer Tiefe von zwei Metern noch eine deutliche Zersetzung auszumachen. Dies bedeutet, dass auch in sehr altem Torf in anaerobem Zustand weiterhin eine chemische Veränderung des Materials stattfindet.

In Abb. 53 wird ersichtlich, dass die chemische Zusammensetzung des Torfs der Standorte Eigenried, Ägeriried und Gruère beinahe deckungsgleich ist. Allein das Hagenmoos weist einen höheren Anteil an phenolischen Verbindungen auf, was auf den Tiefenpeak, welcher eine abweichende chemische Zusammensetzung aufweist, zurückgeführt werden muss. Der Torf der vier Standorte liegt also in einem chemisch vergleichbaren Bereich, somit ist auch ein ähnliches Verhalten unter gleichen Bedingungen zu erwarten.

5.1.5 Aschegehalt

Die gemessenen Ascheprofile von drei der vier untersuchten Hochmoore weisen deutlich den erwarteten Ascheanstieg in Oberflächennähe auf.

Werden die Standorte einzeln untersucht, muss festgestellt werden, dass sich die Wiederholungsmessungen je nach Standort unterschiedlich verhalten. Die drei Wiederholungsmessungen der Standorte Gruère, Ägeriried und Hagenmoos sind untereinander sehr homogen (siehe Anhang, Abbildung 25, 26 und 27). Die Oxidationshorizonte sind jeweils in allen drei Wiederholungen deutlich ausgebildet. Einzig im Bohrkern C des Ägeririeds kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, wie sich der weitere Verlauf des Aschegehaltes entwickeln würde, da die Probenahme nach 50 cm Tiefe abgebrochen werden musste. Befinden sich die Peaks nicht in derselben Tiefe, ist dies auf das typisch unebene Mikrorelief der Hochmoore zurückzuführen (Kap. 1.2). Die Peaks dürfen pro Standort in derselben Zeitepoche angenommen werden.

Die drei Wiederholungsmessungen im Eigenried sind markant unterschiedlich. Zwar weisen alle einen mehr oder weniger ausgeprägten Aschepeak in der Tiefe von 10–20 cm auf, der weitere Verlauf des Aschegehalts jedoch unterscheidet sich deutlich. Im Bohrkern C ist in der Tiefe von 40–50 cm ein weiterer Anstieg der Asche zu erkennen, welcher auch im A-Profil ansatzweise vorhanden ist, im B-Profil jedoch nicht gemessen wurde. Im Gegensatz zum A-Profil, welches einen deutlichen Ascheanstieg mit der Tiefe verzeichnet, liegt der Aschehintergrund des B-Profils konstant sehr niedrig (siehe Anhang, Abbildung 24). Diese grossen Unterschiede

im Aschegehalt von drei Wiederholungsproben aus einem Untersuchungsperimeter von 10×40 Metern sind ungewöhnlich und sollen im Kapitel 5.3.2.5 genauer diskutiert werden. Auf diese Heterogenität ist die grosse Unsicherheit des Resultates zurückzuführen.

Werden nun die Aschegehalte der vier Untersuchungsgebiete untereinander verglichen, fällt auf, dass sich vor allem die Tiefe und Form der Peaks unterscheidet. Der Aschegehalt der Hintergründe liegt, ausser beim Eigenried, immer zwischen 0.3–3.5 %, was den ombrotrophen Charakter der Hochmoore hervorhebt. Der relativ kleine Aschepeak im Etang de la Gruère liegt vergleichsweise tief zwischen 60 und 70 cm (siehe Abb. 35). Die darüberliegende erneute Abnahme des Aschegehalts bestätigt, dass sich das Hochmoor im Wachstum befindet. Die Störung, welche zur verstärkten Torfmineralisierung führte, kann im selben Zeitraum liegen, wie diejenige die in den zwei entwässerten Hochmooren eine Ascheakkumulation hervorrief. Nur fand bei den zwei letzteren anschliessend keine neue Wachstumsperiode statt, somit blieb der gestörte Horizont näher an der Bodenoberfläche.

Der Peak im Eigenried ist lokal, dafür sehr markant ausgebildet (siehe Abb. 32). Dies deutet auf eine kurze, intensive Zersetzung hin, welche mit dem späten Entwässerungsdatum und der intensiven Drainage zwecks Torfabbau im umliegenden Torffeld gut begründet werden kann.

Der Ascheanstieg im Ägeriried erstreckt sich bis in eine Tiefe von 69 cm (siehe Abb. 33). Die lange Entwässerungsgeschichte, welche schon im 19. Jahrhundert begann, ist bestimmt einer der Gründe für diese tiefreichende Oxidation. Zudem trägt die Durchwurzelung des Fichtenwaldes seinen Teil zur Belüftung des Bodens bei (siehe Kap. 5.2.2), was dazu führen kann, dass nicht nur ein einzelner, sondern mehrere, unregelmässig ausgebildete Peaks in verschiedenen Tiefen zu erkennen sind. Der Ascheanstieg in der Tiefe von 45–48 cm tritt besonders markant hervor.

Der Aschepeak im Hagenmoos ist kein Oxidationshorizont und kann deshalb nicht mit den restlichen Profilen verglichen werden. Das Hagenmoos wird im Kap. 5.3.2 genauer untersucht.

5.2 Beurteilung der Datenanalyse

Wird der oberflächennahe Anstieg des Anteils der mineralisierten Substanz gänzlich dem oxidativen Abbau zugewiesen, ergeben sich, nach beschriebener Berechnungsmethode, die in Tab. 3 präsentierten Emissionswerte. Die inhaltliche Hauptfragestellung konnte somit beantwortet werden. Hier sollen nun die zwei weiterführenden inhaltlichen Fragen diskutiert werden.

5.2.1 Wiedervernässung

Das Verhalten eines wiedervernässten Moores bezüglich des Kohlenstoffflusses ist in der Messung des Kohlenstoffgehalts des Hagenmoos' nur ansatzweise erkennbar. Anhand der Messung müsste folgender Schluss gezogen werden: Da kein Oxidationshorizont im Aschegehalt festgestellt werden konnte, sondern eine lineare Abnahme des mineralischen Anteils gemessen wurde, wie dies in einem wachsenden Hochmoor zu erwarten ist, darf angenommen werden, dass sich das wiedervernässte Hochmoor innerhalb von 26 Jahren vollständig regeneriert hat. Würden die Messwerte des Hagenmoos' denselben Berechnungen unterzogen, wie die Daten der andern drei Standorte, ergäbe dies einen negativen Kohlenstoffverlust, was bedeuten würde, dass der Netto-CO₂-Fluss wieder in natürlicher Richtung verläuft. Das Hochmoor befände sich erneut im Wachstum und dürfte somit wieder als Kohlenstoffs Senke bezeichnet werden.

Diese Schlussfolgerung ist aber insofern kritisch zu beurteilen, als dass im Aschegehalt die lange Entwässerungs- und intensive Nutzungsperiode in keiner Weise erkennbar ist, welche aufgrund der Hypothesen einen deutlich erkennbaren Anstieg der Asche hätte hinterlassen sollen. Somit darf diese vermeintliche Totalregeneration nicht mit Sicherheit angenommen werden. Vielmehr muss auf ein Versagen der Methode geschlossen werden, worauf im Kapitel 5.3.2 vertieft eingegangen wird.

5.2.2 Bewaldeter vs. offener Standort

Die zweite Unterfrage nach dem Verhalten bewaldeter versus offener Hochmoorstandorten kann anhand der Berechnungen im Eigen- und im Ägeriried folgendermaßen beantwortet werden:

Die Emissionsrate des Ägeririeds ist massiv höher als diejenige des Eigenrieds (siehe Tab. 2; Tab. 3). Die stärkere Durchlüftung eines durchwurzelter Bodens fördert den oxidativen Abbau des Torfs deutlich. Die Emissionsrate des Hochmoorbodens vom Ägeriried, welcher von einem lichten Fichtenwald bewachsen ist, übersteigt diejenige des Eigenrieds um einen Faktor 4,5–9. Deshalb sollte bewaldeten Hochmooren besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wenn die Wurzeln eines lichten Waldes die Emissionsraten in solchem Masse in die Höhe treiben können, muss davon ausgegangen werden, dass systematische forstwirtschaftliche Nutzung von Torfböden noch intensivere Auswirkungen auf deren Emissionsverhalten haben. Anhand dieser Resultate ist deshalb auch zu bezweifeln, dass der durch Torfmineralisierung verlorene Kohlenstoff durch die quantifizierbare Kohlenstoffbindung der Biomasse des vorhandenen Waldes kompensiert wird, wie dies oft postuliert

wird (Oleszczuk et al., 2008 / Minkkinen et al., 2008). Zudem ist das Sequestrationspotential eines lebenden Waldes nicht mit demjenigen eines wachsenden Hochmoors gleichzusetzen. Während ein intaktes Hochmoor eine Nettosenke darstellt, wird der in einem Wald gespeicherte Kohlenstoff wieder in die Atmosphäre abgegeben, sobald der Wald nicht mehr existiert (Schils et al., 2008). Um diese Aussage zu verifizieren, wären jedoch weitere Untersuchungen nötig.

5.3 Beurteilung der Methode

Das methodische Ziel dieser Arbeit war es, die angewandte Methode auf ihre Qualität und Eignung zu überprüfen. Da sich diese Masterarbeit, wie anfänglich erwähnt, stark an Rogiers Dissertation (2005) orientiert und sich auch derselben Methode bedient, sollen in einem ersten Schritt gewisse Abweichungen in der Anwendung dieser Methode aufgezeigt werden. Anschliessend werden mögliche Fehlerquellen der Methode genannt und diskutiert. Dabei werden auch die Resultate dieser Arbeit kritisch betrachtet und Vermutungen über nicht berücksichtigte Einflussfaktoren geäussert.

5.3.1 Seebodenalp vs. Eigen- und Ägeriried

Auf der Seebodenalp wurden in den Jahren zwischen 2002 und 2005 entsprechende Messungen durchgeführt. Zur Messung und anschliessenden Berechnung des Kohlenstoffverlusts wurde ebenfalls das Verfahren des Glühverlustes angewandt. Die Messung Rogiers liegt mit $59.2 \pm 4.8 \text{ kg C/m}^2$ Gesamtverlust, bzw. mit einer jährlichen Verlustrate von $0.5\text{--}0.91 \text{ kg C/(m}^2 \text{ a)}$ in einem ähnlichen Bereich wie die Messung im Ägeriried. Auch auf der Seebodenalp wurden zwei Hauptentwässerungsperioden berücksichtigt (1886 und 1940).

Da die Seebodenalp jedoch nicht bewaldet ist, wie dies im Ägeriried der Fall ist, kann die hohe Emissionsrate nicht mit der erhöhten Durchlüftung des durchwurzelterten Bodens begründet werden. Deshalb sollten die Emissionswerte der Seebodenalp mit denjenigen des Eigenrieds verglichen werden. Dabei wird der grosse Unterschied sofort deutlich und es stellt sich die Frage, weshalb ein Hochmoor auf dem Zugerberg 3.5–6 mal weniger CO_2 emittiert als ein Hochmoor auf der Rigi. Es wäre denkbar, dass die klimatischen Bedingungen auf der Seebodenalp einen raschen aeroben Abbau fördern und die Emissionsrate ansteigen lassen. Da sich die Seebodenalp jedoch in einem ähnlichen klimatischen und topographischen Umfeld befindet wie die Untersuchungsstandorte dieser Arbeit, kann der Emissionsunterschied auch dadurch nicht begründet werden.

Es sollen hier drei Punkte angesprochen werden, die bei der Anwendung der Methode «Glühverlust» unbedingt berücksichtigt werden müssen, um ein möglichst wahrheitsgetreues Ergebnis zu erhalten.

Der erste Punkt betrifft die Probenahme. Während in dieser Arbeit ein weisrussischer Torfbohrer den Torf unverdichtet dem Boden entnahm, wurde auf der Seebodenalp mit einem Bohrer der Firma Giddings Machine Company (Windsor) gearbeitet. Das oberflächennahe Bodenmaterial wurde durch die Probenahme stark verdichtet. Die Verdichtung wurde rechnerisch korrigiert. Zur Korrektur wurde eine lineare Zunahme der Verdichtung mit der Tiefe vorausgesetzt (Rogier, 2008). Da die Verdichtung hauptsächlich den Oberboden, d.h. den für diese Untersuchung interessanten Oxidationshorizont, betrifft, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die mathematische Korrektur die Unsicherheit der Resultate erhöht.

Ein zweiter wichtiger Punkt stellt die Aufbereitung der Torfproben im Labor dar. Die Proben, ebenfalls in 3 cm-Segmente aufgetrennt, wurden in der Analyse von Rogier bei 40° C während 96 Stunden getrocknet, bevor sie eingewogen wurden, um mit dem gemessenen Trockengewicht die Lagerungsdichte zu bestimmen. In dieser Arbeit wurden die Proben bei 105 ° C über Nacht getrocknet, was je nach Arbeitsmöglichkeit zwischen 12 und 24 Stunden bedeutete. Dank der starken Wasserabsorptionskraft organischer Substanz werden einzelne Partikel davon nach der Trocknung bei 105 ° C noch immer von einem zehnfachen H₂O-Film umhüllt (Gasser, 2008). Das Gewicht, welches schlussendlich verwendet wurde um die Lagerungsdichte zu berechnen, war deshalb das Trockengewicht der Probe nach der Entfernung der Restfeuchte in der prepAsh-Maschine (130° C während 90 min), wobei sich das Einwaagegewicht nochmals um bis zu 12 % verringerte. Die Lagerungsdichte, die benötigt wird um die Masse der Asche und der organischen Substanz zu bestimmen, wird demzufolge deutlich zu hoch berechnet, wenn das Wasser ausschliesslich in einem Trockenofen bei 40° C entfernt wird¹². Diese Überschätzung fliesst anschliessend auch in die Berechnung des Kohlenstoffverlusts mit ein.

Der dritte zu erwähnende Punkt ist die Bohrtiefe. Für die Untersuchung im Eigenried und Ägerried wurde die Bohrtiefe von 1,2–2 Metern gewählt. Dabei läuft man Gefahr, Material aus dem minerotrophen Bereich in die Betrachtungen miteinzubeziehen. Dies wird im Kap. 5.3.2.1 diskutiert. Andererseits beginnen die berechneten natürlichen Aschehintergründe im Ägerried und im Eigenried erst in 69 cm bzw. bei 57 cm Tiefe. Wird also ein Bohrkern von nur 50–60 cm entnommen, wie dies auf der Seebodenalp der Fall war, wird allenfalls nicht der ganze

¹² Dieses Problem der ungenügenden Trocknung ist auch in anderen Studien anzutreffen (Kluge et al., 2008 / Bragazza et al., 2007).

Oxidationsbereich berücksichtigt und der Aschegehalt, welcher als Hintergrund bezeichnet wird, könnte ebenfalls aerober Zersetzung ausgesetzt gewesen sein. Dies ist stark von der Entwässerungstiefe abhängig.

Die zwei erstgenannten Unterschiede zwischen den hier verglichenen Arbeiten bei der Probenahme und der -aufbereitung führen im Falle der Methode des Seebodenalprojekts zur Überschätzung des Kohlenstoffverlusts. Würde sich die angesprochene Annahme des dritten Punktes bewahrheiten, führte dies tendenziell zu einer Unterschätzung des Kohlenstoffverlusts.

5.3.2 Fehlerquellen

Die Methode Glühverlust basiert auf den in Kap. 1.5 genannten Hypothesen. Diese sind in einem Hochmoor wie in keinem andern Ökosystem zu einem hohen Grad gegeben. Die hohe Unsicherheit der Resultate ist dennoch teilweise auf nicht eintreffende Annahmen zurückzuführen. Jede dieser Hypothesen soll nun separat diskutiert und anhand der Untersuchungsbeispiele kritisch untersucht werden.

5.3.2.1 Hypothese 1

«Der Aschegehalt war vor der Drainage in allen Bodentiefen gleich hoch.»

Ombrotroph vs. minerotroph

Ist ein Hochmoor auf einem Flachmoor gewachsen, wie das typischerweise der Fall ist, besteht zwischen dem ombrotrophen und dem minerotrophen Bereich im Torf ein fließender Übergang. Eine eindeutige Grenze ist oft schwer feststellbar, da diese nicht allein anhand der Torfzusammensetzung ermittelt werden kann (Shotyk, 2009). Damit Annahme 1 zutrifft, muss davon ausgegangen werden, dass das untersuchte Material ausschliesslich aus dem ombrotrophen Bereich stammt und keinen externen Einflüssen unterlag. In der Bohrerntiefe von zwei Metern ist es aber nicht auszuschliessen, dass sich das Probenmaterial im minerotrophen Bereich befindet. Wäre dies der Fall, darf Hypothese 1 nicht mit Sicherheit angenommen werden.

Die gemessenen Aschehintergründe der untersuchten Standorte bleiben jedoch relativ konstant bis in die Tiefe von zwei Metern, mit Ausnahme des Hagenmoos'. Der Mittelwert des Aschehintergrunds, welcher zur Berechnung der Verlustraten verwendet wurde, würde sich deshalb verhältnismässig wenig ändern, wenn zur Berechnung nur die Messungen von einem Meter Bohrtiefe verwendet würde, um einen allfälligen minerotrophen Einfluss auszuschliessen. Demzufolge darf dieses Problem, ausser im Falle des Hagenmoos', vernachlässigt werden.

Das Hagenmoos ist ein Beispiel für eine mögliche minerotrophe Einschwemmung. Der Peak in 165–170 cm Tiefe, der sowohl in den Aschemessungen, als auch in drei der vier Elementaranalysen deutlich zu erkennen ist, muss als seitliche Einschwemmung von stark zersetztem Material interpretiert werden. Dank den durchgeführten thermischen Analysen darf die Anwesenheit von Holzkohle ausgeschlossen werden (Leifeld, 2008). Die dunkle Schicht, die auch im frischen Bohrkern von Auge erkennbar war, befindet sich in allen drei Bohrkernen in derselben Tiefe. Diese Einschwemmung deutet darauf hin, dass der Torf im Hagenmoos in zwei Meter Tiefe im minerotrophen Bereich liegt.

Ausgangsmaterial des Torfs

Ein weiterer zu untersuchender Punkt ist der natürliche Aschehintergrund; dieser ist nebst dem atmosphärischen Eintrag stark vom Ausgangsmaterial des Torfs abhängig (Bragazza et al., 2006). Haben sich die klimatischen Bedingungen und somit die Vegetationsgesellschaft während des Torfwachstums geändert, kann die Torfzusammensetzung aus sehr unterschiedlichen Materialien bestehen. Vegetationsbestände mit unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung werden von unterschiedlichen Mikroorganismen abgebaut und hinterlassen somit ebenfalls sich unterscheidende Zersetzungsrückstände. Dies kann zu Schwankungen im Aschehintergrund führen, die nicht auf oxidativen Abbau zurückzuführen sind. Da das ursprüngliche Vegetationsmaterial des Torfs bis in 2 m Bohrtiefe für diese Arbeit nicht untersucht wurde, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob die Untersuchungsgebiete natürlichen Vegetationsschwankungen unterliegen und in welcher Tiefe diese anzunehmen wären. Die Möglichkeit muss jedoch in Betracht gezogen werden und stellt somit wiederum Annahme 1 in Frage.

Atmosphärischer Eintrag

Nebst dem pflanzlichen Input trägt im Wesentlichen der atmosphärische Eintrag zum natürlichen Aschehintergrund bei. Die Schwankung desselben wurde anhand NABEL-Messungen genauer untersucht. Dazu wurde von einer jährlichen Torfwachstumsrate von 1 mm ausgegangen (Grünig, 1986).

Der jährliche atmosphärische Eintrag von den Schwermetallen Kadmium und Thallium liegen nach NABEL-Messungen von den Jahren 1988–2001 im µg- bis mg-Bereich und sind demzufolge für die Schwankungen des Aschehintergrundes von vernachlässigbarer Grösse. Der atmosphärische Blei- und Zinkeintrag aus dem Staubbiederschlag ist bedeutend höher. Die ländliche Station Payerne (47 km südwestlich von Tramelan), welche als Vergleichsstandort geeignet ist, weist

Jahresmittelwerte von 9 mg/m² Zink und 2 mg/m² Blei im Staubbiederschlag auf. In einer Torfprobe von 3 cm Mächtigkeit ergibt dies einen mittleren Metallgehalt von 0.3 g/m² Zink und 0.05 g/m² Blei. Verglichen mit dem Aschegehalt von 3 cm-Probenmaterial, welcher zwischen 2 und 40 g/m² liegt, fallen weder der Blei- noch der Zinkniederschlag stark ins Gewicht.

Als Nassdeposition wurden im Jahr 2001 in Payerne 24 mg/m² Mg, 225 mg N/m² NO₃, 282 mg S/m² SO₄, 35 mg/m² K, 248 mg/m² Ca und 132 mg/m² Cl abgelagert (NABEL, 2001). Wird wiederum mit einem Moorwachstum von 1 mm/a gerechnet, ergeben sich für eine 3 cm-Schicht Werte zwischen 0,7–7,5 g/m². Da die Elemente in der gemessenen Asche als Oxide vorliegen, muss ihnen dementsprechend mehr Gewichtsanteil angerechnet werden. Wie folgende Messwerte zweier Zeitperioden in Payerne zeigen, unterliegt die chemische Zusammensetzung der Nassdeposition auf einer Zeitskala von nur 10–20 Jahren schon beträchtlichen Schwankungen. Die Nassdeposition kann also durchaus einen Einfluss auf die Aschegehaltsschwankungen ausüben.

Tab. 4: Chemische Zusammensetzung von Nassdepositionen in Payerne in mg pro Liter, Vergleich zweier Zeitperioden:

1985 – 1991 und 1998 – 1999 (EMPA¹³ in: SHOTYK, 1994, NABEL)

	1998 – 1999 mg/l	1985 – 1991 mg/l
<i>Anionen:</i>		
Cl ⁻	0.3	0.31
NO ₃ ⁻	0.42	1.77
SO ₄ ²⁻	0.44	2.15
<i>Kationen:</i>		
Na ⁺	0.17	0.14
K ⁺	0.05	0.09
NH ₄ ⁺	0.67	0.79
Mg ²⁺	0.05	0.04
Ca ²⁺	0.52	0.36
<i>Leitfähigkeit</i>	13.54	
<i>pH</i>	5.54	4.96

¹³ Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt.

Die Altersdatierung von Shotyk et al. (1998) im Etang de la Gruère ergab in der Tiefe von 35 cm ein Alter von 160 (± 25) Jahren. Wird angenommen, dass in der Mitte des 19. Jahrhunderts ein Anstieg in der mineralischen Regenfracht stattfand, so muss ein z. T. beträchtlicher Anteil des Aschepeaks der Schwankung des atmosphärischen Eintrags (hauptsächlich des Nasseintrags) zugeordnet werden!

Wie Shotyk und Steinmann in der Publikation 1994 vermerken, können die Aschepeaks im Etang de la Gruère durchaus vom atmosphärischen Eintrag her stammen:

“The ash content of the peat at EGr and their vertical distribution support the view that the inorganic constituents in the first 100 cm of this bog were supplied solely by atmospheric inputs. [...] Cl-, Mg-, Ca-ratios in the deeper peats are equal to or less than the corresponding ratios in rainwater.”
(Shotyk und Steinmann, 1994)

Gilt der Etang de la Gruère als tatsächlicher ungestörter Referenzstandort, müssen Schwankungen des Aschehintergrunds in der Grössenordnung des Gruèrepfels auch in den übrigen Profilen als natürlich betrachtet werden. Somit sind Schwankungen bis zu 5 g/seg. als mögliche natürliche Schwankung zu berücksichtigen. Dies würde die Emissionswerte des Ägeririeds um ca. 50 % und die des Eigenrieds um ca. 60 % reduzieren, wobei diese Werte im Falle des Eigenrieds bereits im relativen Fehler von über 100 % berücksichtigt werden. Die Emissionsrate des Ägeririeds mit einem relativen Fehler von 36 % müsste leicht nach unten korrigiert werden.

Torfakkumulationsrate

Klimatisch bedingte Schwankungen in der Torfakkumulationsrate können ebenfalls zu einem unregelmässigen Aschehintergrund beitragen. Das Holozän kann in folgende Zeitperioden mit ähnlichen Akkumulationsraten gegliedert werden: das Boreal von 9'000–8'000 Jahren BP, das Atlantikum von 8'000–4'500 Jahren BP, das Sub-Boreal von 4'500–2'500 und das Sub-Atlantikum von 2'500 Jahren BP bis heute (Lapshina et al., 2001). Sind die klimatischen Bedingungen ungünstig, wird die Akkumulationsrate abgeschwächt; das organische Material ist also länger der natürlichen aeroben Zersetzung im Akrotelm ausgesetzt, bevor es im Katotelm als Torf angereichert wird. Diese Änderungen könnten im Aschehintergrund als grobe Schwankungen ersichtlich sein (Zaccone et al., 2008).

5.3.2.2 Hypothese 2

«Die Oxidation des Torfs begann zum Zeitpunkt der Drainage und dauert heute noch an.»

In einem ungestörten Hochmoor ist das Katotelm permanent wassergesättigt, der oxidative Abbau ist stark gehemmt. Zu beachten ist jedoch, dass im Akrotelm, aufgrund schwankenden Wasserspiegels, teilweise aerobe Bedingungen herrschen. Die Torfmoose unterliegen in den oberen 20–40 cm also auch in einem intakten Hochmoor der oxidativen Zersetzung. Dies führt zu den im natürlichen Aschehintergrund mitberücksichtigten Zersetzungsrückständen der Vegetation.

Mit der Oxidation des Torfs, welche in der Hypothese 2 angesprochen wird, ist die anthropogen verursachte, tiefer greifende Oxidation gemeint, welche den Torf, je nach Entwässerungstiefe, im unteren Akrotelm sowie im Katotelm betrifft. Hypothese 2 darf in den hier untersuchten Hochmooren als gegeben angenommen werden.

5.3.2.3 Hypothese 3

«Der organische Kohlenstoffgehalt ist proportional zum Gehalt an organischer Substanz.»

Mit einem Bestimmtheitsmass (r^2) von 0.17 (Gruère), 0.45 (Ägeriried), 0.48 (Hagenmoos) und 0.63 (Eigenried) darf, mindestens in drei von vier Fällen, von einer vorhandenen Korrelation des Kohlenstoffs mit der organischen Substanz ausgegangen werden (siehe Abb. 58–61).

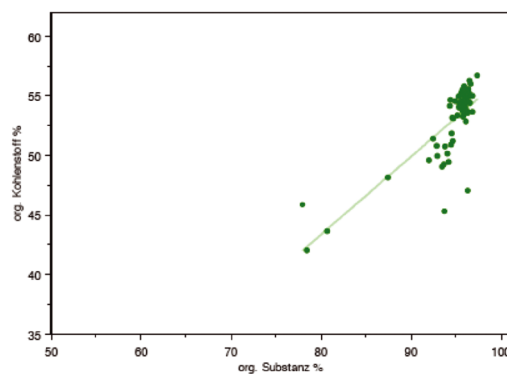


Abb. 58: OS-OC-Korrelation, Eigenried

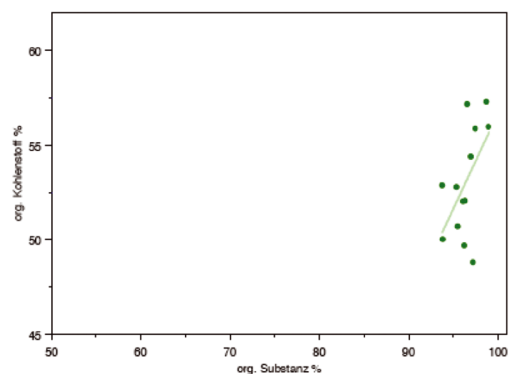


Abb. 59: OS-OC-Korrelation, Ägeriried

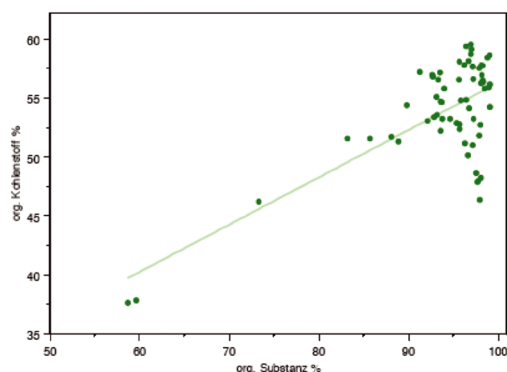


Abb. 60: OS-OC-Korrelation, Hagenmoos

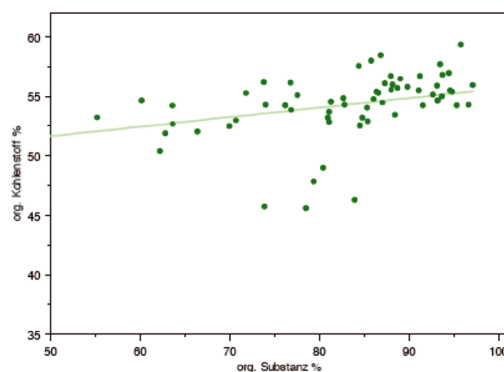


Abb. 61: OS-OC-Korrelation, Gruère

5.3.2.4 Hypothesen 4 und 5

«Das oxidierte C entweicht dem Torf direkt vor Ort in Form von CO_2 .»

«Die Asche des oxidierten Torfs reichert sich an Ort und Stelle an.»

Ein anderes Problem bei der Anwendung dieser Methode stellt das Ausklammern der Ausschwemmung dar. Organischer Kohlenstoff kann dem System auch in Form von gelöstem organischem C (DOC) entweichen, somit darf die Hypothese 4 nicht als gegeben angenommen werden (Reynolds, 2001). Wird nun die Ausschwemmung von DOC als möglich betrachtet, muss davon ausgegangen werden, dass auch mineralisches Material in Lösung geht und sich somit nicht an Ort und Stelle anreichert, wie dies in Hypothese 5 suggeriert wird.

Die Hypothese 5 sollte im Fall des Hagenmoosprofils in Frage gestellt werden. Während in allen andern Ascheprofilen ein deutlicher Oxidationshorizont im oberflächennahen Torf zu erkennen ist, fehlt dieser im Hagenmoos vollständig, trotz den 65–92 Jahren der Entwässerung und intensiver forstwirtschaftlicher Nutzung (1890/1917–1982). Es muss vermutet werden, dass der mineralisierte Anteil, welcher während der Entwässerungsperiode durch Oxidation entstanden ist, bei der Wiedervernässung in gelöster Form ausgeschwemmt wurde. Diese Vermutung wird durch die Tatsache gestützt, dass die Ionenkonzentration im Oberboden höher liegt als in tieferen Schichten (siehe Kap. 5.1.3). Ob sich die Ausschwemmungsmöglichkeit von mineralischem und organischem Material ausschliesslich auf wiedervernässte Hochmoore beschränkt, müsste genauer untersucht werden.

5.3.2.5 Hypothese 6

«Der Aschegehalt des Torfs im tieferen Katotelm ist gleich hoch wie vor der Entwässerung.»

Mit der Entwässerung eines Hochmoors setzt die Torfsackung ein. Diese macht 30–40 % des Torfschwundes aus (Eggelsmann, 1976). Somit muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass durch diese Senkung des Bodens der in ombrotrophem Milieu gewachsene Hochmoortorf in den minerotrophen Einflussbereich gelangt. Nach der Entwässerung sind externe Einflüsse somit nicht mehr a priori auszuschliessen, wie dies in einem intakten Hochmoor der Fall ist. In Bezug auf die zwei untersuchten entwässerten Hochmoore ist folgende Beobachtung festzustellen: Im Vergleich zum Ägeriried weist das Eigenried einen allgemein hohen Aschehintergrund auf (3.29 % vs. 4.59 %). Beim Betrachten des Ascheprofils des Eigenrieds fällt auf, dass der Aschehintergrund bis in die Tiefe von zwei Metern relativ hoch bleibt (4.03 %). Dies allein deutet aber noch auf keine Störung des Aschehintergrundes hin.

Obwohl die Distanz zwischen den drei im Eigenried entnommenen Bohrkernen jeweils nur 20 Meter betrug, somit von derselben Vegetationszusammensetzung und denselben klimatischen Bedingungen ausgegangen werden darf, unterscheiden sich die Resultate des Kohlenstoffverlusts um einen Faktor 6. Dies ist auf die hohe Variabilität der drei gemessenen Aschehintergründe (A–C) zurückzuführen. Dieser grosse Unterschied in einem relativ eng begrenzten Untersuchungsgebiet, lässt Vermutungen auf eine Störung zu (siehe Abb. 29).

Das Eigenried liegt in einer leichten Hanglage. Es kann angenommen werden, dass der beprobte Hochmoortorf nach der Entwässerung und der Haupttorfsackung in den minerotrophen Einflussbereich von Hangwasser gesunken ist, was den ursprünglich homogenen Aschehintergrund durch lokale Einschwemmungen in den 3 Bohrkernen unterschiedlich veränderte, wodurch die Hypothese 6 in diesem Fall verworfen werden muss.

5.3.3 Fazit zur Validierung der Methode

Nach diesen Untersuchungen über das Zutreffen der Hypothesen, muss ein ernüchterndes Fazit zur Eignung der Methode für diese Art von Untersuchung gezogen werden. Die grossen Unsicherheiten, welche durch die einschränkenden Hypothesen zustande kommen, belasten die Ergebnisse stark. Dennoch liefert die Methode sinnvolle, mit andern Untersuchungen vergleichbare Endresultate (siehe Kap. 5.4.4). Die Antwort auf die methodische Hauptfragestellung lautet deshalb folgendermassen:

Die Methode des Glühverlustes zur Abschätzung von Kohlenstoffverlust darf nur in Hochmooren angewendet werden, da in diesem Ökosystem vergleichsweise viele der nötigen Annahmen gegeben sind. Dennoch darf die Methode nur zur groben Abschätzung verwendet werden, da die sechs Hypothesen auch hier nicht mit Sicherheit zutreffen.

Eine Untersuchung über drei verschiedene Methoden zur Abschätzung von Kohlenstoffverlust aus Mooren in Norwegen (Gronlund et al., 2008) kam zu derselben Schlussfolgerung:

“These sources of bias underscore that the method based on changes in the peat mineral content can only yield a rough estimate of the actual loss.”
(Gronlund et al., 2008)

5.3.4 Verbesserung der Methode

Um die Unsicherheit der Resultate dieser Methode zu verringern, sollte Folgendes unternommen werden:

In dieser Untersuchung wurden jegliche Anstiege des Aschegehalts dem oxidativen Abbau zugeordnet. Wie aber oben erwähnt, können Schwankungen und Peaks im Aschegehalt verschiedene Ursachen haben. Um diese Unsicherheit bezüglich der Herkunft des Aschegehaltes zu verkleinern, sollte die chemische Zusammensetzung der Asche genauer untersucht werden. Die Asche muss ebenfalls einer Elementaranalyse unterzogen werden. Eine solche Untersuchung würde verhindern, dass Asche, die von externen Einschwemmungen oder von atmosphärischem Eintrag her stammt, fälschlicherweise dem aeroben Abbau angerechnet wird. Somit könnte auch die Grenze zwischen ombrotrophem und minerotrophem Bereich eruiert werden, um damit sicherzustellen, dass nur Hochmoortorf analysiert wird.

Um die statistisch ermittelten Aschehintergründe ansatzweise überprüfen zu können, sollten zusätzliche Untersuchungen zum Entwässerungssystem angestellt werden. Diese sollten bereits im Feld erfolgen, oder, falls möglich, aus Quellen oder Literatur entnommen werden. Die Verteilung des Sauerstoffs in der oberflächennahen Torfschicht hat massive Auswirkung auf die Abbaurate. Diese ist jedoch nicht über das ganze Moor hinweg homogen, sondern variiert je nach Distanz zum nächsten Entwässerungsgraben (Strack, 2008). Deshalb sind genaue Angaben über die tatsächlichen Entwässerungstiefen und das Grabennetz für eine Plausibilitätskontrolle sehr wertvoll.

Nebst der Analyse der Asche und der Ermittlung über die Entwässerungstiefe sollten ebenfalls genauere Untersuchungen über die Zusammensetzung des Torfs angestellt werden. So könnten Schwankungen, welche aufgrund der Vegetationsänderung zustande gekommen sind, im Vornherein als solche identifiziert werden.

5.4 Vergleichsdaten aus der Literatur

Im Folgenden sollen die Messungen und Berechnungen dieser Arbeit mit Daten und Ergebnissen anderer Untersuchungen über Hochmoore verglichen werden. So sollen die vier Schweizer Hochmoore in einen internationalen Kontext gesetzt werden. Da die gemessenen bodenphysikalischen und -chemischen Parameter wie Lagerungsdichte, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit in für Hochmoorböden typischen Bereichen liegen, müssen diese nicht mit vorhergehenden Messungen verglichen werden, um deren Plausibilität zu bestätigen.

5.4.1 Kohlenstoffgehalt

Durchschnittswerte von Messungen aus 32 Hochmooren aus Deutschland, Österreich und der Schweiz, erhoben um das Jahr 1900, wurden von A. Hausding zusammengetragen und im Jahr 1917 veröffentlicht. Darin liegt der C-Anteil bei 55.68 %, der O-Anteil bei 36.19 % und der H-Anteil bei 5.78 %. Unter Einbezug des vermerkten Schwefelgehalts von 0.44 % ergibt dies einen Rest von 1.91 %, welcher als N-Anteil gezählt werden kann. Der Kohlenstoffgehalt liegt also höher als in allen vier untersuchten Hochmooren dieser Arbeit. Wobei diese Vergleichsdaten, wegen unterschiedlicher Messmethode, nicht als direkte Referenzwerte angenommen werden sollten.

Werden die Werte mit aktuelleren Messungen verglichen, ergibt sich folgendes Bild: Rogier verwendet für ihre Berechnungen eine Messung von Bhatti und Bauer (2002), welche Kohlenstoffgehalte zwischen 50–56 % suggeriert (Rogier, 2008). Holmgren zitiert Untersuchungen aus Finnland, in denen folgende chemische Zusammensetzung gemessen wurden; C: 53–56 %, H: 5–6.5 %, O: 30–40 % und N: 0.6–3 % (Alagkangas, 2000. In: Holmgren, 2008). In der südlichen Taiga in Westsibirien werden in einem Sphagnumtorf Kohlenstoffgehalte von 47–73 % (Lapshina et al., 2001) und in Südfinnland Werte von 53 % gemessen (Mäkkilä, 2001). Somit können die prozentualen C-Gehalte des Etangs de la Gruère und des Ägeririeds mit je 53 % und diejenigen des Hagenmoos' und des Eigenrieds mit je 52 % Kohlenstoffgehalt als Durchschnittswerte bezeichnet werden.

5.4.2 Das C/N-Verhältnis

Zaccone et al., die im Jahr 2008 Messungen im Etang de la Gruère unternahmen, haben ein C/N-Verhältnis von bis > 90 in den oberen 10 cm gemessen. Ab der Tiefe von ca. 30 cm stabilisiert sich das Verhältnis bei einem Wert zwischen 25–45, was mit den vorliegenden Messungen ziemlich deckungsgleich ist. Es gibt jedoch auch andere Untersuchungen, worin ein durchschnittliches C/N-Verhältnis in einem ombrotrophen Sphagnumtorf in Norditalien bei > 75 liegt (Bragazza, 2007). Dies ist ein sehr hoher Wert und lässt auf überaus wenig zersetztes Material schliessen. Messungen aus Russland, welche für ein Flachmoor ein durchschnittliches C/N-Verhältnis von 15–25 ergaben (Dergacheva et al., 2001), und Messungen im Schweizer Seeland von einem durchschnittlichen C/N-Verhältnis von 12–28 (Fenner, 2007), deuten darauf hin, dass die gemessenen Werte in den vier Schweizer Hochmooren vergleichsweise eher hoch liegen, was für Hochmoortorf zu erwarten ist. Jatón misst im Jahr 1977 für ombrotrophe Moore typische C/N-Werte zwischen 30 und 40, was den Messungen der vorliegenden Untersuchung entspricht.

5.4.3 Aschegehalt

Im Vergleich zu den Messungen der eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe, welche für die Schweizerische Torfgenossenschaft (S. T. G.) in den Jahren 1918–1920 in entwässerten Flachmoor-Torffeldern durchgeführt wurden, liegt der Durchschnittswert des Aschegehalts im Etang de la Gruère und der Minimalwert des Aschegehalts im Ägeriried erwartungsgemäss niedrig. Der Durchschnittswert des Aschegehalts im Eigenried und der Maximalwert des Aschegehalts im Ägeriried hingegen liegen in einem vergleichbaren Bereich. Das Hagenmoos weist mit einem Maximum von > 40 % Asche einen deutlichen Ausreisserwert auf.

Tab. 5: Aschegehaltsmessungen in Hochmoortorf von der eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe, 1918 – 1920

Quelle: Probst, 1923

<i>Standort</i>	<i>Max. Aschegehalt %</i>	<i>Min. Aschegehalt %</i>
Krümenswil	5.6	2.2
Fenkrieden	18.1	5.3
La Rovigue	6.8	1.7
Collombey	20.2	8.5
Eschenbach	7.2	1.9
Les Ponts	7	1.2
Bavois	27.2	5.3

Tab. 6: Vergleichswerte eigener Messungen: Maximaler und minimaler Aschegehalt

<i>Standort</i>	<i>Max. Aschegehalt %</i>	<i>Min. Aschegehalt %</i>
Eigenried	13.89	2.13
Ägerried	10.88	0.91
Gruère	7.08	0.29
Hagenmoos	40.85	1.72

Die gemessenen Aschegehalte von Rogier (2005) auf der Seebodenalp bewegen sich in einem Bereich von ca. 2–14 %. Ihre Messungen weisen einen Oxidationshorizont auf, der bis in die Tiefe von 27 cm reicht, danach stabilisieren sich die Aschewerte bei ± 2 %.

Bei einer Untersuchung im Etang de la Gruère aus dem Jahr 1995 wurden Aschegehalte von 1–8 % gemessen (Shotyk, 2005). Shotyks Messung enthält leichte bis markante Peaks in den Tiefen 35, 50 und 89 cm. Die Messungen dieser Arbeit weisen ebenfalls zwei bis drei Peaks derselben Grössenordnung auf. Obwohl die Tiefenangaben nicht genau übereinstimmen, darf wegen den genannten Eigenschaften eines Hochmoorbodens davon ausgegangen werden, dass es sich dabei um dieselben Peaks handelt.

Auch Messungen in norwegischen entwässerten Hochmooren zeigen Aschegehalte im vergleichbaren Bereich auf (7.7–14.6 %) (Holmgren et al., 2008). In einem ungestörten westsibirischen Hochmoor schwankt der Aschegehalt zwischen 1–3 % (Lapshina et al., 2001).

Diese Vergleichsdaten bestätigen, dass die Aschegehalte der zwei drainierten Untersuchungsgebiete dieser Arbeit in einem typischen Bereich liegen. Dieser kann je nach Standort jedoch beträchtlich schwanken. Werden die Aschegehalte des ungestörten Hochmoors in Westsibirien als Referenz für den Etang de la Gruère verwendet, muss angenommen werden, dass der Gruèretorf einst einer externen Störung unterlag, da die sibirischen Aschewerte deutlich unter dem Maximalwert des Jura- torfs liegen. Da jedoch der atmosphärische Eintrag der beiden Standorte keinesfalls gleichgesetzt werden kann, dürfen die Zahlen einander nicht vorbehaltlos gegenübergestellt werden.

5.4.4 CO₂-Emissionsrate

Tabelle 7 stellt eine Übersicht von gemessenen und berechneten CO₂-Emissionsraten aus entwässerten Hochmooren in Europa und Russland in kg C / (m² a) dar.

Tab. 7: Internationaler Vergleich von CO₂-Emissionen aus entwässerten Hochmooren in kg C / (m² a).

Standort (Nutzung)	Referenz	CO ₂ -Emission kg C / (m ² a)
Saskatchewan, Kanada (Grassland)	Crow, Wieder, 2001	0.61
Saskatchewan, Kanada (Bewaldet)	Crow, Wieder, 2001	3.83
Bakchar / Tomsk; Sibirien (Grassland)	Golovatskaya et al., 2001	0.45-0.66
Bakchar / Tomsk; Sibirien (Bewaldet)	Golovatskaya et al., 2001	0.80-1.37
Noyabrsk; Sibirien (Grassland)	Vasiliev et al., 2001	0.13-0.41
Schweden (Torffeld)	Sundh et al., 2000	0.05-0.27
Schweden (Forstw.)	Sundh et al., 2000	0.24-0.5
Schweden (Ackerbau)	Sundh et al., 2000	0.16-0.3
Schweden (Grassland)	Hillebrand, 1993. In: Oleszczuk, R. et al., 2008 / Berglund, 2009	0.35-0.68
Norwegen (Grassland)	Vasiliev, 2001	0.6-0.8
Finnland (Torffeld)	Alm et al., 2007	0.11-0.33
Finnland (Bewaldet)	Alm et al., 2007	0.16-0.5
Grossbritannien (Ackerbau / Forstw.)	Adger et al., in: Immirzi et al., 1991	0.03-0.2

Deutschland (Grassland)	Drösler, 2005. In: Oleszczuk, R. et al., 2008	0.2-0.69
Holland (Grassland)	Oleszczuk, R. et al., 2008	0.3-0.9
Norwegen (Grassland, z. T. Ackerbau)	Gronlund et al., 2008	0.6
Russland (Torffeld)	Krestapova und Maslov, 2004. In: Oleszczuk et al., 2008	0.5
Finnland (Ackerbau)	Lohila et al., 2004	0.2
Europa allg. (Grassland)	Byrne et al., 2004 / Höper, 2007. In: Schils et al., 2008	0.24-0.39
Europa allg. (Ackerbau)	Byrne et al., 2004 / Van der Akker et al., 2008. In: Schils et al., 2008	0.3-0.54
Europa allg. (Forstw.)	Höper, 2007 / Alm et al., 2007. In: Schils et al., 2008	0.13
Europa allg. (Torffeld)	Höper, 2007. In: Schils et al., 2008	1.89
Norwegen (Grassland, z. T. Ackerbau)	Gronlund et al., 2008	0.8
Norwegen (Grassland, z. T. Ackerbau)	Gronlund et al., 2008	0.86
Norddeutschland (Grassland)	Kluge et al., 2008	0.69
Seebodenalp; Schweiz (Grassland)	Rogier, 2005	0.5-0.91
Eigenried; Schweiz (ext. Grassland)	Gubler, 2009	0.14
Ägeriried; Schweiz (ext. bewaldet)	Gubler, 2009	0.61-1.22

	Laborexperiment
	Absorptionsmethode
	Chromatographenmessung
	Eddy Kovarianz Technik (EC)
	Abschätzung durch Torfsackung
	Glühverlustmethode

Anhand dieser Zusammenstellung ist kein genereller Trend auszumachen, welcher bestätigen könnte, dass gewisse Methoden systematische Über- oder Unterschätzungen der Kohlenstoffverluste liefern. Sie alle umfassen eine gewisse Bandbreite, die von ca. 0.2 bis ca. 0.8 kg C/(m² a) reicht, in manchen Fällen auch bis > 1 kg C/(m² a). Die weitaus höchste Emissionsrate von 3.83 kg C/(m² a) wurde von Crow und Wieder basierend auf einem Laborexperiment berechnet.

Viel stärker fällt die Nutzung der entwässerten Torfflächen ins Gewicht. So fallen die Emissionsraten von bewaldeten Flächen durchschnittlich viel höher aus als der gesamte Rest, inklusive der Torffelder (Torfabbau). Dies ist erstaunlich, liegt der Torf in Torffeldern doch von keiner Vegetationsschicht geschützt offen da. Unklar ist jedoch bei den meisten Angaben, ob es sich um aktuelle oder aber um ehemalige Torffelder handelt. Sollte es sich um ehemalige Torfabbauflächen handeln, die heute wieder bewachsen oder bewirtschaftet sind, würden sie teilweise unter die Kategorie «(ext.) Grassland» fallen, wo die geringeren Emissionswerte, nicht mehr erstaunen würden.

Die Kohlenstoffverluste des Eigenrieds liegt im internationalen Vergleich am untersten Rand der aufgeführten Vergleichsdaten unter der Nutzung «Grassland». Dies ist insofern damit begründbar, dass das Eigenried nur einmal jährlich geschnitten wird und somit als extensives Grassland bezeichnet werden muss. Die Emissionswerte des Ägerrieds liegen im mittleren Bereich der Kategorie «Bewaldet/Forstwirtschaft». Generell stimmen die Berechnungen dieser Arbeit gut mit vorhandenen Daten aus der Literatur überein. Die Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde nennt eine in entwässerten Hochmooren zu erwartende Emissionsrate zwischen 0.14–1.2 kg C/(m² a) (Höper, 2009). Dies entspricht dem hier vorliegenden Bereich.

Die berechneten CO₂-Emissionsraten sind zwar teilweise mit grossen Unsicherheiten belastet, liegen aber in demselben Bereich wie vergleichbare Daten vorangehender Untersuchungen in anderen Ländern. Somit konnte die Datenlage zu CO₂-Emissionen aus entwässerten Hochmooren in der Schweiz mit zwei plausiblen Emissionswerten erweitert werden.

6 Schlussfolgerungen

Mit einer gemessenen jährlichen Emissionsrate von $0.52 (\pm 0.76) \text{ kg CO}_2 / (\text{m}^2 \text{ a})$ in offenen und $2.2 (\pm 0.8) - 4.4 (\pm 1.67) \text{ kg CO}_2 / (\text{m}^2 \text{ a})$ in bewaldeten drainierten Hochmooren konnte festgestellt werden, dass die Durchwurzelung des Torfbodens einen sehr starken Einfluss auf die Mineralisierung von organischer Substanz und somit auf die CO_2 -Emissionsrate hat, was auch im Vergleich mit internationalen Messungen bestätigt wird.

In wiedervernässten Hochmooren konnte kein Kohlenstoffverlust festgestellt werden, was jedoch eher auf ein Versagen der Methode hinweist, als auf eine tatsächliche Vollregeneration des ehemals gestörten Torfbodens.

Das inhaltliche Ziel dieser Masterarbeit wurde erreicht. Mit der angewandten Methode des Glühverlustes konnten für beide untersuchten entwässerten Hochmoore plausible CO_2 -Emissionswerte gemessen und berechnet werden. Erhaltene Erkenntnisse über unterschiedliche Emissionsraten bedingt durch unterschiedliche Nutzung, decken sich teilweise mit vorangehenden Studien.

Einige Resultate zum Kohlenstoffverlust sind jedoch mit einer derart grossen Unsicherheit behaftet, dass die angewandte Methode in Frage gestellt werden muss. Die sechs Hypothesen, welche dieser Arbeit zugrunde liegen, dürfen nicht in jedem Fall als gegeben angenommen werden. Je grösser die Unsicherheit über das Zutreffen dieser Hypothesen ist, desto höher werden die Abweichungen der Resultate von der Realität.

Da aber viele Alternativmöglichkeiten zur Messung von Kohlenstoffverlust aus Hochmooren mit ähnlich grossen Unsicherheiten behaftet sind, wird die Methode des Glühverlustes zur Abschätzung einer CO_2 -Emission in Hochmooren dennoch empfohlen. Dabei muss betont werden, dass es sich bei den auf diese Art und Weise erhaltenen Resultaten lediglich um eine grobe Abschätzung handelt, welche ausschliesslich Hinweise auf den tatsächlichen Kohlenstoffverlust geben kann. Abgeraten wird von einer Anwendung dieser Methode in einem nicht ombrotrophen System. Die meisten der sechs Hypothesen müssten unter minerotrophen Bedingungen verworfen werden.

7 Literatur

- ALM, J.; SHURPALI, N.J.; MINKKINEN, K.; ARO, L.; HYTÖNEN, J.; LARUILA, T.; LOHILA, A.; MALJANEN, M.; MARTIKAINEN, P.J., 2007: *Emission factors for reporting and their uncertainty for the exchange of CO₂, CH₄ and N₂O in Finnish managed peatlands*, *Boreal Environmental Research*, 12, 191–209.
- ALM, J., 2001: *Atmospheric Changes and Carbon Cycling in boreal Peatlands*. In: VASILIEV, S. V. ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- AWEL, AMT FÜR ABFALL, WASSER, ENERGIE UND LUFT, 2005: *Grundlagen zur Beurteilung der Grund- und Trinkwasserqualität*, Baudirektion Kanton Zürich, Abteilung Gewässerschutz.
- BAUMGARTNER, H., 2002: *Moore und Moorschutz in der Schweiz*. BAFU/WSL (Hrsg.).
- BRAGAZZA, L.; SIFFI, C.; IACUMIN, P.; GERDOL, R., 2007: *Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: The role of microbial adaptability to litter chemistry*. In: *Soil Biology and Biochemistry* 39, 257–267.
- BREHM, K., 2008: *Moorschutz – Klimaschutz in Schleswig-Holstein*.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU), 2002: *Schriftenreihe Umwelt, Nr. 343, NABEL. Luftbelastung 2001*.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU), 2001: *Schriftenreihe Umwelt, Nr. 134, Acidifying Deposition. Southern Switzerland*.
- CASPARIE, A. W., 1969: *Bult- und Schlenkenbildung im Hochmoortorf*. In: *Plant Ecology*, 19, 1–6.
- CLYMO, R. S.; TURUNEN, J.; TOLONEN, K., 1998: *Carbon accumulation in peatland*, in: *Oikos*, 81, 368–388.
- CROW, S. E.; WIEDER, R. K., 2001: *Assessing the Role of Roots and Root Exudation in CO₂ Emission from the Peat Surface: Preliminary Results*. In: VASILIEV, S. V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- DERGACHEVA, M.; POTAPOVA, S., 2001: *Transformation of the fen peat organic matter in primary elaboration in time, Novosibirsk*. In: VASILIEV, S. V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- DIERSEN, B.; DIERSEN, K., 2001: *Moore. Ökosysteme aus Mitteleuropa – eine geobotanische Sicht*.
- EGGELSMANN, R., 1976: *Peat consumption under influence of climate, soil condition and utilization*, *Proceedings of the Fifth International Peat Congress*, 1, 233–247.
- EWALD, K. CH., 1978: *Der Landschaftswandel : zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert*. Eidg. ANSTALT FÜR DAS FORSTLICHE VERSUCHSWESEN (HRSG.).

- FENNER, S., 2007: *Torfeigenschaften und Moorsackungsraten von landwirtschaftlich genutzten Böden im Gebiet Witzwil. Diplomarbeit.*
- FREEMAN, C.; OSTLE, N.J.; FENNER, N.; KANG, H., 2004: *A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands.* In: *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 1663–1667.
- FRÜH, J.J., 1883: *Über Torf und Dopplerit : eine minerogenetische Studie für Geognosten, Mineralogen, Forst- und Landwirte.*
- FRÜH, J.J.; SCHRÖTER, C., 1904: *Die Moore der Schweiz. Mit der Berücksichtigung der gesamten Moorfrage.*
- FURRER, O.J.; STAUFFER, W., 1986, In: GERMANN, P., 2005: *Skript, Landschaftsökologie IV, Bodenkunde.* (unveröff.).
- GASSER, U., 2008: *Skript, Bodenchemie I, Geographisches Institut Bern.* (unveröff.)
- GOLOVATSKAYA, E.A. ET AL., 2001: *Seasonal Dynamics of Carbon Flows in native and antropogeneous oligotrophic and eutrophic Bogs.* In: VASILIEV, S.V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium.*
- GÖTTLICH, K. (HRSG.), 1990: *Moor- und Torfkunde, 3. neubearbeitete Auflage.*
- GRAF, U. ET AL., 2007: *État et évolution des marais en Suisse. Résultats du suivi de la protection des marais. État: juin 2007.* BAFU (HRSG.).
- GRONLUND, A. ET AL., 2008: *Carbon loss estimates from cultivated peat soils in Norway: a comparison of three methods.* In: *Nutrient Cycle Agroecosystem* 81, 157–167.
- GRÜNIG, A., 1994: *Mires and Man. Mire Conservation in a Densely Populated Country – the Swiss Experience, Bundesamt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL).*
- GRÜNIG, A. ; VETTERLI, L. ; WILDI, O., 1986: *Les hauts-marais et marais de transition de Suisse.* Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte Nr. 281.
- GRÜNIG, A., 2007: *Marais et marécages en mutation.* In: KLAUS, GREGOR (HRSG.), *Biodiversité dans les zones humides.* In: *Hotspot*, 15.
- HAUSDING, A., 1917: *Torfgewinnung und Torfverwertung.* Dritte Auflage.
- HEITZMANN, R.; SCHNEIDER, J., 1973: *Pflanzensoziologische Untersuchungen, Naturschutzgebiet Eigenried/Zugerberg.* Im Beiheft zu: *Naturschutzplanung als raumwirksame Planung im Kanton Zug,* Technische Universität Hannover, Institut für Landschaftspflege, Institut für Vegetationskunde.
- HOEHN, W., 1921: *Moosduenen und Hoeckerbildung auf schweizerischen Mooren.* In: *Nat. Tech.* 2358–364.
- HÖPER, H., 2007: *Was haben Moore mit dem Klima zu tun, Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde.*

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007: *Chapter 1*.
- ISE, T. ET AL., 2008: *High sensitivity of peat decomposition to climate change through watertable feedback*. In: Nature Geoscience, www.nature.com / naturegeoscience.
- JATON, J.-F., 1977: *Études de quelques propriétés des sols tourbeux et leur influence sur le drainage*.
- JORAY, M. L., 1942: *L'étang de la Gruyère (Jura bernois) : étude pollenanalytique et stratigraphique de la tourbière*.
- KLUGE, B. ET AL., 2008: *Long-term Carbon Loss and CO₂-C release of drained peatland soils in northeast Germany*. In: European Journal of Soil Science 59, 1076–1086.
- KÜCHLER, M., 2004: *Software VEGEDAZ. Programm für die Erfassung und Auswertung von Vegetationsdaten*. Beratungsstelle für Moorschutz, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- LAPSHINA, E. D.; POLOGOVA, N. N.; MOULDIYAROV, E. Y., 2001: *Pattern of development and Carbon Accumulation in homogenous Sphagnum Fuscum-Peat Deposits on the South of West Siberia*. In: VASILIEV, S. V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- LEIFELD, J., 2008: *personal communication*.
- LEIFELD, J.; BASSIN, SERAINA; FUHRER, JÜRIG, 2003: *Carbon stocks and Carbon Sequestration Potentials in Agricultural soils in Switzerland*. In: Schriftenreihe der FAL 44. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, FAL Reckenholz.
- LEIFELD, J.; BASSIN, SERAINA; FUHRER, JÜRIG, 2005: *Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics and altitude*. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 105, 255–266.
- LESQUEREUX, L., 1844: *Quelques Recherches sur les Marais Tourbeux en général*.
- LOHILA, A.; AURELA, M.; TUOVINEN, JP. ET AL., 2004: *Annual CO₂ exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass*. In: Journal of Geophysical Research, 109.
- LUÖND, A.; GÖTTLICH K., 1982: *Schutzgebietskonzept Hagenholz. Amt für Raumplanung des Kantons Zürich, Fachstelle Naturschutz*. (unveröff.)
- MÄKILÄ, M., 2001: *Climate in Relation to Carbon Accumulation on Kilpisjoki, a Raised Bog in Southern Finland*. In: VASILIEV, S. V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- MÄKILÄ, M.; SAARNISTO, M., 2008: *Carbon Accumulation in Boreal Peatlands During the Holocene – Impact of Climate Variations*. In: STRACK, MARIA (HRSG.), *Peatlands and Climate Change*.
- MARMY, F., 1984: *Etang de la Gruyère, Hydrologie et végétation des bas-marais et des prairies de la réserve, Travail de licence*. (unveröff.)

- MINKKINEN, K.; BYRNE, K. A.; TRETTIN, C., 2008: *Climate Impacts of Peatland Forestry*. In: STRACK, MARIA (HRSG.), *Peatlands and Climate Change*.
- MÜHLETHALER, E., 1995: *Nutzungsgeschichte der Hoch- und Übergangsmoore*. In: Handbuch Moorschutz in der Schweiz 1.
- MULHAUSER, B., 1996: *La Gruère : schwarze Moore*, Fondation Les Cerlatez.
- OLESZCZUK, R. ET AL., 2008: *Impacts of Agriculture utilization of Peat Soils on the Greenhouse Gas Balance*. In: STRACK, MARIA (HRSG.), *Peatlands and Climate Change*.
- PRESLER, J.; GYSI, CH., 1989: *Organische Böden des Mittellandes. Dokumentation über Ausdehnung, Nutzung, Bewirtschaftung und Melioration*. Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau.
- PRESTON, C. M.; SCHMIDT, M. W. I., 2006: *Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions*. In: Biogeosciences, 3, 397–420.
- PROBST, E.; SCHMIDLIN, H.; ZIMMERLI, N., 1923: *Die Torfausbeutung in der Schweiz in den Jahren 1917–1920*.
- REYNOLDS, B.; FENNER, N., 2001: *Export of organic carbon from peat soils*. In: Brief communications, Nature, 412.
- ROGIER, N., 2005: *Impact of site history and landmanagement of CO₂ fluxes at grassland in the Swiss Pre-Alps*.
- ROGIER, N.; CONEN, F.; FURGER, M.; STÖCKLI, R.; EUGSTER, W., 2008: *Impact of past and present land-management on the C-balance of grassland in the Swiss Alps*. In: Global Change Biology 14, 1–13.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P., 2002: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 15. Auflage.
- SCHILS, R. ET AL., 2008: *Review of existing Information on the Interrelations between soil and Climate Change. Final Report*.
- SCHWARB, M., 2001: *The Alpine Precipitation Climate*. In: Zürcher Klima-Schriften, 80, Institute of Atmospheric and Climate Science, Swiss Federal Institute of Technology, 133 pp.
- SCHWARB, M.; DALY, C.; FREI, C.; SCHÄR, C., 2002: *Mean Annual Precipitation throughout the European Alps 1971–1990*, Plate 2.6, Hydrological Atlas of Switzerland, Federal Office of Topography.
- SCHWARB, M.; DALY, C.; FREI, C.; SCHÄR, C., 2002: *Mean Seasonal Precipitation throughout the European Alps 1971–1990*, Plate 2.7, Hydrological Atlas of Switzerland, Federal Office of Topography.
- SCHWEIZER, H., 1997: *Rifferswil*.
- SHOTYK, W., 1996: *Natural and Anthropogenic Enrichment of As, Cu, Pb, Sb, and Zn in Ombrotrophic versus Minerotrophic Peat Bog Profiles, Jura Mountains, Switzerland*. In: Water, air and soil pollution, vol. 90, 3–4, 375–406.

- SHOTYK, W., 2009: *Peatlands* (vorläufiger Titel), (unveröff.)
- SHOTYK, W., WEISS, D., APPLEBY, P. G., CHEBURKIN, A. K., FREI, R., GLOOR, M., KRAMERS, J. D., REESE, S., VAN DER KNAAP, W. O., 1998: *History of Atmospheric Lead Deposition Since 12,370 ^{14}C yr BP from a Peat Bog, Jura Mountains, Switzerland*. In: *Science* 281, 1635.
- SHOTYK, W.; STEINMANN, PHILIPP, 1994: *Pore-water indicators of rainwater-dominated versus groundwater-dominated peat bog profiles (Jura Mountains, Switzerland)*. In: *Chemical Geology* 116, 137–146.
- STRACK, M. ET AL., 2008: *Northern Peatlands, Greenhouse Gas Exchange and Climate Change*. In: STRACK, MARIA (HRSG.), *Peatlands and Climate Change*.
- STRACK, M.; O'BRIEN, J.; WADDINGTON, J. M., 2008: *Assessing the role of ecological succession for peatland methane dynamics: potential climate change feedback*. *Peatlands and Climate*.
- SUNDH, I.; NILSSON, M.; MIKKELÄ, C.; GRANBERG, G.; SVENSSON, B. H., 2000: *Fluxes of methane and carbon dioxide on peat mining areas in Sweden*. In: *Ambio*, 29, 499–503.
- TURETSKY, M. R., MANNING, S., W., WIEDER, R. K., 2004: *Dating Recent Peat Deposits*. In: *Wetlands*, 24, 324–356.
- VASILIEV, S. V. ET AL., 2001: *Carbon Balance in West Siberian Mires*. In : VASILIEV, S. V., ET AL. (HRSG.), *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and Present. Proceedings of the International Field Symposium*.
- ZACCONE, C.; SAID-PULLICINO, D.; GIGLIOTTI, G.; MIANO, T. M., 2008: *Diagenetic trends in the phenolic constituents of Sphagnum-dominated peat and its corresponding humic acid fraction*. In: *Organic Geochemistry* 39, 830–838.
- Z'GRAGGEN, L., 2001: *Strahlungsbilanz der Schweiz*. In: PhD Thesis, Swiss Federal Institute of Technology, 196 pp.
- Z'GRAGGEN, L.; OHMURA, A., 2002: *Spatio-Temporal Variations in net radiation 1984–1993, Table 4.2, Hydrological Atlas of Switzerland*, Federal Office of Topography.

Internet:

www.flora-fauna.ch, 10.05.2009

www.geo.unizh.ch, 10.05.2009

www.wissen.de, 07.06.2009

www.biopix.dk, 22.06.2009

www.bafu.admin.ch, 22.06.2009

www.aapa.fi, 22.06.2009

www.stub.unibe.ch, 11.08.2009

8 Anhang

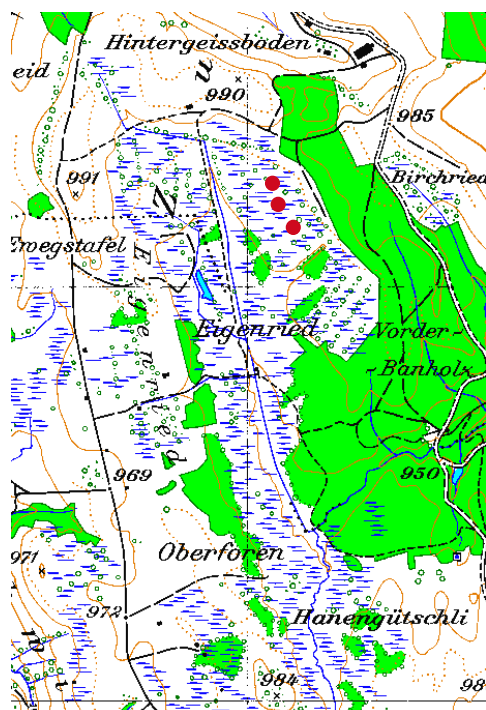


Abbildung 1: Kartenausschnitt Eigenried, LK 1131, 1:25'000

Quelle: Landestopo Schweiz

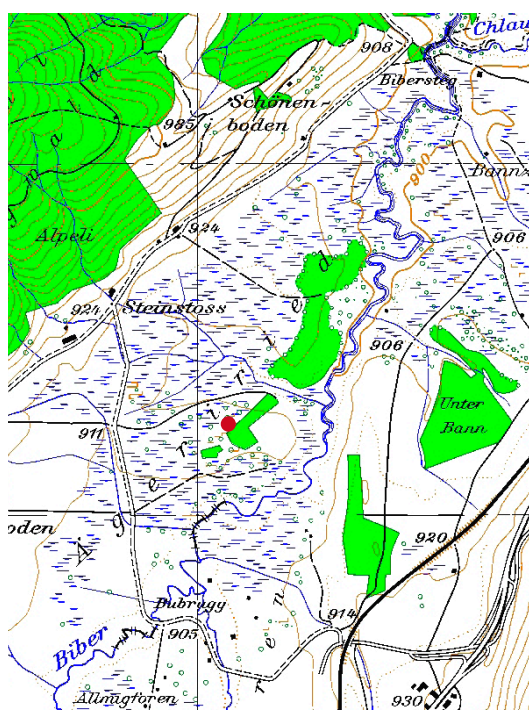


Abbildung 2: Kartenausschnitt Ägerried, LK 1132, 1:25'000

Quelle: Landestopo Schweiz

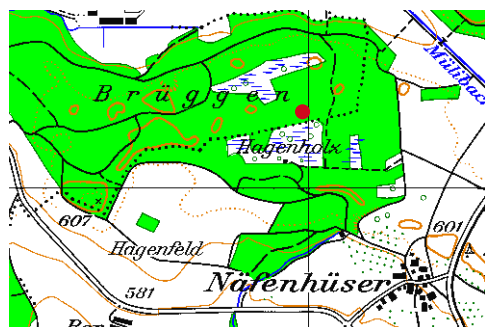


Abbildung 3: Kartenausschnitt Hagenmoos, LK 1111, 1:25'000

Quelle: Landestopo Schweiz

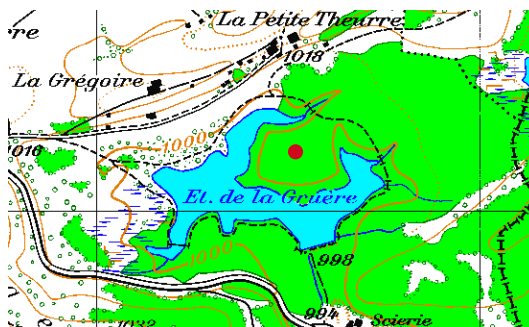


Abbildung 4: Kartenausschnitt Etang de la Gruère, LK 1105, 1:25'000

Quelle: Landestopo Schweiz

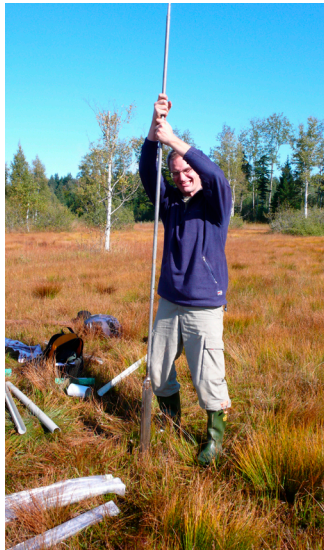


Abbildung 5: Beprobung im Eigenried



Abbildung 6: das Hagenmoos



Abbildung 7: der Etang de la Gruère



Abbildung 8: Beprobung im Etang de la Gruère



Abbildung 9: *Sphagnum recurvum*

Quelle: www.biopix.dk



Abbildung 10: *Sphagnum capillifolium*

Quelle : www.aapa.fi

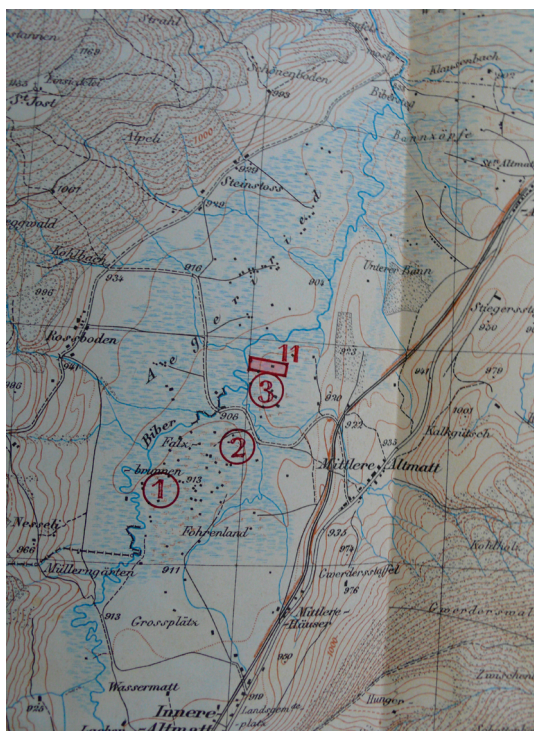


Abbildung 11: Kartenausschnitt aus «Moorgebiet von Altmatt- Rothenthurm und Einsiedeln- Schwanentau- Willerzell, 1:25'000. 1., 2. und 3. Altmatt-Rothenthurm: Torffelder des Verbandes schweiz. Konsumvereine in Basel und von F. Favetto, Unternehmer in Brunnen. 11: Handstich-Torffeld der Schweizerischen Torfgesellschaft (S. T. G.)»

Quelle: Probst, E., 1923, Bd. II.

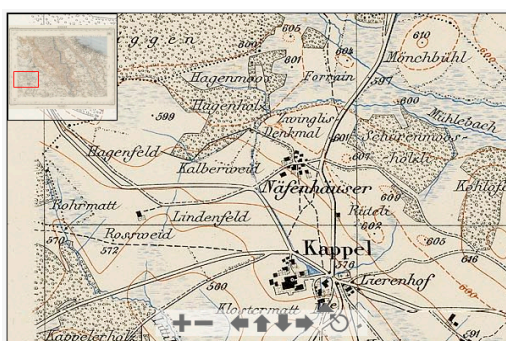
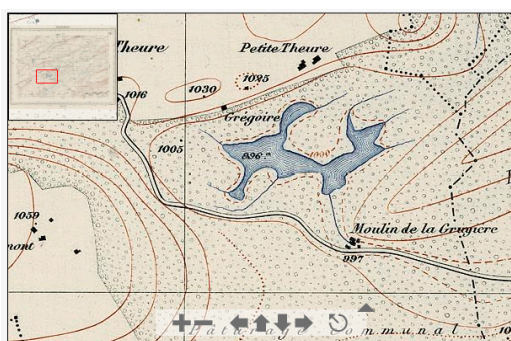
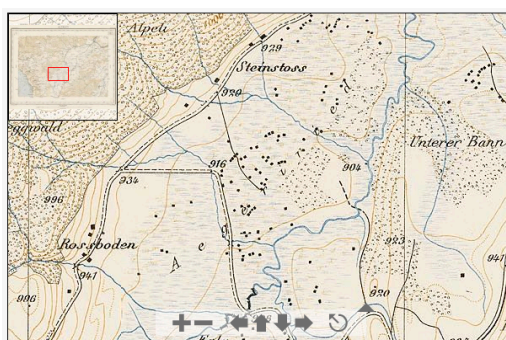
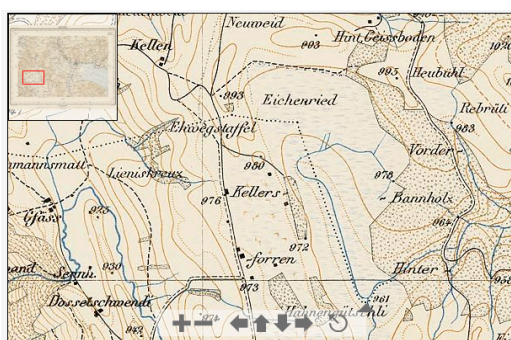


Abbildung 12 – 15: Ausschnitte aus der Siegfriedkarte, 1871 – 1897

Quelle: www.stub.unibe.ch

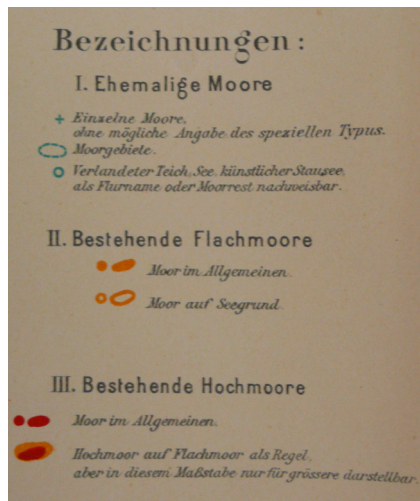


Abbildung 16: Legende zur Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. J. Früh, 1896 – 1903

Quelle: Probst, 1923. Bd. I, S. 117.



Abbildung 17: Ausschnitt aus der Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. Früh, 1896 – 1903; Zug-Rothenthurm-Kappel a. A., 1896 – 1903

Quelle: Probst, 1923. Bd. I, S. 117.

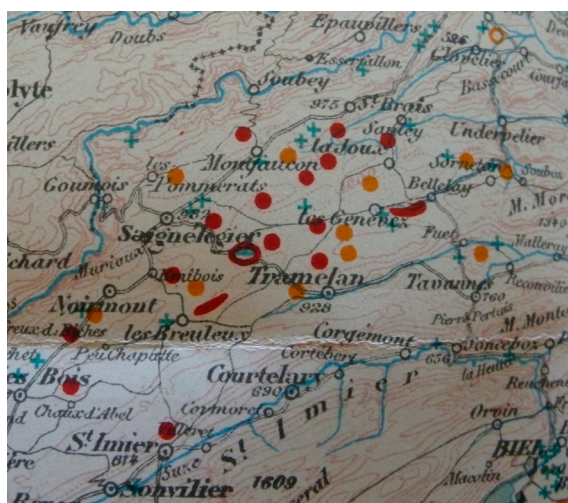


Abbildung 18: Ausschnitt aus der Moorkarte der Schweiz von Prof. Dr. Früh, 1896 – 1903; Tramelan-Saignélegier

Quelle: Probst, 1923. Bd. I, S. 117.

Abbildung 19:
Legende zur Moor-
ausbeutungskarte,
1923

Quelle: Probst, 1923. Bd I.

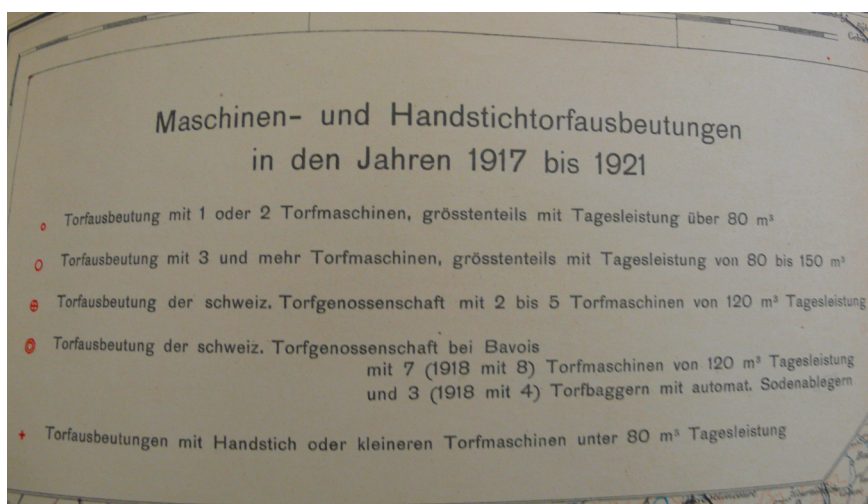


Abbildung 20: Ausschnitt (Tramelan-
Saignélegier) aus der Karte zur Maschi-
nen- und Handstichausbeutung in den
Jahren 1917 – 1920; Eidg. Inspektion für
Forstwesen, Jagd und Fischerei, Abteilung
Torfversorgung

Quelle: Probst, 1923. Bd I.



Abbildung 21: Ausschnitt (Zug-Rothenthurm-
Kappel a. A.) aus der Karte zur Maschinen- und
Handstichausbeutung in den Jahren 1917 – 1920;
Eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei,
Abteilung Torfversorgung

Quelle: Probst, 1923. Bd I.



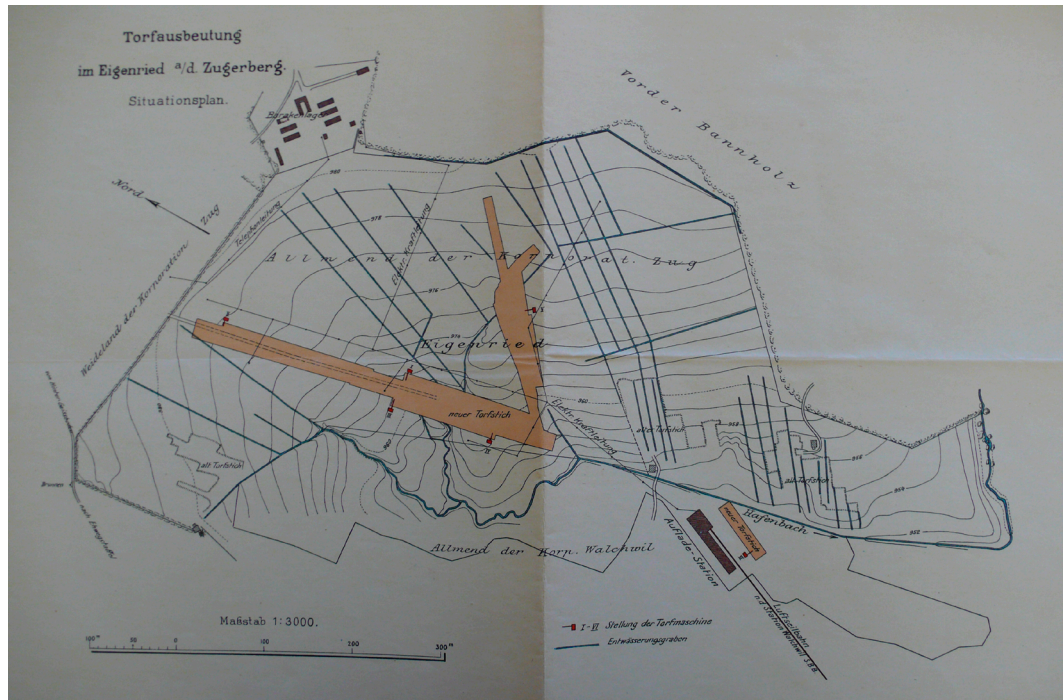


Abbildung 22: Plan des Torffeldes Eigenried aus dem Jahr 1920

Quelle: Probst, 1923. Bd. III, S. 392.

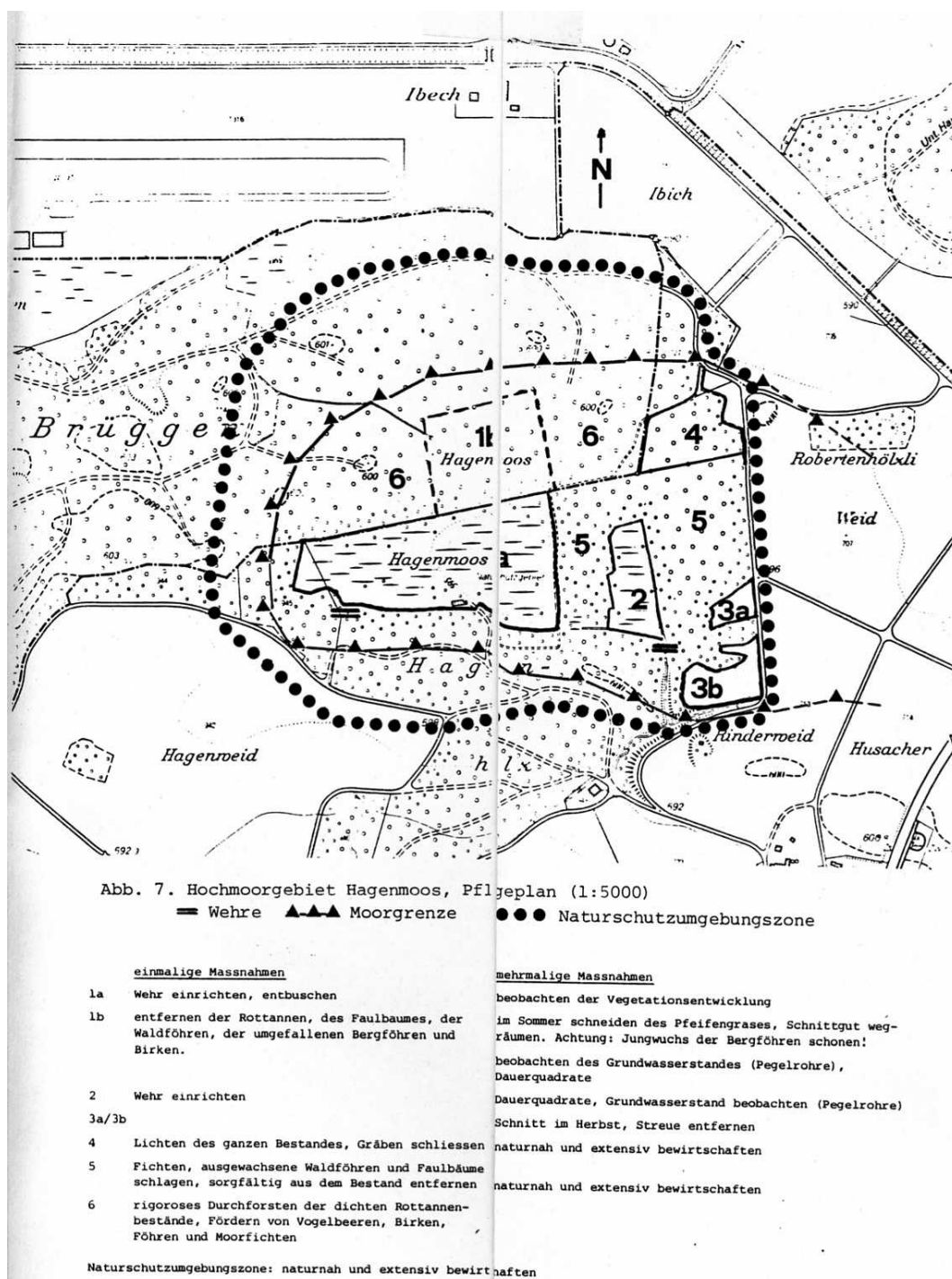


Abbildung 23: Massnahmenplan für die Wiedervernässung des Hagenmoos von Karl-Hans Göttlich

Quelle: Schutzgebietskonzept Hagenholz, Lüönd und Göttlich, 1982.

Tabelle 1: pH und elekt. Leitfähigkeit Eigenried, Bohrkern B

<i>Probenr.</i>	<i>pH</i>	<i>elekt. Leitfähigkeit (µS / cm)</i>
EGB 6-9	4.43	62.4
EGB 18-21	5	38.1
EGB 30-33	5.19	26.8
EGB 42-45	5.07	54.2
EGB 54-57	5.22	32.3
EGB 66-69	5.16	35.3
EGB 78-81	5.2	27.4
EGB 90-93	4.9	31.2
EGB 102-105	5	38.6
EGB 114-117	4.98	38.7
EGB 126-129	5.06	34.2
EGB 138-141	5.14	33.3
EGB 150-153	5.03	32.3
EGB 162-165	4.95	41
EGB 174-177	5.09	25.9
EGB 186-189	5.1	31
EGB 198-200	4.89	36.9

Tabelle 2: pH und elektr. Leitfähigkeit, Ägerried, Bohrkern B

<i>Probenr.</i>	<i>pH</i>	<i>elekt. Leitfähigkeit (µS / cm)</i>
ÄRB 6-9	3.46	28.6
ÄRB 18-21	3.42	56.9
ÄRB 30-33	3.45	63.3
ÄRB 42-45	3.68	53.8
ÄRB 54-57	3.66	56.7
ÄRB 66-69	3.81	54.7
ÄRB 78-81	3.75	58.1
ÄRB 90-93	3.61	42
ÄRB 99-102	4.07	31.11
ÄRB 108-110	4.59	16.5

Tabelle 3: pH und elektr. Leitfähigkeit, Hagenmoos, Bohrkern C

Probenr.	pH	elekt. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
HMC 6-9	4.2	20.2
HMC 18-21	3.92	35.9
HMC 39-42	3.86	52.6
HMC 51-54	3.75	55.6
HMC 63-66	3.81	53.3
HMC 75-78	4.01	44.6
HMC 87-90	4.18	35.3
HMC 99-102	4.27	34.7
HMC 111-114	4.48	24.5
HMC 123-126	4.59	29.7
HMC 135-138	4.66	30.9
HMC 147-150	4.62	30.6
HMC 159-162	4.97	32.3
HMC 171-174	5.08	32
HMC 183-186	5.25	33
HMC 195-198	5.29	26.2

Tabelle 4: pH und elektr. Leitfähigkeit, Etang de la Gruère, Bohrkern C

Probenr.	pH	elekt. Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
GRC 6-9.	4.46	252 Messfehler
GRC 18-21	3.88	156.4 Messfehler
GRC 30-33	3.88	107.6 Messfehler
GRC 42-45	3.99	21.2
GRC 54-57	4.14	21.4
GRC 66-69	3.92	17.3
GRC 78-81	4.04	21.1
GRC 90-93	4.02	18.1
GRC 102-105	4.13	18.6
GRC 114-117	4.31	16.2
GRC 126-129	4.24	21.5
GRC 138-141	4.37	20.3
GRC 150-153	4.36	15.5
GRC 162-165	4.49	16.8
GRC 174-177	4.54	20.2
GRC 186-189	4.52	19.8
GRC 198-200	4.63	19.2

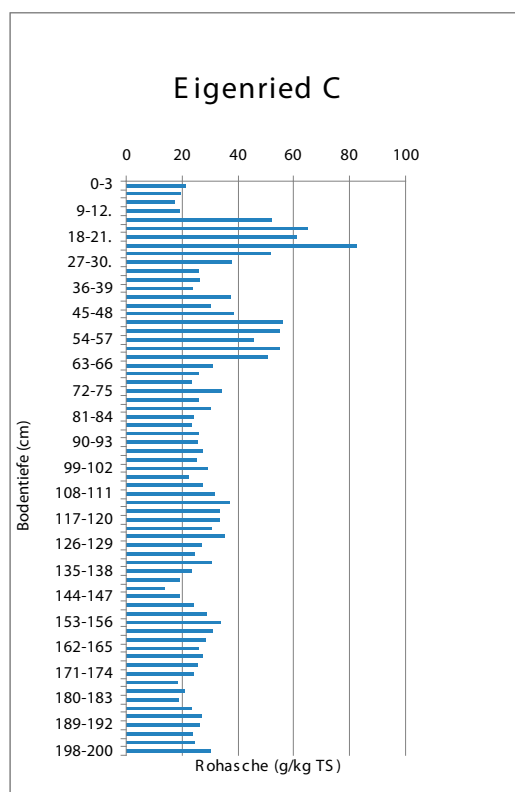
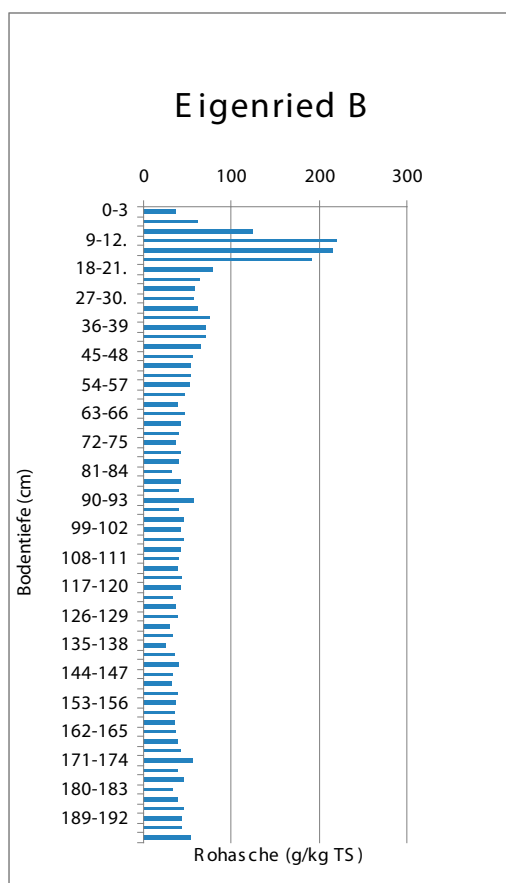
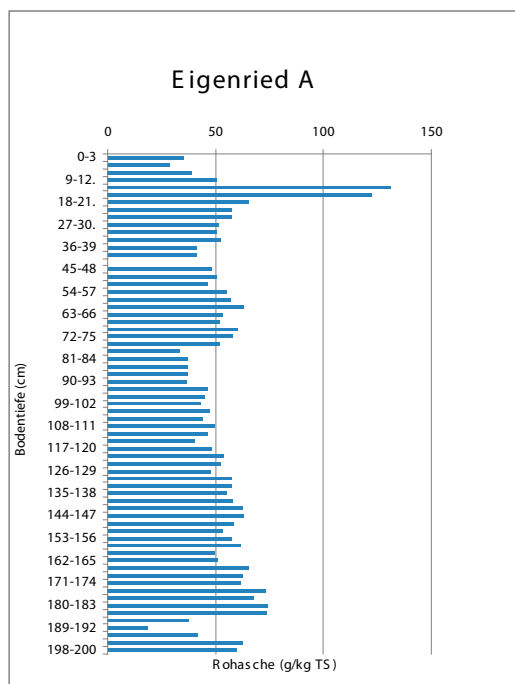


Abbildung 24: Ascheprofile Eigenried, Bohrkern A – C

Tabelle 5: Aschegehalt Eigenried

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Asche A %</i>	<i>Asche B %</i>	<i>Asche C %</i>	<i>Asche Mittelwert %</i>	<i>Asche-SE</i>
0-3			2.13	2.13	
3-6.	3.50		1.95	2.73	1.01
6-9.	2.86	3.67	1.71	2.75	0.57
9-12.	3.89	6.22	1.93	4.01	1.24
12-15.	5.08	12.54	5.23	7.62	2.46
15-18.	13.14	22.03	6.49	13.89	4.50
18-21.	12.22	21.54	6.11	13.29	4.49
21-24.	6.53	19.29	8.25	11.36	4.00
24-27.	5.77	7.97	5.18	6.30	0.85
27-30.	5.78	6.33	3.78	5.30	0.77
30-33	5.16	5.87	2.62	4.55	0.99
33-36	5.07	5.77	2.64	4.49	0.95
36-39	5.29	6.16	2.39	4.61	1.14
39-42	4.09	7.50	3.72	5.11	1.20
42-45	4.10	7.00	3.02	4.70	1.19
45-48		7.10	3.81	5.46	2.05
48-51	4.79	6.49	5.61	5.63	0.49
51-54	5.07	5.52	5.46	5.35	0.14
54-57	4.68	5.32	4.55	4.85	0.24
57-60	5.51	5.41	5.48	5.46	0.03
60-63	5.73	5.21	5.05	5.33	0.21
63-66	6.34	4.77	3.10	4.74	0.93
66-69	5.30	3.86	2.62	3.93	0.77
69-72	5.20	4.67	2.32	4.06	0.89
72-75	6.04	4.18	3.41	4.54	0.78
75-78	5.84	4.04	2.59	4.16	0.94
78-81	5.23	3.77	3.03	4.01	0.65
81-84	3.36	4.18	2.41	3.32	0.51
84-87	3.70	4.07	2.33	3.36	0.53
87-90	3.71	3.16	2.61	3.16	0.32
90-93	3.74	4.21	2.57	3.51	0.49
93-96	3.64	4.10	2.72	3.49	0.40
96-99	4.67	5.65	2.51	4.27	0.93
99-102	4.52	4.11	2.92	3.85	0.48
102-105	4.29	4.58	2.23	3.70	0.74
105-108	4.70	4.25	2.72	3.89	0.60
108-111	4.42	4.55	3.14	4.03	0.45
111-114	4.95	4.14	3.68	4.26	0.37
114-117	4.65	3.99	3.32	3.99	0.38
117-120	4.08	3.91	3.34	3.78	0.22
120-123	4.80	4.36	3.06	4.07	0.52

123-126	5.38	4.17	3.52	4.36	0.55
126-129	5.26	3.36	2.70	3.77	0.77
129-132	4.78	3.65	2.46	3.63	0.67
132-135	5.79	3.90	3.04	4.24	0.81
135-138	5.78	3.10	2.32	3.73	1.05
138-141	5.53	3.44	1.91	3.63	1.05
141-144	5.80	2.60	1.36	3.25	1.32
144-147	6.25	3.55	1.93	3.91	1.26
147-150	6.33	4.02	2.40	4.25	1.14
150-153	5.85	3.44	2.86	4.05	0.92
153-156	5.32	3.15	3.38	3.95	0.69
156-159	5.77	3.91	3.09	4.26	0.79
159-162	6.15	3.69	2.81	4.22	1.00
162-165	4.96	3.55	2.59	3.70	0.69
165-168	5.14	3.60	2.73	3.82	0.71
168-171	6.52	3.66	2.56	4.25	1.18
171-174	6.28	3.90	2.42	4.20	1.12
174-177	6.15	4.28	1.82	4.09	1.25
177-180	7.31	5.58	2.09	4.99	1.54
180-183	6.76	3.81	1.88	4.15	1.42
183-186	7.43	4.59	2.34	4.79	1.47
186-189	7.37	3.29	2.71	4.46	1.47
189-192	3.74	3.80	2.66	3.40	0.37
192-195	1.88	4.52	2.38	2.93	0.81
195-198	4.17	4.32	2.45	3.65	0.60
198-200	6.28	4.37	3.01	4.55	0.95

Tabelle 6: Dichte Eigenried

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>A Dichte (g cm-3)</i>	<i>B Dichte (g cm-3)</i>	<i>C Dichte (g cm-3)</i>	<i>Dichte m (g cm-3)</i>	<i>Dichte SE</i>
0-3					
3-6.			0.01	0.01	0.00
6-9.	0.02		0.02	0.02	0.00
9-12.	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01
12-15.	0.05	0.03	0.01	0.03	0.01
15-18.	0.05	0.10	0.01	0.05	0.03
18-21.	0.09	0.09	0.01	0.07	0.03
21-24.	0.10	0.10	0.03	0.08	0.02
24-27.	0.10	0.09	0.10	0.10	0.00
27-30.	0.10	0.05	0.10	0.08	0.02
30-33	0.09	0.04	0.07	0.07	0.01
33-36	0.04	0.06	0.06	0.05	0.01
36-39	0.07	0.05	0.05	0.06	0.01
39-42	0.07	0.05	0.05	0.05	0.01
42-45	0.06	0.08	0.04	0.06	0.01
45-48	0.07	0.07	0.04	0.06	0.01
48-51	0.06	0.09	0.04	0.06	0.01
51-54	0.06	0.09	0.05	0.06	0.01
54-57	0.05	0.09	0.04	0.06	0.01
57-60	0.06	0.09	0.04	0.06	0.01
60-63	0.06	0.08	0.07	0.07	0.01
63-66	0.05	0.06	0.10	0.07	0.01
66-69	0.06	0.07	0.08	0.07	0.01
69-72	0.06	0.07	0.05	0.06	0.01
72-75	0.06	0.09	0.06	0.07	0.01
75-78	0.06	0.11	0.05	0.07	0.02
78-81	0.07	0.10	0.05	0.07	0.01
81-84	0.07	0.09	0.06	0.07	0.01
84-87	0.05	0.09	0.05	0.06	0.01
87-90	0.07	0.07	0.05	0.06	0.01
90-93	0.08	0.09	0.06	0.07	0.01
93-96	0.08	0.08	0.06	0.07	0.01
96-99	0.09	0.09	0.05	0.08	0.01
99-102	0.07	0.07	0.05	0.06	0.00
102-105	0.05	0.07	0.08	0.07	0.01
105-108	0.05	0.07	0.06	0.06	0.00
108-111	0.10	0.08	0.06	0.08	0.01
111-114	0.02	0.07	0.06	0.05	0.01
114-117	0.06	0.08	0.07	0.07	0.00
117-120	0.07	0.08	0.06	0.07	0.01
120-123	0.06	0.09	0.06	0.07	0.01

123-126	0.06	0.07	0.07	0.07	0.00
126-129	0.06	0.07	0.07	0.07	0.00
129-132	0.06	0.07	0.07	0.07	0.00
132-135	0.07	0.06	0.07	0.07	0.00
135-138	0.07	0.06	0.07	0.07	0.00
138-141	0.07	0.07	0.08	0.07	0.00
141-144	0.09	0.06	0.09	0.08	0.01
144-147	0.08	0.06	0.08	0.07	0.01
147-150	0.08	0.07	0.06	0.07	0.01
150-153	0.06	0.06	0.08	0.07	0.01
153-156	0.07	0.05	0.08	0.07	0.01
156-159	0.06	0.05	0.06	0.06	0.00
159-162	0.06	0.04	0.06	0.05	0.01
162-165	0.07	0.05	0.07	0.06	0.01
165-168	0.07	0.07	0.07	0.07	0.00
168-171	0.09	0.07	0.07	0.08	0.01
171-174	0.07	0.07	0.08	0.07	0.00
174-177	0.07	0.09	0.07	0.08	0.01
177-180	0.08	0.07	0.08	0.08	0.00
180-183	0.08	0.08	0.08	0.08	0.00
183-186	0.09	0.07	0.06	0.07	0.01
186-189	0.08	0.08	0.07	0.08	0.00
189-192	0.08	0.06	0.06	0.07	0.01
192-195	0.18	0.08	0.07	0.11	0.04
195-198	0.14	0.07	0.06	0.09	0.03
198-200	0.10	0.06	0.06	0.08	0.01
	0.07	0.07	0.03	0.06	0.01

Tabelle 7: 1. Messung Elementaranalyse, Eigenried B

<i>Sample Name</i>	<i>N %</i>	<i>C %</i>	<i>H %</i>	<i>% O</i>
EGB 0-3	1.243	47.561	6.007	41.176
EGB 3-6	1.808	45.444	5.706	41.155
EGB 6-9	2.957	48.598	5.948	33.21
EGB 9-12	3.124	45.7	5.637	30.206
EGB 12-15	2.701	42.268	5.137	30.597
EGB 15-18	2.572	43.579	5.053	31.607
EGB 18-21	2.387	49.598	5.728	33.153
EGB 21-24	2.418	49.116	5.602	36.299
EGB 24-27	2.54	50.133	5.631	34.453
EGB 27-30	2.299	49.333	5.535	36.153
EGB 30-33	2.52	50.179	5.79	34.735
EGB 33-36	2.545	51.38	5.968	35.063
EGB 36-39	1.898	50.055	5.654	35.992
EGB 39-42	1.957	51.245	5.647	33.872
EGB 42-45	2.306	49.561	5.566	34.071
EGB 45-48	1.836	50.926	5.676	35.381
EGB 48-51	1.761	51.23	6.005	36.033
EGB 51-54	1.768	51.94	5.849	33.595
EGB 54-57	1.954	53.127	5.956	33.636
EGB 57-60	1.929	53.483	5.858	35.414
EGB 60-63	1.724	52.692	5.582	34.991
EGB 63-66	2.119	55.138	6.177	34.281
EGB 66-69	1.799	53.492	6.108	34.383
EGB 69-72	2.05	53.494	5.817	35.196
EGB 72-75	2.007	53.603	6.071	34.796
EGB 75-78	2.189	53.326	5.938	34.237
EGB 78-81	1.745	55.301	5.932	35.818
EGB 81-84	1.483	53.833	5.81	35.643
EGB 84-87	1.847	53.617	5.977	35.626
EGB 87-90	1.754	55.418	5.942	33.576
EGB 90-93	1.898	54.091	6.064	32.31
EGB 93-96	1.69	53.672	5.807	33.817
EGB 96-99	1.889	54.379	5.908	34.279
EGB 99-102	1.949	54.763	6.048	34.068
EGB 102-105	1.839	53.861	5.925	34.654
EGB 105-108	1.811	53.847	6.017	34.614
EGB 108-111	1.876	54.441	5.955	33.381
EGB 111-114	1.727	54.425	5.979	34.333
EGB 114-117	1.703	54.174	6.177	32.701
EGB 117-120	2.045	55.191	6.195	32.887
EGB 120-123	2.291	54.285	5.916	33.62

EGB 123-126	1.776	53.737	5.905	34.06
EGB 126-129	1.976	54.847	6.152	34.424
EGB 129-132	2.085	55.11	6.026	33.466
EGB 132-135	1.622	54.945	5.891	33.622
EGB 135-138	1.599	56.808	5.908	34.578
EGB 138-141	1.787	54.499	5.879	33.584
EGB 141-144	1.995	54.363	5.879	33.048
EGB 144-147	2.061	56.042	6.075	33.512
EGB 147-150	1.735	53.609	6.203	34.568
EGB 150-153	1.787	54.051	5.859	33.679
EGB 156-159	1.723	55.342	5.926	34.092
EGB 159-162	1.386	55.142	5.898	34
EGB 162-165	1.737	53.617	5.879	34.368
EGB 165-168	1.902	54.989	5.915	32.872
EGB 168-171	1.785	54.833	6.077	33.43
EGB 171-174	1.931	53.61	5.905	32.727
EGB 174-177	1.993	55.344	6.136	32.911
EGB 177-180	2.349	54.392	5.888	33.211
EGB 180-183	1.715	55.959	5.964	32.622
EGB 183-186	2.029	55.181	5.883	35.113
EGB 185-189	1.956	54.952	5.944	32.742
EGB 189-192	1.846	54.498	5.95	33.066
EGB 192-195	1.981	55.227	6.075	33.617
EGB 195-198	1.939	53.224	5.913	33.383
EGB 198-200	2.047	54.123	5.857	32.504
Mittelwert	1.98	52.88	5.88	34.15
Stabw	0.34	3.00	0.21	1.73

Tabelle 8: 2. Messung Elementaranalyse, Eigenried B

Sample Name	N %	C %	H %	% O
EGB 0-3	1.315	46.496	5.81	40.424
EGB 3-6	1.862	45.156	5.669	41.532
EGB 6-9	2.958	47.646	5.837	32.704
EGB 9-12	3.159	45.997	5.7	29.575
EGB 12-15	2.801	41.73	5.122	30.825
EGB 15-18	2.549	43.636	5.012	30.33
EGB 18-21	2.292	49.544	5.696	33.426
EGB 21-24	2.405	49.365	5.625	35.486
EGB 24-27	2.554	50.091	5.596	35.086
EGB 27-30	2.388	49.556	5.56	35.533
EGB 30-33	2.457	51.299	5.847	34.656
EGB 33-36	2.439	51.348	5.913	33.452
EGB 36-39	2.088	49.802	5.633	34.947
EGB 39-42	2.032	50.322	5.65	33.549
EGB 42-45	2.298	48.521	5.505	33.644
EGB 45-48	1.933	50.852	5.78	35.187
EGB 48-51	1.801	51.124	5.982	35.565
EGB 51-54	1.816	51.702	5.897	33.84
EGB 54-57	1.887	53.068	5.884	33.55
EGB 57-60	1.683	53.217	5.871	34.46
EGB 60-63	1.781	52.959	5.569	35.331
EGB 63-66	2.065	54.783	5.98	34.638
EGB 66-69	1.711	54.002	5.955	34.127
EGB 69-72	2.058	53.499	5.825	34.702
EGB 72-75	1.973	53.835	6.099	34.652
EGB 75-78	2.039	53.167	5.922	33.707
EGB 78-81	1.641	56.231	6.049	35.71
EGB 81-84	1.59	53.426	5.809	35.986
EGB 84-87	1.81	53.738	5.907	34.536
EGB 87-90	1.815	55.814	5.997	33.555
EGB 90-93	1.896	54.208	5.99	31.244
EGB 93-96	1.656	53.821	5.717	32.512
EGB 96-99	1.821	54.365	5.891	34.513
EGB 99-102	1.841	56.08	6.055	33.916
EGB 102-105	1.938	54.124	5.93	34.362
EGB 105-108	1.887	53.982	5.971	34.843
EGB 108-111	2.009	54.305	5.937	32.883
EGB 111-114	1.71	54.277	5.984	34.461
EGB 114-117	1.63	54.113	6.206	32.474
EGB 117-120	1.975	55.035	6.135	33.402

EGB 120-123	2.046	54.514	5.899	33.28
EGB 123-126	1.74	53.579	5.87	35.242
EGB 126-129	2.163	54.804	6.184	33.935
EGB 129-132	2.183	54.9	5.997	33.157
EGB 132-135	1.637	54.902	5.926	35.383
EGB 135-138	1.57	56.531	5.881	35.021
EGB 138-141	1.631	54.381	5.909	34
EGB 141-144	1.751	54.053	5.901	34.17
EGB 144-147	2.124	56.487	6.099	32.85
EGB 147-150	1.89	53.652	6.094	34.473
EGB 150-153	1.751	54.034	5.924	34.158
EGB 156-159	1.714	55.087	5.924	32.558
EGB 159-162	1.359	55.898	5.938	34.614
EGB 162-165	1.67	53.489	5.864	34.142
EGB 165-168	1.878	54.885	5.874	33.08
EGB 168-171	1.561	55.395	6.055	32.935
EGB 171-174	1.978	55.624	6.178	31.206
EGB 174-177	2.007	55.421	6.041	32.28
EGB 177-180	2.149	53.773	5.932	33.556
EGB 180-183	1.765	55.994	5.873	32.412
EGB 183-186	1.784	54.29	5.75	33.42
EGB 185-189	2.026	55.048	5.999	33.132
EGB 189-192	1.915	54.591	6.057	32.739
EGB 192-195	2.093	55.181	6.047	33.214
EGB 195-198	1.902	53.041	5.871	33.64
EGB 198-200	2.011	54.919	5.954	32.445
Mittelwert	1.97	52.89	5.87	33.94
Stabw	0.34	3.15	0.21	1.80

Tabelle 9: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Eigenried B

mean %N	% var. N	mean %C	% var. C	mean %H	% var. H	mean %O	% var. O
1.28	3.98	47.03	1.60	5.91	2.36	40.80	1.30
1.84	2.08	45.30	0.45	5.69	0.46	41.34	0.64
2.96	0.02	48.12	1.40	5.89	1.33	32.96	1.09
3.14	0.79	45.85	0.46	5.67	0.79	29.89	1.49
2.75	2.57	42.00	0.91	5.13	0.21	30.71	0.52
2.56	0.64	43.61	0.09	5.03	0.58	30.97	2.92
2.34	2.87	49.57	0.08	5.71	0.40	33.29	0.58
2.41	0.38	49.24	0.36	5.61	0.29	35.89	1.60
2.55	0.39	50.11	0.06	5.61	0.44	34.77	1.29
2.34	2.69	49.44	0.32	5.55	0.32	35.84	1.22
2.49	1.79	50.74	1.56	5.82	0.69	34.70	0.16
2.49	3.01	51.36	0.04	5.94	0.65	34.26	3.33
1.99	6.74	49.93	0.36	5.64	0.26	35.47	2.08
1.99	2.66	50.78	1.29	5.65	0.04	33.71	0.68
2.30	0.25	49.04	1.50	5.54	0.78	33.86	0.89
1.88	3.64	50.89	0.10	5.73	1.28	35.28	0.39
1.78	1.59	51.18	0.15	5.99	0.27	35.80	0.92
1.79	1.89	51.82	0.32	5.87	0.58	33.72	0.51
1.92	2.47	53.10	0.08	5.92	0.86	33.59	0.18
1.81	9.63	53.35	0.35	5.86	0.16	34.94	1.93
1.75	2.30	52.83	0.36	5.58	0.16	35.16	0.68
2.09	1.83	54.96	0.46	6.08	2.29	34.46	0.73
1.76	3.55	53.75	0.67	6.03	1.79	34.26	0.53
2.05	0.28	53.50	0.01	5.82	0.10	34.95	1.00
1.99	1.21	53.72	0.31	6.09	0.33	34.72	0.29
2.11	5.02	53.25	0.21	5.93	0.19	33.97	1.10
1.69	4.34	55.77	1.18	5.99	1.38	35.76	0.21
1.54	4.92	53.63	0.54	5.81	0.01	35.81	0.68
1.83	1.43	53.68	0.16	5.94	0.83	35.08	2.20
1.78	2.42	55.62	0.50	5.97	0.65	33.57	0.04
1.90	0.07	54.15	0.15	6.03	0.87	31.78	2.37
1.67	1.44	53.75	0.20	5.76	1.10	33.16	2.78
1.86	2.59	54.37	0.02	5.90	0.20	34.40	0.48
1.90	4.03	55.42	1.68	6.05	0.08	33.99	0.32
1.89	3.71	53.99	0.34	5.93	0.06	34.51	0.60
1.85	2.91	53.91	0.18	5.99	0.54	34.73	0.47
1.94	4.84	54.37	0.18	5.95	0.21	33.13	1.06
1.72	0.70	54.35	0.19	5.98	0.06	34.40	0.26
1.67	3.10	54.14	0.08	6.19	0.33	32.59	0.49
2.01	2.46	55.11	0.20	6.17	0.69	33.14	1.10

2.17	7.99	54.40	0.30	5.91	0.20	33.45	0.72
1.76	1.45	53.66	0.21	5.89	0.42	34.65	2.41
2.07	6.39	54.83	0.06	6.17	0.37	34.18	1.01
2.13	3.25	55.01	0.27	6.01	0.34	33.31	0.66
1.63	0.65	54.92	0.06	5.91	0.42	34.50	3.61
1.58	1.29	56.67	0.35	5.89	0.32	34.80	0.90
1.71	6.45	54.44	0.15	5.89	0.36	33.79	0.87
1.87	9.21	54.21	0.40	5.89	0.26	33.61	2.36
2.09	2.13	56.26	0.56	6.09	0.28	33.18	1.41
1.81	6.05	53.63	0.06	6.15	1.25	34.52	0.19
1.77	1.44	54.04	0.02	5.89	0.78	33.92	1.00
1.72	0.37	55.21	0.33	5.93	0.02	33.33	3.25
1.37	1.39	55.52	0.96	5.92	0.48	34.31	1.27
1.70	2.78	53.55	0.17	5.87	0.18	34.26	0.47
1.89	0.90	54.94	0.13	5.89	0.49	32.98	0.45
1.67	9.47	55.11	0.72	6.07	0.26	33.18	1.05
1.95	1.70	54.62	2.61	6.04	3.20	31.97	3.36
2.00	0.49	55.38	0.10	6.09	1.10	32.60	1.37
2.25	6.29	54.08	0.81	5.91	0.53	33.38	0.73
1.74	2.03	55.98	0.04	5.92	1.09	32.52	0.46
1.91	9.09	54.74	1.15	5.82	1.62	34.27	3.49
1.99	2.49	55.00	0.12	5.97	0.65	32.94	0.84
1.88	2.59	54.54	0.12	6.00	1.26	32.90	0.70
2.04	3.89	55.20	0.06	6.06	0.33	33.42	0.85
1.92	1.36	53.13	0.24	5.89	0.50	33.51	0.54
2.03	1.25	54.52	1.03	5.91	1.16	32.47	0.13
1.97	2.96	52.88	0.46	5.88	0.64	34.05	1.14
0.34	2.43	3.07	0.52	0.21	0.60	1.73	0.92

Tabelle 10: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Eigenried B

H / C	C / N	O / C
1.51	36.77	0.65
1.51	24.69	0.68
1.47	16.27	0.51
1.48	14.59	0.49
1.47	15.27	0.55
1.38	17.03	0.53
1.38	21.19	0.50
1.37	20.42	0.55
1.34	19.67	0.52
1.35	21.10	0.54
1.38	20.39	0.51
1.39	20.61	0.50
1.36	25.05	0.53
1.33	25.46	0.50
1.35	21.30	0.52
1.35	27.00	0.52
1.41	28.73	0.52
1.36	28.92	0.49
1.34	27.65	0.47
1.32	29.54	0.49
1.27	30.14	0.50
1.33	26.27	0.47
1.35	30.63	0.48
1.31	26.05	0.49
1.36	26.99	0.48
1.34	25.19	0.48
1.29	32.94	0.48
1.30	34.90	0.50
1.33	29.36	0.49
1.29	31.17	0.45
1.34	28.54	0.44
1.29	32.13	0.46
1.30	29.31	0.47
1.31	29.25	0.46
1.32	28.59	0.48
1.33	29.16	0.48
1.31	27.99	0.46
1.32	31.63	0.47
1.37	32.49	0.45
1.34	27.42	0.45

1.30	25.09	0.46
1.32	30.52	0.48
1.35	26.49	0.47
1.31	25.78	0.45
1.29	33.71	0.47
1.25	35.76	0.46
1.30	31.85	0.47
1.30	28.94	0.47
1.30	26.89	0.44
1.38	29.59	0.48
1.31	30.55	0.47
1.29	32.13	0.45
1.28	40.45	0.46
1.32	31.44	0.48
1.29	29.07	0.45
1.32	32.94	0.45
1.33	27.94	0.44
1.32	27.69	0.44
1.31	24.05	0.46
1.27	32.17	0.44
1.28	28.71	0.47
1.30	27.62	0.45
1.32	29.01	0.45
1.32	27.10	0.45
1.33	27.67	0.47
1.30	26.87	0.45
1.34	27.60	0.48
0.05	5.01	0.04

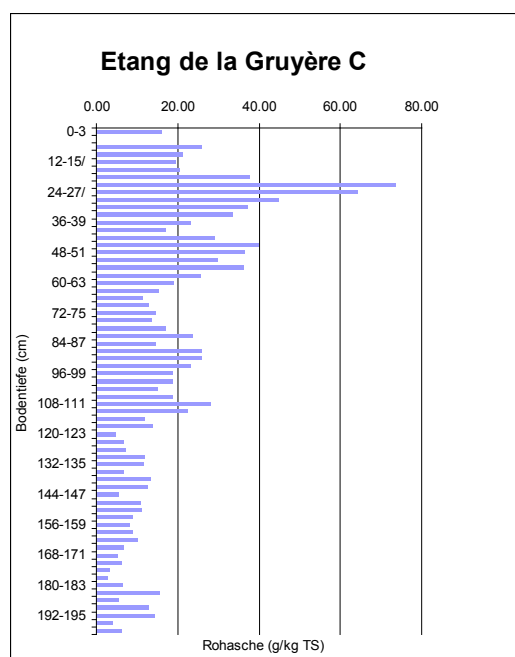
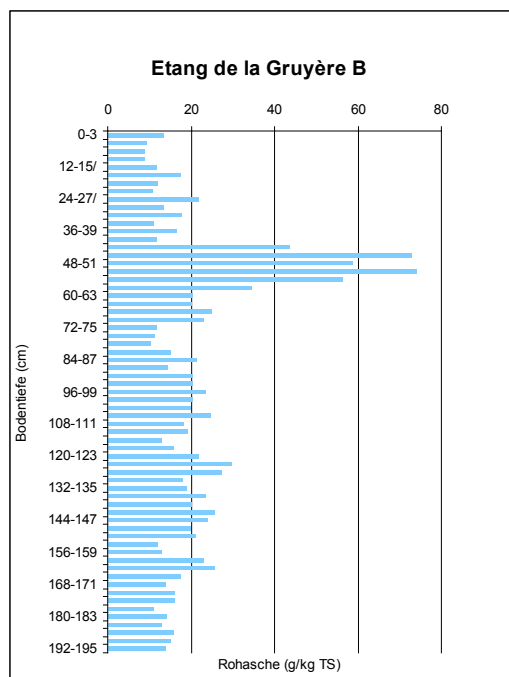
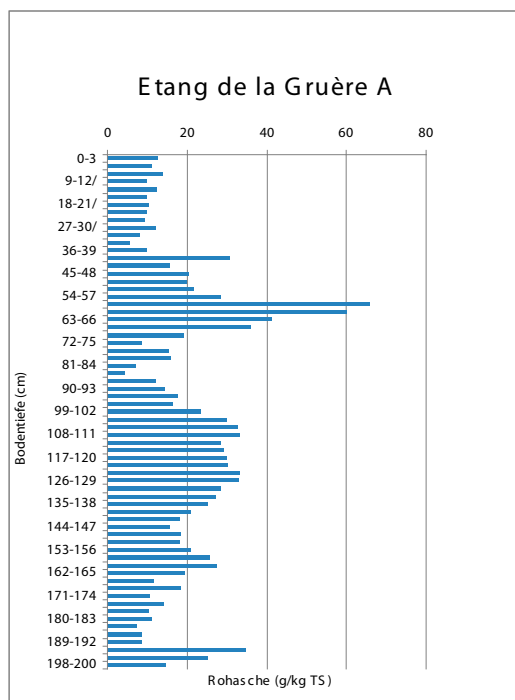


Abbildung 25: Ascheprofile Etang de la Gruère, Bohrkerne A – C

Tabelle 11: Aschegehalt Gruère

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Asche A %</i>	<i>Asche B %</i>	<i>Asche C %</i>	<i>Asche Mittelwert %</i>	<i>SE Asche</i>
0-3	1.29			1.29	
3-6	1.11			1.11	
6-9	1.39			1.39	
9-12	1.01			1.01	
12-15	1.25	1.35		1.30	0.04
15-18	1.00	0.95		0.98	0.02
18-21	1.02	0.88		0.95	0.06
21-24	0.99	0.90		0.95	0.04
24-27	0.96	1.18		1.07	0.09
27-30	1.21	1.77		1.49	0.23
30-33	0.81	1.19		1.00	0.16
33-36	0.57	1.08		0.83	0.21
36-39	1.01	2.18	1.60	1.60	0.34
39-42	3.08	1.35	0.00	2.21	0.89
42-45	1.58	1.77	2.61	1.99	0.32
45-48	2.04	1.09	2.15	1.76	0.34
48-51	2.02	1.64	1.95	1.87	0.12
51-54	2.16	1.17	2.06	1.79	0.32
54-57	2.85	4.36	3.78	3.66	0.44
57-60	6.58	7.29	7.36	7.08	0.25
60-63	6.03	5.88	6.43	6.11	0.16
63-66	4.12	7.41	4.48	5.34	1.04
66-69	3.62	5.63	3.72	4.32	0.66
69-72	1.91	3.45	3.36	2.91	0.50
72-75	0.88	2.03	2.31	1.74	0.44
75-78	1.54	2.01	1.73	1.76	0.14
78-81	1.61	2.50	2.93	2.35	0.39
81-84	0.71	2.30	3.98	2.33	0.94
84-87	0.43	1.17	3.64	1.75	0.97
87-90	1.22	1.13	3.00	1.78	0.61
90-93	1.45	1.06	3.63	2.05	0.80
93-96	1.77	1.51	2.59	1.96	0.32
96-99	1.66	2.13	1.90	1.90	0.14
99-102	2.35	1.46	1.54	1.78	0.28
102-105	3.00	2.03	1.16	2.06	0.53
105-108	3.27	2.04	1.29	2.20	0.58
108-111	3.33	2.35	1.47	2.38	0.54
111-114	2.84	2.05	1.36	2.09	0.43
114-117	2.92	1.98	1.72	2.21	0.36
117-120	3.01	2.47	2.38	2.62	0.20
120-123	3.03	1.83	1.46	2.11	0.47

123-126	3.33	1.90	2.61	2.61	0.41
126-129	3.32	1.31	2.60	2.41	0.59
129-132	2.85	1.57	2.32	2.25	0.37
132-135	2.70	2.20	1.89	2.26	0.24
135-138	2.53	2.99	1.89	2.47	0.32
138-141	2.09	2.72	1.52	2.11	0.35
141-144	1.82	1.82	1.87	1.84	0.02
144-147	1.56	1.88	2.82	2.09	0.38
147-150	1.85	2.35	2.24	2.15	0.15
150-153	1.82	2.02	1.20	1.68	0.25
153-156	2.09	2.58	1.39	2.02	0.34
156-159	2.57	2.38	0.47	1.81	0.67
159-162	2.75	1.99	0.67	1.81	0.61
162-165	1.94	2.12	0.73	1.60	0.44
165-168	1.17	1.19	1.20	1.19	0.01
168-171	1.83	1.30	1.18	1.44	0.20
171-174	1.07	2.31	0.68	1.35	0.49
174-177	1.41	2.57	1.34	1.77	0.40
177-180	1.04	1.75	1.27	1.35	0.21
180-183	1.12	1.41	0.55	1.03	0.25
183-186	0.74	1.59	1.10	1.14	0.25
186-189	0.86	1.61	1.13	1.20	0.22
189-192	0.87	1.10	0.89	0.95	0.07
192-195	3.48	1.44	0.84	1.92	0.80
195-198	2.51	1.29	0.88	1.56	0.49
198-200	1.46	1.58	1.01	1.35	0.17

Tabelle 12: Dichte Gruère

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Dichte A (g cm-3)</i>	<i>Dichte B (g cm-3)</i>	<i>Dichte C (g cm-3)</i>	<i>Dichte Mittelwert (g cm-3)</i>	<i>SE Dichte</i>
0-3	0.03				
3-6.	0.05				
6-9.	0.09				
9-12.	0.05				
12-15.	0.05	0.01		0.01	0.02
15-18.	0.05	0.01		0.01	0.01
18-21.	0.05	0.01		0.01	0.02
21-24.	0.05	0.02		0.02	0.01
24-27.	0.05	0.02		0.02	0.01
27-30.	0.05	0.01		0.01	0.02
30-33	0.04	0.01		0.01	0.01
33-36	0.04	0.02		0.02	0.01
36-39	0.04	0.02		0.03	0.01
39-42	0.04	0.03	0.00	0.03	0.01
42-45	0.05	0.03	0.00	0.03	0.01
45-48	0.05	0.04	0.01	0.03	0.01
48-51	0.02	0.06	0.02	0.03	0.01
51-54	0.05	0.06	0.02	0.04	0.01
54-57	0.07	0.11	0.03	0.07	0.02
57-60	0.13	0.10	0.05	0.09	0.02
60-63	0.13	0.08	0.09	0.10	0.02
63-66	0.11	0.06	0.13	0.10	0.02
66-69	0.11	0.07	0.13	0.10	0.02
69-72	0.08	0.07	0.11	0.09	0.01
72-75	0.06	0.07	0.13	0.09	0.02
75-78	0.05	0.07	0.15	0.09	0.03
78-81	0.07	0.09	0.12	0.10	0.01
81-84	0.06	0.08	0.08	0.07	0.01
84-87	0.07	0.07	0.09	0.08	0.01
87-90	0.05	0.06	0.08	0.07	0.01
90-93	0.07	0.11	0.04	0.07	0.02
93-96	0.05	0.08	0.02	0.05	0.02
96-99	0.04	0.07	0.05	0.05	0.01
99-102	0.07	0.07	0.06	0.06	0.00
102-105	0.05	0.07	0.05	0.06	0.01
105-108	0.06	0.04	0.03	0.05	0.01
108-111	0.06	0.08	0.05	0.06	0.01
111-114	0.07	0.08	0.08	0.08	0.00
114-117	0.09	0.08	0.08	0.08	0.00
117-120	0.08	0.10	0.07	0.08	0.01

120-123	0.07	0.09	0.07	0.08	0.00
123-126	0.09	0.09	0.06	0.08	0.01
126-129	0.08	0.08	0.08	0.08	0.00
129-132	0.08	0.07	0.06	0.07	0.01
132-135	0.09	0.08	0.09	0.09	0.00
135-138	0.08	0.08	0.08	0.08	0.00
138-141	0.08	0.08	0.05	0.07	0.01
141-144	0.05	0.09	0.03	0.06	0.02
144-147	0.06	0.10	0.07	0.08	0.01
147-150	0.06	0.10	0.08	0.08	0.01
150-153	0.06	0.10	0.07	0.08	0.01
153-156	0.07	0.11	0.04	0.08	0.02
156-159	0.08	0.09	0.08	0.08	0.00
159-162	0.10	0.09	0.08	0.09	0.01
162-165	0.09	0.07	0.08	0.08	0.01
165-168	0.08	0.08	0.05	0.07	0.01
168-171	0.08	0.07	0.09	0.08	0.01
171-174	0.08	0.08	0.09	0.08	0.00
174-177	0.07	0.09	0.09	0.08	0.00
177-180	0.08	0.10	0.06	0.08	0.01
180-183	0.07	0.08	0.10	0.08	0.01
183-186	0.06	0.09	0.09	0.08	0.01
186-189	0.04	0.13	0.09	0.09	0.02
189-192	0.05	0.16	0.05	0.09	0.04
192-195	0.06	0.12	0.08	0.09	0.02
195-198	0.07	0.12	0.11	0.10	0.01
198-200	0.03	0.13	0.11	0.09	0.03

Tabelle 13: 1. Messung Elementaranalyse, Gruère

Sample Name	N %	C %	H %	% O
GRC 0-3	0.495	46.259	5.389	40.848
GRC 3-6				
GRC 6-9	0.48	45.722	5.462	41.987
GRC 9-12	1.111	45.685	5.756	42.327
GRC 12-15	0.884	48.501	5.842	40.055
GRC 15-18	1.144	48.072	5.811	40.101
GRC 18-21	0.735	50.426	6.077	36.595
GRC 21-24	1.895	53.115	6.525	32.191
GRC 24-27	1.943	51.123	5.982	33.189
GRC 27-30	1.959	53.361	6.192	36.384
GRC 30-33	2.109	51.927	6.224	35.932
GRC 33-36	1.781	51.987	6.206	37.611
GRC 36-39	2.004	53.761	6.326	37.243
GRC 39-42	1.31	54.88	6.193	37.129
GRC 42-45	2.159	52.916	6.265	33.735
GRC 45-48	2.523	54.681	6.481	34.176
GRC 48-51	2.524	54.527	6.507	32.789
GRC 51-54	1.924	52.553	6.322	34.926
GRC 54-57	2.204	52.642	6.431	32.979
GRC 57-60				
GRC 60-63	1.437	52.98	6.215	36.596
GRC 63-66	1.196	52.56	6.021	36.457
GRC 66-69	1.331	53.396	6.047	38.169
GRC 69-72	1.32	54.703	6.19	37.63
GRC 72-75	1.908	54.106	6.204	35.627
GRC 75-78	1.941	55.95	6.333	35.937
GRC 78-81	1.565	54.355	5.978	36.296
GRC 81-84	1.542	54.132	6.062	34.715
GRC 84-87	1.14	53.044	6.136	38.786
GRC 87-90	2.129	56.214	6.321	33.853
GRC 90-93	2.036	54.205	6.144	34.03
GRC 93-96	1.663	55.828	6.216	34.921
GRC 96-99	1.359	53.825	5.965	35.737
GRC 99-102	1.26	52.781	6.003	36.895
GRC 102-105	1.279	53.358	5.991	35.553
GRC 105-109	1.964	54.643	6.33	35.291
GRC 108-111	2.6	55.516	6.452	32.63
GRC 111-114	2.134	55.284	6.229	33.448
GRC 114-117	1.411	55.564	5.918	36.61
GRC 117-120	1.475	54.835	5.871	35.964
GRC 120-123	1.302	54.248	5.867	36.103

GRC 123-126	1.281	54.543	6.111	36.049
GRC 126-129	1.395	54.99	5.848	35.149
GRC 129-132	1.669	56.819	6.352	34.912
GRC 132-135	1.655	55.922	6.168	34.757
GRC 135-138	1.669	54.49	5.94	33.927
GRC 138-141	1.928	55.276	6.273	33.875
GRC 141-144	2.428	56.057	6.142	33.94
GRC 144-147	1.635	56.849	6.04	34.041
GRC 147-150	1.301	56.744	6.111	35.02
GRC 150-153	1.62	55.682	6.045	33.727
GRC 153-156	1.601	55.811	5.991	34.224
GRC 156-159	1.712	54.351	6.061	35.083
GRC 159-162	1.344	56.813	6.059	34.81
GRC 162-165	1.261	55.681	6.077	35.12
GRC 165-168	1.401	55.945	6.029	35.905
GRC 168-171	1.521	57.701	6.242	35.142
GRC 171-174	1.353	55.264	6.029	35.409
GRC 174-177	1.404	54.229	6.228	35.649
GRC 177-180	1.742	55.873	6.395	33.857
GRC 180-183	1.555	58.006	6.534	31.846
GRC 183-186	0.954	57.481	6.196	33.926
GRC 186-189	1.485	55.188	5.547	34.003
GRC 189-192	1.511	59.743	6.516	33.798
GRC 192-195	1.087	58.101	6.366	29.941
GRC 195-198	1.54	59.012	6.637	33.075
GRC 198-200	1.411	56.702	6.197	32.384
Mittelwert	1.58	54.26	6.13	35.40
Stabw	0.45	2.82	0.24	2.31

Tabelle 14: 2. Messung Elementaranalyse, Gruère

Sample Name	N %	C %	H %	% O
GRC 0-3				
GRC 3-6				
GRC 6-9				
GRC 9-12	0.972	45.467	5.756	40.999
GRC 12-15	0.926	49.432	5.947	40.112
GRC 15-18	1.313	47.559	5.89	39.911
GRC 18-21	0.907	50.361	6.131	37.298
GRC 21-24	2.045	53.174	6.563	31.318
GRC 24-27	1.995	51.296	5.977	33.041
GRC 27-30	1.946	53.06	6.153	36.627
GRC 30-33	2.181	51.84	6.282	36.453
GRC 33-36	1.951	52.097	6.332	36.557
GRC 36-39	1.988	53.966	6.319	36.539
GRC 39-42	1.475	54.821	6.197	36.56
GRC 42-45	2.349	52.998	6.239	33.905
GRC 45-48	2.557	54.599	6.477	33.106
GRC 48-51	2.71	53.886	6.443	32.372
GRC 51-54	1.694	52.417	6.286	35.081
GRC 54-57	2.062	52.673	6.306	34.29
GRC 57-60				
GRC 60-63	1.568	53.401	6.235	36.59
GRC 63-66	1.362	52.53	6.004	37.231
GRC 66-69	1.234	53.449	6.036	37.422
GRC 69-72	1.267	54.211	6.088	37.505
GRC 72-75	1.749	53.957	6.13	36.639
GRC 75-78	1.912	54.839	6.053	35.36
GRC 78-81	1.429	54.16	5.97	36.357
GRC 81-84	1.518	54.332	6.093	34.842
GRC 84-87	1.151	52.668	6.057	38.642
GRC 87-90	2.088	56.193	6.381	33.551
GRC 90-93	2	54.336	6.038	34.001
GRC 93-96	1.599	56.443	6.237	35.064
GRC 96-99	1.307	53.58	5.929	36.164
GRC 99-102	1.288	52.863	5.944	37.2
GRC 102-105	1.286	52.973	5.971	36.139
GRC 105-109	1.96	54.389	6.373	35.504
GRC 108-111	2.886	54.998	6.432	32.7
GRC 111-114	2.084	54.911	6.096	34.1
GRC 114-117	1.3	55.506	5.968	36.627
GRC 117-120	1.383	54.691	5.871	36.267
GRC 120-123	1.445	54.243	5.947	36.582

GRC 123-126	1.278	54.733	6.027	35.864
GRC 126-129	1.391	55.243	5.901	34.875
GRC 129-132	1.733	56.556	6.305	35.053
GRC 132-135	1.627	56.107	6.177	34.584
GRC 135-138	1.71	54.763	5.928	34.144
GRC 138-141	1.887	55.318	6.218	33.943
GRC 141-144	2.389	56.057	6.175	33.762
GRC 144-147	1.475	56.986	6.117	34.578
GRC 147-150	1.355	56.169	6.218	35.043
GRC 150-153	1.815	55.718	6.1	34.061
GRC 153-156	1.5	55.193	5.934	33.925
GRC 156-159	1.629	54.155	6.066	35.098
GRC 159-162	1.302	56.547	5.998	34.628
GRC 162-165	1.288	55.915	6.005	35.231
GRC 165-168	1.308	55.856	6.043	34.932
GRC 168-171	1.443	53.052	5.73	34.84
GRC 171-174	1.294	54.738	5.922	36.262
GRC 174-177	1.48	54.339	6.268	35.607
GRC 177-180	1.818	56.009	6.379	34.057
GRC 180-183	1.489	57.395	6.426	32.078
GRC 183-186	0.874	57.562	6.194	33.385
GRC 186-189	1.35	55.798	5.746	33.836
GRC 189-192	1.322	57.089	6.05	33.219
GRC 192-195	1.182	57.892	6.383	32.745
GRC 195-198	1.504	59.657	6.615	32.837
GRC 198-200	1.496	56.897	6.192	31.968
Mittelwert	1.62	54.35	6.13	35.23
Stabw	0.43	2.33	0.20	1.95

Tabelle 15: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Gruère C

mean %N	% var. N	mean %C	% var. C	mean %H	% var. H	mean %O	% var. O
0.50		46.26		5.39		40.85	
0.48		45.72		5.46		41.99	
1.04	9.44	45.58	0.34	5.76	0.00	41.66	2.25
0.91	3.28	48.97	1.34	5.89	1.26	40.08	0.10
1.23	9.73	47.82	0.76	5.85	0.95	40.01	0.34
0.82	14.81	50.39	0.09	6.10	0.63	36.95	1.35
1.97	5.38	53.14	0.08	6.54	0.41	31.75	1.94
1.97	1.87	51.21	0.24	5.98	0.06	33.12	0.32
1.95	0.47	53.21	0.40	6.17	0.45	36.51	0.47
2.15	2.37	51.88	0.12	6.25	0.66	36.19	1.02
1.87	6.44	52.04	0.15	6.27	1.42	37.08	2.01
2.00	0.57	53.86	0.27	6.32	0.08	36.89	1.35
1.39	8.38	54.85	0.08	6.20	0.05	36.84	1.09
2.25	5.96	52.96	0.11	6.25	0.29	33.82	0.36
2.54	0.95	54.64	0.11	6.48	0.04	33.64	2.25
2.62	5.03	54.21	0.84	6.48	0.70	32.58	0.91
1.81	8.99	52.49	0.18	6.30	0.40	35.00	0.31
2.13	4.71	52.66	0.04	6.37	1.39	33.63	2.76
1.50	6.17	53.19	0.56	6.23	0.23	36.59	0.01
1.28	9.18	52.55	0.04	6.01	0.20	36.84	1.49
1.28	5.35	53.42	0.07	6.04	0.13	37.80	1.40
1.29	2.90	54.46	0.64	6.14	1.17	37.57	0.24
1.83	6.15	54.03	0.19	6.17	0.85	36.13	1.98
1.93	1.06	55.39	1.42	6.19	3.20	35.65	1.14
1.50	6.42	54.26	0.25	5.97	0.09	36.33	0.12
1.53	1.11	54.23	0.26	6.08	0.36	34.78	0.26
1.15	0.68	52.86	0.50	6.10	0.92	38.71	0.26
2.11	1.37	56.20	0.03	6.35	0.67	33.70	0.63
2.02	1.26	54.27	0.17	6.09	1.23	34.02	0.06
1.63	2.77	56.14	0.77	6.23	0.24	34.99	0.29
1.33	2.76	53.70	0.32	5.95	0.43	35.95	0.84
1.27	1.55	52.82	0.11	5.97	0.70	37.05	0.58
1.28	0.39	53.17	0.51	5.98	0.24	35.85	1.16
1.96	0.14	54.52	0.33	6.35	0.48	35.40	0.43
2.74	7.37	55.26	0.66	6.44	0.22	32.67	0.15
2.11	1.68	55.10	0.48	6.16	1.53	33.77	1.37
1.36	5.79	55.54	0.07	5.94	0.59	36.62	0.03
1.43	4.55	54.76	0.19	5.87	0.00	36.12	0.59
1.37	7.36	54.25	0.01	5.91	0.96	36.34	0.93

1.28	0.17	54.64	0.25	6.07	0.98	35.96	0.36
1.39	0.20	55.12	0.32	5.87	0.64	35.01	0.55
1.70	2.66	56.69	0.33	6.33	0.53	34.98	0.29
1.64	1.21	56.01	0.23	6.17	0.10	34.67	0.35
1.69	1.72	54.63	0.35	5.93	0.14	34.04	0.45
1.91	1.52	55.30	0.05	6.25	0.62	33.91	0.14
2.41	1.14	56.06	0.00	6.16	0.38	33.85	0.37
1.56	7.28	56.92	0.17	6.08	0.90	34.31	1.11
1.33	2.88	56.46	0.72	6.16	1.23	35.03	0.05
1.72	8.03	55.70	0.05	6.07	0.64	33.89	0.70
1.55	4.61	55.50	0.79	5.96	0.68	34.07	0.62
1.67	3.51	54.25	0.26	6.06	0.06	35.09	0.03
1.32	2.24	56.68	0.33	6.03	0.72	34.72	0.37
1.27	1.50	55.80	0.30	6.04	0.84	35.18	0.22
1.35	4.85	55.90	0.11	6.04	0.16	35.42	1.94
1.48	3.72	55.38	5.94	5.99	6.05	34.99	0.61
1.32	3.15	55.00	0.68	5.98	1.27	35.84	1.68
1.44	3.73	54.28	0.14	6.25	0.45	35.63	0.08
1.78	3.02	55.94	0.17	6.39	0.18	33.96	0.42
1.52	3.07	57.70	0.75	6.48	1.18	31.96	0.51
0.91	6.19	57.52	0.10	6.20	0.02	33.66	1.14
1.42	6.73	55.49	0.78	5.65	2.49	33.92	0.35
1.42	9.43	58.42	3.21	6.28	5.24	33.51	1.22
1.13	5.92	58.00	0.25	6.37	0.19	31.34	6.33
1.52	1.67	59.33	0.77	6.63	0.23	32.96	0.51
1.45	4.14	56.80	0.24	6.19	0.06	32.18	0.91
1.58	4.11	54.18	0.48	6.12	0.78	35.41	0.86
0.45	3.07	2.74	0.84	0.23	1.06	2.23	0.96

Tabelle 16: H / C-, C / N- und O / C-Verhältnisse, Gruère C

H / C	C / N	O / C
1.40	93.45	0.66
1.43	95.25	0.69
1.52	43.76	0.69
1.44	54.11	0.61
1.47	38.92	0.63
1.45	61.38	0.55
1.48	26.98	0.45
1.40	26.01	0.48
1.39	27.25	0.51
1.45	24.19	0.52
1.45	27.89	0.53
1.41	26.99	0.51
1.36	39.39	0.50
1.42	23.49	0.48
1.42	21.51	0.46
1.43	20.71	0.45
1.44	29.01	0.50
1.45	24.69	0.48
1.40	35.40	0.52
1.37	41.08	0.53
1.36	41.65	0.53
1.35	42.10	0.52
1.37	29.55	0.50
1.34	28.75	0.48
1.32	36.24	0.50
1.34	35.45	0.48
1.38	46.14	0.55
1.36	26.66	0.45
1.35	26.89	0.47
1.33	34.42	0.47
1.33	40.29	0.50
1.36	41.46	0.53
1.35	41.45	0.51
1.40	27.79	0.49
1.40	20.14	0.44
1.34	26.12	0.46
1.28	40.97	0.49
1.29	38.32	0.49
1.31	39.49	0.50

1.33	42.70	0.49
1.28	39.57	0.48
1.34	33.33	0.46
1.32	34.13	0.46
1.30	32.33	0.47
1.36	28.99	0.46
1.32	23.27	0.45
1.28	36.60	0.45
1.31	42.51	0.47
1.31	32.43	0.46
1.29	35.80	0.46
1.34	32.48	0.49
1.28	42.84	0.46
1.30	43.78	0.47
1.30	41.27	0.48
1.30	37.37	0.47
1.30	41.56	0.49
1.38	37.64	0.49
1.37	31.43	0.46
1.35	37.91	0.42
1.29	62.93	0.44
1.22	39.15	0.46
1.29	41.24	0.43
1.32	51.12	0.41
1.34	38.98	0.42
1.31	39.08	0.42
1.36	37.63	0.49
0.06	13.45	0.06

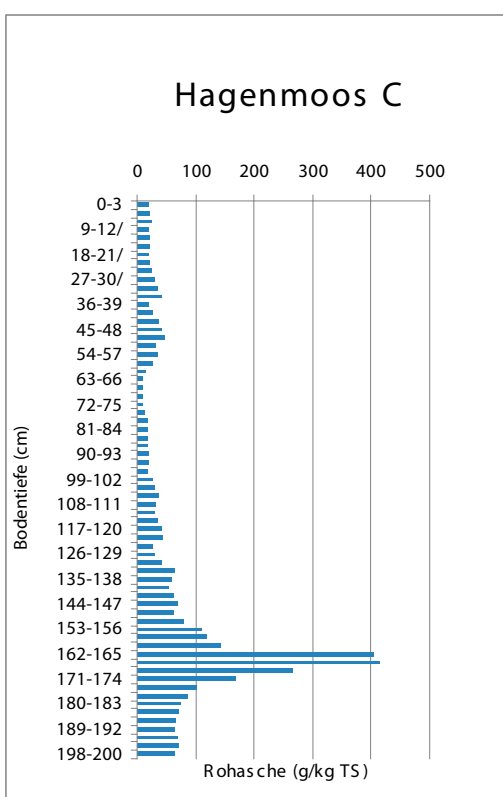
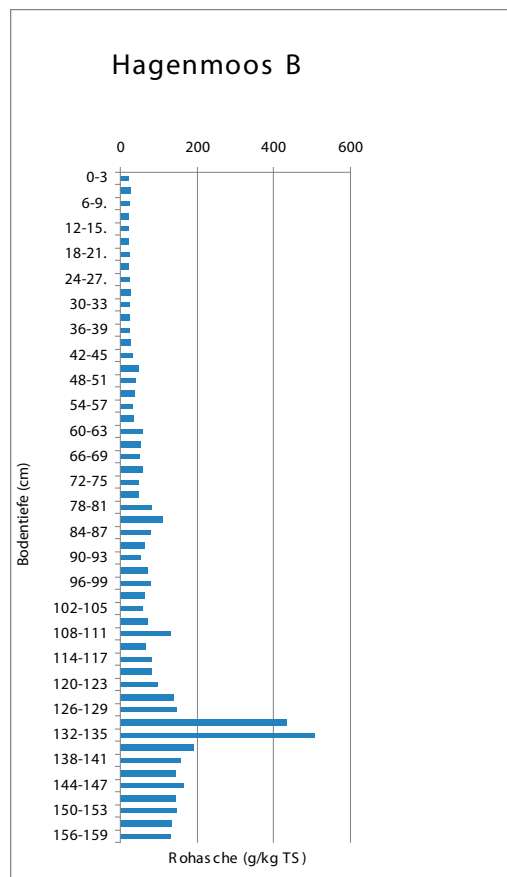
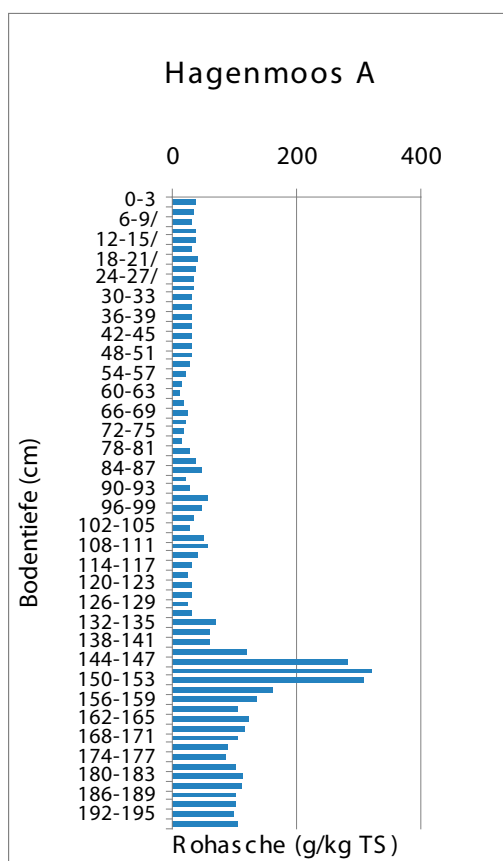


Abbildung 26: Ascheprofil Hagenmoos, Bohrkerne A – C

Tabelle 17: Aschegehalt Hagenmoos

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Asche A %</i>	<i>Asche B %</i>	<i>Asche C %</i>	<i>Asche Mittelwert %</i>	<i>SE Asche</i>
0-3			1.97	1.97	
3-6			2.17	2.17	
6-9			2.39	2.39	
9-12			2.08	2.08	
12-15		2.13	2.12	2.13	0.01
15-18	3.83	2.80	2.25	2.96	0.46
18-21	3.47	2.41	1.89	2.59	0.47
21-24	3.31	2.32	2.21	2.61	0.35
24-27	3.81	2.26	2.56	2.88	0.47
27-30	3.66	2.31	2.97	2.98	0.39
30-33	3.08	2.60	3.35	3.01	0.22
33-36	4.21	2.09	4.24	3.51	0.71
36-39	3.74	2.53	1.92	2.73	0.53
39-42	3.38	2.92	2.81	3.04	0.18
42-45	3.61	2.59	3.14	3.11	0.30
45-48	3.15	2.61	3.23	2.99	0.19
48-51	3.45	2.64	3.31	3.13	0.25
51-54	3.43	2.67	3.22	3.11	0.23
54-57	3.41	2.69	3.55	3.22	0.26
57-60	3.39	2.72	2.69	2.93	0.23
60-63	3.37	2.75	1.50	2.54	0.55
63-66	2.92	2.65	1.00	2.19	0.60
66-69	2.13	2.58	0.90	1.87	0.50
69-72	1.72	2.56	0.89	1.72	0.48
72-75	1.35	2.89	0.91	1.72	0.60
75-78	1.94	3.15	1.15	2.08	0.58
78-81	2.62	4.76	1.69	3.03	0.91
81-84	2.12	3.99	1.63	2.58	0.72
84-87	2.01	3.81	1.69	2.50	0.66
87-90	1.62	3.04	1.77	2.14	0.45
90-93	2.91	3.48	1.88	2.76	0.47
93-96	3.85	5.86	2.06	3.92	1.10
96-99	4.88	5.32	1.84	4.01	1.10
99-102	2.19	5.02	2.72	3.31	0.87
102-105	2.79	5.83	3.01	3.88	0.98
105-108	5.60	4.78	3.73	4.70	0.54
108-111	4.91	4.77	3.27	4.32	0.52
111-114	3.60	8.24	2.98	4.94	1.66
114-117	2.96	10.86	3.51	5.78	2.54
117-120	0.00	7.87	4.28	4.05	2.28
120-123	4.97	6.29	4.34	5.20	0.57

123-126	5.63	5.28	2.82	4.57	0.88
126-129	4.16	7.35	2.90	4.80	1.32
129-132	3.10	7.75	4.11	4.98	1.41
132-135	2.60	6.14	6.34	5.03	1.22
135-138	3.03	5.83	5.96	4.94	0.95
138-141	3.05	7.35	5.34	5.24	1.24
141-144	2.40	13.27	6.16	7.27	3.19
144-147	3.21	6.75	6.78	5.58	1.19
147-150	6.88	8.29	6.22	7.13	0.61
150-153	6.05	8.23	7.85	7.38	0.67
153-156	6.12	9.71	11.06	8.96	1.47
156-159	12.18	13.67	11.88	12.57	0.55
159-162	28.22	14.85	14.27	19.12	4.56
162-165	32.09	43.29	40.35	38.58	3.35
165-168	30.70	50.57	41.27	40.85	5.74
168-171	16.35	19.25	26.67	20.76	3.07
171-174	13.73	15.61	16.76	15.36	0.88
174-177	10.40	14.34	10.13	11.62	1.36
177-180	12.49	16.52	8.68	12.56	2.27
180-183	11.74	14.51	7.27	11.18	2.11
183-186	10.38	14.77	7.24	10.79	2.18
186-189	8.99	13.37	6.66	9.67	1.97
189-192	8.45	13.18	6.43	9.36	2.00
192-195	10.10		6.83	8.47	1.34
195-198	11.51		7.08	9.29	1.81
198-200	10.99		6.38	8.69	1.88

Tabelle 18: Dichte Hagenmoos

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Dichte A (g cm-3)</i>	<i>Dichte B (g cm-3)</i>	<i>Dichte C (g cm-3)</i>	<i>Dichte Mittelwert (g cm-3)</i>	<i>SE Dichte</i>
0-3			0.00	0.01	0.00
3-6.			0.00	0.01	0.00
6-9.			0.01	0.02	0.00
9-12.			0.01	0.01	0.00
12-15.		0.00	0.01	0.00	0.00
15-18.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
18-21.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
21-24.	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
24-27.	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
27-30.	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
30-33	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
33-36	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01
36-39	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02
39-42	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02
42-45	0.05	0.01	0.02	0.03	0.02
45-48	0.06	0.01	0.02	0.04	0.02
48-51	0.06	0.01	0.08	0.03	0.02
51-54	0.06	0.02	0.08	0.05	0.03
54-57	0.07	0.02	0.07	0.04	0.02
57-60	0.07	0.02	0.06	0.05	0.03
60-63	0.08	0.02	0.06	0.06	0.02
63-66	0.07	0.02	0.07	0.07	0.02
66-69	0.10	0.04	0.09	0.07	0.02
69-72	0.09	0.04	0.08	0.07	0.03
72-75	0.11	0.04	0.07	0.07	0.02
75-78	0.08	0.09	0.07	0.08	0.00
78-81	0.09	0.07	0.07	0.08	0.01
81-84	0.11	0.08	0.06	0.08	0.00
84-87	0.12	0.10	0.06	0.08	0.01
87-90	0.11	0.09	0.04	0.08	0.01
90-93	0.08	0.13	0.05	0.09	0.02
93-96	0.08	0.10	0.03	0.09	0.01
96-99	0.09	0.09	0.07	0.07	0.01
99-102	0.08	0.07	0.10	0.07	0.02
102-105	0.09	0.06	0.12	0.07	0.02
105-108	0.07	0.07	0.10	0.07	0.02
108-111	0.09	0.14	0.11	0.11	0.02
111-114	0.06	0.10	0.08	0.11	0.01
114-117	0.09	0.13	0.08	0.12	0.01
117-120	0.10	0.12	0.08	0.11	0.01

120-123	0.11	0.12	0.09	0.12	0.00
123-126	0.11	0.14	0.08	0.10	0.02
126-129	0.12	0.14	0.07	0.11	0.02
129-132	0.11	0.10	0.10	0.09	0.01
132-135	0.11	0.10	0.10	0.10	0.00
135-138	0.12	0.10	0.10	0.09	0.01
138-141	0.09	0.10	0.10	0.09	0.01
141-144	0.10	0.07	0.10	0.09	0.01
144-147	0.10	0.08	0.16	0.09	0.01
147-150	0.10	0.09	0.18	0.09	0.01
150-153	0.10	0.10	0.20	0.10	0.00
153-156	0.10	0.10	0.14	0.10	0.00
156-159	0.09	0.12	0.15	0.13	0.01
159-162	0.07	0.19	0.12	0.20	0.02
162-165	0.07	0.21	0.14	0.22	0.01
165-168	0.10	0.15	0.13	0.16	0.01
168-171	0.09	0.14	0.11	0.15	0.01
171-174	0.12	0.17	0.11	0.15	0.01
174-177	0.24	0.14	0.12	0.14	0.01
177-180	0.24	0.14	0.12	0.14	0.01
180-183	0.18	0.13	0.13	0.13	0.01
183-186	0.17	0.11	0.11	0.12	0.01
186-189	0.15	0.11	0.10	0.12	0.01
189-192	0.15		0.12	0.13	0.01
192-195	0.16		0.11	0.12	0.01
195-198	0.15		0.11	0.11	0.00
198-200	0.13				

Tabelle 19: 1. Messung Elementaranalyse, Hagenmoos C

Sample Name	N %	C %	H %	% O
HMC 0-3	1.043	46.539	5.654	41.968
HMC 3-6	1.466	47.993	5.744	39.935
HMC 6-9	1.547	48.932	5.801	40.236
HMC 9-12	1.636	54.289	5.932	39.601
HMC 12-15				
HMC 15-18	1.157	47.873	5.688	40.903
HMC 18-21	1.037	47.604	5.677	41.717
HMC 21-24				
HMC 24-27				
HMC 27-30				
HMC 30-33	1.117	49.96	6.042	41.654
HMC 33-36	1.56	52.809	6.119	39.627
HMC 36-39	1.456	52.795	5.615	36.29
HMC 39-42	1.39	50.517	5.637	28.227
HMC 42-45	1.65	51.255	6.029	36.692
HMC 45-48	1.158	52.308	5.719	36.495
HMC 48-51	1.365	52.717	5.856	35.894
HMC 51-54	1.25	54.35	5.744	32.992
HMC 54-57	1.211	54.459	5.725	34.326
HMC 57-60	1.506	53.276	5.826	34.48
HMC 60-63	1.268	55.729	5.777	35.448
HMC 63-66	1.033	55.709	5.726	36.805
HMC 66-69	0.992	54.067	5.736	35.386
HMC 69-72	1.041	56.746	5.927	35.077
HMC 72-75	1.139	58.271	5.925	36.053
HMC 75-78	1.731	58.484	6.051	36.066
HMC 78-81	1.865	56.03	5.944	32.432
HMC 81-84	1.77	56.251	6.207	32.042
HMC 84-87	1.656	57.856	5.929	32.973
HMC 87-90	1.798	57.828	5.86	32.135
HMC 90-93	1.786	56.048	5.432	32.634
HMC 93-96	1.758	57.519	5.872	33.596
HMC 96-99	1.484	57.72	5.798	35.162
HMC 99-102	1.53	56.958	5.584	33.984
HMC 102-105	1.74	59.628	5.754	33.701
HMC 105-108	1.688	57.789	5.32	34.373
HMC 108-111	1.472	58.151	5.237	33.729
HMC 111-114	1.144	58.48	5.177	35.896
HMC 114-117	1.294	59.384	5.647	35.563
HMC 117-120	1.229	57.973	5.303	34.468
HMC 120-123	1.329	56.459	5.574	34.99

HMC 123-126	1.266	57.811	5.437	34.611
HMC 126-129	1.176	58.71	5.605	35.071
HMC 129-132	1.451	54.934	5.074	34.585
HMC 132-135	1.525	54.534	4.842	33.684
HMC 135-138	1.507	55.64	5.185	32.962
HMC 138-141	1.752	53.036	4.833	34.272
HMC 141-144	1.837	53.134	4.914	34.889
HMC 144-147	1.872	53.435	4.97	33.429
HMC 147-150	1.608	54.523	5.261	33.205
HMC 150-153	1.446	52.608	5.149	33.278
HMC 153-156	1.415	51.213	5.211	29.879
HMC 156-159	1.496	51.657	4.916	30.515
HMC 159-162	1.492	51.237	5.082	29.67
HMC 162-165	0.949	38.052	4.18	18.207
HMC 165-168	1.131	36.976	3.867	20.113
HMC 168-171	1.482	46.588	4.379	26.629
HMC 171-174	1.481	51.886	4.988	29.315
HMC 174-177	1.532	54.433	5.15	31.364
HMC 177-180	1.703	56.965	5.493	31.569
HMC 180-183	1.585	57.225	5.368	32.15
HMC 183-186	1.581	56.882	5.415	30.877
HMC 186-189	1.536	56.415	5.624	33.167
HMC 189-192	1.538	57.233	5.659	33.159
HMC 192-195	1.702	55.256	5.118	32.291
HMC 195-198	1.72	53.555	5.208	33.064
HMC 198-200	1.677	52.483	5.295	34.901
Mittelwert	1.46	53.92	5.47	33.97
Stabw	0.25	4.44	0.46	4.16

Tabelle 20: 2. Messung Elementaranalyse, Hagenmoos C

Sample Name	N %	C %	H %	% O
HMC 0-3		46.182	5.627	41.895
HMC 3-6	1.47	47.912	5.636	41.798
HMC 6-9	1.569	48.356	5.703	40.69
HMC 9-12	1.616	49.349	5.757	38.334
HMC 12-15				
HMC 15-18	1.089	47.902	5.606	41.759
HMC 18-21	1.054	48.851	5.822	42.74
HMC 21-24				
HMC 24-27				
HMC 27-30				
HMC 30-33	1.236	50.274	6.056	43.295
HMC 33-36	1.57	52.688	6.037	39.093
HMC 36-39	1.479	52.601	5.555	36.584
HMC 39-42	1.427	51.438	5.717	28.505
HMC 42-45	1.551	51.082	5.934	36.485
HMC 45-48	1.175	52.458	5.766	36.543
HMC 48-51	1.353	52.997	5.893	36.243
HMC 51-54	1.261	53.906	5.717	30.533
HMC 54-57	1.284	55.219	5.792	33.818
HMC 57-60	1.46	53.2	5.841	34.645
HMC 60-63	1.275	55.81	5.665	35.617
HMC 63-66	1.016	56.019	5.8	36.939
HMC 66-69	1.047	54.39	5.732	36.494
HMC 69-72	1.059	55.499	5.794	34.988
HMC 72-75	1.173	58.953	6.175	36.466
HMC 75-78	1.487	58.293	5.907	36.09
HMC 78-81	1.878	56.998	6.086	33.087
HMC 81-84	1.899	56.431	6.298	32.428
HMC 84-87	1.677	57.607	5.972	32.99
HMC 87-90	1.733	56.087	5.681	31.937
HMC 90-93	1.694	56.438	5.394	32.546
HMC 93-96	1.821	57.539	5.772	33.786
HMC 96-99	1.423	57.826	5.878	35.62
HMC 99-102	1.491	56.245	5.621	34.721
HMC 102-105	1.774	59.456	5.69	34.013
HMC 105-108	1.672	57.763	5.295	33.959
HMC 108-111	1.485	58.051	5.174	33.278
HMC 111-114	1.111	58.947	5.305	35.476
HMC 114-117	1.274	59.355	5.507	35.19
HMC 117-120	1.282	58.106	5.238	34.204
HMC 120-123	1.31	56.622	5.558	35.294

HMC 123-126	1.339	57.504	5.338	34.727
HMC 126-129	1.166	59.475	5.684	34.765
HMC 129-132	1.502	54.617	5.146	34.243
HMC 132-135	1.492	54.824	4.93	33.888
HMC 135-138	1.44	55.943	5.155	31.484
HMC 138-141	1.759	53.382	4.86	34.252
HMC 141-144	1.947	53.338	4.86	34.378
HMC 144-147	1.948	53.703	5.056	33.074
HMC 147-150	1.572	54.699	5.286	33.083
HMC 150-153	1.411	53.468	5.167	32.486
HMC 153-156	1.466	51.356	5.118	31.476
HMC 156-159	1.561	51.742	4.946	29.577
HMC 159-162	1.481	51.818	5.158	29.883
HMC 162-165	0.925	37.582	4.142	18.792
HMC 165-168	1.097	38.292	3.733	20.455
HMC 168-171	1.433	45.791	4.317	27.578
HMC 171-174	1.431	51.199	4.958	29.995
HMC 174-177	1.505	54.326	5.12	31.245
HMC 177-180	1.65	57.397	5.467	31.707
HMC 180-183	1.541	56.69	5.391	32.077
HMC 183-186	1.655	56.738	5.428	30.788
HMC 186-189	1.616	56.668	5.652	32.986
HMC 189-192	1.512	57.077	5.689	33.252
HMC 192-195	1.72	54.912	5.17	32.079
HMC 195-198	1.776	53.17	5.266	32.739
HMC 198-200	1.547	51.967	5.266	33.92
Mittelwert	1.46	53.88	5.47	34.02
Stabw	0.24	4.43	0.47	4.23

Tabelle 21: Mittelwerte der Messung 1 und 2 der Elementaranalyse, Hagenmoos C

mean %N	% var. N	mean %C	% var. C	mean %H	% var. H	mean %O	% var. O
1.04		46.36	0.54	5.64	0.34	41.93	0.12
1.47	0.19	47.95	0.12	5.69	1.34	40.87	3.22
1.56	1.00	48.64	0.84	5.75	1.20	40.46	0.79
1.63	0.87	51.82	6.74	5.84	2.12	38.97	2.30
1.12	4.28	47.89	0.04	5.65	1.03	41.33	1.46
1.05	1.15	48.23	1.83	5.75	1.78	42.23	1.71
1.18	7.15	50.12	0.44	6.05	0.16	42.47	2.73
1.57	0.45	52.75	0.16	6.08	0.95	39.36	0.96
1.47	1.11	52.70	0.26	5.59	0.76	36.44	0.57
1.41	1.86	50.98	1.28	5.68	1.00	28.37	0.69
1.60	4.37	51.17	0.24	5.98	1.12	36.59	0.40
1.17	1.03	52.38	0.20	5.74	0.58	36.52	0.09
1.36	0.62	52.86	0.37	5.87	0.45	36.07	0.68
1.26	0.62	54.13	0.58	5.73	0.33	31.76	5.47
1.25	4.14	54.84	0.98	5.76	0.82	34.07	1.05
1.48	2.19	53.24	0.10	5.83	0.18	34.56	0.34
1.27	0.39	55.77	0.10	5.72	1.38	35.53	0.34
1.02	1.17	55.86	0.39	5.76	0.91	36.87	0.26
1.02	3.81	54.23	0.42	5.73	0.05	35.94	2.18
1.05	1.21	56.12	1.57	5.86	1.60	35.03	0.18
1.16	2.08	58.61	0.82	6.05	2.92	36.26	0.81
1.61	10.72	58.39	0.23	5.98	1.70	36.08	0.05
1.87	0.49	56.51	1.21	6.02	1.67	32.76	1.41
1.83	4.97	56.34	0.23	6.25	1.03	32.24	0.85
1.67	0.89	57.73	0.30	5.95	0.51	32.98	0.04
1.77	2.60	56.96	2.16	5.77	2.19	32.04	0.44
1.74	3.74	56.24	0.49	5.41	0.50	32.59	0.19
1.79	2.49	57.53	0.02	5.82	1.21	33.69	0.40
1.45	2.97	57.77	0.13	5.84	0.97	35.39	0.92
1.51	1.83	56.60	0.89	5.60	0.47	34.35	1.52
1.76	1.37	59.54	0.20	5.72	0.79	33.86	0.65
1.68	0.67	57.78	0.03	5.31	0.33	34.17	0.86
1.48	0.62	58.10	0.12	5.21	0.86	33.50	0.95
1.13	2.07	58.71	0.56	5.24	1.73	35.69	0.83
1.28	1.10	59.37	0.03	5.58	1.78	35.38	0.75
1.26	2.98	58.04	0.16	5.27	0.87	34.34	0.54
1.32	1.02	56.54	0.20	5.57	0.20	35.14	0.61

1.30	3.96	57.66	0.38	5.39	1.30	34.67	0.24
1.17	0.60	59.09	0.92	5.64	0.99	34.92	0.62
1.48	2.44	54.78	0.41	5.11	1.00	34.41	0.70
1.51	1.55	54.68	0.38	4.89	1.27	33.79	0.43
1.47	3.22	55.79	0.38	5.17	0.41	32.22	3.24
1.76	0.28	53.21	0.46	4.85	0.39	34.26	0.04
1.89	4.11	53.24	0.27	4.89	0.78	34.63	1.04
1.91	2.81	53.57	0.35	5.01	1.21	33.25	0.75
1.59	1.60	54.61	0.23	5.27	0.34	33.14	0.26
1.43	1.73	53.04	1.15	5.16	0.25	32.88	1.70
1.44	2.50	51.28	0.20	5.16	1.27	30.68	3.68
1.53	3.01	51.70	0.12	4.93	0.43	30.05	2.21
1.49	0.52	51.53	0.80	5.12	1.05	29.78	0.51
0.94	1.81	37.82	0.88	4.16	0.65	18.50	2.24
1.11	2.16	37.63	2.47	3.80	2.49	20.28	1.19
1.46	2.38	46.19	1.22	4.35	1.01	27.10	2.48
1.46	2.43	51.54	0.94	4.97	0.43	29.66	1.62
1.52	1.26	54.38	0.14	5.14	0.41	31.30	0.27
1.68	2.24	57.18	0.53	5.48	0.34	31.64	0.31
1.56	1.99	56.96	0.66	5.38	0.30	32.11	0.16
1.62	3.23	56.81	0.18	5.42	0.17	30.83	0.20
1.58	3.59	56.54	0.32	5.64	0.35	33.08	0.39
1.53	1.21	57.16	0.19	5.67	0.37	33.21	0.20
1.71	0.74	55.08	0.44	5.14	0.71	32.19	0.47
1.75	2.27	53.36	0.51	5.24	0.78	32.90	0.70
1.61	5.70	52.23	0.70	5.28	0.39	34.41	2.02
1.46	2.25	53.90	0.64	5.47	0.90	34.00	1.03
0.25	1.81	4.42	0.93	0.46	0.61	4.18	1.04

Tabelle 22: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Hagenmoos C

H / C	C / N	O / C
1.46	44.45	0.68
1.42	32.67	0.64
1.42	31.22	0.62
1.35	31.87	0.56
1.42	42.64	0.65
1.43	46.13	0.66
1.45	42.60	0.64
1.38	33.71	0.56
1.27	35.91	0.52
1.34	36.19	0.42
1.40	31.97	0.54
1.32	44.91	0.52
1.33	38.89	0.51
1.27	43.11	0.44
1.26	43.96	0.47
1.31	35.90	0.49
1.23	43.86	0.48
1.24	54.53	0.50
1.27	53.19	0.50
1.25	53.45	0.47
1.24	50.70	0.46
1.23	36.29	0.46
1.28	30.20	0.43
1.33	30.71	0.43
1.24	34.64	0.43
1.22	32.26	0.42
1.15	32.32	0.43
1.21	32.15	0.44
1.21	39.75	0.46
1.19	37.47	0.46
1.15	33.89	0.43
1.10	34.39	0.44
1.08	39.30	0.43
1.07	52.07	0.46
1.13	46.24	0.45
1.09	46.23	0.44
1.18	42.85	0.47

1.12	44.27	0.45
1.15	50.46	0.44
1.12	37.10	0.47
1.07	36.25	0.46
1.11	37.86	0.43
1.09	30.31	0.48
1.10	28.14	0.49
1.12	28.05	0.47
1.16	34.35	0.46
1.17	37.13	0.46
1.21	35.60	0.45
1.14	33.82	0.44
1.19	34.66	0.43
1.32	40.36	0.37
1.21	33.78	0.40
1.13	31.69	0.44
1.16	35.40	0.43
1.13	35.81	0.43
1.15	34.11	0.41
1.13	36.44	0.42
1.15	35.11	0.41
1.20	35.88	0.44
1.19	37.48	0.44
1.12	32.19	0.44
1.18	30.53	0.46
1.21	32.40	0.49
1.22	37.96	0.47
0.11	6.63	0.07

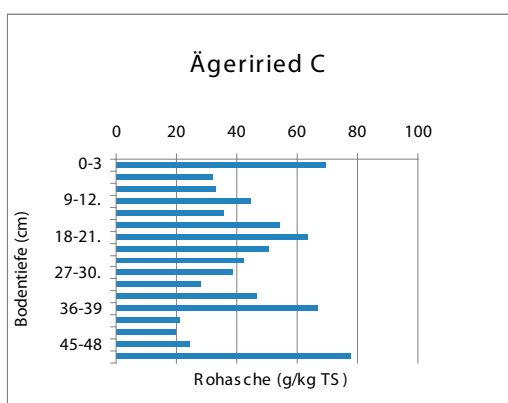
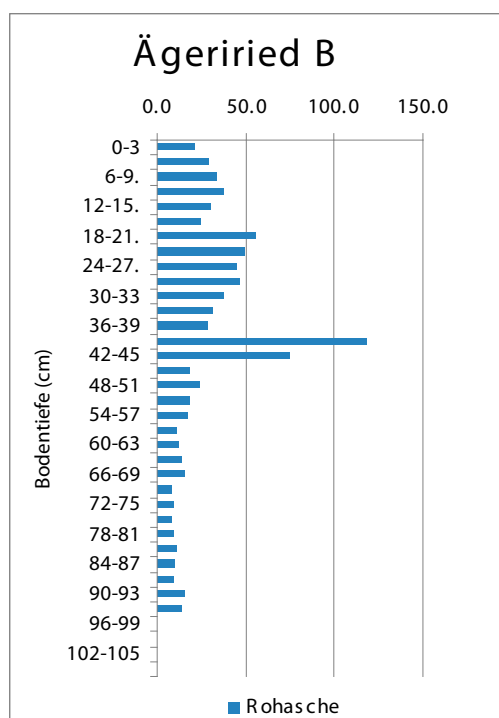
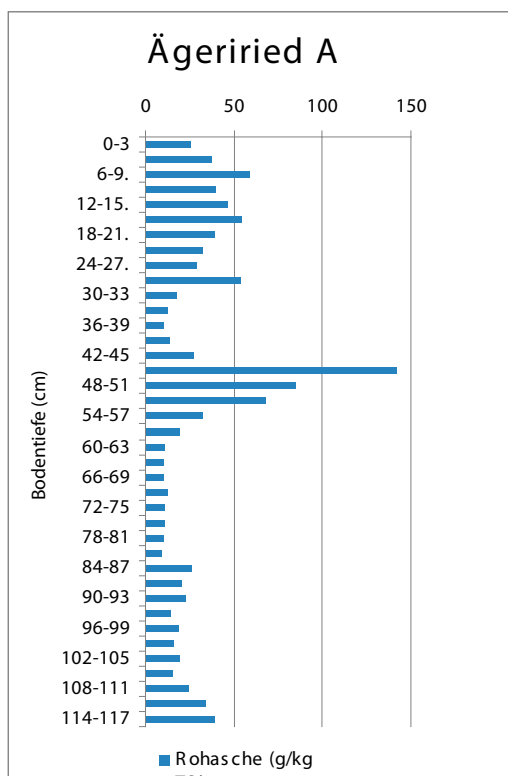


Abbildung 27: Ascheprofil Ägeriried, Bohrkern A – C

Tabelle 25: 1. Messung Elementaranalyse, Ägerried

<i>Sample Name</i>	<i>N %</i>	<i>C %</i>	<i>H %</i>	<i>% O</i>
ÄRC 12-15	1.703	49.793	5.324	38.505
ÄRA 15-18	2.498	50.41	6.089	34.136
ÄRC 24-27	1.972	52.15	6.084	38.93
ÄRB 27-30	2.267	52.806	6.18	36.227
ÄRB 33-36	1.741	54.466	6.203	35.617
ÄRC 39-42	1.343	52.002	6.183	36.766
ÄRA 45-48	1.845	49.911	5.611	29.025
ÄRB 48-51	1.879	53.699	6.201	29.872
ÄRB 54-57	1.49	55.823	6.321	34.544
ÄRB 69-72	1.317	57.298	6.327	35.314
ÄRB 84-87	1.369	56.009	6.177	33.348
ÄRB 99-102	1.872	47.725	5.456	26.597
ÄRA 114-117	1.49	57.166	6.252	34.971
Mittelwert	1.75	53.02	6.03	34.14
STABW	0.36	3.05	0.34	3.65

Tabelle 26: 2. Messung Elementaranalyse, Ägerried

<i>Sample Name</i>	<i>N %</i>	<i>C %</i>	<i>H %</i>	<i>% O</i>
ÄRC 12-15	1.67	49.553	5.336	38.41
ÄRA 15-18	2.417	50.976	5.945	34.03
ÄRC 24-27	1.896	51.878	6.078	35.285
ÄRB 27-30	2.295	52.737	6.139	36.575
ÄRB 33-36	1.837	54.27	6.304	35.485
ÄRC 39-42	1.335	52.072	6.295	36.555
ÄRA 45-48	1.744	50.103	5.634	29.272
ÄRB 48-51	1.93	52.039	6.054	29.71
ÄRB 54-57	1.483	55.879	6.242	34.827
ÄRB 69-72	1.336	57.259	6.137	35.255
ÄRB 84-87	1.447	55.87	6.58	33.146
ÄRB 99-102	1.965	49.87	5.758	25.818
ÄRA 114-117	1.622	57.111	6.24	35.204
Mittelwert	1.77	53.05	6.06	33.81
STABW	0.34	2.75	0.33	3.51

Tabelle 23: Aschegehalt Ägerried

Bodentiefe (cm)	Asche A %	Asche B %	Asche C %	Asche Mittelwert %	SE
0-3	2.60			2.60	
3-6	3.72			3.72	
6-9	5.84	2.09		3.97	1.53
9-12	4.02	2.96	6.93	4.64	1.19
12-15	4.70	3.43	3.20	3.78	0.46
15-18	5.46	3.75	3.28	4.16	0.66
18-21	3.90	3.03	4.46	3.80	0.42
21-24	3.23	2.51	3.54	3.09	0.31
24-27	2.89	5.62	5.41	4.64	0.88
27-30	5.34	4.91	6.37	5.54	0.43
30-33	1.77	4.48	5.08	3.77	1.02
33-36	1.26	4.63	4.22	3.37	1.06
36-39	1.03	3.71	3.88	2.87	0.92
39-42	1.33	3.15	2.80	2.43	0.56
42-45	2.72	2.82	4.65	3.40	0.63
45-48	14.20	11.76	6.67	10.88	2.22
48-51	8.51	7.46	2.10	6.02	1.98
51-54	6.84	1.80	1.95	3.53	1.66
54-57	3.28	2.37	2.45	2.70	0.29
57-60	1.98	1.83	7.78	3.86	2.40
60-63	1.08	1.72		1.40	0.32
63-66	1.04	1.10		1.07	0.03
66-69	1.00	1.17		1.08	0.09
69-72	1.25	1.34		1.29	0.05
72-75	1.08	1.55		1.31	0.24
75-78	1.07	0.83		0.95	0.12
78-81	1.02	0.93		0.98	0.05
81-84	0.97	0.84		0.91	0.07
84-87	2.68	0.94		1.81	0.87
87-90	2.04	1.09		1.56	0.47
90-93	2.32	1.00		1.66	0.66
93-96	1.43	0.93		1.18	0.25
96-99	1.87	1.58		1.73	0.14
99-102	1.60	1.35		1.47	0.13
102-105	1.99	3.66		2.83	0.84
105-108	1.54	18.95		10.24	8.70
108-111	2.51	8.59		5.55	3.04
111-114	3.38	6.75		5.06	1.69
114-117	3.91				
117-120	52.99				
120-123	42.13				

Tabelle 24: Dichte Ägerried

<i>Bodentiefe (cm)</i>	<i>Dichte A (g cm-3)</i>	<i>Dichte B (g cm-3)</i>	<i>Dichte C (g cm-3)</i>	<i>Dichte Mittelwert (g cm-3)</i>	<i>Dichte SE</i>
0-3	0.07			0.07	
3-6.	0.10			0.10	
6-9.	0.09	0.01		0.05	0.04
9-12.	0.08	0.03	0.02	0.04	0.02
12-15.	0.08	0.02	0.04	0.05	0.02
15-18.	0.12	0.04	0.06	0.07	0.02
18-21.	0.13	0.06	0.08	0.09	0.02
21-24.	0.13	0.08	0.07	0.09	0.02
24-27.	0.11	0.11	0.08	0.10	0.01
27-30.	0.13	0.10	0.08	0.10	0.01
30-33	0.13	0.10	0.07	0.10	0.02
33-36	0.12	0.12	0.08	0.11	0.01
36-39	0.08	0.17	0.10	0.12	0.03
39-42	0.07	0.13	0.11	0.10	0.01
42-45	0.09	0.12	0.12	0.11	0.01
45-48	0.14	0.12	0.12	0.13	0.01
48-51	0.12	0.12	0.07	0.11	0.02
51-54	0.12	0.09	0.07	0.09	0.01
54-57	0.14	0.10	0.08	0.11	0.02
57-60	0.15	0.10	0.16	0.14	0.02
60-63	0.12	0.11		0.11	0.01
63-66	0.11	0.12		0.11	0.00
66-69	0.13	0.11		0.12	0.01
69-72	0.12	0.13		0.13	0.00
72-75	0.12	0.11		0.12	0.01
75-78	0.13	0.12		0.13	0.01
78-81	0.13	0.12		0.12	0.00
81-84	0.11	0.12		0.12	0.01
84-87	0.14	0.08		0.11	0.02
87-90	0.15	0.11		0.13	0.02
90-93	0.13	0.11		0.12	0.01
93-96	0.11	0.13		0.12	0.01
96-99	0.10	0.11		0.11	0.00
99-102	0.14	0.11		0.13	0.01
102-105	0.15	0.11		0.13	0.02
105-108	0.13	0.17		0.15	0.02
108-111	0.17	0.19		0.18	0.01
111-114	0.16	0.23		0.19	0.03
114-117	0.17				
117-120	0.30				
120-123	0.21				

Tabelle 27: Mittelwerte der Messungen 1 und 2 der Elementaranalyse, Ägerried

<i>mean %N</i>	<i>% var. N</i>	<i>mean %C</i>	<i>% var. C</i>	<i>mean %H</i>	<i>% var. H</i>	<i>mean %O</i>	<i>% var. O</i>
1.69	1.38	49.67	0.34	5.33	0.16	38.46	0.17
2.46	2.33	50.69	0.79	6.02	1.69	34.08	0.22
1.93	2.78	52.01	0.37	6.08	0.07	37.11	6.95
2.28	0.87	52.77	0.09	6.16	0.47	36.40	0.68
1.79	3.79	54.37	0.25	6.25	1.14	35.55	0.26
1.34	0.42	52.04	0.10	6.24	1.27	36.66	0.41
1.79	3.98	50.01	0.27	5.62	0.29	29.15	0.60
1.90	1.89	52.87	2.22	6.13	1.70	29.79	0.38
1.49	0.33	55.85	0.07	6.28	0.89	34.69	0.58
1.33	1.01	57.28	0.05	6.23	2.16	35.28	0.12
1.41	3.92	55.94	0.18	6.38	4.47	33.25	0.43
1.92	3.43	48.80	3.11	5.61	3.81	26.21	2.10
1.56	6.00	57.14	0.07	6.25	0.14	35.09	0.47
1.76	2.47	53.03	0.61	6.04	1.40	33.98	1.03
0.35	1.70	2.87	0.95	0.32	1.39	3.54	1.85

Tabelle 28: H / C-, C / N-, O / C-Verhältnisse, Ägerried

<i>H/C</i>	<i>C/N</i>	<i>O/C</i>
1.29	29.45	0.58
1.42	20.63	0.50
1.40	26.89	0.54
1.40	23.14	0.52
1.38	30.39	0.49
1.44	38.86	0.53
1.35	27.87	0.44
1.39	27.76	0.42
1.35	37.57	0.47
1.31	43.18	0.46
1.37	39.73	0.45
1.38	25.44	0.40
1.31	36.72	0.46
1.36	31.36	0.49
0.05	7.08	0.05

Tabelle 29: Datenüberblick

Standort	Eigenried	Ägerried	Etang de la Gruère	Hagenmoos
Kanton (Ort)	Zug (Zugerberg)	Zug (Rothenturm)	Jura (Tramelon)	Zürich (Kappel a. A.)
Koordinaten	682° 730' - 683° 300' / 220° 400' - 218° 600'	693° 600' - 694° 500' / 221° 320' - 219° 980'	570° 520' / 232° 150'	681° 800' - 682° 150' / 232° 050' - 232° 300'
Entwässerungsjahr	1919	1.1880.2.1944	1. WK östlicher Teil (v. Flachmoor) abgetorft	1914
Wiederbewässerungsjahr	-	-	1943 unter Schutz	1982
Mittlerer Jahresniederschlag (mm)				1200
Mittlere Jahrestemperatur (°C)				700
Mittlere Jahresverdunstung (mm)				keine Oxidation erkennbar, ab 159 cm eingeschwemmter peak
Oxidationstiefe (cm)	57	69 (A: bis 111 / B: bis 96 / C: Mittelwert A; B))	72	
Mittlerer Aschegehalt (%)	4.59	3.29	2.01	6.44
Mittlere Dichte (g / cm³)	0.07	0.11	0.07	0.08
Mittlerer OC-Gehalt (%)	51.59	53.03	52.78	51.33
Mittlerer OC-Gehalt (kg / m³)	32.94	60.46	34.42	39.23
Mittleres C / N Verhältnis	26.73	31.36	38.35	39.26
Mittleres O / C Verhältnis	0.48	0.49	0.5	0.48
Mittleres H / C Verhältnis	1.34	1.36	1.36	1.23
Mittlerer Aschegehalt gestört %	6.17	3.88	2.66	
Mittlerer Aschegehalt ungestört %	4.03	1.36	1.87	
kg C / m² vorhanden bis Bohrkerntiefe	64.02	49.99	68.84	
kg C / m² ursprünglich vorhanden	76.22	126.91	85.21	
kg C / m² verloren	12.20	78.28	19.16	
Rel. Fehler ±	18.69	27.83	22.19	
kg C / (m² a) verloren	0.14	0.61	0.29	
t C / (ha a) verloren	1.35	6.12	2.95	
Rel. Fehler ±	2.08	2.17	3.41	
		12.63		
		4.49		
t CO₂ / (ha a)	4.96	22.41	10.80	
Rel. Fehler ±	7.61	7.97	12.51	
		46.26		
Rel. Fehler ±		16.45		

Bohrkern	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Bohrtiefe (m)	2	2	2	1.2	1.08	0.5	2	2	2	2	1.79	2
C-Gehalt (kg / m ³)	36.08	35.73	30.97	79.21	60.23	41.93	29.14	33.76	40.37	37.4	33.27	47.02
Mittlere Dichte ungestört (g / cm ³)	0.07	0.07	0.06	0.13	0.11	0.12	0.07	0.09	0.07	0.06	0.07	0.08
Mittlere Dichte gestört (g / cm ³)	0.06	0.07	0.04	0.11	0.09	0.08	0.06	0.04	0.05	0.11	0.13	0.16
Mittlerer Aschegehalt ungestört (%)	5.27	4.05	2.76	1.67	1.05	1.36	2.00	1.88	1.73	6.17	5.54	3.48
Mittlerer Aschegehalt gestört (%)	5.7	8.79	4.03	3.81	3.44	4.4	2.07	2.63	3.29	10.67	20.33	14.72
Mittlerer Aschegehalt ±	5.49	6.42	3.40	2.74	2.25	2.88	2.03	2.26	2.51	8.42	12.94	9.10
kg C / m ² vorhanden	62.28	71.11	58.68	68.87	60.14	20.96	58.27	67.52	80.74			
kg C / m ² ursprünglich vorhanden	66.25	94.69	67.72	134.67	151.21	94.85	60.93	84.22	110.49			
kg C / m ² verloren	3.96	23.58	9.04	65.80	95.15	73.89	7.49	18.37	31.62			
Fehler ±	2.13	7.37	3.43	27.26	29.55	27.67	4.11	8.05	32.70			
t C / (ha a) verloren	0.44	2.62	1.00	5.14	7.43	5.77	1.15	2.83	4.86			
Fehler ±	0.24	0.82	0.38	2.13	2.31	2.13	0.63	1.24	5.03			
				10.61	15.35	11.92						
				4.40	4.77	4.39						
kg C / (m ² a)	0.04	0.26	0.10	0.51	0.74	0.58	0.12	0.28	0.49			
	0.02	0.08	0.04	0.21	0.23	0.21	0.06	0.12	0.50			
				1.06	1.53	1.19						
				0.44	0.48	0.44						
t CO ₂ / (ha a)	1.61	9.60	3.68	18.84	27.24	21.15	4.22	10.36	17.82			
rel. Fehler ±	0.87	3.00	1.40	7.80	8.46	7.80	2.31	4.54	18.43			
1944				38.89	56.23	43.67						
rel. Fehler ±				16.11	17.47	16.10						
kg CO ₂ / m ² a)	0.16	0.96	0.37	1.88	2.72	2.12	0.42	1.04	1.78			
rel. Fehler ±	0.09	0.30	0.14	0.78	0.85	0.78	0.23	0.45	1.84			
1944				3.89	5.62	4.37						
rel. Fehler ±				1.61	1.75	1.61						

Tabelle 30: Vegetationsbestände Eigenried.

- 1) $x < 0.1\%$ Bedeckungsgrad
- 2) $0.1\% < x < 1\%$ Bedeckungsgrad
- 3) $1\% < x < 10\%$ Bedeckungsgrad
- 4) $10\% < x < 100\%$ Bedeckungsgrad

1)

Acer pseudoplatanus L. / K

Angelica sylvestris L.

Arrhenatherum elatius (L.) J. & C. Presl

Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv.

Avenella flexuosa (L.) Drejer

Bryum pseudotriquetrum (Hedw.)

Calypogeia neesiana (Mass. & Carest.)

Campanula scheuchzeri Vill.

Campylium stellatum (Hedw.)

Carex flacca Schreb.

Carex paupercula Michx.

Centaurea jacea L.

Cirriphyllum piliferum (Hedw.) Grout

Cirsium palustre (L.) Scop.

Dactylorhiza maculata (L.) Soó

Dactylorhiza traunsteineri (Rchb.) Soó

Danthonia decumbens (L.) DC. / cf.

Dicranodontium denudatum (Brid.) Britt.

Dryopteris carthusiana (Vill.) H. P. Fuchs

Epilobium palustre L.

Fissidens adianthoides Hedw.

Fragaria vesca L.

Glyceria notata Chevall.

Hypericum perforatum L.

Hypnum lindbergii Mitt.

Juncus bufonius L.

Linum catharticum L.

Pellia spec.

Philonotis spec.

Phleum pratense L.

Platanthera bifolia (L.) Rich.

Polygala vulgaris L.

Polytrichum formosum Hedw.

Polytrichum strictum Brid.

Primula elatior (L.) L.

Rhinanthus minor L.

Rubus fruticosus aggr.

Silene flos-cuculi (L.) Clairv.

Solidago virgaurea L.

Sorbus aucuparia L. / K

Stachys officinalis (L.) Trevis.

Thuidium recognitum aggr.

Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb.

Trichophorum alpinum (L.) Pers.

Trichophorum cespitosum (L.) Hartm.

Veratrum album L.

2)

Agrostis stolonifera aggr.*Agrostis stolonifera* aggr.*Angelica sylvestris* L.*Atrichum undulatum* (Hedw.) P. Beauv.*Calliergon stramineum* (Brid.) Kindb.*Caltha palustris* L.*Carex elata* All.*Carex leporina* L.*Carex pulicaris* L.*Cirsium palustre* (L.) Scop.*Crepis paludosa* (L.) Moench*Cynosurus cristatus* L.*Dactylis glomerata* L.*Dactylorhiza fistulosa* (Moench)*Dactylorhiza maculata* (L.) Soó*Dicranum bergeri* Hoppe*Dicranum scoparium* aggr.*Equisetum palustre* L.*Galium mollugo* aggr.*Gentiana asclepiadea* L.*Geranium sylvaticum* L.*Hieracium lachenalii* C. C. Gmel.*Holcus lanatus* L.*Hypericum maculatum* Crantz subsp. *maculatum**Lathyrus pratensis* L.*Leontodon hispidus* L.*Lotus corniculatus* aggr.*Lotus pedunculatus* Cav.*Luzula multiflora* (Retz.) Lej.*Lysimachia vulgaris* L.*Lythrum salicaria* L.*Mentha longifolia* (L.) Huds.*Menyanthes trifoliata* L.*Myosotis scorpioides* L.*Parnassia palustris* L.*Pedicularis palustris* L.*Peucedanum palustre* (L.) Moench*Plantago lanceolata* L.*Pleurozium schreberi* (Hedw.) Mitt.*Poa trivialis* L.*Polytrichum commune* Hedw. subsp. *perigoniale**Pyrola rotundifolia* L.*Ranunculus tuberosus* Lapeyr.*Rhinanthus alectorolophus* (Scop.) Pollich*Salix aurita* L. / K*Salix repens* L. / K*Sphagnum papillosum* Lindb.*Thymus serpyllum* aggr.*Vaccinium myrtillus* L.*Vaccinium uliginosum* aggr.*Vaccinium vitis-idaea* L.*Valeriana dioica* L.*Veratrum album* L.*Veronica chamaedrys* L.*Viola palustris* L.

3)

Anthoxanthum odoratum L.
Aulacomnium palustre (Hedw.) Schwaegr.
Briza media L.
Carex davalliana Sm.
Carex flava aggr.
Carex pallescens L.
Drepanocladus cossonii (Schimp.) Loeske
Drosera rotundifolia L.
Equisetum sylvaticum L.
Eriophorum angustifolium Honck.
Eriophorum latifolium Hoppe
Eupatorium cannabinum L.
Festuca rubra aggr.
Filipendula ulmaria (L.) Maxim.
Frangula alnus Mill. / K
Galium uliginosum L.
Holcus lanatus L.
Juncus alpinoarticulatus Chaix
Juncus articulatus L.
Phragmites australis (Cav.) Steud.
Plagiomnium affine aggr.
Polygonum bistorta L.
Potentilla erecta (L.) Raeusch.
Prunella vulgaris L.
Ranunculus flammula L.
Rhynchospora alba (L.) Vahl
Rhytidiadelphus squarrosus (Hedw.) Warnst.
Salix cinerea L. / S
Scirpus sylvaticus L.
Sphagnum contortum K. F. Schultz
Sphagnum subsecundum Nees / cf.
Thalictrum aquilegifolium L.
Thuidium recognitum aggr.
Thuidium tamariscinum (Hedw.) Schimp.
Trifolium pratense L. subsp. *pratense*
Vaccinium oxycoccus L.

4)

Agrostis capillaris L.
Andromeda polifolia L.
Betula pubescens Ehrh. / B
Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske
Calluna vulgaris (L.) Hull
Carex echinata Murray
Carex hostiana DC.
Carex lasiocarpa Ehrh.
Carex nigra (L.) Reichard
Carex panicea L.
Cirsium oleraceum (L.) Scop.
Climacium dendroides (Hedw.) Web. & Mohr
Filipendula ulmaria (L.) Maxim.
Mentha aquatica L.
Molinia caerulea aggr.
Polytrichum strictum Brid.
Potentilla palustris (L.) Scop.
Sphagnum capillifolium (Ehrh.) Hedw.
Sphagnum magellanicum Brid.
Sphagnum recurvum P. Beauv.
Sphagnum subsecundum Nees
Succisa pratensis Moench
Trichophorum cespitosum (L.) Hartm.

Tabelle 31: Vegetationsbestände Ägeriried.

- 1) $x < 0.1$ % Bedeckungsgrad
 2) $0.1\% < x < 1$ % Bedeckungsgrad
 3) $1\% < x < 10$ % Bedeckungsgrad
 4) $10\% < x < 100$ % Bedeckungsgrad

1)

Aconitum napellus aggr. / cf.
Avenella flexuosa (L.) Drejer
Calliergon stramineum (Brid.) Kindb.
Carex flava aggr.
Carex flava L.
Cephaloziella elachista (Gott. & Rabenh.)
Cirsium palustre (L.) Scop.
Crepis paludosa (L.) Moench
Dactylorhiza maculata (L.) Soó
Dicranella cerviculata (Hedw.) Schimp.
Epilobium palustre L.
Equisetum palustre L.
Festuca rubra aggr.
Filipendula ulmaria (L.) Maxim.
Fissidens adianthoides Hedw.
Galium mollugo aggr.
Galium uliginosum L.
Leucobryum glaucum aggr.
Luzula multiflora (Retz.) Lej.
Melampyrum pratense L.
Peucedanum palustre (L.) Moench
Polygonum bistorta L.
Ranunculus acris L.
Salix myrsinifolia Salisb. / K
Scirpus sylvaticus L.
Solidago virgaurea L.
Sorbus aucuparia L. / S
Succisa pratensis Moench
Tofieldia calyculata (L.) Wahlenb.
Trichophorum cespitosum (L.) Hartm.

2)

Andromeda polifolia L.
Anthoxanthum odoratum L.
Betula pubescens Ehrh. / B
Briza media L.
Bryum pseudotriquetrum (Hedw.) Gaertn.
Carex lasiocarpa Ehrh.
Dicranodontium denudatum (Brid.) Britt.
Dicranum polysetum Sw.
Drosera rotundifolia L.
Filipendula ulmaria (L.) Maxim.
Juncus effusus L.
Leontodon hispidus L.
Picea abies (L.) H. Karst. / B
Pinguicula vulgaris L.
Pinus mugo Turra subsp. *uncinata* (DC.)
Polytrichum commune Hedw.
Primula farinosa L.
Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not.
Salix aurita L. / S
Salix cinerea L. / K
Scirpus sylvaticus L.
Sorbus aucuparia L. / B

3)

Arnica montana L.
Carex echinata Murray
Carex lasiocarpa Ehrh.
Carex panicea L.
Dicranum bergeri Hoppe
Drepanocladus cossonii (Schimp.) Loeske
Frangula alnus Mill. / S
Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp.
Leucobryum glaucum aggr.
Pinus mugo Turra subsp. *uncinata* (DC.)
Potentilla erecta (L.) Raesch.
Sphagnum cuspidatum Hoffm.
Sphagnum papillosum Lindb.
Sphagnum russowii Warnst. / cf.
Succisa pratensis Moench
Trichophorum cespitosum (L.) Hartm.
Vaccinium myrtillus L.
Vaccinium uliginosum aggr.
Vaccinium vitis-idaea L.

4)

Aulacomnium palustre (Hedw.) Schwaegr.
Calluna vulgaris (L.) Hull
Campylium stellatum (Hedw.)
Carex hostiana DC.
Carex nigra (L.) Reichard
Carex pilulifera L.
Carex rostrata Stokes
Eriophorum angustifolium Honck.
Eriophorum vaginatum L.
Menyanthes trifoliata L.
Molinia caerulea aggr.
Pleurozium schreberi (Hedw.) Mitt.
Polytrichum strictum Brid.
Sphagnum capillifolium (Ehrh.) Hedw.
Sphagnum magellanicum Brid.
Sphagnum recurvum P. Beauv.
Sphagnum tenellum (Brid.) Bory
Vaccinium uliginosum aggr.
Vaccinium uliginosum L.

Tabelle 32: Vegetationsbestände Hagenmoos.

- 1) $x < 0.1$ % Bedeckungsgrad
- 2) $0.1 \% < x < 1$ % Bedeckungsgrad
- 3) $1 \% < x < 10$ % Bedeckungsgrad
- 4) $10 \% < x < 100$ % Bedeckungsgrad

1)

Acer pseudoplatanus L. / K*Aegopodium podagraria* L.*Agrostis canina* L.*Ajuga reptans* L.*Betula pendula* Roth / K*Calliergon stramineum* (Brid.) Kindb.*Calystegia sepium* (L.) R. Br.*Chelidonium majus* L.*Circaea lutetiana* L.*Cirsium arvense* (L.) Scop.*Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv.*Drosera rotundifolia* L.*Dryopteris dilatata* (Hoffm.) A. Gray*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott*Epilobium palustre* L.*Fagus sylvatica* L. / S*Festuca gigantea* (L.) Vill. / cf.*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.*Holcus lanatus* L.*Impatiens parviflora* DC.*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Ångstr.*Lycopus europaeus* L. subsp. *europaeus**Lysimachia vulgaris* L.*Phalaris arundinacea* L.*Phragmites australis* (Cav.) Steud.*Pleurozium schreberi* (Hedw.) Mitt.*Polytrichum formosum* Hedw.*Primula elatior* (L.) L. subsp. *elatior**Prunella vulgaris* L.*Quercus robur* L. / K*Ranunculus repens* L.*Rubus idaeus* L. / S*Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.*Silene dioica* (L.) Clairv.*Solanum dulcamara* L.*Sorbus aucuparia* L. / S*Urtica dioica* L.*Vicia cracca* L. subsp. *cracca*

2)

Aegopodium podagraria L.
Andromeda polifolia L.
Atrichum undulatum (Hedw.) P. Beauv.
Aulacomnium palustre (Hedw.) Schwaegr.
Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske
Calluna vulgaris (L.) Hull
Carex echinata Murray
Carex elata All. / cf.
Cirsium palustre (L.) Scop.
Dicranodontium denudatum (Brid.) Britt.
Dryopteris carthusiana (Vill.) H. P. Fuchs
Equisetum palustre L.
Eriophorum vaginatum L.
Eupatorium cannabinum L.
Fagus sylvatica L. / B
Fraxinus excelsior L. / B
Galeopsis tetrahit L.
Galium palustre L.
Geranium robertianum L. subsp. *robertianum*
Glechoma hederacea L. subsp. *hederacea*
Hypnum cupressiforme Hedw.
Impatiens noli-tangere L.
Juncus articulatus L.
Lamium maculatum L.
Lathyrus pratensis L.
Lemna minor L.
Lotus corniculatus aggr.
Lythrum salicaria L.
Mentha aquatica L.
Oxalis acetosella L.
Phalaris arundinacea L.
Phragmites australis (Cav.) Steud.
Pinus mugo Turra subsp. *uncinata* (DC.)
Plagiomnium affine (Bland.) T. Kop.
Plagiomnium elatum (B. & S.) T. Kop.
Plagiomnium undulatum (Hedw.) T. Kop.
Rubus fruticosus aggr.

3)

Agrostis capillaris L.
Betula pubescens Ehrh. / B
Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske
Frangula alnus Mill. / S
Juncus articulatus L.
Juncus effusus L.
Leucobryum glaucum (Hedw.) Ångstr.
Lysimachia vulgaris L.
Pleurozium schreberi (Hedw.) Mitt.
Polytrichum commune Hedw.
Polytrichum formosum Hedw.
Polytrichum strictum Brid.
Sphagnum cuspidatum Hoffm.
Urtica dioica L.
Vaccinium uliginosum L.

4)

Carex acutiformis Ehrh.
Carex rostrata Stokes
Juncus effusus L.
Molinia caerulea (L.) Moench
Phragmites australis (Cav.) Steud.
Picea abies (L.) H. Karst. / B
Pinus sylvestris L. / B
Pleurozium schreberi (Hedw.) Mitt.
Sphagnum capillifolium (Ehrh.) Hedw.
Sphagnum magellanicum Brid.
Sphagnum palustre L.
Sphagnum recurvum P. Beauv.
Vaccinium myrtillus L.

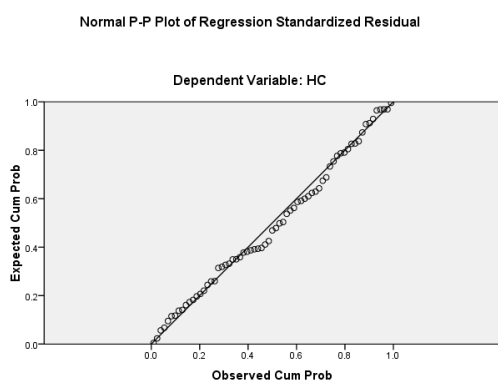


Abbildung 28: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Eigenried

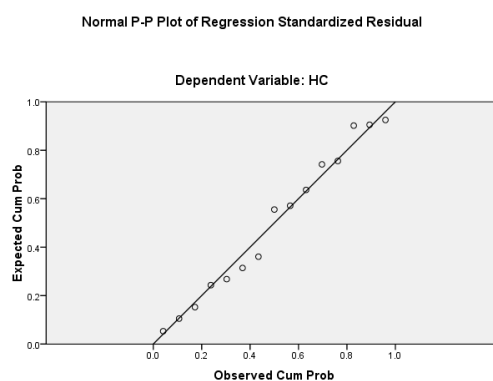


Abbildung 29: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Ägeriried

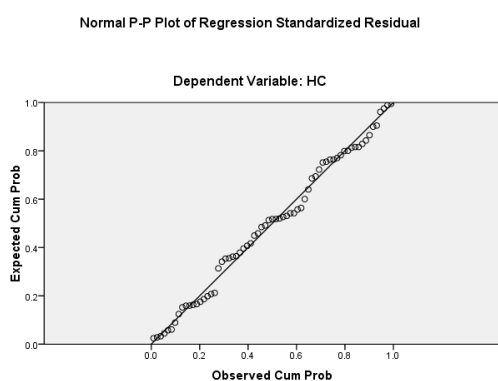


Abbildung 30: Q-Q-Normal-Plot H / C-Profil, Hagenmoos

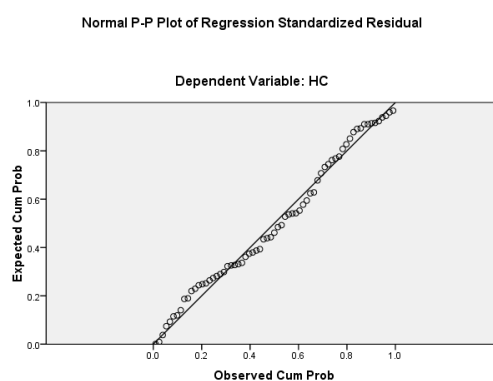


Abbildung 31: Q-Q-Normal-Plot, H / C-Profil, Gruère

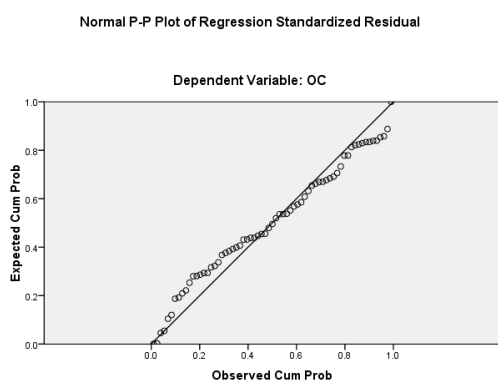


Abbildung 32: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Eigenried

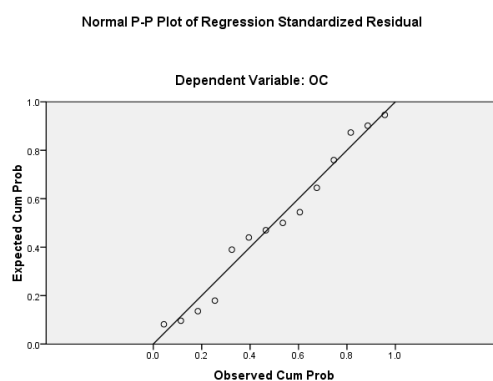


Abbildung 33: Q-Q-Normal-Plot, O / C-Profil, Ägeriried

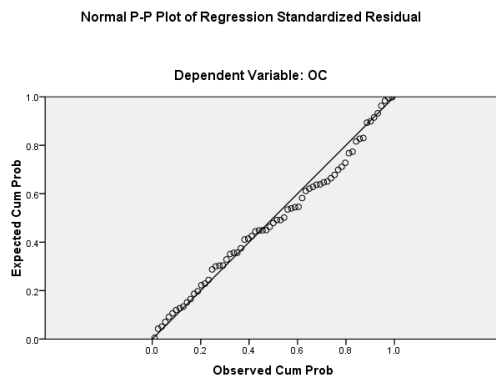


Abbildung 34: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Hagenmoos

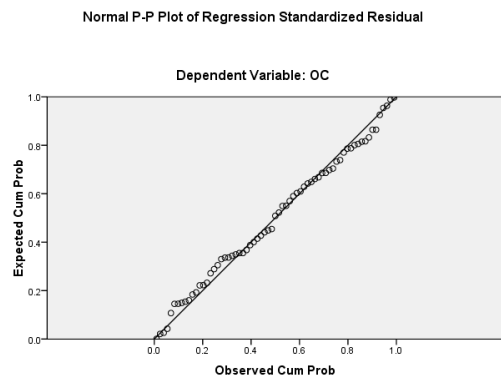


Abbildung 35: Q-Q-Normal-Plot O / C-Profil, Gruère

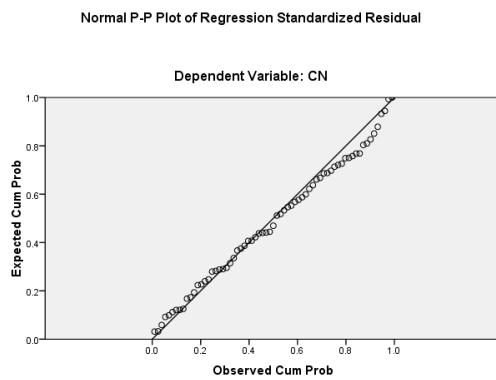


Abbildung 36: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Eigenried

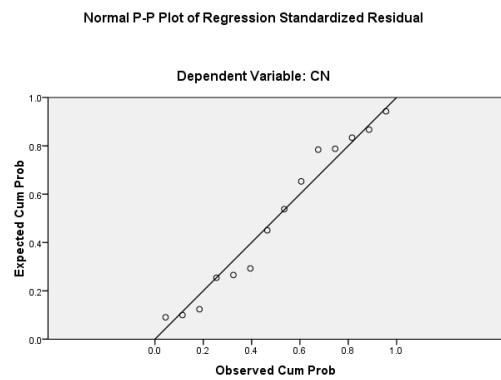


Abbildung 37: Q-Q-Normal-Plot C / N-Verhältnis, Ägerried

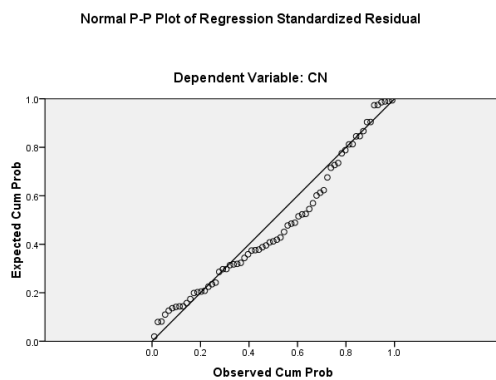


Abbildung 38: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Hagenmoos

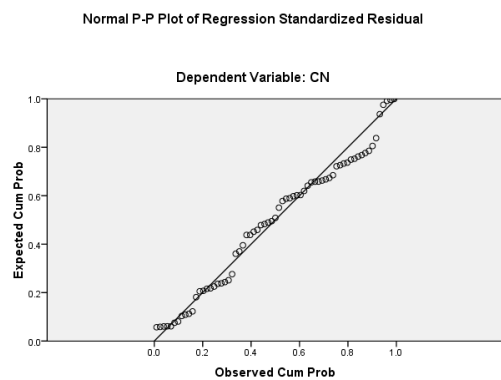


Abbildung 39: Q-Q-Normal-Plot, C / N-Profil, Gruère