

Anlage

Boden- und Vegetations-
untersuchungen auf Weiden der Flur
Kammerfeld in der Umgebung der
salzhaltigen Quellen 1 und 6 nördlich
von Unterbreizbach

Boden- und Vegetationsuntersuchungen
auf Weiden der Flur Kammerfeld
in der Umgebung der salzhaltigen Quellen 1 und 6
nördlich von Unterbreizbach

im Auftrag von



K+S KALI GmbH
Werk Werra
Hattorfer Straße
36269 Philippsthal

31.03.2014

Rainer Gryscho

Marc Murawski



Ingenieurgesellschaft GbR
Colmarstraße 12
D-55118 Mainz
fon 06131 / 9964875
fax 06131 / 9964878
info@regioplus-ingenieure.de

Diplom-Geograf
Michael Fiegler
Pfaffersode 106
99974 Mühlhausen
Tel.: 03601 / 885153
Michael.Fiegler@t-online.de

Bearbeiter:
Rainer Gryscho
Michael Fiegler
Marc Murawski

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Das Untersuchungsgebiet	2
3	Material und Methodik	5
3.1	Bodenuntersuchungen	5
3.2	Vegetationskundliche Untersuchungen.....	6
4	Ergebnisse.....	7
4.1	Bodenuntersuchungen	7
4.2	Vegetationsuntersuchungen	20
5	Gesamtbewertung der Untersuchungsergebnisse	24
6	Literatur.....	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets und der von Haldensickerwässern beeinflussten Quellen.....	2
Abbildung 2: Gesamtmineralisationsfrachten der vom schwebenden Grundwasserleiter gespeisten Quellen 1, 2, 3 und 6 (METZLAFF G. & O. JUNGSMANN, 2012).	3
Abbildung 3: Lage der Probennahmeflächen, Ergebnisse der Vegetationskartierung und Simulation des Wasserabflusses aus den Quellbereichen.....	7

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des Vorhabens „Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf, Werk Werra“ der K+S KALI GmbH ist eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen, die u. A. die Erfassung und Bewertung des Ist-Zustands des Schutzgutes Boden im Vorhabensgebiet beinhaltet.

Behördliche Vorgaben und Empfehlungen zur Durchführung der UVU wurden im Scoping-Protokoll vom 27.09.2011 (Az.: 34/Hef- 76 d 40-11-314-30; Scoping-Termin vom 21.09.2011 zwischen K+S und dem Regierungspräsidium Kassel) festgehalten. Unter anderem wurde im Scoping-Protokoll festgelegt, dass zusätzliche Bodenuntersuchungen durchgeführt werden, um den Ist-Zustand des Schutzgutes Boden zu erfassen, beispielsweise zwischen der ESTA-Rückstandshalde und der Ortslage Unterbreizbach, genauer im Umfeld salzhaltiger Quellen.

Seitens K+S wurde ein Untersuchungskonzept aufgestellt, welches am 13.11.2012 mit der zuständigen Genehmigungsbehörde, dem Regierungspräsidium Kassel, Dez. 34 Bergaufsicht und Dez. 31.5 Altlasten/Bodenschutz, bzw. am 11.12.2012 auch mit dem Thüringer Landesbergamt, Referat 2, dem Thüringer Landesverwaltungsamt, Obere Wasserbehörde sowie dem Landratsamt Wartburgkreis, Umweltamt (aufgrund von Bodenuntersuchungen im Freistaat Thüringen) abgestimmt wurde.

Mit den Bodenuntersuchungen wurde die regioplus Ingenieurgesellschaft GbR, Mainz am 13.03.2013 beauftragt. Auf Grundlage des vorgestellten Untersuchungskonzepts wurden die Salz- und Schadstoffbelastung der Böden in der Umgebung der salzhaltigen Quellen 1 und 6 (Flur Kammerfeld) nördlich der Ortslage Unterbreizbach untersucht sowie Pflanzenaufnahmen vorgenommen.

2 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet liegt nördlich von Unterbreizbach am Rande der Subrosionssenke von Unterbreizbach. Die Südost-exponierte, in Hanglage befindliche Fläche wird von Grünland eingenommen und als Umtriebsweide genutzt. Der Mittelpunkt der Untersuchungsfläche liegt ca. 400 m von der Ostflanke der ESTA-Rückstandshalde Hattorf entfernt.

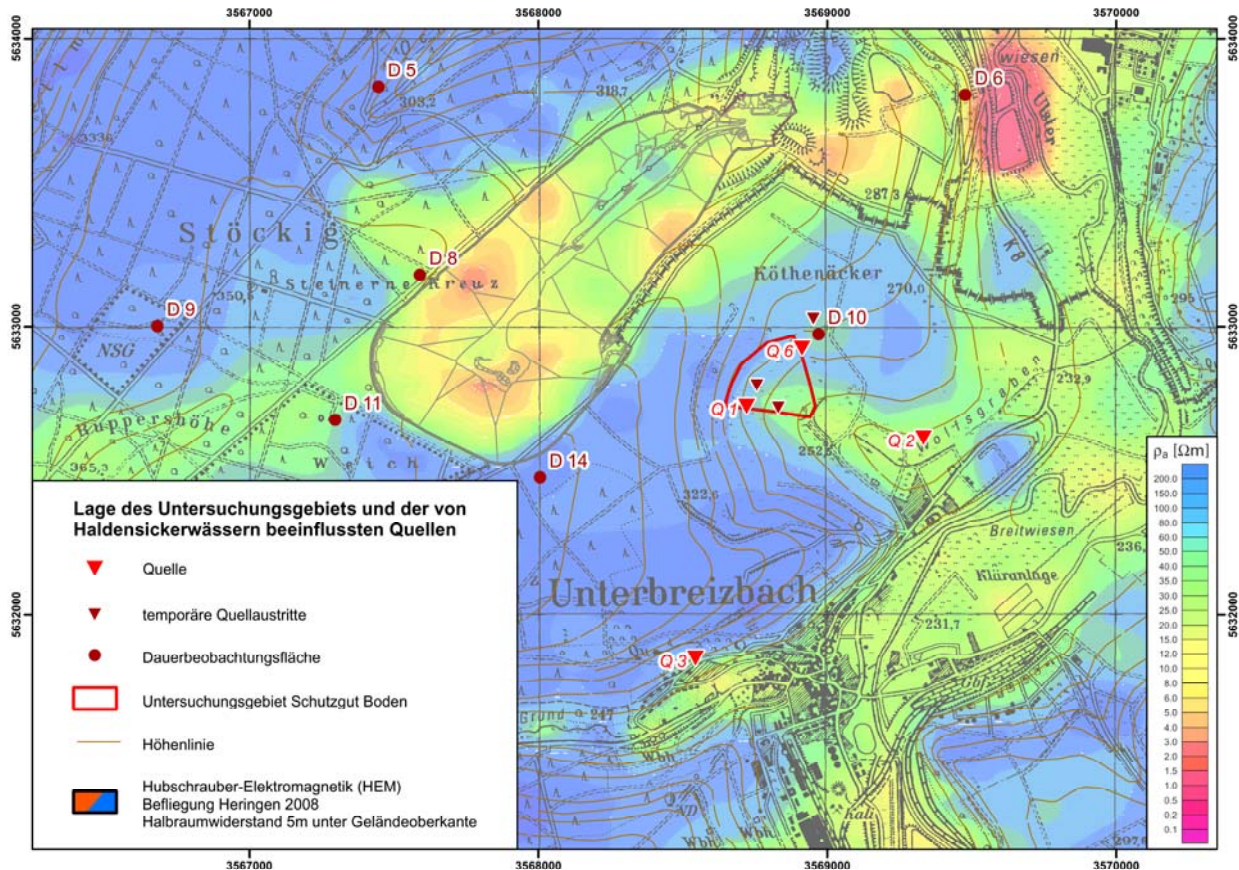


Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets und der von Haldensickerwässern beeinflussten Quellen.

Der höchste Punkt der Untersuchungsfläche liegt bei etwa 285 m NN, der niedrigste bei etwa 260 m NN. Die Flächenausdehnung beträgt etwa 3 ha (Abbildung 1).

Im Untersuchungsgebiet wird der durch Haldensickerwasser beeinflusste Schwebende Grundwasserleiter über die Quelle 1 in 273,4 m NN und Quelle 6 in 268,2 m NN entwässert. Auf diesem Höhenniveau liegen im Untersuchungsgebiet und in unmittelbarer Nähe zur Dauerbeobachtungsfläche D10 weitere temporär schüttende Quellaustritte. Diese temporären Quellen schütten nur selten und in geringen Mengen.

Die Quellen 1 und 6 speisen die im Süden und Südosten am Rande der Untersuchungsfläche gelegenen Gräben, die im unteren Bereich des Untersuchungsgebiets in einen Teich münden und zum Wolfsgaben, einem linksseitigen Nebenbach der Ulster, entwässern.

Der Schwebende Grundwasserleiter wird außerdem durch die weiter südlich gelegenen Quellen 2 und 3 entwässert. Quelle 2 liegt in Nähe des Wolfsgaben und Quelle 3 am nördlichen Bebauungsrand von Unterbreizbach (Abbildung 1). Die Quellen 2 und 3 sind deutlich geringer mineralisiert als

die Quellen 1 und 6. Der Schwebende Grundwasserleiter besitzt an einigen Grundwassermessstellen stark schwankende Grundwasserspiegel. Sein Grundwasserneubildungsgebiet reicht vermutlich bis zum Bereich Stöckig / Ruppershöhe (METZLAFF G. & O. JUNGSMANN, 2012).

Die salzhaltigen Quellen werden im Rahmen der Eigenkontrolle zur Grundwasserbeobachtung im Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattort regelmäßig von der K+S KALI GmbH untersucht. Die Chloridgehalte und Gesamtmineralisation weisen im Jahresverlauf eine große Spanne auf (Tabelle 1), ohne dass bei den zwischen 2005 bis 2012 stattgefundenen Messungen zu- oder abnehmende Tendenzen erkennbar sind (Abbildung 2).

Tabelle 1: Schüttung und Chloridgehalte der Quellen 1 und 6.

	Quelle 1	Quelle 6
Schüttung im Jahr 2011	0,155 - 2,5 l/s	trocken - 2,5 l/s
durchschnittliche Schüttung in den Jahren 2005-2011	0,45 - 1,32 l/s	0,01- 0,56 l/s
Chloridgehalte im Jahr 2011	1.310 - 28.690 mg/l	1.081 - 9.378 mg/l
durchschnittliche Chloridfracht im Jahr 2011	0,00412 kg/s	0,0018 kg/s

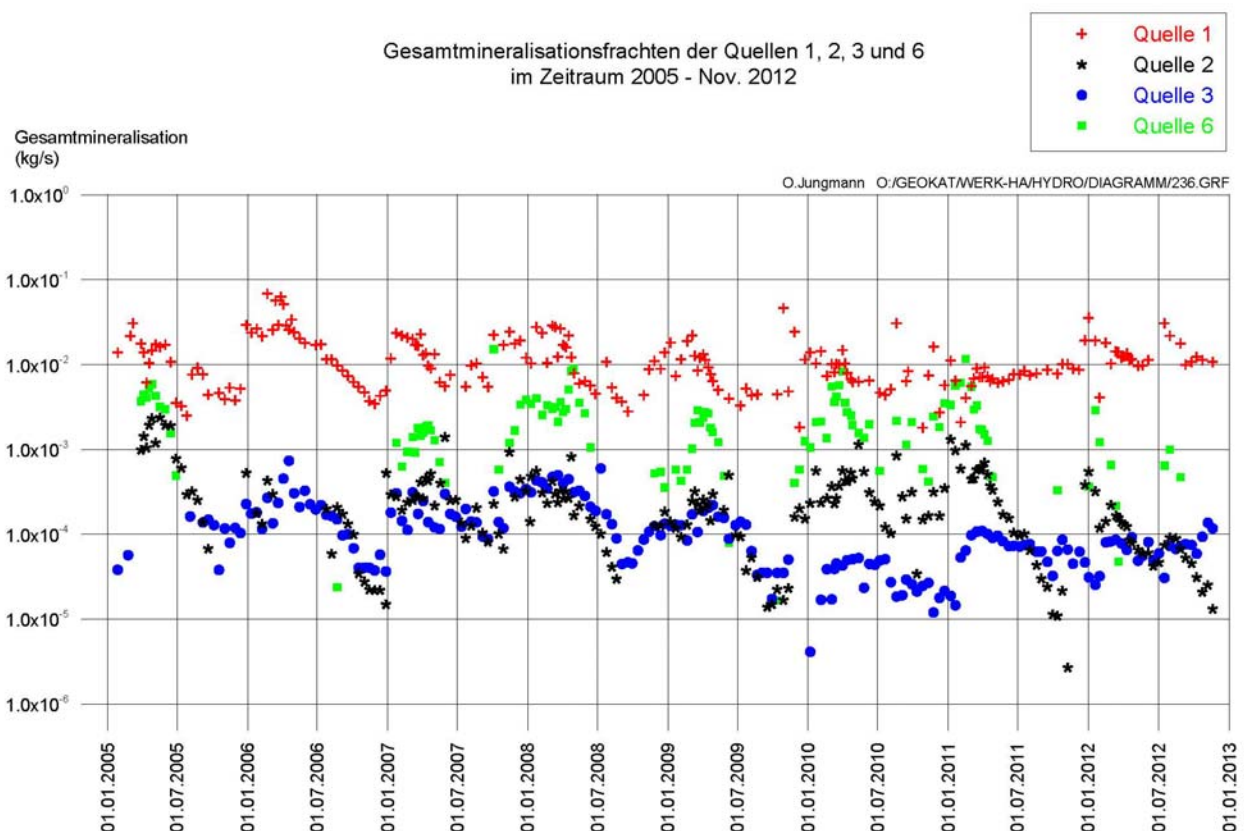


Abbildung 2: Gesamtmineralisationsfrachten der vom schwebenden Grundwasserleiter gespeisten Quellen 1, 2, 3 und 6 (METZLAFF G. & O. JUNGSMANN, 2012).

Zusätzlich geben die Hubschrauberelektromagnetikdaten (HEM-Daten) der von der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe (BGR) durchgeführten aerogeophysikalischen Vermessung des Werra-Kaligebietes aus dem Jahr 2008 Hinweise zur Salzbelastung des Untergrundes und zur Ausdehnung des Schwebenden Grundwasserleiters (BARNASCH, 2010).

Die Messungen haben eine Eindringtiefe von 150 m und sind für verschiedene von 5 - 120 m unter Geländeoberkante (GOK) reichende Tiefenabschnitte ausgewertet worden. Der gemessene Widerstand wird von der Lithologie, dem Wassergehalt der Gesteine und der Wasserführung (Grundwasser) bestimmt. Von Salzwässern unbeeinflusste Gesteine des Mittleren Buntsandsteins und Quartärs sollten aufgrund der lithologischen Variabilität hohe bis mittlere Widerstände (blaue bis grüne Farben) aufweisen. Der Widerstand ist aber auch von der Wasserführung abhängig, so dass innerhalb der Grundwasserzone liegende Gesteine geringere Widerstände als nicht grundwasserbeeinflusste Gesteine haben.

Die Auswertung der die ESTA-Rückstandshalde Hattorf und das Untersuchungsgebiet überspannenden HEM-Profile zeigt eine mit zunehmender Entfernung zur Halde von Norden nach Süden hin abnehmende Versalzung des Schwebenden Grundwasserleiters (BARNASCH, 2010).

Für die Tiefenstufe bis 5 m unter GOK sind die ausgewerteten Daten in Abbildung 1 dargestellt. Demnach treten im Untersuchungsgebiet unterhalb der Quellen 1 und 6 hangabwärts eine durch die Übergänge von blauen zu grünen Farben gekennzeichnete Abnahme des spezifischen Widerstands und damit zunehmende elektrische Leitfähigkeiten auf.

Im Untersuchungsgebiet wären zumindest für den Bereich der Quellen aufgrund der hohen Mineralisation des Schwebenden Grundwasserkörpers sehr geringe Widerstände und damit eine rote Farbgebung zu erwarten. Aufgrund der horizontalen Auflösung von 200 m werden aber kleinräumige sehr hohe Salzgehalte nicht als rote Farben abgebildet. Es kommt vielmehr zu Verschmierungseffekten wonach eine 1 m breite Zone mit sehr hohen Salzgehalten als eine breitere Zone mit grünlichen bis gelblichen Farben angezeigt wird. Nach BARNASCH (2010) lässt die im Kartenbild fehlende Rotfärbung auf ein punktuelles Zutage treten der salzhaltigen Grundwässer schließen.

3 MATERIAL UND METHODIK

3.1 Bodenuntersuchungen

Die Festlegung der Probennahmeflächen erfolgte nach gemeinsamer Begehung des Untersuchungsgebietes durch Frau Fack (K+S KALI GmbH), Herrn Scharfenberg (K+S KALI GmbH) und Herrn Gryschko (regioplus Ingenieurgesellschaft).

Es wurde die Beprobung der Böden von jeweils 3 Flächen entlang zweier Hangcatenen festgelegt. Die beiden höchstgelegenen Flächen liegen oberhalb der Quellaustritte und der Abbruchkante im potenziell unbeeinflussten Gebiet. Sie dienten als Referenzflächen. Dagegen erschien bei den hangabwärts gelegenen Untersuchungsflächen eine Beeinflussung durch salzhaltige Wässer möglich.

Zur Untersuchung der Stoffgehalte der Böden wurden aus den Beprobungsflächen Mischproben mit dem Pürkhauer-Bohrstock entnommen und eine horizontbezogene Probennahme bis 1 m Tiefe durchgeführt. Zudem wurden mittels Bohrstocksondierung die Bodeneigenschaften nach bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden, 2005) aufgenommen.

Aus jeder Beprobungsfläche wurden aus drei Tiefen Bodenproben entnommen. Teilweise wurden ähnliche Horizonte zusammengefasst. In Kapitel 4.1 sind die bei der Probennahme zusammengefassten Horizonte in den Datenblättern zu den Bodenaufnahmen farblich markiert.

Je Beprobungsfläche wurde eine horizontbezogene Mischprobe aus 15 – 25 Einzelproben hergestellt. Dabei wurden aus den beiden obersten Horizonten Mischproben aus 25 Einzelproben erstellt, während aus dem Unterboden bei Beprobung bis 1 m Tiefe 15 Einzelproben zu einer Mischprobe zusammengeführt wurden.

Die Bestimmung der Stoffgehalte im Feststoff und Eluat erfolgt nach Lufttrocknung und Sieben auf < 2 mm im Feinboden. Es wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Bestimmung im Feststoff:

- Schwermetallgesamtgehalte (As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Ti, Zn) im Königswasserextrakt (DIN ISO 11466)
- Schwermetallgehalte im Ammoniumnitratextrakt (Cd, Pb, Ti, As, Cu, Ni, Zn) (DIN 19730)
- pH-Wert in 0,01 M CaCl₂ (DIN ISO 10390)
- PAK₁₆ (Handbuch Altlasten Bd. 7, LfU Hessen)
- PCB₆ (DIN 38414-20)
- effektive Kationenaustauschkapazität (Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn und Al-Belegung der Austauscher), Handbuch Forstliche Analytik (Ak_e EU1, A3.2.1.3) in Anlehnung an DIN ISO 11260

Bestimmung im Eluat (DIN EN 12457-4)

- elektrische Leitfähigkeit (DIN EN 27-888-C8)
- Gehalte an Sulfat und Chlorid DIN EN ISO 10304-1 (D20)
- pH-Wert (DIN 38404-C5)

Bestimmung im Bodensättigungsextrakt (BBodSchV Anh.1, 3.1.2)

- elektrische Leitfähigkeit (DIN EN 27888-C8)
- Gehalte an Sulfat und Chlorid (DIN EN ISO 10304-1 (D20))
- pH-Wert (DIN 38404-C5)
- Ca, Mg, K, Na, Al, Fe, Mn und Al (DIN EN ISO 11885 (E22))

Die Schadstoffgehalte (Schwermetalle, PAK₁₆, PCB₆) wurden nur bei den, direkt unterhalb der temporär schüttenden Quelle tQ1a liegenden Flächen C2 und C3 (Abbildung 3) untersucht. Hinsichtlich einer Salzbelastung wurde bei allen Proben pH (CaCl₂), effektive Kationenaustauschkapazität und die Eluatgehalte bestimmt. Zeigten die austauschbaren Kationen bzw. Eluatgehalte hinsichtlich einer Salzbelastung auffällige Ergebnisse, wurden zusätzlich die Stoffgehalte im Bodensättigungsextrakt untersucht.

Die Probenaufbereitung und pH-Wert-Bestimmung (CaCl₂) erfolgte im eigenen Labor. Die Kationenaustauschkapazität wurde im Labor Bioplan und die sonstigen chemischen Untersuchungen im Labor Berghof durchgeführt. Alle Untersuchungen wurden als Doppelbestimmung durchgeführt. Die Analysenprotokolle sind im Anhang beigefügt.

3.2 Vegetationskundliche Untersuchungen

Vegetationskundliche Untersuchungen wurden hinsichtlich des Vorkommens von salzertragenden bzw. salztoleranten (halotoleranten) und salzliebenden (halophilen) Pflanzen vorgenommen.

Hierzu wurden die vorkommenden Vegetationsgesellschaften mit Artenvorkommen am 24.05.2013 und 07.06.2013 aufgenommen und in einer Karte abgegrenzt. Darüber hinaus erfolgte eine ökologische und pflanzensoziologische Charakterisierung der Aufnahmeflächen.

4 ERGEBNISSE

4.1 Bodenuntersuchungen

In Abbildung 3 sind die Lage der Beprobungsflächen zusammen mit den Ergebnissen der Vegetationskartierung dargestellt. Es wurden zwei Hangcatenen untersucht. Die im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets liegende Catena (Probenahmeflächen C1 – C2 – C3) durchschneidet den Quellbereich der temporär schüttenden Quelle tQ1a. Bei der nördlichen Catena (Probenahmeflächen C6 – C5 – C4) handelt es sich um einen gestreckten Hang, der keine morphologischen Besonderheiten aufweist.

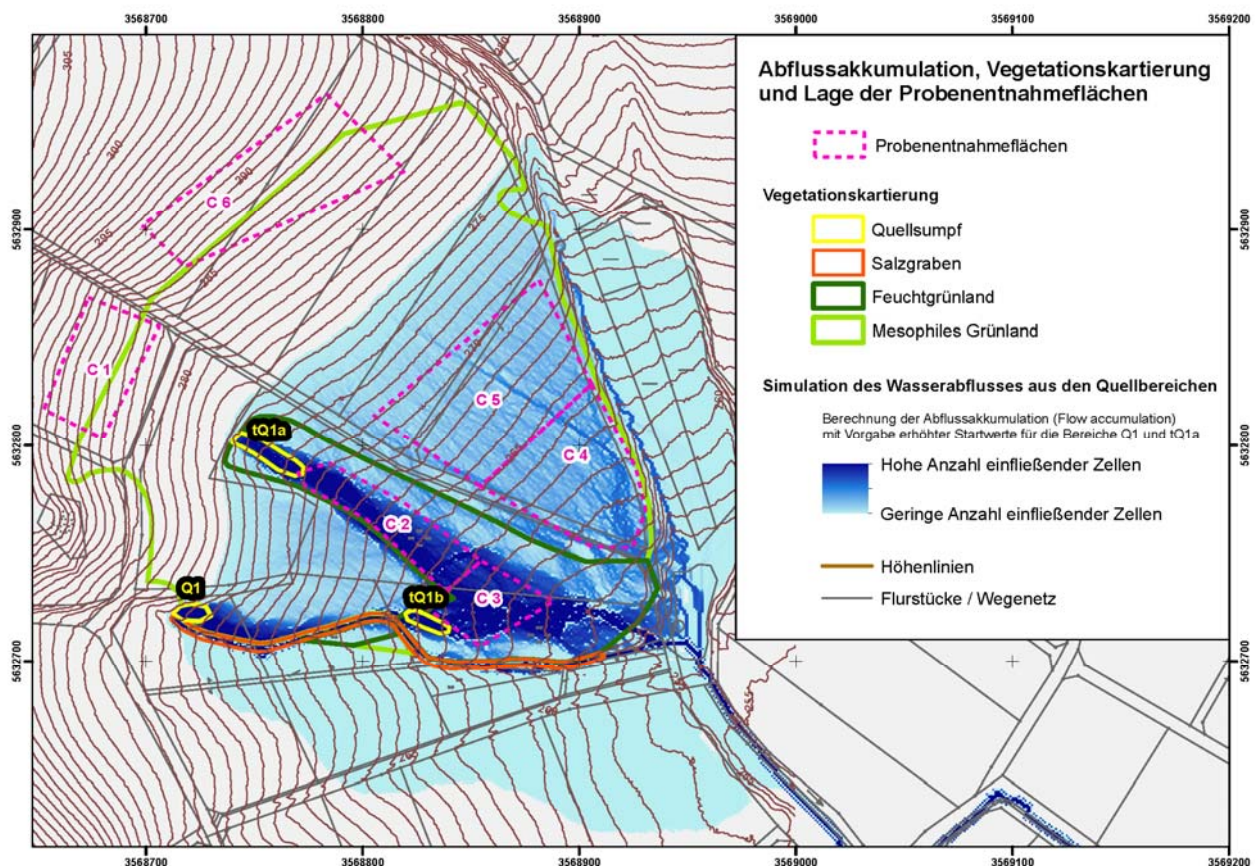


Abbildung 3: Lage der Probennahmeflächen, Ergebnisse der Vegetationskartierung und Simulation des Wasserabflusses aus den Quellbereichen.

Zur Einstufung der Schwermetalle und organischen Schadstoffgehalte werden die Hintergrundwerte (LABO, 2003) sowie die Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV herangezogen.

Zur Prüfung einer Beeinträchtigung in Folge von Salzeinträgen wurden die Eluatgehalte (elektrische Leitfähigkeit, Sulfat- und Chloridgehalte) und die elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextrakts bewertet. Nach FAO soil classification (FAO, 2006) werden Horizonte bei einer elektrischen Leitfähigkeit des Bodensättigungsextrakts $> 4.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ als hyposalic bezeichnet. Salic sind Bodenhorizonte wenn $8.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ überschritten werden und der pH-Wert des Bodensättigungsextrakts $\geq 8,5$ ist bzw. unabhängig des pH-Wertes bei mehr als $15.000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Die bei den jeweiligen Salzgehalten zu erwartenden Schädwirkungen hinsichtlich des Pflanzenwachses sind in Tabelle 2 dargestellt. Bei hohen Salzgehalten wird die Wasseraufnahme in Folge des hohen osmotischen Potentials der Bodenlösung behindert. Zudem kann die Aufnahme von Nährstoffen durch

Ionenkonkurrenz mit im Überschuss vorhandenen löslichen Kationen und Anionen bzw. durch Veränderung der Verfügbarkeit von Nährstoffen bei sehr hohen pH-Werten vermindert sein. Außerdem können toxische Effekte z. B. durch hohe Natrium- und Chloridaufnahmen auftreten (ABROL et. al., 1988).

Tabelle 2: Versalzungsklassen und Wirkung auf Kulturpflanzen (ABROL et. al., 1988).

Versalzungsklasse	Leitfähigkeit (µS/cm)	Wirkung auf Kulturpflanzen
nicht salzhaltig	0 - 2.000	Versalzungseffekte unerheblich
leicht salzhaltig	2.000 - 4.000	Ertragseinbußen bei salzempfindlichen Kulturpflanzen
mäßig salzhaltig	4.000 - 8.000	Ertragseinbußen bei vielen Kulturpflanzen
stark salzhaltig	8.000 - 16.000	befriedigende Ertragssituation nur bei salztoleranten Pflanzen
sehr stark salzhaltig	> 16.000	nur sehr wenige salztolerante Pflanzen erzielen befriedigende Erträge

Liegt der Anteil des austauschbaren Natriums an der effektiven Kationenaustauschkapazität über 15 % werden Böden in internationalen Bodenklassifikationen z.B. bei der FAO-Klassifikation als sodic bezeichnet. Bei diesem Grenzwert zeigen viele Böden, in Folge der dispergierenden Wirkung von Natrium, bodenphysikalische Degradationen. Bei manchen Untersuchungen wurden bereits bei ca. 6 % Natriumsättigung (hyposodic nach FAO soil classification) Degradationen beobachtet, so dass Überschreitungen des austauschbaren Natriumanteils von 6 % und 15 % als Orientierungswerte für Sodifizierungsschäden verwendet werden (z.B. RICHARDS et. al., 1954; ABROL et al., 1988).

Bzgl. der Ergebnisse des Bodensättigungsextrakts wurden Nomenklaturen von Bodenklassifikationen und Orientierungswerte von RICHARDS et. al. (1954) zur Beurteilung von Schadwirkungen herangezogen. Zur Bewertung einer Sodifizierung wird dabei neben der Na-Sättigung der Austau-

scher auch der SAR-Wert (sodium adsorption rate $2 \sqrt{\frac{Na}{Ca + \frac{Mg}{2}}}$ in (mol +/l) bzw. die Natriumadsorptionsrate) verwendet. Dabei besteht in Anlehnung an die FAO soil classification (2006) eine Gefährdung hinsichtlich einer Sodifizierung bei Überschreitung eines SAR-Wertes von 13.

4.1.1

Südlich gelegene Catena (Probenahmeflächen C1 – C2 – C3)



Foto 1: Südliche Catena, Aufnahme vom Hangfuß in Teichnähe mit Blickrichtung WNW.



Foto 2: Probennahmefläche C3 mit Quellsumpf tQ1b im Hintergrund, Blickrichtung W.

Die im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets liegende Catena durchschneidet den Quellbereich tQ1a. Im und direkt unterhalb des Quellbereichs findet sich an einer Hangkante eine durch Weidevieh zertrampelte, offene Bodenfläche mit lückiger Salzvegetation. An dieser Quelle sind Wasseraustritte selten.

Die Probennahmefläche C1 liegt oberhalb des Quellbereichs tQ1a (Referenzfläche oberhalb Austrittsniveau des Schwebenden Grundwasserleiters). Die Fläche C2 liegt in einer schwach

eingetieften Rinne direkt unter dem Quellbereich tQ1a. Zur Probennahmefläche C3 verflacht das Gelände zum Teich hin.

Bei dieser Catena sind in allen Hanglagen Kolluvisole vorzufinden. Bei C1 ist das Kolluvium aus der Hauptlage des Buntsandsteins gebildet. Dagegen besteht das Kolluvium in den tieferen Lagen bei C2 und C3 nahezu ausschließlich aus verlagertem schluffreichem Lößlehm. Das kolluvial verlagerte Bodenmaterial überlagert Fließerden des Mittleren Buntsandsteins. Die tonige Basislage dieser Fließerde wirkt wasserstauend. Die Pseudogleymerkmale nehmen hangabwärts in Folge der Geländevertiefung und des lateralen Wasserzuflusses aus den höher gelegenen Hangbereichen deutlich zu. Bei der Beprobungsfläche C1 waren nur bei einzelnen Sondierungen schwache Pseudogleymerkmale im Unterboden festzustellen.

Die Böden hatten einen ungestörten natürlichen Bodenaufbau. Es waren keine Salzausblühungen oder sonstige organoleptischen Auffälligkeiten feststellbar.

Die Analysenergebnisse zeigen bei dem oberhalb der temporären Quelle tQ1a gelegenen Boden der Beprobungsfläche C1 keinen Salzeinfluss an. Die Natriumsättigung sowie die Chlorid-, Sulfatgehalte und elektrische Leitfähigkeit des Eluats sind gering.

Dagegen ist bei den unterhalb des temporären Quellbereichs tQ1a (unterhalb des Austrittsniveaus des Schwebenden Grundwasserleiters) gelegenen Probennahmeflächen C2 und C3 in allen Tiefenstufen eine Salzbelastung erkennbar.

Im Eluat sind die elektrische Leitfähigkeit und die Chlorid- und Sulfatgehalte gegenüber den nicht salzhaltigen umliegenden Böden erhöht.

Die Natriumsättigung der Bodenhorizonte liegt zwischen 12 % und > 15 %. Die Böden werden deshalb nach der internationalen FAO-Bodenklassifikation als hyposodic (< 6 % Na-Sättigung) oder sodic (>15 % Na-Sättigung) bezeichnet. Zudem wurde Calcium durch Magnesium am Austauscher verdrängt. Die Mg-Sättigung ist mit 56 - 60 % äußerst hoch, während die Ca-Sättigung nur noch zwischen 10 % und 18 % liegt. Wegen der geringeren Hydrathülle der Calciumionen und damit besseren Abschirmung der negativen Ladungen der Tonminerale haben mit Calcium gesättigte Austauscher eine größere Flockungsneigung als bei Magnesiumsättigung. Damit wird die Dispergierungsneigung in Folge der hohen Magnesiumsättigung zusätzlich gefördert.

Die Salzbelastung wird auch an den hohen Salzgehalten des Bodensättigungsextrakts ersichtlich. Die elektrischen Leitfähigkeiten, Chlorid- und Sulfatgehalte sind stark erhöht, wobei Chlorid das dominierende Anion darstellt. Die Natriumadsorptionsrate (SAR) liegt bei 4 - 5. Der SAR-Wert ist damit gegenüber salzarmen Böden stark erhöht. Der SAR-Wert von 13 der neben der Na-Sättigung als Maß für die Sodifizierung gilt, wird aber nicht überschritten.

Die elektrische Leitfähigkeit des Bodensättigungsextrakts liegt zwischen 6.600 und 7.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei C3 und zwischen 9.700 und 10.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei C2. Die Böden sind mäßig bis stark salzhaltig (Tabelle 2), so dass mit Ertragseinbußen bei Kulturpflanzen zu rechnen ist. Nach FAO-Klassifikation sind die Bodenhorizonte hyposodic. Die pH-Werte liegen im schwach sauren Bereich. Eine pH-Wert-Erhöhung durch Carbonatisierung bzw. Sodabildung liegt demnach nicht vor.

Die löslichen Salze und Natriumsättigungen sind am direkt unterhalb der Quelle tQ1a gelegenen Standort C2 am höchsten und nehmen hangabwärts bei C3 etwas ab.

Die durch Salzeinträge belasteten Böden wurden auf Schwermetalle und organische Schadstoffe (PAK und PCB) untersucht. Bei beiden Böden waren keine organischen Schadstoffe nachweisbar. Die Schwermetallgesamtgehalte lagen im Hintergrundbereich. Bei den Ammoniumnitratlöslichen Schadstoffen wurden die Prüf- bzw. Maßnahmenwerte der BBodSchV nicht überschritten.

Tabelle 3: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C1.

C1 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 04.04.2013					Bodenform: Kolluvisol aus Fließerde über Basislage des Buntsandsteins Humusform: Mull							
Tiefe [cm]	Horizont	Humus Gew. %	Bodenart	Grobboden [Gew. %]	Ausgangsgestein	Carbonat Gew. %	Farbe [Munsell]	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
									Mangan	Rost flecken	Bleich flecken	
- 25	Ah	1-2	Ls3	2	Kolluvium	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 65	II M	1-2	Lts	5-10	Kolluvium	0	rötlichbraun	frisch	0	0	0	
- 85	III ilCv	0	Lts	10	Basislage des Buntsandsteins	0	rotbraun	frisch	0	0	0	
- 110	ilCv	0	Lts	10	Basislage des Buntsandsteins	0	rot	frisch	0	0	0	
teils im Unterboden schwach pseudovergleyt												

Tabelle 4: Analysenergebnisse der Versalzungsparameter für Fläche C1

C1	Analysenergebnisse												
Beprobungsdatum: 04.04.2013			Bodenform: Kolluvisol aus Fließerde über Basislage des Buntsandstein										
Parameter Versalzung													
Tiefe	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	KAK _{eff} ΣKationen	austauschbare Kationen								H ⁺
					Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe		
[cm]					[cmol +/-kg]								
- 25	Ah	4,79	4,94	5,33	3,30	0,79	0,62	0,05	0,36	0,15	0,01	0,05	
- 65	II M	4,69	4,11	4,23	2,79	0,54	0,45	0,05	0,29	0,05	0,01	0,05	
- 100	III ilCv	4,36	4,46	4,30	2,64	0,67	0,33	0,06	0,46	0,03	0,01	0,09	
		pH	Eluat			Kationenbelegung							
			el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺
			[µS/cm]	[mg/l]			[% von KAK _{eff} BaCl ₂]						
- 25	Ah	5,91	36,3	2,20	1,56	61,9	14,8	11,5	1,0	6,7	2,8	0,2	1,0
- 65	II M	5,94	18,8	1,28	1,06	66,0	12,8	10,6	1,1	6,8	1,2	0,2	1,3
- 100	III ilCv	5,87	18,0	1,54	2,06	61,5	15,5	7,7	1,4	10,7	0,8	0,3	2,2
						sodic (Isbel, R., 2002)			6,0				
						sodic (FAO, 2006)			15,0				
		pH	Bodensättigungsextrakt										
			el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ₁
			[µS/cm]	[mg/l]			[mg/l]						
- 25	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
- 65	II M	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
- 100	III ilCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750	natric (FAO, 2006)									13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al., 1998)			2000										
hyposalic (FAO, 2006)			4000										
salic wenn pH ≥ 8,5 (FAO, 2006)			8000										
salic (FAO, 2006)			15000										

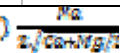
¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate)  [in mmol (+) / l]

Tabelle 5: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C2.

C2 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 04.04.2013					Bodenform: versalzter, pseudovergleyter Kolluvisol aus Lösslehm über Hauptlage des Buntsandstein Humusform: Mull							
Tiefe	Horizont	Humus	Bodenart	Grobboden	Ausgangsgestein	Carbonat	Farbe	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
[cm]		Gew. %		[Gew. %]		Gew. %	[Munsell]		Mangan	Rost flecken	Bleich flecken	
- 15	zAh	4-8	Ut4	0	Lösslehm	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 65	zM	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	rötlichbraun	frisch	0	0	0	
- 115	II zSwM	< 1-2	Ls4	10	Hauptlage des Buntsandsteins	0	rotbraun	frisch	5	3	80	schwache gräulichbraune Bleichung

Tabelle 6: Analysenergebnisse der Versalzungsparameter für Fläche C2.

C2		Analysenergebnisse											
Beprobungsdatum: 04.04.2013			Bodenform: versalzter, pseudovergleyter Kolluvisol aus Lösslehm über Hauptlage des Buntsandstein										
Parameter Versalzung													
Tiefe [cm]	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	austauschbare Kationen									
				KAK _{eff} ΣKationen	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺	
				[cmol +/-kg]									
- 15	zAh	4,88	10,65	19,24	3,04	10,86	2,07	2,71	0,29	0,20	0,01	0,05	
- 65	zM	4,94	6,90	13,45	1,60	7,66	1,72	2,04	0,24	0,14	0,01	0,04	
- 100	II zSwM	4,86	5,94	11,62	1,13	6,89	1,45	1,77	0,20	0,13	0,01	0,06	
		pH	Eluat			Kationenbelegung							
			el.Leitf. [µS/cm]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Ca	Mg	K	Na [% von KAK _{eff} BaCl ₂]	Al	Mn	Fe	H ⁺
- 15	zAh	5,66	774	209	49,2	15,82	56,42	10,77	14,1	1,51	1,04	0,06	0,27
- 65	zM	5,76	667	175	45,5	11,93	56,98	12,82	15,1	1,76	1,04	0,07	0,28
- 100	II zSwM	5,68	584	153	47,1	9,70	59,29	12,49	15,2	1,68	1,09	0,07	0,48
						hyposodic (FAO, 2006)			6,0				
						sodic (FAO, 2006)			15,0				
		pH	el.Leitf. [µS/cm]	Bodensättigungsextrakt		Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ¹
				Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]								
- 15	zAh	6,54	9745	2865	999	176	795	245	595	0,68	20	0,23	4,8
- 65	zM	5,58	10805	3560	1260	173	870	200	640	0,60	19	0,30	5,0
- 100	II zSwM	5,15	10390	3580	1260	180	880	170	640	0,49	21	0,15	4,9
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750	natric (FAO, 2006)									13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al., 1998)			2000										
hyposalic (FAO, 2006)			4000										
salic wenn pH ≥ 8,5 (FAO, 2006)			8000										

¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate) $\frac{\%}{\text{z/ Ca+Mg/l}}$ [in mmol (+) / l]

Tabelle 7: Analysenergebnisse zu Schwermetallen und organischen Schadstoffen für Fläche C2.

Schwermetalle und organische Schadstoffe										
Tiefe	Horizont	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Tl	Zn	Hg
[cm]		im Königswasserextrakt [mg/kg]								
- 15	zAh	4,62	18,9	< 0,20	23,5	7,1	24,0	< 0,20	39,4	< 0,05
- 65	zM	4,51	17,0	< 0,20	22,2	5,6	17,8	< 0,20	35,4	< 0,05
- 100	II zSwM	4,57	11,1	< 0,20	18,5	6,4	15,0	< 0,20	30,0	< 0,05
Hintergrundwerte ¹		12,1	56	0,4	49	28	846	-	107	-
Vorsorgewerte ²		-	40/70/100	0,4/1,0/1,5	30/60/100	20/40/60	15/50/70	-	60/150/200	0,1/0,5/1,0
Prüfwerte Nutzpflanze		200	-	-	-	-	-	-	-	5
im Ammoniumnitratextrakt [µg/kg]										
- 15	zAh	< 5,0	< 20	5,8	18,5	< 10	257	< 20	223	< 2
- 65	zM	< 5,0	< 20	5,3	< 10	< 10	164	< 20	< 100	< 2
- 100	II zSwM	< 5,0	< 20	4,9	< 10	< 10	141	< 20	129	< 2
Prüfwerte Pflanze		400	100	40	-	1000	1500	100	2000	-
Tiefe	Horizont	PAK ₁₆	Benzo (a)pyren	PCB ₆						
[cm]		[mg/kg]								
- 15	zAh	n.n.	< 0,05	n.n.						
- 65	zM	n.n.	< 0,05	n.n.						
- 100	II zSwM	n.n.	< 0,05	n.n.						
Vorsorgewerte ³		3 / 10	0,3 / 1	0,05 / 0,1						

¹ Oberboden Löß, Lößlehm, Kolluvium (Hessen), ² Vorsorgewerte nach Bodenart: Sand | Lehm/Schluff | Ton, ³ Vorsorgewerte nach Humusgehalt: ≤ 8% | > 8%

¹ Oberboden Löß, Lößlehm, Kolluvium (Hessen), ² Vorsorgewerte nach Bodenart: Sand | Lehm/Schluff | Ton, ³ Vorsorgewerte nach Humusgehalt: ≤ 8% | > 8%

Tabelle 8: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C3.

C3 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 05.04.2013					Bodenform: versalzter Pseudogley-Kolluvisol aus Lösslehm über Basislage des Buntsandsteins Humusform: Mull							
Tiefe [cm]	Hori- zont	Humus Gew. %	Boden- art	Grob- boden [Gew. %]	Ausgangs- gestein	Carbo- nat Gew. %	Farbe [Munsell]	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
									Mangan	Rost flecken	Bleich flecken	
- 12	zAh	4-8	Ut4	0	Lösslehm	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 40	zM	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	braun	frisch	0	0	0	
- 60	zMSw	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	gräulich- braun	feucht	2	5	90	
- 100	II zSd	< 1	Tu2	0	Basislage des Bunt- sandstein	0	gräulich- braun mar- moriert	frisch	3	20	70	

Tabelle 9: Analysenergebnisse zu den Versalzungsparametern für Fläche C3.

C3		Analysenergebnisse											
		Randbereich Althaldenstandort Hera											
Beprobungsdatum:		Bodenform: versalzter Pseudogley-Kolluvisol aus Lösslehm über Basislage des Buntsandsteins											
04.04.2013													
Parameter Versalzung													
Tiefe	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	austauschbare Kationen									
				KAK _{eff} ΣKationen	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺	
[cm]				[cmol +/-kg]									
- 12	zAh	5,15	12,70	20,88	3,81	12,12	2,19	2,52	0,12	0,07	0,02	0,02	
- 60	zM	5,04	6,35	10,56	1,38	6,15	1,42	1,37	0,15	0,05	0,01	0,03	
- 100	II zSd	4,93	6,73	10,82	1,31	6,66	1,31	1,32	0,11	0,07	0,01	0,04	
		Eluat				Kationenbelegung							
		pH	el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺
			[µS/cm]	[mg/l]	[% von KAK _{eff} BaCl ₂]								
- 12	zAh	5,97	703	179	47,6	18,26	58,06	10,46	12,1	0,60	0,34	0,11	0,09
- 60	zM	6,21	504	126	46,6	13,11	58,27	13,44	13,0	1,40	0,47	0,08	0,26
- 100	II zSd	5,99	493	122	48,8	12,08	61,54	12,08	12,2	1,03	0,69	0,07	0,33
						hyposodic (FAO, 2006)			6,0				
						sodic (FAO, 2006)			15,0				
		Bodensättigungsextrakt											
		pH	el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ¹
			[µS/cm]	[mg/l]	[mg/l]								
- 12	zAh	5,59	6635	2065	759	104	465	170	365	0,50	3,8	0,39	3,6
- 60	zM	6,51	7245	2400	867	127	585	185	445	0,18	5,2	0,11	4,0
- 100	II zSd	5,67	7740	2595	963	149	650	115	455	0,16	7,5	0,08	3,9
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750			natric (FAO, 2006)							13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al., 1998)			2000										
hyposalic (FAO, 2006)			4000										
salic wenn pH ≥ 8,5 (FAO, 2006)			8000										

¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate) $\frac{Na}{Ca+Mg}$ [in mmol (+) / l]

Tabelle 10: Analysenergebnisse zu den Schwermetallgehalten und organischen Schadstoffen für Fläche C3.

Schwermetalle und organische Schadstoffe										
Tiefe	Horizont	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Tl	Zn	Hg
[cm]		im Königswasserextrakt [mg/kg]								
- 12	zAh	4,27	18,9	0,26	22,3	6,9	20,6	< 0,20	39,8	< 0,05
- 60	zM	4,06	12,7	< 0,20	19,7	4,7	14,4	< 0,20	31,0	< 0,05
- 100	II zSd	4,46	11,0	< 0,20	20,3	6,5	14,4	< 0,20	29,9	< 0,05
Hintergrundwerte ¹		12,1	56	0,4	49	28	846	-	107	-
Vorsorgewerte ²		-	40/70/100	0,4/1,0/1,5	30/60/100	20/40/60	15/50/70	-	60/150/200	0,1/0,5/1,0
Prüfwerte Nutzpflanze		200	-	-	-	-	-	-	-	5
im Ammoniumnitratextrakt [µg/kg]										
- 12	zAh	< 5,0	< 20	10,2	39	11,8	190	< 20	< 100	< 2
- 60	zM	< 5,0	< 20	4,3	< 10	< 10	119	< 20	< 100	< 2
- 100	II zSd	< 5,0	< 20	5,0	< 10	< 10	99	< 20	< 100	< 2
Prüfwerte Pflanze		400	100	40	-	1000	1500	100	2000	-
Tiefe	Horizont	PAK ₁₆	Benzo (a)pyren	PCB ₆						
[cm]		[mg/kg]								
- 12	zAh	n.n.	< 0,05	n.n.						
- 60	zM	n.n.	< 0,05	n.n.						
- 100	II zSd	n.n.	< 0,05	n.n.						
Vorsorgewerte ³		3 / 10	0,3 / 1	0,05 / 0,1						

¹ Oberboden Löß, Lößlehm, Kolluvium (Hessen), ² Vorsorgewerte nach Bodenart: Sand | Lehm/Schluff | Ton, ³ Vorsorgewerte nach Humusgehalt: < 8% | > 8%

¹ Oberboden Löß, Lößlehm, Kolluvium (Hessen), ² Vorsorgewerte nach Bodenart: Sand | Lehm/Schluff | Ton, ³ Vorsorgewerte nach Humusgehalt: ≤ 8% | > 8%

4.1.2 Nördliche Catena (Probenahmeflächen C4 – C5 – C6)



Foto 3: Nördliche Catena - Aufnahme vom Hangfuß mit Blickrichtung NW

Die nördliche Catena liegt auf einem gestreckten Hang. Es sind, wie im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets, Kolluvisole aus kolluvial verlagertem Lösslehm vorzufinden. Im Unterboden tritt die tonige Basislage hervor. Die Böden sind mit Ausnahme der Probennahmefläche C6 schwach pseudovergleyt.

Die Böden sind schwach sauer und zeigen keine Salzanreicherungen oder Anzeichen einer Sodifizierung.

Tabelle 11: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C4.

C4 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 05.04.2013					Bodenform: schwach pseudovergleyter Kolluvisol aus Lösslehm Humusform: Mull							
Tiefe	Horizont	Humus	Bodenart	Grobboden	Ausgangsgestein	Carbonat	Farbe	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
[cm]		Gew. %		[Gew. %]		Gew. %	[Munsell]		Mangan	Rost flecken	Bleich flecken	
- 12	Ah	2-4	Ut4	0	Lösslehm	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 70	M	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	braun	frisch	0	0	0	
- 100	SwM	<1-2	Ut4 oder Tu3	0	Lösslehm	0	braun	frisch	1	5	10	meist schwache Bleichung, teils kaum gebleicht, teils mit toniger Basislage des Buntsandsteins

Tabelle 12: Analysenergebnisse zu den Versalzungsparametern für Fläche C4.

C4	Analysenergebnisse												
Beprobungsdatum: 05.04.2013			Bodenform: schwach pseudovergleyter Kolluvisol aus Lösslehm										
Parameter Versalzung													
Tiefe	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	austauschbare Kationen									
				KAK _{eff} ΣKationen	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺	
[cm]				[cmol +/kg]									
- 12	Ah	4,92	8,45	8,92	5,72	1,77	0,78	0,08	0,28	0,20	0,01	0,07	
- 70	M	5,13	8,09	8,47	5,84	1,71	0,58	0,07	0,13	0,09	0,01	0,04	
- 100	SwM	5,38	10,10	10,47	6,96	2,74	0,54	0,09	0,06	0,06	0,01	0,02	
		pH	Eluat			Kationenbelegung							
			el.Leitf. [µS/cm]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺
- 12	Ah	6,15	47,5	4,1	3,1	64,1	19,9	8,8	0,85	3,2	2,3	0,14	0,8
- 70	M	6,26	30,5	2,6	1,6	68,9	20,2	6,9	0,85	1,5	1,0	0,11	0,5
- 100	SwM	6,32	26,7	2,2	2,0	66,5	26,2	5,1	0,83	0,6	0,6	0,10	0,2
						hyposodic (FAO, 2006)		6,0					
						sodic (FAO, 2006)		15,0					
		pH	Bodensättigungsextrakt										
			el.Leitf. [µS/cm]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ¹
- 12	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
- 70	M	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
- 100	SwM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750										13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al., 1998)			2000										
hyposalic (FAO, 2006)			4000										
salic wenn pH ≥ 8.5 (FAO, 2006)			8000										

¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate) $\frac{me}{z \cdot (Ca+Mg) \cdot 1000}$ [in mmol (+) / l]

Tabelle 13: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C5.

C5 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 5.4.2013					Bodenform: schwach pseudovergleyter Kolluvisol aus Lösslehm Humusform: Mull							
Tiefe	Horizont	Humus	Bodenart	Grobboden	Ausgangsgestein	Carbonat	Farbe	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
[cm]		Gew. %		[Gew. %]		Gew. %			Mangan	Rostflecken	Bleichflecken	
- 15	Ah	2-4	Ut4	0	Lösslehm	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 40	M	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	braun	feucht	0	0	0	
- 100	SwM	1-2	Ut4 - Tu4	0	Lösslehm	0	braun	feucht	1	5	10	meist nur sehr schwache Bleichung, teils mit toniger Basislage des Buntsandsteins

Tabelle 14: Analysenergebnisse zu den Versalzungsparametern für Fläche C5.

C5	Analysenergebnisse												
Beprobungsdatum: 05.04.2013			Bodenform: schwach pseudoverleyter Kolluvisol aus Lösslehm										
Parameter Versalzung													
Tiefe	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	austauschbare Kationen									
				KAK _{eff} ΣKationen	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺	
[cm]				[cmol +/-kg]									
- 15	Ah	4,99	10,10	10,47	5,80	1,87	0,94	0,07	0,24	0,23	0,01	0,05	
- 40	M	5,03	8,63	9,22	6,00	1,86	0,60	0,09	0,15	0,09	0,01	0,04	
- 100	SwM	5,20	8,49	8,84	7,11	2,64	0,54	0,10	0,08	0,04	0,01	0,03	
		pH	Eluat			Kationenbelegung							
			el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺
			[µS/cm]	[mg/l]		[% von KAK _{eff} BaCl ₂]							
- 15	Ah	6,35	57,6	3,8	4,1	66,5	26,2	5,1	0,8	0,6	0,6	0,1	0,2
- 40	M	6,34	27,4	2,4	2,1	62,9	20,2	10,2	0,8	2,7	2,5	0,1	0,6
- 100	SwM	5,89	22,4	1,5	2,3	67,9	21,1	6,8	1,1	1,7	1,0	0,1	0,5
						hyposodic (FAO, 2006)		6,0					
						sodic (FAO, 2006)		15,0					
		pH	Bodensättigungsextrakt										
			el.Leitf.	Cl	SO ₄	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ¹
			[µS/cm]	[mg/l]		[mg/l]							
- 15	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
- 40	M	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
- 100	SwM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750			natric (FAO, 2006)							13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al. 1998)			2000										
hyposalic (FAO, 2006)			4000										
salic wenn pH ≥ 8,5 (FAO, 2006)			8000										

¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate) $\frac{Na}{Ca+Mg}$ [in mmol (+) / l]

Tabelle 15: Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung für Fläche C6.

C6 Bodenaufnahme nach bodenkundlicher Kartieranleitung												
Aufnahmedatum: 5.4.2013					Bodenform: Kolluvisol aus Lösslehm über Basislage des Buntsandsteins Humusform: Mull							
Tiefe	Horizont	Humus	Bodenart	Grobboden	Ausgangsgestein	Carbonat	Farbe	Aktuelle Feuchte	Vernässungsmerkmale [Flächenanteil %]			Sonstiges
[cm]		Gew. %		[Gew. %]		Gew. %	[Munsell]		Mangan	Rost flecken	Bleich flecken	
- 30	Ah	2-4	Ut4	0	Lösslehm	0	dunkelbraun	frisch	0	0	0	
- 65	M	1-2	Ut4	0	Lösslehm	0	braun	frisch	0	0	0	
- 100	II ilCv	0	Ts3	0	Basislage des Buntsandstein	0	rot	frisch	0	0	0	

C6	Analysenergebnisse													
Beprobungsdatum: 05.04.2013			Bodenform: Kolluvisol aus Lösslehm über Basislage des Buntsandsteins											
Parameter Versalzung														
Tiefe	Horizont	pH CaCl ₂	KAK _{eff} BaCl ₂	austauschbare Kationen										
				KAK _{eff} ΣKationen	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺		
[cm]				[cmol +/-kg]										
- 30	Ah	4,66	6,84	7,29	4,74	1,18	0,63	0,08	0,42	0,14	0,01	0,10		
- 65	M	4,52	6,80	7,17	4,72	1,15	0,54	0,09	0,50	0,06	0,01	0,09		
- 100	II ilCv	4,41	6,67	6,81	4,24	1,26	0,45	0,10	0,62	0,03	0,01	0,09		
		pH	Eluat			Kationenbelegung								
			el.Leitf. [µS/cm]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	H ⁺	
- 30	Ah	5,90	37,4	2,4	1,9	67,3	25,0	5,1	0,9	0,8	0,4	0,1	0,3	
- 65	M	5,84	20,0	1,3	0,6	65,0	16,2	8,6	1,1	5,8	1,9	0,2	1,3	
- 100	II ilCv	5,73	18,5	1,7	1,2	65,8	16,0	7,5	1,3	7,0	0,9	0,2	1,3	
						hyposodic (FAO, 2006)		6,0						
						sodic (FAO, 2006)		15,0						
		pH	Bodensättigungsextrakt											
			el.Leitf. [µS/cm]	Cl [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	Ca	Mg	K	Na	Al	Mn	Fe	SAR ¹	
- 30	Ah	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
- 65	M	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
- 100	II ilCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		
salzhaltig (z) AG Boden (2005)			750	natric (FAO, 2006)										13
Pflanzenwuchsbeeinträchtigung bei empfindlichen Pflanzen (Abrol et. al., 1998)			2000											
hyposalic (FAO, 2006)			4000											
salic wenn pH ≥ 8,5 (FAO, 2006)			8000											

¹ sodium adsorption rate (Natriumadsorptionsrate) $\frac{Na}{Ca+Mg}$ [in mmol (+) / l]

4.2 Vegetationsuntersuchungen

Die Vegetation des Untersuchungsraumes besteht überwiegend aus artenreichen mesophilen Grünland. Ansonsten finden sich im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes Quellsümpfe und artenarmes Feuchtgrünland im Hangfuß und Rinnenbereich (Abbildung 3). Die sumpfigen Bereiche sind kaum bewachsen und weisen eine starke Trittbelastung durch das Weidevieh auf. Die Vegetationsaufnahmen erfolgten am 25.5.2013 und 7.6.2013.

Artenreiches Grünland

Im Untersuchungsgebiet hat das artenreiche mesophile Grünland die größte Flächenausdehnung.

Tabelle 16: Pflanzenliste für das artenreiche Grünland (Biotoptyp 4222: Mesophiles Grünland frischer bis mäßig trockener Standorte)

Wiss. Artnamen	Deutscher Artnamen	Deckungsgrad	Signifikante Zeigerwerte
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras	3	F6
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanz	2	F6
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Gemeines Ruchgras	2	S1
<i>Festuca rubra</i>	Rotschwingel	2	-
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitzwegerich	2	-
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß	2	F6
<i>Rumex acetosa</i>	Sauerampfer	2	N6
<i>Taraxacum officinalis</i>	Wiesen-Löwenzahn	2	N7
<i>Trifolium pratense</i>	Rotklee	2	-
<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen	1	N6
<i>Cerastium fontanum</i>	Quell-Hornkraut	1	-
<i>Knautia arvensis</i>	Wiesen-Witwenblume	1	N4
<i>Lotus corniculatus</i>	Gewöhnlicher Hornklee	1	N3, F4
<i>Luzula campestris</i>	Feld-Hainsimse	1	N2, F4
<i>Poa pratensis</i>	Wiesen-Rispengras	1	N6
<i>Trifolium dubium</i>	Kleiner Klee	1	-
<i>Veronica chamaedrys</i>	Gamander-Ehrenpreis	1	-
<i>Vicia sepium</i>	Zaunwicke	1	-
<i>Bromus hordeaceus</i>	Weiche Tresse	+	N3, S1
<i>Cynosurus cristatus</i>	Kammgras	+	N4
<i>Dactylis glomerata</i>	Gemeines Knäuelgras	+	N6
<i>Heracleum sphondylium</i>	Wiesen-Bärenklau	+	N8
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut	+	N3, S1
<i>Lathyrus pratensis</i>	Wiesen-Platterbse	+	N6, F6
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Wiesen-Margerite	+	N3, F4
<i>Sanguisorba officinalis</i>	Großer Wiesenknopf	+	F7
<i>Saxifraga granulata</i>	Knöllchen-Steinbrech	+	N3, F4
<i>Ajuga genevensis</i>	Heidegünsel	r	N2, F3
<i>Cerasus avium</i>	Vogelkirsche	r	-
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	r	N7, S1
<i>Crataegus monogyna</i>	Eingrifflicher Weißdorn	r	-
<i>Genista tinctoria</i>	Färberginster	r	N1, F6
<i>Hypericum perforatum</i>	Tüpfel-Hartheu	r	N3, F4
<i>Plantago major</i>	Breitwegerich	r	N6
<i>Urtica dioica</i>	Große Brennnessel	r	N8, F6
<i>Vicia tetrasperma</i>	Viersamige Wicke	r	-

Mit *Holcus lanatus*, *Alopecurus pratensis*, *Ranunculus acris* und *Lathyrus pratensis* sind im mesophilen Grünland Frische- bis Feuchtezeiger stark vertreten. In geringem Umfang kommen auch die Trockniszeiger *Ajuga genevensis*, *Lotus corniculatus*, *Luzula campestris* und *Saxifraga granulata* vor.

Mit *Bellis perennis*, *Cirsium arvense*, *Dactylis glomerata*, *Heracleum sphondylium*, *Lathyrus pratensis*, *Poa pratensis*, *Ranunculus acris*, *Rumex acetosa* und *Urtica dioica* dominieren zwar die Stickstoffzeiger, jedoch treten stellenweise in geringer Anzahl jedoch auch die Magerkeitszeiger *Ajuga genevensis*, *Bromus hordeaceus*, *Cynosurus cristatus*, *Genista tinctoria*, *Hypericum perforatum*, *Hypochaeris radicata*, *Leucanthemum vulgare*, *Lotus corniculatus*, *Luzula campestris* und *Saxifraga granulata* auf.

Insgesamt ist also im mesophilen Grünland ein kleinräumiger Standortwechsel zu verzeichnen, wobei mäßig stickstoffreiche und frische Standortverhältnisse vorherrschen.

Als salzertragende Arten sind *Anthoxanthum odoratum*, *Bromus hordeaceus*, *Hypochaeris radicata* und *Cirsium arvense* vertreten.

Feuchtwiese (Biotoptyp 4230: Feuchtgrünland, eutroph)

Die Feuchtwiese ist im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes in Rinnenlage und am Hangfuß unterhalb der temporären Quelle tQ1a zu finden. Die Feuchtwiese befindet sich auf den Beprobungsflächen C2 und C3 mit salzbelasteten Böden (Abbildung 3).

In Rinnenlage erfolgt unterhalb des temporären Quellaustritts tQ1a und am Hangfuß im Süden des Untersuchungsgebiets ein abrupter Übergang zum artenarmen Feuchtgrünland mit den Feuchte- bis Frischezeigern *Alopecurus pratensis*, *Poa trivialis*, *Holcus lanatus*, *Lychnis flos-cuculi* und *Sanguisorba officinalis*. Mit *Poa trivialis* und untergeordnet *Cirsium arvense* treten auch salzertragende Arten auf.

Wiss. Artname	Deutscher Artname	Deckungsgrad	Signifikante Zeigerwerte
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanz	5	F6
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras	2	F7, N7, S1
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras	1	F6
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	+	N7, S1
<i>Dactylis glomerata</i>	Gemeines Knäuelgras	r	N6
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Kuckucks-Lichtnelke	r	F7
<i>Sanguisorba officinalis</i>	Großer Wiesenknopf	r	F7

Deckungsgrade nach BRAUN-BLANQUET: 5 = 75 – 100 %; 4 = 50 – 75 %; 3 = 25 – 50 %; 2 = 5 – 25 %; 1 = 1 – 5 % bzw. 6 – 50 Individuen; + = 2 – 5 Individuen; r = 1 – 2 Individuen.

Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. (1991):

F = Feuchtezahl

F7 = Feuchtezeiger; F6 = Frische- bis Feuchtezeiger; F4, F3 = Trockniszeiger

N = Stickstoffzahl

N8 = ausgesprochener Stickstoffzeiger; N7 = Zeiger stickstoffreicher Standorte; N6 = mäßig stickstoffreich bis stickstoffreich; N4 = stickstoffarm bis mäßig stickstoffreich; N3 = stickstoffarm; N2 = zwischen N3 und N1; N1 = stickstoffärmste Standorte

S = Salzzahl

S9 = Zeiger eu- bis hyperhaliner Standorte; S7 = polyhalin; S1 = salzertragend

Quellsumpf Die Vegetation der vom Weidevieh stark zertretenen Quellsümpfe tQ1a und tQ1b besteht nur aus *Spergularia salina* (Salz-Schuppenmiere; S9). Sie zeigt eu- bis hypersaline Standorte an. Der Deckungsgrad liegt zwischen 25 und 50 %. Außerdem ist eine starke Algenblüte zu beobachten.



Foto 4: Quellsumpf tQ1a oberhalb Beprobungsfläche C2, Blickrichtung SW.

Aus Quelle 1 gespeister Salzgraben

Auch am Graben tritt *Spergularia salina* (Salz-Schuppenmiere; S9) deutlich hervor. Wegen des Schutzes durch Weidezäune hat diese hier jedoch mit 50 bis 75 % einen höheren Deckungsgrad. Hinzu tritt hier *Atriplex prostrata* var. *salina* (Salz-Spiessmelde; S7). Stellenweise ist ebenfalls wie an den Quellsümpfen eine Algenblüte festzustellen. Die Vegetation geht am Grabenrand unmittelbar in den Feuchtwiesenbestand über.



Foto 5: Salzgraben im Süden des Gebiets.

Die Quellbereiche und der Graben werden nur von Salzpflanzen eingenommen. *Spergularia salina* und *Atriplex prostrata* var. *salina* kennzeichnen diese Standorte als polyhalin bis hypersalin (1,2 bis

> 2,3 % Cl^- vgl. ELLENBERG et al., S. 69). Die Salzstandorte sind gegenüber dem umliegenden Grünland deutlich abgegrenzt.

5 GESAMTBEWERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Im Untersuchungsgebiet liegt keine flächendeckende Salzbelastung vor. Mäßig bis stark salzhaltige Böden sind unterhalb der temporären Quelle tQ1a in Rinnenlage und am Hangfuß der südlichen Catena zu finden. Bei diesen Salzgehalten ist mit Ertragseinbußen bei vielen Kulturpflanzen zu rechnen (Probennahmefläche C3 am Hangfuß) bzw. ist eine befriedigende Ertragssituation nur mit salztoleranten Pflanzen (Probenahmefläche C2 in Rinnenlage) zu erzielen. Die Natriumsättigung der Austauscher ist so hoch, dass die Böden in diesem Bereich als hyposodic bzw. sodic zu bezeichnen sind. Zudem ist die Magnesiumsättigung sehr hoch, wodurch sich die Gefahr der Dispergierung erhöht. Im Unterboden wirkt die tonige Basislage des Mittleren Buntsandsteins wasserstauend. Durch diesen Staukörper wird die Salzauswaschung aus dem Boden gehemmt. Es ist mit vorwiegend lateralem Wasserzug zu rechnen.

In Abbildung 3 sind die Abflusswege des Quellwassers durch Berechnung der Abflussakkumulation (flowaccumulation) simuliert worden. Die Quelfunktion wurde simuliert, indem den, im Bereich der Quellen tQ1a und Q1 liegenden Rasterzellen hohe Startwerte vorgegeben wurden. Der Abfluss wurde mit Hilfe des Multiple Flow-Algorithmus nach QUINN et. al. (1991) errechnet. Bei diesem Algorithmus werden die Abflüsse entsprechend der jeweils vorliegenden Hangneigung auf die umgebenden tieferliegenden Rasterzellen verteilt. Bei der sonst üblichen Berechnungsweise nach dem Single Flow-Prinzip wird der gesamte Zellabfluss der tiefstliegenden benachbarten Rasterzelle zugeordnet. Beim Multiple Flow-Algorithmus wird der Abfluss verbreitert, wodurch eine realitätsnähere Verteilung der Abflussverhältnisse erzielt wird.

Die Abflussakkumulation verdeutlicht die Ausbreitung des aus den punktuellen Quellen stammenden Salzwassers. Nach den Berechnungen fließt das Wasser aus der temporären Quelle tQ1a entlang von Abflussbahnen lateral hangabwärts und versalzt den Hangfuß. Zudem ist im Grabenrandbereich durch lateralen Abfluss versalzten Wassers aus Quelle 1 mit Bodenversalzung zu rechnen (Abbildung 3). Bei tQ1b handelt es sich wahrscheinlich nicht um einen Quellaustritt. Vielmehr deuten die Berechnung der Abflussakkumulation darauf, dass der versalzte Bereich von lateral aus Quelle 1 abfließenden Wassers und Wasserübertritten aus dem Grabenbereich herrührt.

Deutlich sichtbare Wuchsdepressionen sind auf die Quellbereiche beschränkt. Dort gedeihen nur extrem angepasste Salzpflanzen. Unabhängig vom Salzgehalt der Böden kommen auf der Feuchtwiese und dem artenarmen Grünland salzertragende Arten mit geringem Deckungsgrad vor. Bei den salzertragenden Arten handelt es sich um weit verbreitete Wirtschaftsgrünlandarten ohne ökologisch-physiologische Bindung an Salzstandorte. Die Feuchtwiese nimmt sowohl den Rinnen- und Hangfußbereich mit mäßig bis stark salzhaltigen Böden als auch die nach Abflußmodellierung (Abbildung 3) nicht bzw. kaum durch Salzwasser belasteten höher gelegenen Rinnenrandbereiche ein, ohne dass Unterschiede in der Artenzusammensetzung erkennbar sind. Zu den Begehungszeitpunkten waren keine Wuchsbeeinträchtigungen im versalzten Teil der Feuchtwiese sichtbar. Im Rinnenbereich mit salzhaltigen Böden zeigten die Pflanzen aber dunklere Grüntöne. Dies ist typisch für den Wuchs von Pflanzen auf mäßig bis stark salzhaltigen Böden, wo die Pflanzen im Vergleich zu unbelasteten Böden bei geringerer Pflanzengröße häufig dickere und dunkler grün gefärbte Blätter aufweisen. In Folge der Grünfärbung sehen die Pflanzenbestände dann sogar häufig besser wüchsig aus, obwohl bereits Wuchsdepressionen vorliegen.

In Folge der Salzeinträge sind die Bodenfunktionen vor allem in Hinblick auf das Pflanzenwachstum beeinträchtigt, so dass eine Schädliche Bodenveränderungen im Sinne von § 2 Absatz 3 des BBodSchG vorliegt. Dies gilt insbesondere für die Quellbereiche und wahrscheinlich auch für den

Rinnen- und Hangfußbereich, der im Wesentlichen von den Beprobungsflächen C2 und C3 eingenommen wird.

Infolge der punktuellen Belastungsquellen lässt sich die Bodenversalzung durch Fassung der temporären Quelle (tQ1a) und der Quelle 1 mit Ableitung des salzhaltigen Wassers in den nächstgelegenen Graben unterbinden. Nach Umsetzung dieser oder auch anderer Maßnahmen zur Unterbindung der Salzeinträge würde das Salz rasch aus dem Boden ausgewaschen werden. Während salzreiche Böden gute Flockungseigenschaften und in dessen Folge eine günstige Bodenstruktur aufweisen, können die Böden nach Auswaschung der Salze in Folge der hohen Natrium- und Magnesiumsättigung dispergieren. Dadurch wird das Bodengefüge destabilisiert, was zu sehr ungünstigen bodenphysikalischen Bedingungen und irreversiblen Bodenschädigungen führen kann. Zur Vermeidung dieser Schäden ist nach der Entsalzung die Natrium- und Magnesiumsättigung durch Ausbringung von Gips (CaSO_4) zu erniedrigen.

6 LITERATUR

ABROL I.P., YADAV J.S.P. & F.I. MASSOUD (1988): Salt-Affected Soils and their Management. FAO Soils Bulletin 39, Hrsg.: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. verbesserte und erweiterte Auflage (KA5), 438 S., Hannover.

BARNASCH J., 2010: Auswertung der Hubschrauberelektromagnetik (HEM) 2008 im Bereich der Halde Hattorf, K+S KALI GmbH.

ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W. UND PAULIßEN, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen Mitteleuropas. 248 S., Göttingen.

FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations (2006): Guidelines for Soil Description, Fourth Edition.

LABO – Länderarbeitsgemeinschaft Boden (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe im Boden. In: Bodenschutz ergänzbares Handbuch, Beitrag 9006, Hrsg.: Rosenkranz, Einsele, Harreß,.

METZLAFF G. & O. JUNGSMANN (2012): Eigenbericht 2011 zur Grundwasserbeobachtung im Umfeld der ESTA-Rückstandshalde Hattorf, K+S KALI GmbH.

QUINN P.F., BEVEN P., CHEVALLIER P. & O. PLANCHON (1991): The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modeling Using Digital Terrain Models. In: Hydrological Processes, 1991 no.5 S. 59-79.

RICHARDS et al. (1954): Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture Handbook No. 60, United States Department of Agriculture. 159 S.