

Anhang IV

Dokumentation

Versuche Mechanik

Dokumentation 2025: Teilprojekt Mechanik

Hintergrund

Da die naturverträgliche, minimalinvasive Bekämpfung von Unkräutern auf landwirtschaftlich genutzten Flächen sehr zeit- und arbeitsintensiv ist, gibt es diverse Bemühungen, diesen Aufwand durch den Einsatz moderner technischer Geräte zu reduzieren

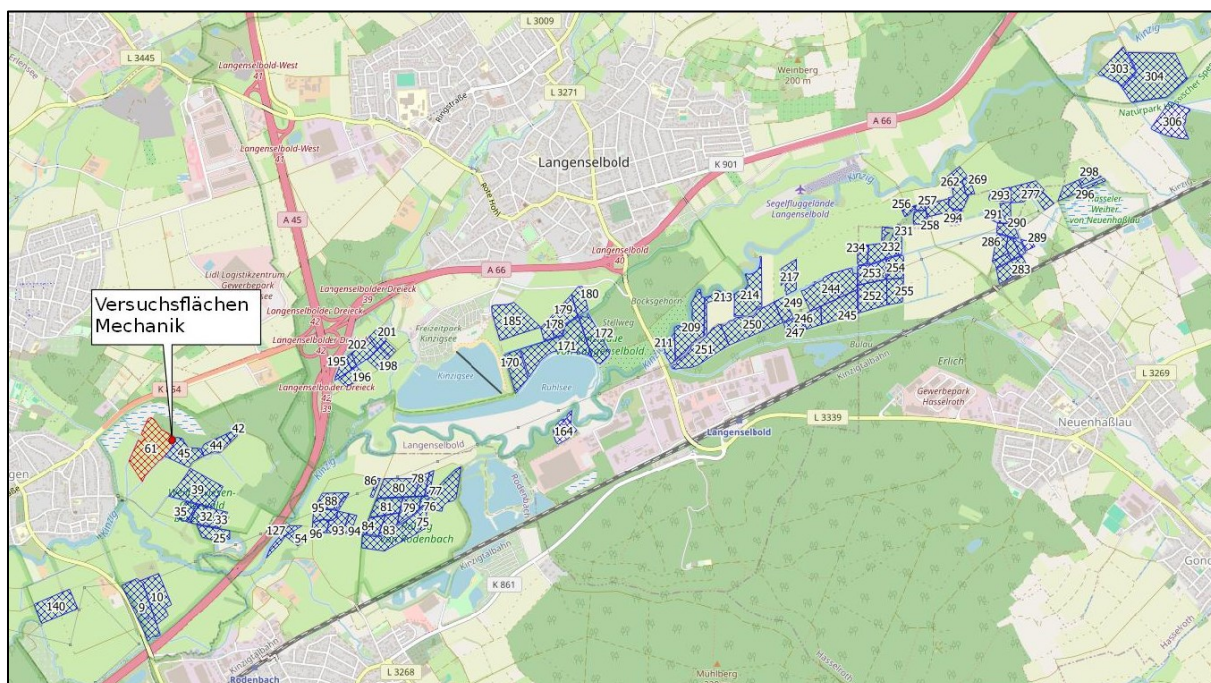
Zielsetzung

Ziel ist, verschiedene mechanische Bekämpfungsvariante ausprobieren, die später automatisiert d.h. in Roboter oder Anbaugerät eingebaut werden können. Dies soll parallel zu den Versuchen mit der Firma Paltech laufen, deren Schwerpunkt auf der Software-Seite liegt (Pflanzenerkennung, Robotersteuerung).

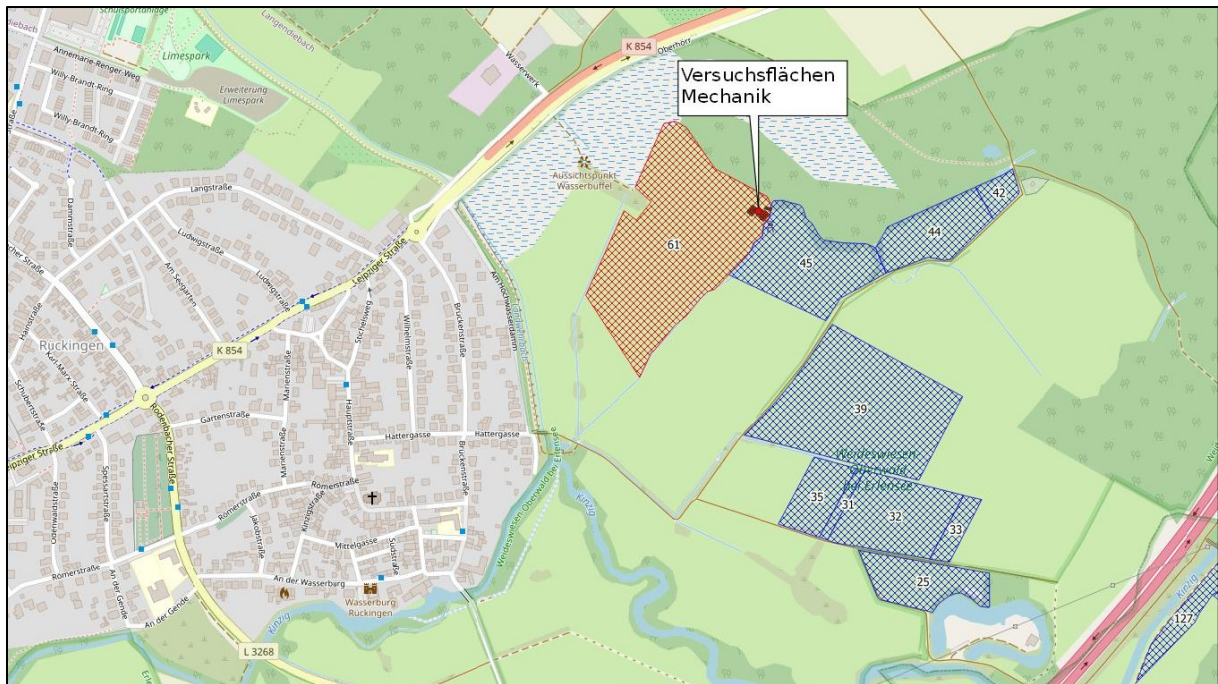
Projektlaufzeit: 5 Jahre, 2023-2027

Versuchsfläche: Flurstück-Nr. 61, Weideswiesen bei Erlensee

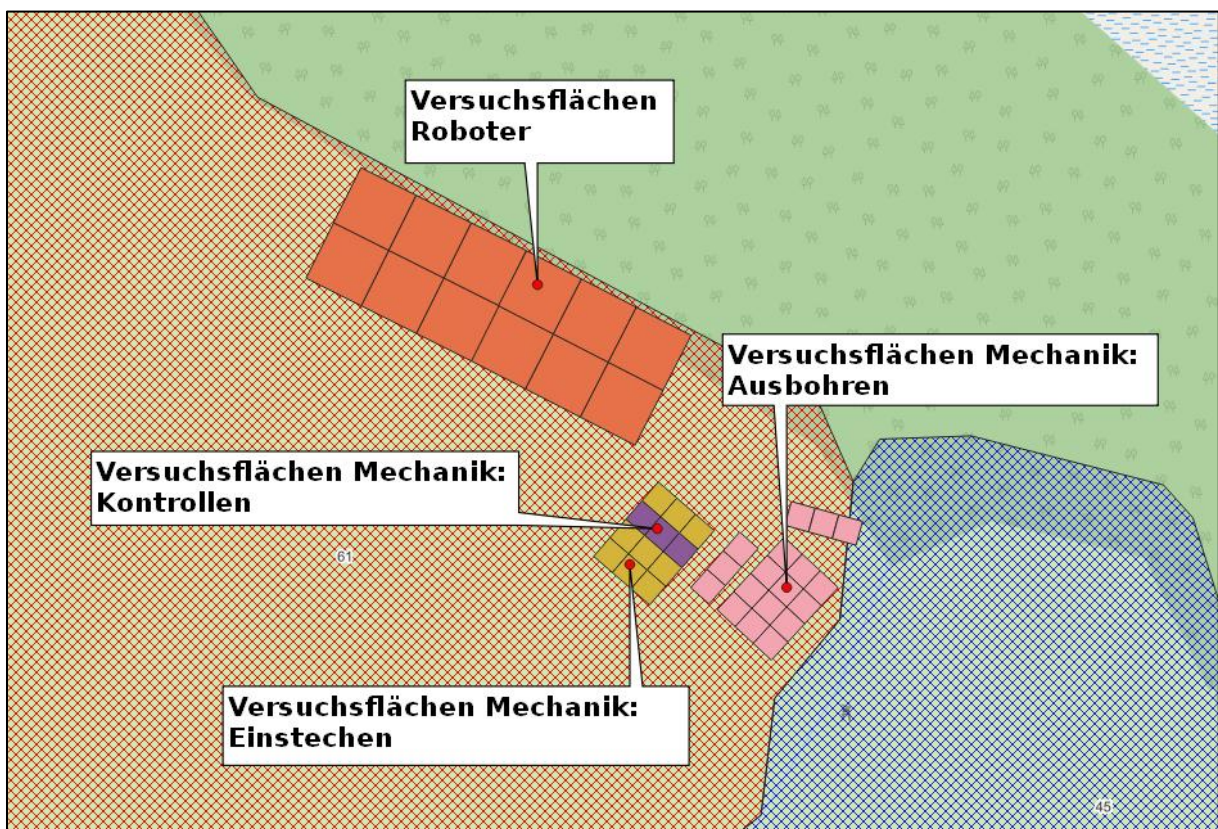
Bewirtschafter: Oliver Richter



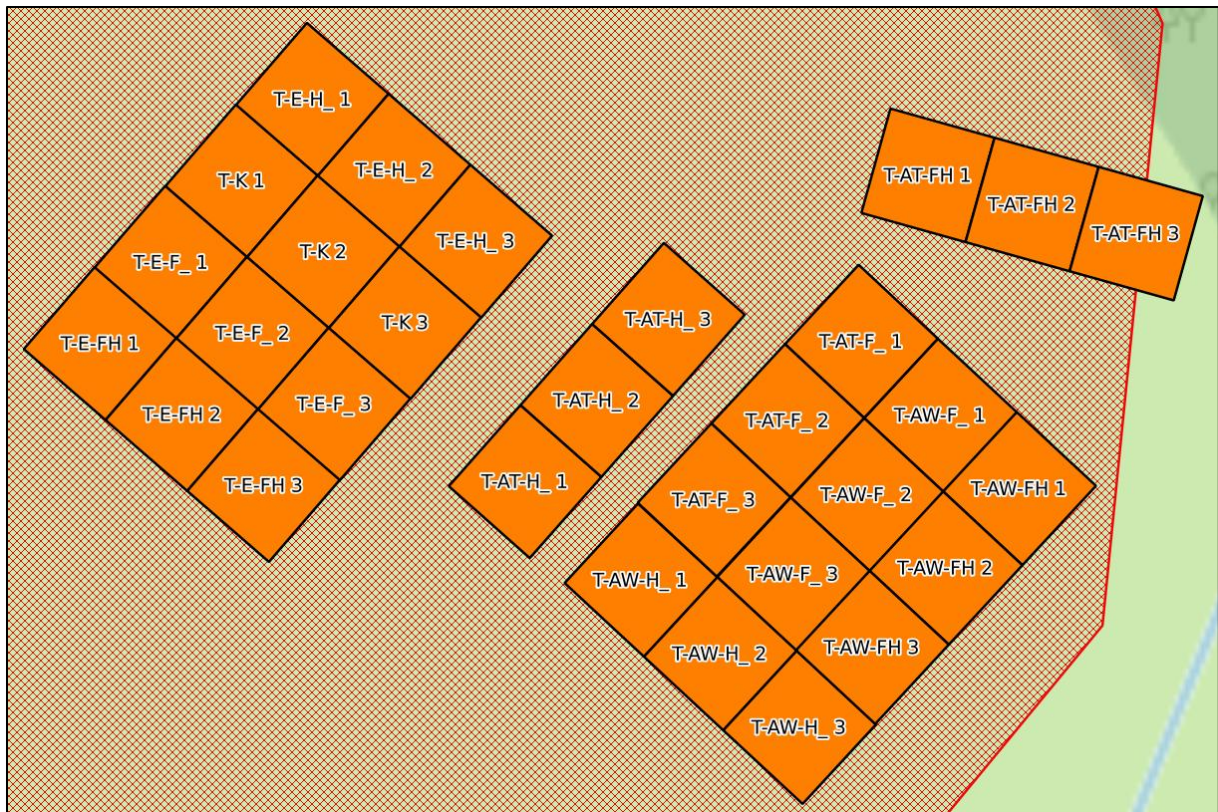
Karte 1: Lage des Flurstücks 61 im Projektgebiet



Karte 2: Lage des Flurstücks 61 im Detail



Karte 3: Lage der Versuchsflächen Technik zueinander und in Relation zu den Versuchsflächen Roboter



Karte 4: Versuchsflächen mit Bezeichnungen (T-E-***: Versuchsflächen für Einstichversuche; T-A-***: Versuchsflächen für Ausbohrversuche; T-K *: Kontrollflächen für beide)

Einstech-Versuche

Methode

Anstechen der Knolle: Einstechen mit einer geraden, dreizinkigen Grab-Gabel, Mittelzinken im Zentrum der Pflanze, zweiter Einstich um 90° versetzt. Einstichtiefe 0,2m. Dimensionen der Gabel: Zinkenabstand 50mm, Zinken trapezförmig 10x6mm.



Versuchsaufbau

12 Versuchsquadrate 3x3m:

- 3 Flächen, auf denen keine Maßnahmen durchgeführt werden (Kontrolle)
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Frühjahr angestochen wird
- 3 Flächen, auf denen die Knollen im Frühjahr und Herbst angestochen wird
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Herbst angestochen wird

Je 3x	Frühjahr	Frühjahr & Herbst	Herbst
Keine Maßnahme (Kontrolle)	Einstechen trocken	Einstechen trocken	Einstechen trocken

Frühjahr 2025

Maßnahmendurchführung

28.05.2025 - 6,5 Personenstunden - 1 Person

Einmessen und Markieren der Versuchsflächen

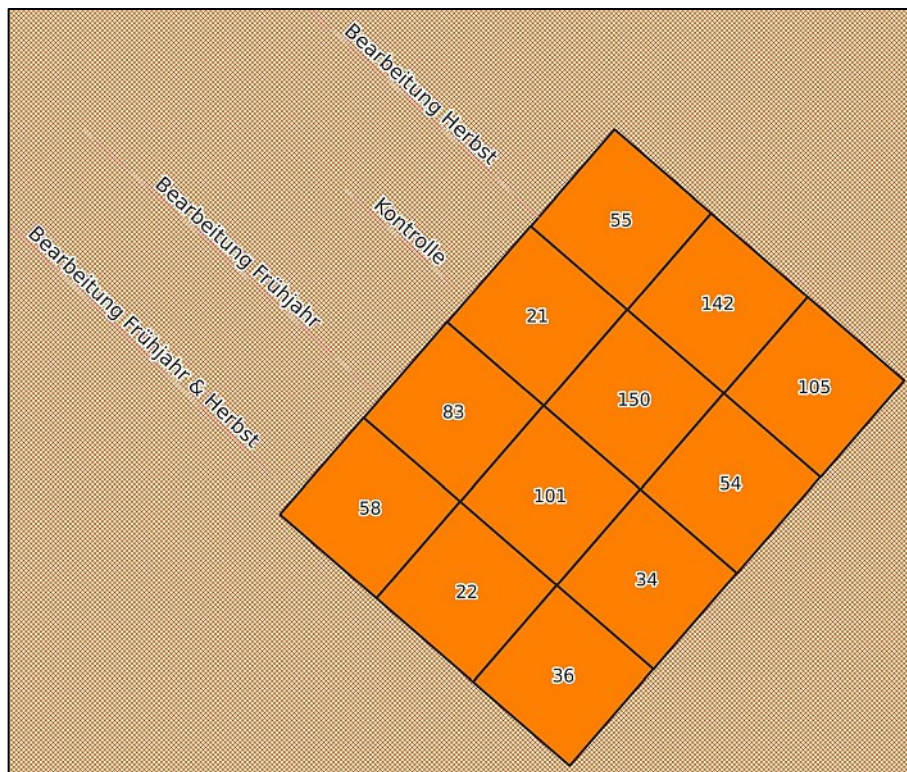
Ungefähr Lokalisierung der Versuchsflächen mittels GPS, Aufspüren der vergrabenen Magnete mittels Magnetsuchgerät, Markierung mit Weidezaunpfosten, Ausspannen mit einer vorbereiteter Maurerschnur, die alle 3m markiert ist.



Kartierung

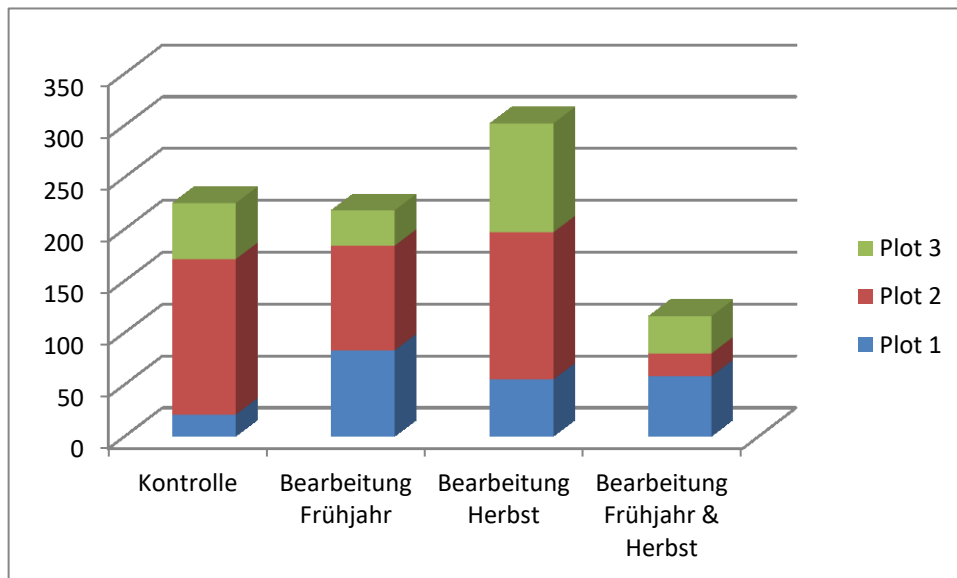
Auf allen Versuchsflächen wurden alle Individuen der Herbstzeitlose gezählt.

Kartierung Frühjahr 2025: Anzahl Pflanzen auf den jeweiligen Flächen			
Kontrollflächen	T-K 1	T-K 2	T-K 3
Anzahl HZL	21	150	54
TF Einstechen Frühjahr & Herbst	T-E-FH 1	T-E-FH 2	T-E-FH 3
Anzahl HZL	58	22	36
TF Einstechen Frühjahr	T-E-F_1	T-E-F_2	T-E-F_3
Anzahl HZL	83	101	34
TF Einstechen Herbst	T-E-H 1	T-E-H 2	T-E-H 3
Anzahl HZL	55	142	105



Karte 5: Ergebnisse der Kartierung Frühjahr 2025: Anzahl Pflanzen

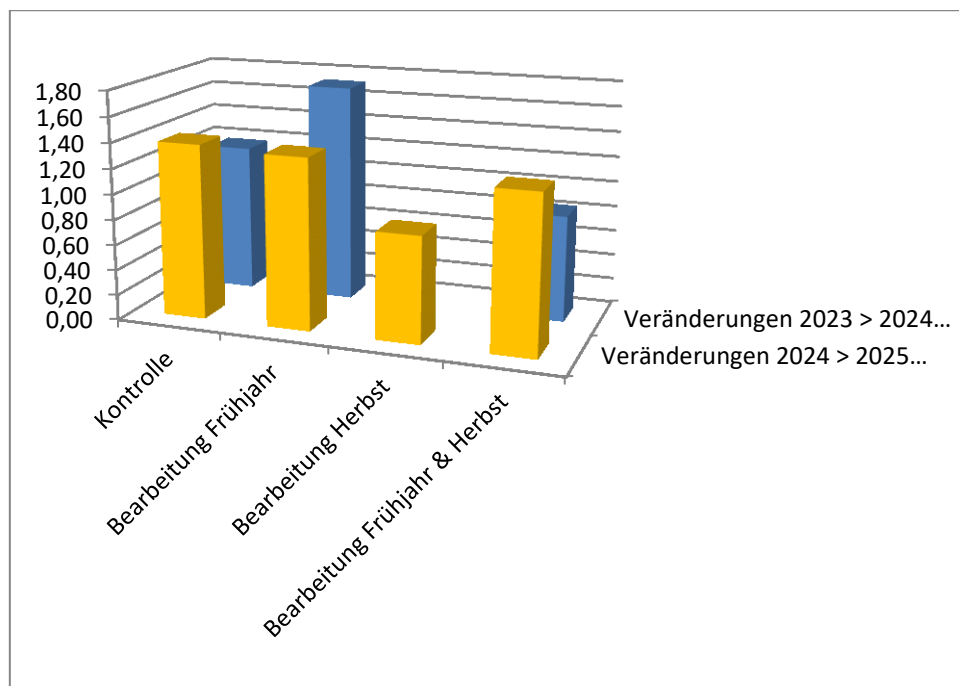
Anzahl Pflanzen 2025



Entwicklungstrend

Veränderungen			
Jahr		2023 > 2024	2024 > 2025
Kartierung		Frühjahr	Frühjahr
Plot			
Kontrolle*	T-K 1	1,21	0,72
	T-K 2	0,60	2,59
	T-K 3	1,71	0,83
	Mittel	1,17	1,38
Bearbeitung Frühjahr	T-E-F_1	1,25	1,04
	T-E-F_2	3,06	1,84
	T-E-F_3	0,85	1,17
	Mittel	1,72	1,35
Bearbeitung Herbst	T-E-H_1	---	0,71
	T-E-H_2	---	0,81
	T-E-H_3	---	1,00
	Mittel		0,84
Bearbeitung Frühjahr & Herbst	T-E-FH 1	1,29	1,00
	T-E-FH 2	0,20	1,69
	T-E-FH 3	1,03	1,03
	Mittel	0,84	1,24

*) Kontrollflächen sind für Einstich- und Ausbohrversuche identisch



Die Änderungen gegenüber dem Vorjahr sind 2025 einheitlicher als im Vorjahr, die Herbstbearbeitung zeigt eine deutliche Abnahme der Pflanzen, die beiden anderen Maßnahmenarten eine geringere Zunahme als die Kontrolle, wobei der Unterschied für die Frühjahrsbearbeitung minimal ist. Auffällig ist die große Streuung der Werte für die drei Kontroll-Plots.

Das Verteilungsbild der Trends entspricht nicht demjenigen, das bei einem deutlichen Effekt auf die Herbstzeitlose zu erwarten wäre.

Durchgeführte Maßnahmen

- Kontrollflächen (K): Keine Maßnahmen auf 3 Flächen
- Frühjahrs-Flächen (F): Anstechen aller Knollen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (HF): Anstechen aller Knollen auf 3 Flächen



Beräumen der Fläche

Entfernen von Mauererschnur und Weidezaunpfosten, um uneingeschränkte Bearbeitung zu ermöglichen.

Herbst 2025

Maßnahmendurchführung

15.09.2024 - 6,5 Personenstunden - 1 Person

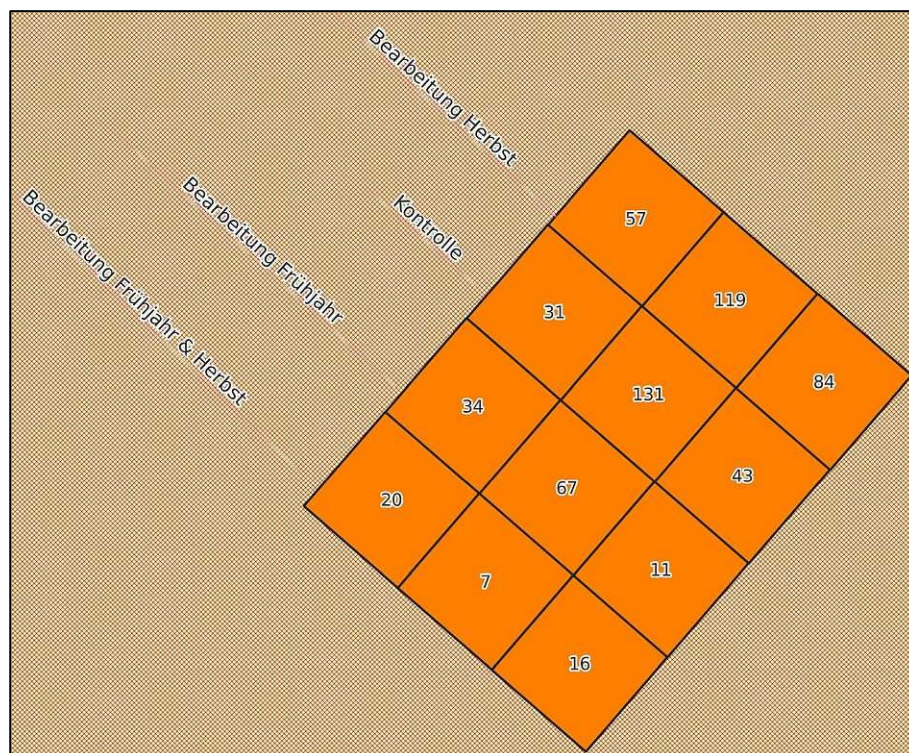
Einmessen bzw. Anlegen der Versuchsflächen

Ungefähr Lokalisierung der Versuchsflächen mittels GPS, Aufspüren der vergrabenen Magnete mittels Magnetsuchgerät, Markierung mit Weidezaunpfosten, Ausspannen mit einer vorbereiteter Maurerschnur, die alle 3m markiert ist.

Kartierung Herbst 2025

Auf allen Versuchsflächen wurden alle individuellen Blüten der Herbstzeitlose gezählt (einschließlich der verblühten, soweit noch erkennbar).

Kartierung Herbst 2025: Anzahl Blüten auf den jeweiligen Flächen			
TF Einstechen Herbst	T-E-H 1	T-E-H 2	T-E-H 3
Anzahl HZL	57	119	84
Kontrollflächen	T-K 1	T-K 2	T-K 3
Anzahl HZL	31	131	43
TF Einstechen Frühjahr	T-E-FH 1	T-E-FH 2	T-E-FH 3
Anzahl HZL	20	7	16
TF Einstechen Frühjahr & Herbst	T-E-F 1	T-E-F 2	T-E-F 3
Anzahl HZL	34	67	11



Karte 6: Ergebnisse der Kartierung Herbst 2025: Anzahl Blüten

Entwicklungstrend

Das Verhältnis von Pflanzen zu Blüten scheint in keiner festen Beziehung zu stehen und schwankt für die Jahre 2023-2025 und die einzelnen Probeflächen zwischen 80:0 und 1:1,5. Rückschlüsse von der Anzahl der Blüten auf die Pflanzenpopulation einer Fläche scheinen somit nicht möglich zu sein. Auf einen Vergleich der Blütenzahlen mit dem Vorjahr wurde daher verzichtet.

Durchgeführte Maßnahmen

- Herbst-Flächen (H): Anstechen aller Knollen auf 3 Flächen
- Kontrollflächen (K): Keine Maßnahmen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (HF): Anstechen aller Knollen auf 3 Flächen
- Frühjahr-Flächen (F): Keine Maßnahmen auf 3 Flächen



Beräumen der Fläche

Entfernen von Maurerschnur und Weidezaunpfosten, um uneingeschränkte Bearbeitung zu ermöglichen.

Ausbohr-Versuche

Methode

Mittels einer Benzinbohrmaschine mit einem Erdborner 100mm Durchmesser werden alle erfassten Blüten bzw. Blütencluster bis auf eine Tiefe von 25cm ausgebohrt. Auf der Hälfte der Versuchsflächen wurden in jedes Bohrloch mittels Meßkanne 0,5l Wasser nachgegossen, da es Literaturhinweise gibt, dass dies ein Faulen beschädigter Knollen begünstigen soll.



Versuchsaufbau

21 Versuchsquadrate 3x3m:

- 3 Flächen, auf denen keine Maßnahmen durchgeführt werden (Kontrolle)
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Frühjahr ausgebohrt werden (wird erst Frühjahr 2024 angelegt)
- 3 Flächen, auf denen die Knollen im Frühjahr und Herbst ausgebohrt werden
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Herbst ausgebohrt werden
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Frühjahr ausgebohrt werden und 0,5 l Wasser nachgegossen werden (wird erst Frühjahr 2024 angelegt)
- 3 Flächen, auf denen die Knollen im Frühjahr und Herbst ausgebohrt werden und 0,5 l Wasser nachgegossen werden
- 3 Flächen, auf denen die Knollen nur im Herbst ausgebohrt werden und 0,5l Wasser nachgegossen werden

Je 3x	Frühjahr	Frühjahr & Herbst	Herbst
Keine Maßnahme (Kontrolle)	Ausbohren trocken	Ausbohren trocken	Ausbohren trocken
	Ausbohren & Wasser nachgießen	Ausbohren & Wasser nachgießen	Ausbohren & Wasser nachgießen

Frühjahr 2025

Maßnahmendurchführung

28.05. & 03.06. – 04.6. 2025: +17 Personenstunden - 1 Person

Einmessen und Markieren der Versuchsflächen

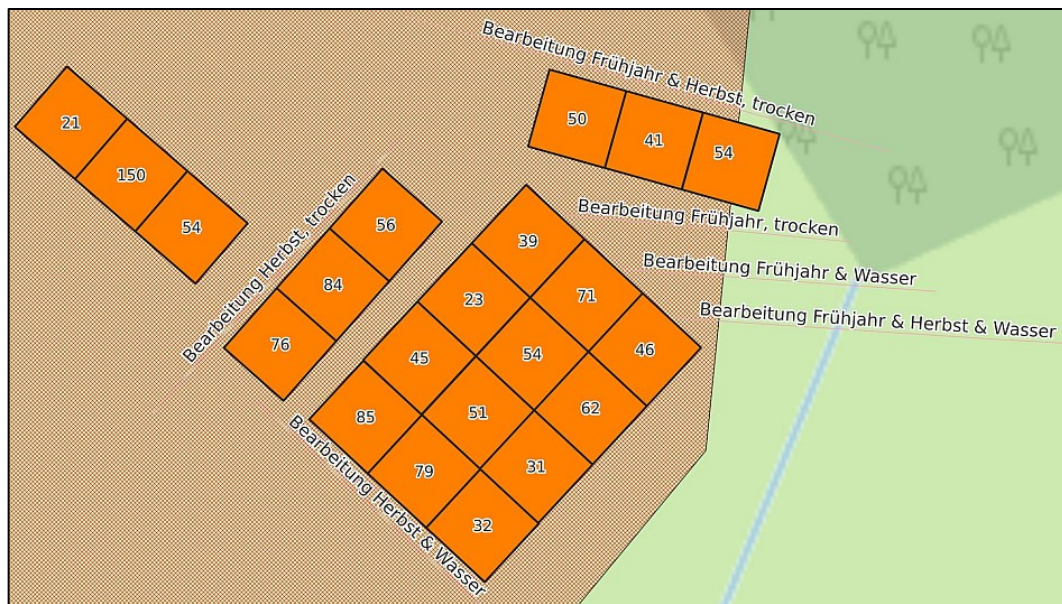
Ungefähr Lokalisierung der Versuchsflächen mittels GPS, Aufspüren der vergrabenen Magnete mittels Magnetsuchgerät, Markierung mit Weidezaunpfosten, Ausspannen mit einer vorbereiteter Maurerschnur, die alle 3m markiert ist.



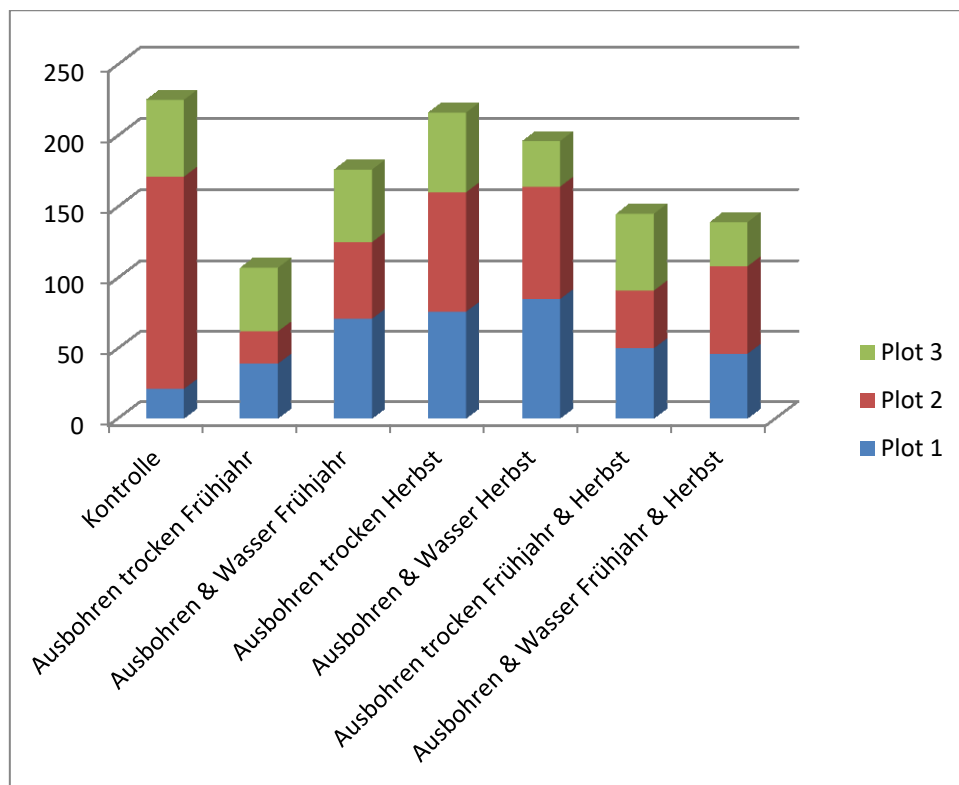
Kartierung

Auf allen Versuchsflächen wurden alle Individuen der Herbstzeitlose gezählt.

Kartierung Frühjahr 2025: Anzahl Pflanzen auf den jeweiligen Flächen			
Kontrollflächen	T-K 1	T-K2	T-K 3
Anzahl HZL	21	150	105
TF Ausbohren Herbst	T-AT-H_1	T-AT-H_2	T-AT-H_3
Anzahl HZL	76	84	56
TF Ausbohren Herbst & Wasser	T-AW-H_1	T-AW-H_2	T-AW-H_3
Anzahl HZL	85	79	32
TF Ausbohren Frühjahr & Herbst	T-AT-FH 1	T-AT-FH 2	T-AT-FH 3
Anzahl HZL	50	41	54
TF Ausbohren Frühjahr & Herbst & Wasser	T-AW-FH 1	T-AW-FH 2	T-AW-FH 3
Anzahl HZL	46	62	31
TF Ausbohren Frühjahr	T-AT-F_1	T-AT-F_2	T-AT-F_3
Anzahl HZL	39	23	45
TF Ausbohren Frühjahr & Wasser	T-AW-F_1	T-AW-F_2	T-AW-F_3
Anzahl HZL	71	54	51

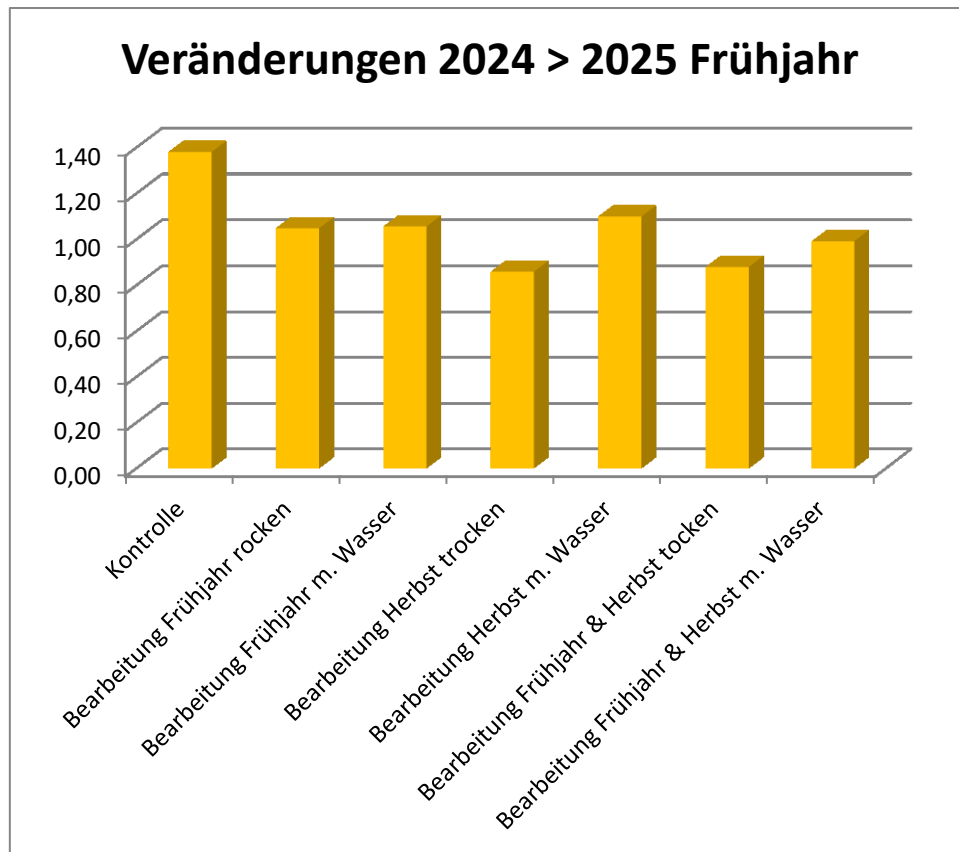


Karte 7: Ergebnisse der Kartierung Frühjahr 2025: Anzahl Pflanzen



Veränderungen		
Jahr		2024 > 2025
Kartierung		Frühjahr
Plot		Faktor
Kontrolle*	T-K 1	0,72
	T-K 2	2,59
	T-K 3	0,83
	Mittel	1,38
Bearbeitung Frühjahr trocken	T-AT-F_ 1	1,03
	T-AT-F_ 2	1,05
	T-AT-F_ 3	1,07
	Mittel	1,05
Bearbeitung Frühjahr m. Wasser	T-AW-F_ 1	0,94
	T-AW-F_ 2	1,06
	T-AW-F_ 3	1,17
	Mittel	1,06
Bearbeitung Herbst trocken	T-AT-H_ 1	1,06
	T-AT-H_ 2	0,69
	T-AT-H_ 3	0,82
	Mittel	0,86
Bearbeitung Herbst m. Wasser	T-AW-H_ 1	1,09
	T-AW-H_ 2	1,02
	T-AW-H_ 3	1,19
	Mittel	1,10
Bearbeitung Frühjahr & Herbst trocken	T-AT-FH 1	0,74
	T-AT-FH 2	0,93
	T-AT-FH 3	0,97
	Mittel	0,88
Bearbeitung Frühjahr & Herbst m. Wasser	T-AW-FH 1	1,15
	T-AW-FH 2	1,05
	T-AW-FH 3	0,78
	Mittel	0,99

Beide Varianten der Frühjahrs- und Herbstbearbeitung sowie die Herbstbearbeitung trocken zeigen im Mittel einen Rückgang der Pflanzen, die übrigen Bearbeitungsarten eine deutlich geringere Zunahme als die der Kontrolle. Die Variante der trockenen Bearbeitung zeigt durchgehend eine, wenn auch minimale, geringere Zunahme bzw. größere Abnahme. Auffällig sind die großen Unterschiede zwischen den drei Kontrollplots.



Durchgeführte Maßnahmen

- Frühljahrs-Flächen (T-AT-F₁): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen
- Frühljahrs-Flächen (T-AW-F₁): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen, Nachgießen von 0,5l Wasser ins Bohrloch
- Kontrollflächen (T-K): Keine Maßnahmen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (T-AT-FH): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (T-AW-FH): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen, Nachgießen von 0,5l Wasser ins Bohrloch

Bewertung

Bei dem sehr hohen Bewuchs wickelt sich das Gras um den Bohrer und verhindert weiteres Eindringen des Bohrers. Auch die Graswurzeln wickeln sich um die Bohrspitze und wirken als Schmierschicht, die ein Eindringen des Bohrers verhindert. Der Bohrer musste manuell vom aufgewickelten Gras und Wurzeln befreit werden, was aus Sicherheitsgründen jedes Mal ein Abschalten der Maschine erfordert. Die ist in der Regel bei jedem Bohrvorgang zwei bis drei Mal notwendig. Damit ist die Methode sehr uneffektiv und zeitraubend. Vorheriges Mähen der Fläche ist nur bedingt eine Option, da bei einer Schnitthöhe, bei der die Herbstzeitlose noch erkennbar ist, sich immer noch Gras um den Bohrer wickelt, und das Problem der Graswurzeln durch Mähen nicht zu lösen ist.

Der Erdbohrer bohrt die Knolle in wenigen Teilstücken aus, zerstört sie aber nicht unbedingt. Da der Auswurf wieder ins Bohrloch gefüllt wird, um Schäden an der Wiese zu minimieren, besteht die Möglichkeit, dass die Teilstücke der Knolle wieder austreiben können. Da die Versuche dazu dienen, eine Mechanikvarianten

für einen autonomen Einsatz zu evaluieren, ist ein manuelles Aussuchen der Reste nicht zweckdienlich.



Herbst 2025

Maßnahmendurchführung

15.-16.09., 25.09. & 06.10.2025 – 12 Personenstunden – 1 Person

Einmessen und Markieren der Versuchsflächen

Ungefähr Lokalisierung der Versuchsflächen mittels GPS, Aufspüren der vergrabenen Magnete mittels Magnetsuchgerät, Markierung mit Weidezaunpfosten, Ausspannen mit einer vorbereiteter Maurerschnur, die alle 3m markiert ist.



Kartierung Herbst 2025

Auf allen Versuchsflächen wurden alle individuellen Blüten der Herbstzeitlose gezählt (einschließlich der verblühten, soweit noch erkennbar).



Kartierung Herbst 2025: Anzahl Blüten auf den jeweiligen Flächen			
Kontrollflächen	T-K 1	T-K2	T-K 3
Anzahl HZL	31	131	43
TF Ausbohren Herbst	T-AT-H_1	T-AT-H_2	T-AT-H_3
Anzahl HZL	73	91	40
TF Ausbohren Herbst & Wasser	T-AW-H_1	T-AW-H_2	T-AW-H_3
Anzahl HZL	45	43	5
TF Ausbohren Frühjahr & Herbst	T-AT-FH 1	T-AT-FH 2	T-AT-FH 3
Anzahl HZL	2	6	22
TF Ausbohren Frühjahr & Herbst & Wasser	T-AW-FH 1	T-AW-FH 2	T-AW-FH 3
Anzahl HZL	12	20	7
TF Ausbohren Frühjahr	T-AT-F_1	T-AT-F_2	T-AT-F_3
Anzahl HZL	23	12	13
TF Ausbohren Frühjahr & Wasser	T-AW-F_1	T-AW-F_2	T-AW-F_3
Anzahl HZL	18	23	18



Karte 8: Ergebnisse der Kartierung Herbst 2025: Anzahl Blüten

Entwicklungstrend

Das Verhältnis von Pflanzen zu Blüten scheint in keiner festen Beziehung zu stehen und schwankt für die Jahre 2024-2025 und die einzelnen Probestellen zwischen 33:1 und 1:1,5. Rückschlüsse von der Anzahl der Blüten auf die Pflanzenpopulation einer Fläche scheinen somit nicht möglich zu sein. Auf einen Vergleich der Blütenzahlen mit dem Vorjahr wurde daher verzichtet.

Maßnahmen

- Herbst-Flächen (T-AT-H₁): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen
- Herbst-Flächen (T-AW-H₁): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen, Nachgießen von 0,5l Wasser ins Bohrloch
- Kontrollflächen (T-K): Keine Maßnahmen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (T-AT-FH): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen
- Frühjahr & Herbst-Flächen (T-AW-FH): Ausbohren aller Knollen auf 3 Flächen, Nachgießen von 0,5l Wasser ins Bohrloch

Probleme bei der Maßnahmendurchführung

Um die Probleme durch hohen Bewuchs zu vermeiden, wurden alle zu bearbeitenden Flächen zwei Wochen vor der Maßnahmendurchführung mittels Freischneider gemäht und die wiederausgetriebenen Blüten ausgebohrt.

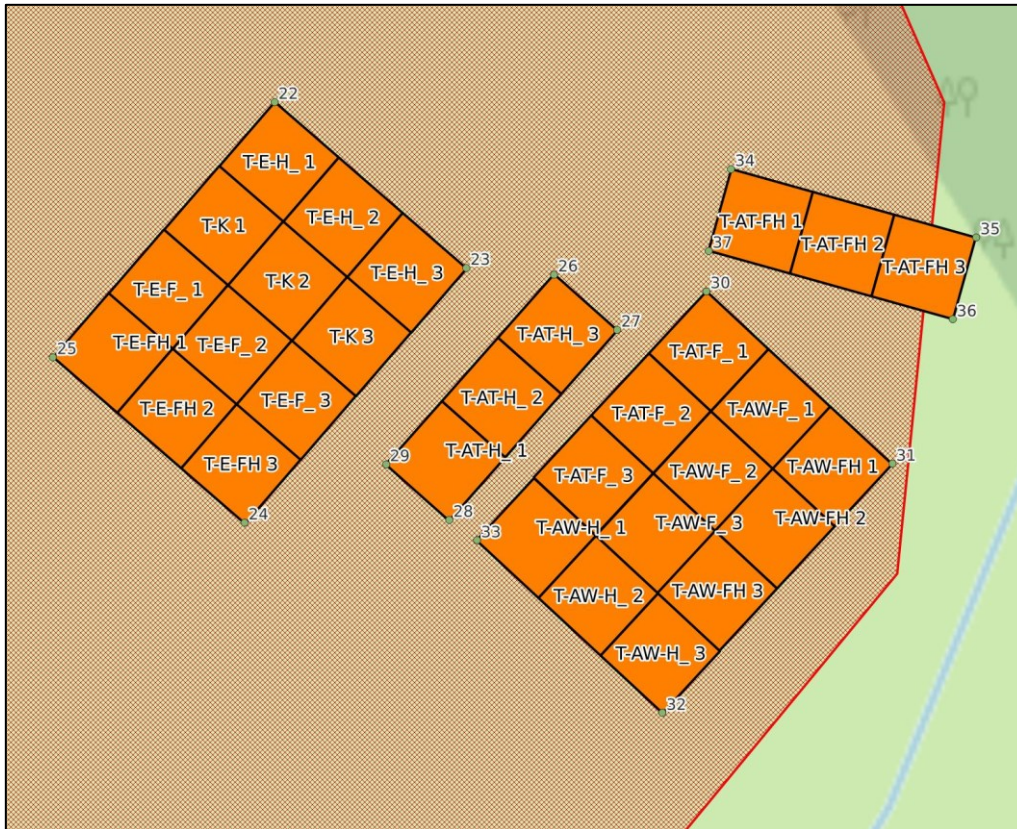
Trotz des Mähens bildet abgerissene Vegetation, insbesondere auch die Graswurzeln, bei jedem Ansatz des Bohrers ein Polster, das weiteres Eindringen des Bohrers verhindert. Erst nachdem dies vom Bohrer entfernt ist und der Bohrer auf blanker Erde angesetzt wird, geht der eigentliche Bohrvorgang problemlos. Aus Sicherheitsgründen muss zu jedem Reinigungsvorgang die Bohrmaschine abgeschaltet und anschließend neu gestartet werden.

Der Bohrer bohrt die Knolle in wenigen Teilstücken aus, zerstört sie aber nicht unbedingt. Da der Auswurf wieder ins Bohrloch gefüllt wird, um Schäden an der Wiese zu minimieren, besteht die Möglichkeit, dass Teilstücke der Knolle wieder eingebracht werden und wieder austreiben können. Da die Versuche dazu dienen, eine Mechanikvarianten für einen autonomen Einsatz zu evaluieren, ist ein manuelles Aussuchen der Reste nicht zweckdienlich.

Beräumen der Fläche

Entfernen von Maurerschnur und Weidezaunpfosten, um uneingeschränkte Bearbeitung zu ermöglichen.

Anhang



Karte 9: Lage der Einmesspunkte zu den Versuchsflächen

Da die mittels GPS gemessenen Einmesspunkte relativ ungenau sind (GPS Genauigkeit je nach Satellitenkonstellation zwischen 1 und 4m), wurden sie durch geometrische Einmesspunkte aus dem GIS ersetzt, die auf das Mobilgerät übertragen wurden. Das Auffinden im Gelände erfolgt in OSMAMD+ Pro 4.1.

Liste der Einmesspunkte (kml-Datei)

id	wkt_geom	Versuch	Plot
22	Point (9.00340718895271941 50.16092518683790047)	Technik-E	HE
23	Point (9.00353409143152916 50.16085482952799879)	Technik-E	HE
24	Point (9.00338722086081944 50.16074676857750347)	Technik-E	FH
25	Point (9.00326031838200969 50.16081695772729887)	Technik-E	FH
26	Point (9.00359215654087919 50.16085196810409741)	Technik-A	HE-T
27	Point (9.00363393189103967 50.16082857174939846)	Technik-A	HE-T
28	Point (9.00352279369531949 50.16074794681350113)	Technik-A	HE-T
29	Point (9.00348101834515013 50.16077151152700253)	Technik-A	HE-T
30	Point (9.00369304795260028 50.16084489870309682)	Technik-A	FJ-T
31	Point (9.00381627209869073 50.16077184816570167)	Technik-A	FH-W
32	Point (9.00366388402889939 50.1606661435036969)	Technik-A	HE-W
33	Point (9.00354118535891068 50.16073936252210075)	Technik-A	HE-W
34	Point (9.00370933771177917 50.16089674095230322)	Technik-A	FH-T
35	Point (9.00387170982751961 50.1608677900928015)	Technik-A	FH-T
36	Point (9.00385620828249067 50.16083311636590025)	Technik-A	FH-T
37	Point (9.00369462438091084 50.16086206724639851)	Technik-A	FH-T

Verwendetes Material & Geräte

- Magnetsuchgerät ProNivo SmartTrak ST101
- 16 Magnete (Fa. Attenberger)
- Magnetsetzer (Fa. Attenberger)
- 56 Weidezaunpfosten
- 246m vorbereitete, 3m-markierte Maurerschnur
- Gerade, 3-zinkige Grabgabel (Eigen-Umbau)
- Bitux Benzin Erdlochbohrer MS-18085 / AG63D
- Erdbohrer 100mm (Bitux MS 12933)
- Zweitakt-Gemisch 1:30
- 0,5l-Meßkanne
- 20l-Wasserkarister
- Schmale Gartenschaufel (Gardenline)
- Smartphone (Blackview BV6200 Pro) zum Einmessen (Osmand+ Pro 4.1.)

