

Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs

Schlussbericht Phase II 2013-2016

31.01.2017

Autor

Sascha Gregori, AWEL Zürich

Auftraggeber

Bericht im Auftrag des BAFU, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften

INHALT

Zusammenfassung	1
1 Einführung und Hintergrund	2
1.1 Grundlagen	2
1.2 Projektphase 2008-2012	2
1.2.1 Ziel und Fragestellungen zu Beginn (2008):	2
1.2.2 Behandlungen	3
1.2.3 Arbeitshypothese Tilgung	4
1.2.4 Erkenntnisse	4
1.2.5 Offene Fragen	4
1.3 Projektphase 2013-2016	4
1.3.1 Das Übergangsjahr 2013	4
1.3.2 Zielsetzung, Fragestellungen und Arbeitshypothese	5
2 Methoden	6
2.1 Organisation und Ausführung	6
2.2 Zustandserhebung	6
2.2.1 Standortbezeichnung	7
2.2.2 Definition eines Bestandes	7
2.2.3 Parameter	9
2.3 Ausgeschiedene Versuchsflächen	10
2.4 Behandlung und Unterhalt	11
2.4.1 Chemische Methoden	11
2.4.2 Mechanische Methode	11
2.4.3 Unterhalt 11	
3 Resultate und Interpretation	13
3.1 Unterhalt	13
3.2 Tilgungsverifikation	15
3.3 Biomassereduktion 2008-2014	16
3.3.1 Biomassveränderung zwischen Mai und August	19
3.4 Entwicklung der chemisch behandelten Flächen	20
3.5 Rhizomgrabungen und Sprossversuche 2016	20
4 Diskussion	22
5 Schlussfolgerungen	24
6 Dank	24
7 Literaturverzeichnis	25
Anhang A Entwicklung der chemisch behandelten Flächen	1
A 1.1. Gleichheit der chemisch behandelten Flächen 2014 -2016	4
A 1.1.1. Dichte Klassen	4
A 1.1.2. Absenz / Präsenz	4
A 1.1.3. Interpretation	4
A 1.2. Differenz der chemisch behandelten Flächen 2014 - 2016	5
A 1.2.1. Dichte Klassen	5
A 1.2.2. Absenz / Präsenz	5
A 1.3. Summen der chemisch behandelten Flächen 2014 - 2016	6
A 1.3.1. Dichte Klassen	6
A 1.3.2. Absenz / Präsenz	6

A 1.3.3.	Behandlungsalter	7
A 1.3.4.	Chemische Methoden	7
A 1.4.	Auffälligkeiten bezüglich Kantone	8
A 1.4.1.	Tessin	8
A 1.4.2.	Wallis	9

Anhang B	Rhizomgrabungen und Sprossversuche 2016	1
B 1.	Allgemeines	1
B 2.	Methodik	1
B 2.1.	Grabung	1
B 2.2.	Datenerhebung	2
B 2.3.	Sprossversuch	3
B 3.	Resultate und Interpretation	4
B 3.1.	Rhizomgrabungen	4
B 3.1.1.	LU06 (Kontrollfläche)	4
B 3.1.2.	LU07 (chemisch behandelte Fläche)	4
B 3.1.3.	ZH15 (mechanisch behandelte Fläche)	5
B 3.2.	Sprossversuch	7
B 4.	Diskussion	9

ZUSAMMENFASSUNG

Der Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) ist ein invasiver Neophyt aus dem ostasiatischen Raum. Aufgrund seines schnellen und dichten Wachstums verdrängt er die restliche Vegetation und bildet ausgedehnte Monokulturen. Die Auswirkungen auf die Biodiversität, auf die Wirtschaft und die Umwelt sind weitestgehend negativer Art.

Der „Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs“ startete im Herbst 2007 mit dem Ziel, verschiedene Massnahmen zur Bekämpfung des Japanknöterichs zu prüfen und ihre Wirksamkeit, ihre Nebenwirkungen und die praktische Durchführung zu testen. Die ursprünglich geplante Versuchsdauer von vier Jahren erwies sich als zu kurz um eine mögliche Tilgung zu erreichen, beziehungsweise zu bestätigen. Das Projekt wurde daher bis 2016 mit dem Ziel verlängert, die Entwicklung der Bestände weiter zu verfolgen und angepasste Behandlungsmethoden zu evaluieren. Es interessierte vor allem, weshalb eine mögliche Tilgung innerhalb von vier Jahren nicht erreicht werden konnte, beziehungsweise ob eine Tilgung durch eine fortwährende chemische oder mechanische Behandlung doch noch erreicht werden könnte.

Im Rahmen dieses Versuchs wurde ein Bestand als getilgt betrachtet, wenn während drei aufeinanderfolgenden Jahren oberirdisch keine Knöterichsprosse mehr festgestellt werden konnten. In der Gruppe der mechanischen Behandlung gab es während der gesamten Versuchsdauer keinen Standort, auf dem während eines oder mehrerer Jahre keine oberirdischen Knöterichsprosse vorhanden waren. Dass die Rhizome durch einen häufigen Schnitt durchaus in Mitleidenschaft gezogen wurden, konnte gezeigt werden (s.u. Rhizomgrabungen). Bei den siebenzig chemisch behandelten Beständen konnte der Zustand von drei aufeinanderfolgenden Jahren ohne oberirdische Knöterichsprosse nur auf fünf Versuchsflächen im Wallis und einer im Kanton Luzern und damit bei weniger als 10% erreicht werden. Es scheint nicht entscheidend für den Zustand eines Bestandes, wie lange er chemisch behandelt wird.

Rhizomgrabungen auf drei Standorten haben ergeben, dass die Unterschiede bezüglich der Verteilung der Rhizome zwischen der Kontrollfläche (ohne Behandlung) und den beiden behandelten Beständen (chemisch bzw. mechanisch) gross sind. Unter dem nicht behandelten Bestand finden sich die Rhizome in nicht weniger als 2m Tiefe. Beim chemisch behandelten Bestand unmittelbar daneben sind es nur 80cm. Die Stichproben ergaben Hinweise, dass die Entstehungsgeschichte wie beispielsweise bauliche Massnahmen oder ein natürliches Wachstum von oben herab für die Verteilung der Rhizome im Boden mitverantwortlich sind. Die Untersuchung der ausgegrabenen Rhizomteile nach zwei Monaten im Gewächshaus zeigt, dass die nicht behandelte Kontrollgruppe noch äusserst vital ist. 95% der Stichproben aus der Kontrollgruppe zeigten vitale feine Wurzeln zur Nährstoffaufnahme und 52% zeigten zum Teil sogar mehrere neue Sprosse, welche zu bis zu 35 cm hohen Pflanzen heranwuchsen. Die Stichproben der behandelten Bestände zeigten sowohl bei der chemischen als auch bei der mechanischen Gruppe stark reduzierte Vitalität. Nur die Hälfte dieser Proben zeigte vitale Wurzeln und lediglich 6% (2 von 33) wiesen jeweils einen neuen Spross auf.

Es muss auf jeden Fall auch bei oberirdisch knöterichfreien Flächen damit gerechnet werden, dass in den Folgejahren wieder ein Wachstum möglich ist und dass die Rhizome im Boden in Folge einer Störung (z.B. bauliche Eingriffe) sofort wieder neue Sprosse bilden können. Betrachtet man die Entwicklung der chemisch behandelten Bestände, fällt auf, dass sich die Präsenz und Absenz von oberirdischen Knöterichsprossen auf einem Standort von Jahr zu Jahr häufig räumlich unterscheidet. Der sogenannte Whac-A-Mole-Effekt ergänzt die Möglichkeit zur Beschreibung der Resultate einer langjährigen Behandlung des Knöterichs mit Glyphosat. Stark dezimierte aber immer noch vitale Knöterichsprosse sind selbst nach acht Jahren chemischer Behandlung in den meisten Fällen immer noch mehr oder weniger konstant vorhanden. Auch wenn diese für eine weitere chemische Behandlung gefunden werden können, kann durch die winzige Blattoberfläche nicht genügend Wirkstoff aufgenommen werden, weshalb eine Behandlung im Rhizom kaum einen Effekt erzielt. Die Vermutung liegt nahe, dass dies ein Grund für den ausbleibenden Tilgungserfolg der chemischen Behandlung ist.

1 EINFÜHRUNG UND HINTERGRUND

1.1 GRUNDLAGEN

Der Japanknöterich (*Reynoutria japonica*) ist ein invasiver Neophyt, der aus dem ostasiatischen Raum stammt. Aufgrund seines schnellen Wachstums und des dichten Blätterdachs verdrängt die Pflanze die restliche Vegetation und bildet bei ungestörter Ausbreitung, die rein vegetativ über Rhizome oder Sprosstücke geschieht, ausgedehnte Monokulturen. Neben den negativen Auswirkungen auf die Biodiversität sind Bestände des Japanknöterichs entlang von Gewässern besonders problematisch, da sie durch ihren dichten Wuchs die Bildung einer Krautschicht verhindern und im Winter oberirdisch absterben. Dadurch wird die Ufererosion stark erhöht (Erfahrung des Gewässerunterhalts, AWEL, Kanton ZH). Zudem breitet sich die Pflanze durch das Wegschwemmen der Rhizome weiter aus.

Die Tilgung der Art gestaltet sich als äusserst schwierig, da der unterirdische Teil der Pflanze 65% der Biomasse ausmacht (Adler, 1993). Es wurden unzählige Versuche dokumentiert den Staudenknöterich zu bekämpfen (Bollens, 2005), konkrete Angaben über die effektivsten Methoden und deren längerfristigen Auswirkungen fehlten jedoch.

Der „Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs“ wurde im Herbst 2007 mit dem Ziel gestartet, verschiedene Massnahmen zur Bekämpfung des Japanknöterichs zu prüfen und ihre Wirksamkeit, ihre Nebenwirkungen und die praktische Durchführung zu testen. 2008 wurden in den Kantonen Aargau, Bern, Glarus, Luzern, Wallis und Zürich Versuchsflächen eingerichtet. Für die Datenerhebung und die Behandlung setzten die beteiligten Kantone geschulte Praktiker, Praktikanten und Grünplaner ein. Das Projekt wurde 2013 ohne den Kanton Aargau, dafür neu mit dem Kanton Tessin um weitere vier Jahre bis 2016 verlängert.

1.2 PROJEKTPHASE 2008-2012

1.2.1 Ziel und Fragestellungen zu Beginn (2008):

Das Ziel dieses Projektes war es zu evaluieren, ob, wie und in welchem Zeitrahmen die Tilgung eines beliebigen Knöterichbestandes erreicht werden kann und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten.

- Kann der Japanknöterich mit mechanischen oder chemischen Massnahmen getilgt werden?
- Wie lange müssen die Behandlungen bis zur Tilgung durchgeführt werden?
- Wie gross ist der Aufwand für die Tilgung (zeitlich und finanziell)?
- Welches sind die Kollateralschäden?
- Was ist die best practice?
- Entscheid über die Bekämpfung des Knöterichs in sensiblen Gebieten.

Diese erste Phase wurde 2012 mit einem ausführlichen Bericht (Bollens & Fischer, 2013) abgeschlossen.

1.2.1.1 Definition und Erhebung eines Knöterichbestandes

Als Bestand betrachtete man eine oberirdisch abgrenzbare Ansammlung von Knöterichsprossen. Innerhalb eines solchen Bestandes wurden jeweils 2 Dauerquadrate à 1m² eingerichtet, in welchen die genaueren Untersuchungen wie Stängelzählungen oder Vegetationserhebung durchgeführt wurden.

Wichtige Auswahlkriterien für die Bestände waren die Grösse (mindestens vier Quadratmeter) und ein Minimalabstand von vier Meter zum nächsten Knöterichbestand, sowie die Gewährleistung, dass während der Versuchsdauer keine anderen Massnahmen auf der Fläche durchgeführt werden. 2008/09 wurden insgesamt 100 Versuchsflächen eingerichtet, im Jahr 2011 kamen zehn weitere Standorte hinzu.

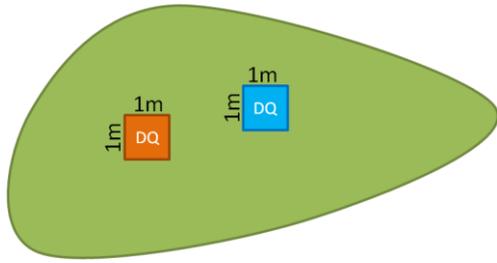


Abbildung 1: In den Beständen wurden an den dichtesten Stellen zwei Dauerquadrate (DQ) zur Stängelzählung und Biomasseschätzung eingerichtet.

Zur Bestimmung der Biomasse wurden jeweils im Mai folgende Parameter auf den Standorten erhoben:

- Anzahl Stängel pro Dauerquadrat (DQ)
- Mittlerer Stängeldurchmesser pro DQ
- Durchschnittliche Höhe des Knöterichs im gesamten Bestand

1.2.2 Behandlungen

Nach der Erhebung des Ausgangszustandes im Mai 2008 wurden auf den Versuchsflächen verschiedene Behandlungsmethoden (Tabelle 1) durchgeführt: Herbizid in verschiedenen Konzentrationen und Repetitionen (6 Varianten), Schneiden plus Spritzen (4 Varianten), Stängelinjektion (3 Varianten) und sechsmaliger Schnitt (2 Varianten). Es wurden verschiedene Applikationstechniken (Rückenspritze, Stängelinjektion, Handspritze) und unterschiedliche Anwendungszeitpunkte getestet. Insgesamt wurden 13 Variationen chemischer Behandlungen auf 61 Standorten untersucht. Jede Behandlung wurde auf 4 bis 6 Versuchsflächen wiederholt, die mechanischen Behandlungen durch Schnitt auf 15 Standorten. Bei jeder Behandlung wurden Angaben zur Ausführung (zeitlicher Aufwand, verwendete Herbizidmenge, etc.) dokumentiert. Als Wirkstoff fand ausschliesslich Glyphosat Anwendung. 9 Bestände wurden nicht behandelt und dienen als Kontrolle. Die Koordination der Behandlungen und Zustandserhebungen erfolgte durch die Projektleitung und den jeweiligen kantonalen Teamleiter.

Methoden	Standorte
<i>mechanische Behandlung</i>	15
M1 6x Schneiden	8
M2 6x Schneiden plus 1x Umgraben	3
M0 Behandlungsstopp	4
<i>chemische Behandlung Blattapplikation</i>	48
C1 1x Spritzen August 2%ige Lösung	3
C2 2x Spritzen Juni und August 2%ige Lösung	4
C3* 2x Spritzen Mai und August 2%ige Lösung	4
C4 1x Schneiden Juni – 1x Spritzen August 2%ige Lösung	3
C5 1x Schneiden Juli – 1x Spritzen August 2%ige Lösung	3
C6 1x Schneiden Juni – 1x Spritzen Juli 2%ige Lösung	2
C7 1x Schneiden Juli – 1x Spritzen August 2%ige Lösung plus 1x Umgraben	2
C8** 1x Spritzen August 10%ige Lösung	4
C9** 1x Spritzen August 30%ige Lösung	5
H1 1x Handspritze August	4
F0 Behandlungsstopp für 1 Jahr	14
<i>chemische Behandlung Stängelmanipulation</i>	13
S1 Stängelinjektion 4 ml unverdünnt, alle Stängel	5
S2 Stängelinjektion 4 ml 1:2 verdünnt, alle Stängel	5
S3 Stängelinjektion 4 ml unverdünnt, 5 Stängel/m ²	3
<i>nicht behandelte Bestände</i>	9
K0 Keine Behandlung	9
Total	85

Tabelle 1: Durchgeführte Behandlungen 2008-2012.

* Start 2009 ** Start 2011

Aufgrund der anhaltenden regelmässigen Austriebe während des Versuchs, tauchten Fragen zur Wirkung von höheren Herbizidkonzentrationen auf, weshalb im Jahr 2011 weitere 10 Bestände mit 10%- beziehungsweise mit 30% Konzentrationen hinzugefügt wurden.

In Folge verschiedener Faktoren (unsachgemässe Behandlung, irrtümliches Mähen, Bauvorhaben etc.) mussten im Verlaufe des Versuchs 22 Standorte aufgegeben werden.

1.2.3 Arbeitshypothese Tilgung

Als Tilgung wird die vollständige Elimination eines Bestandes (ober- und unterirdisch) an einem Standort verstanden. In der ersten Projektphase wurde folgende Annahme (Arbeitshypothese) getroffen: Ein Bestand gilt als möglicherweise getilgt, wenn zwischen Mai 2010 und Mai 2012, also während drei aufeinanderfolgenden Behandlungsjahren, keine oberirdischen Sprosse des Japanknöterichs im gesamten Bestand mehr feststellbar sind. Diese Arbeitshypothese wurde im Bewusstsein aufgestellt, dass das Fehlen von oberirdischer Biomasse nicht mit dem vollständigen Absterben der unterirdischen Biomasse gleichzusetzen ist. Die Arbeitshypothese dient dem Zweck, die Resultate kategorisierbar zu machen. Dies insbesondere vor dem Hintergrund der späteren Anwendung in der Praxis (Übergang in den normalen Unterhalt auf den Versuchsflächen). Es war schon damals klar, dass für die Verifikation der Arbeitshypothese eine Verlängerung der Projektdauer nötig wäre

1.2.4 Erkenntnisse

Die Ziele bei der Knöterichbekämpfung können in einen konkreten zeitlichen Rahmen gesetzt werden:

- Mehr als 65% Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse erreichte man nach einem Jahr chemischer Behandlung (2% Herbizidkonzentration) oder nach zwei bis drei Jahren mechanischer Behandlung (sechs Schnitte/Jahr).
- Mehr als 95% Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse erreichte man durch eine einmalige Applikation einer hohen Herbizidkonzentration (30%) oder innerhalb von zwei Jahren mit tiefer Konzentration (2%). Es gilt zu beachten, dass im ersten Fall der Wirkstoffeintrag um ein Vielfaches höher ist.
- Die Hypothese, dass, wenn während drei Jahren oberirdisch keine Biomasse beobachtet werden kann, auch alle unterirdischen Rhizome eingegangen sind, dass also der Bestand möglicherweise getilgt ist, konnte während der ersten vier Versuchsjahre nicht abschliessend untersucht werden.
- Es muss grundsätzlich sichergestellt werden, dass in den Folgejahren nach dem mutmasslichen «verschwinden» der Stängel eine Nachkontrolle durchgeführt wird, um den Erfolg der Behandlung zu bestätigen.

1.2.5 Offene Fragen

- Welches sind die Gründe, dass eine mögliche Tilgung innerhalb von vier Jahren nicht erreicht werden konnte?
- Wie lange dauert es, bis mehrere Bestände getilgt sind und welche Methode führt dazu?
- Der Trend der Daten deutet darauf hin, dass es deutlich mehr als 10 Jahre dauern wird, bis mit mechanischen Behandlungsmethoden nur noch gelegentlich vereinzelte Wiederaustriebe festgestellt werden können. Hält dieser Trend bei konstanter Behandlung an?

1.3 PROJEKTPHASE 2013-2016

1.3.1 Das Übergangsjahr 2013

Die ursprünglich geplante Versuchsdauer von vier Jahren erwies sich als zu kurz um eine mögliche Tilgung zu erreichen beziehungsweise zu bestätigen. Das Projekt wurde daher bis 2016 verlängert. Als Grundlagen dienen die Erkenntnisse, aber auch die offenen Fragen, welche sich während der ersten Versuchsphase 2008-2012 ergaben. Die Behandlung der Bestände wurde 2013 analog zu den Vorjahren weitergeführt. Nach dem personellen Wechsel der Projektleitung wurde die Fragestellung neu formuliert und die Methodik für die zweite Phase 2014-2016 angepasst.

1.3.1.1 Neue Standorte seit 2013

2013 wurden 16 Flächen auf einem Tessiner Standort in der Nähe von Riazzino in die Versuchsreihe aufgenommen. Nebst vier Kontrollflächen ohne Behandlung, wurden je vier Flächen mit 2%, 10% und 30% Herbizidkonzentrationen behandelt.

1.3.1.2 Der Kanton Aargau verlässt den Pilotversuch

Zum Jahresbeginn 2013 verlässt der Kanton Aargau den Pilotversuch. Die Versuchsflächen werden von den Verantwortlichen weiter fachmännisch betreut.

1.3.2 Zielsetzung, Fragestellungen und Arbeitshypothese

Das Ziel der zweiten Phase war es, die Entwicklung der Bestände weiter zu verfolgen und angepasste Behandlungsmethoden zu evaluieren. Folgende offenen Fragestellungen aus der ersten Phase wurden somit weitergeführt:

- Welches sind die Gründe, dass eine Tilgung innerhalb von vier Jahren nicht erreicht werden konnte?
- Wie lange dauert es, bis mehrere Bestände getilgt sind und welche Methode führt dazu?
- Der Trend der Daten deutet darauf hin, dass es deutlich mehr als 10 Jahre dauern wird, bis mit mechanischen Behandlungsmethoden nur noch gelegentlich vereinzelte Wiederaustriebe festgestellt werden können. Hält dieser Trend bei konstanter Behandlung an?

Neue Fragen die sich im Laufe der Vorjahre stellten:

- Wie kann die chemische Behandlung für die stark reduzierte oberirdische Knöterichbiomasse optimiert werden?
- Wie muss der Unterhalt eines stark reduzierten Knöterichbestandes angepasst werden, um die chemische Behandlung weiterhin zu ermöglichen?

Auch in der zweiten Projektphase wurde folgende Annahme (Arbeitshypothese) getroffen: Ein Bestand gilt als möglicherweise getilgt, wenn während drei aufeinanderfolgenden Behandlungsjahren keine oberirdischen Sprosse des Japanknöterichs im gesamten Bestand mehr feststellbar sind.

Die folgenden Kapitel widmen sich der in der zweiten Projektphase angewandten Methodik, den Resultaten und deren Interpretation beziehungsweise deren Diskussion.

2 METHODEN

2.1 ORGANISATION UND AUSFÜHRUNG

Die Projektoberleitung bestimmt die Strategie und deren Kommunikation und verabschiedet die Berichte. Die Projektleitung ist für die Planung und Gestaltung der Versuche, die Koordination aller Beteiligten und für die Datenauswertung und Berichterstellung verantwortlich. Die chemische Behandlung der Knöterichstandorte wurde in der ganzen Schweiz durch G. Popow (Pflanzenschutzfachstelle des Kantons Zürich Strickhof Lindau) umgesetzt. Die Erhebung der Daten wurde durch Spezialisten aus dem Bereich Umweltwissenschaften, im Tessin durch OIKOS2000 und in den restlichen Kantonen durch De Micheli & Bertiller durchgeführt. Das Projektteam besteht aus jeweils einem Vertreter der beteiligten Kantone. Jedes Mitglied ist für die Umsetzung der Massnahmen (Unterhalt, Schnitt, Kontrollgänge, etc.) im jeweiligen Kanton zuständig.

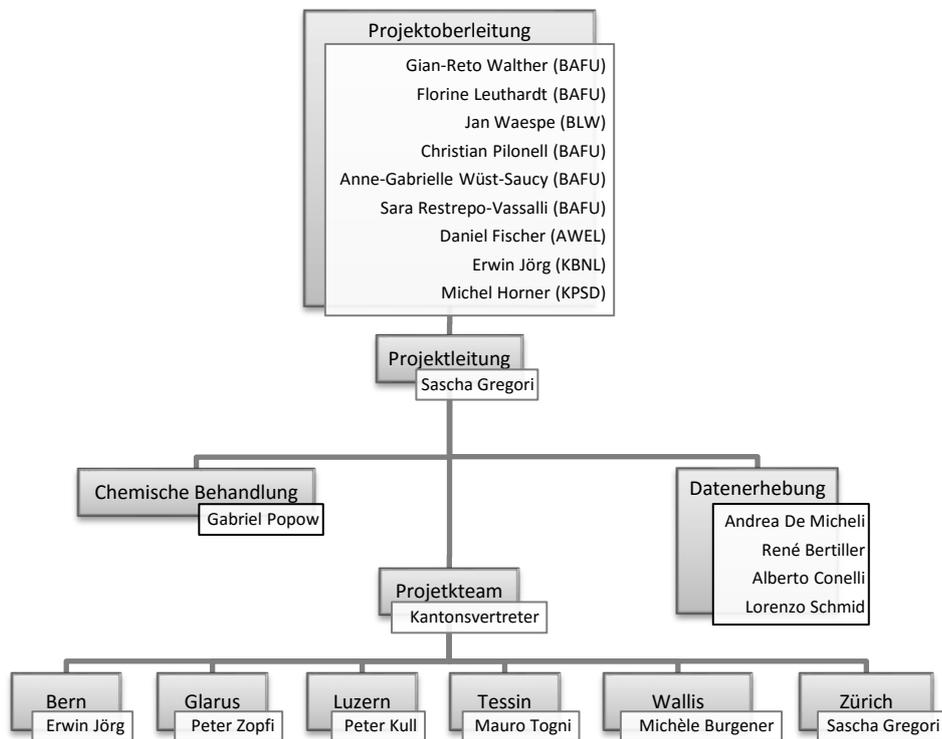


Abbildung 2: Organigramm zum Pilotversuch zur Bekämpfung des Japanknöterichs 2014-2016.

2.2 ZUSTANDSERHEBUNG

Für die Zustandserhebungen der Bestände wurde, mit Ausnahme der Standorte im Tessin, die Arbeitsgemeinschaft De Micheli & Bertiller beauftragt, welche bereits seit 2008 die Vegetationserhebungen durchführten und daher mit den Standorten vertraut waren. Für die 16 Flächen in Riazzino (TI) wurde die Firma OIKOS2000 aus dem benachbarten Monte Carasso beauftragt. A. Conelli und L. Schmid führten seit der Installation der Versuchsflächen 2013 die Überwachung, den Unterhalt und die Zustandserhebungen durch. Die Zustandserhebungen fanden 2014 im Mai auf allen Standorten, und auf den chemisch behandelten Flächen erstmalig auch im August statt. So konnte die Entwicklung am Ende der Vegetationsperiode beurteilt werden (siehe Kapitel 3.3.1. Seite 19). In den Jahren 2015 und 2016 wurden die Zustände auf den chemisch behandelten Flächen nur noch im August erhoben und die Knöterichsprosse markiert, um bei der anschliessenden Behandlung Zeit sparen zu können.

2.2.1 Standortbezeichnung

Die Bezeichnung der 90 Standorte wurde aus der ersten Versuchsphase übernommen. Es wird ein vierstelliger Code verwendet. Die ersten beiden Buchstaben bezeichnen den Kanton, die folgenden zwei Zahlen die Laufnummer (z.B. GL01, ZH21, etc.). Die Standorte können auch in Gruppen entsprechend der Behandlung zusammengefasst werden. Der Buchstabe F dient dabei zur Unterscheidung der Methoden des Folgeprojekts (2014-2016) von der ersten Phase des Pilotversuchs (2008-2013):

Behandlungsgruppe	Anzahl	2008-2013	Anzahl	2014-2016
Chemische Behandlung	58	C-Flächen	70	FC-Flächen
Mechanische Behandlung	11	M-Flächen	11	FM-Flächen
Kontrollflächen	9	K-Flächen	9	FK-Flächen
Total	78	Flächen	90	Flächen

2.2.2 Definition eines Bestandes

Was zu Beginn einer chemischen Behandlung noch offensichtlich und klar als Knöterichbestand abgegrenzt werden konnte, war bereits nach zwei Jahren nicht mehr eindeutig als Bestand erkennbar. Die drastische Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse nach der chemischen Behandlung machte es nötig, den behandelten Bestand im Gelände klar zu markieren und als Beurteilungsperimeter anzusprechen.

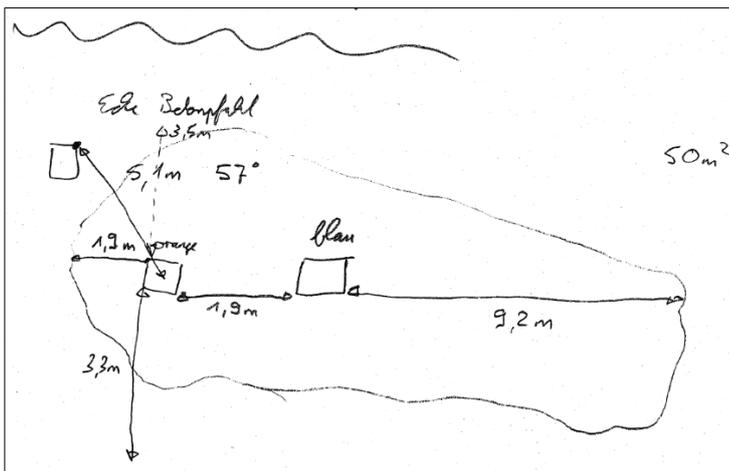


Abbildung 3:Standortskizze LU04 aus dem Erfassungsprotokoll 2008.



Abbildung 4:Übersichtsfoto von LU04 nach Installation der Dauerquadrate im Mai 2008.

Häufig war es in der Vergangenheit schwierig einen Bestand als „oberirdisch knöterichfrei“ zu bezeichnen, da die Topographie der Bestände 2008 nicht ausreichend erfasst und die behandelte Fläche nicht genau definiert wurde.

Bei der Zustandserhebung im Mai 2014 wurden sämtliche FC-Flächen mit Pfosten und Markierband abgegrenzt (siehe Abbildung 6/Abbildung 7). Die kaum mehr sichtbaren Knöterichsprosse wurden so vor äusseren (hauptsächlich menschlichen) Einflüssen besser geschützt und für weitere Beurteilungen und Behandlungen wurde klar definiert, welcher Perimeter als Bestand bezeichnet wird.

Die Bestände wurden vermessen, fotografiert und skizziert, sodass für den Fall, dass die Markierungen einmal fehlen sollten, dieselbe Ausgangslage wiederhergestellt werden konnte.

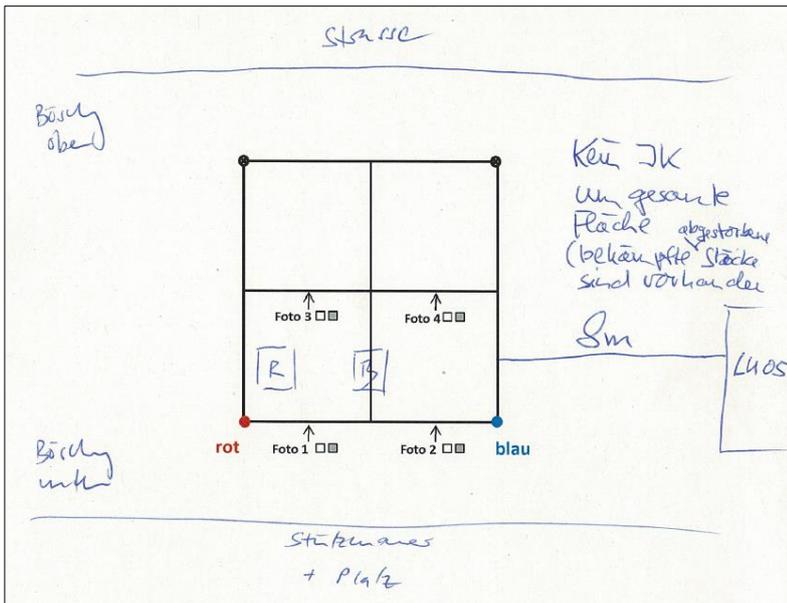


Abbildung 5: Standortskizze LU04 aus dem Erfassungsprotokoll 2014.

Die Standortbegrenzung wurde auf ein schematisches Viereck reduziert um die Protokollblätter zu vereinheitlichen.



Abbildung 6: Übersichtsfoto von LU04 nach Installation der Standortbegrenzung im Mai 2014.

Für die Zustandserhebung wurden die Flächen jeweils in Quadranten unterteilt (siehe Abbildung 8). Falls sich nach der starken Dezimierung zeigen sollte, dass einzelne Knöterichvorkommen innerhalb eines Bestandes immer am selben Ort vorkommen, wäre dies eine interessante Tatsache, aus der sich allenfalls neue Fragestellungen ableiten liessen.



Abbildung 7: Sofern es für die Unterhaltsdienste keine Behinderung darstellte, wurden auch Flächen, wie hier an der Glattfelder Kantonsstrasse klar definiert und geschützt.

Bild: A. De Micheli, 2014



Abbildung 8: Für die Lokalisierung von allfälligen Knöterichresiduen wurde die Fläche bei der Zustandserhebung in Quadranten aufgeteilt. Gut zu sehen auch die beiden Dauerquadrate, auf welchen seit 2008 die Daten zur Berechnung der Biomasse erhoben wurden.

Bild: A. De Micheli, 2014

2.2.3 Parameter

2.2.3.1 Chemisch behandelte Flächen

Zur Beurteilung des Zustands der oberirdischen Knöterichbiomasse der FC-Standorte wurden jeweils im August (siehe auch 3.3.1 Seite 19) die folgenden Grössen erfasst:

Dauerquadrate: Anzahl Stängel, Stängeldurchmesser, längster Stängel.

Pro Quadrant im Bestand: längster Spross, Deckungsgrad [0%, <1%, 1-5%, 5-25%, >25%], Anzahl Stängel pro Längsenklasse [<0.2m, 0.2-1m, >1m].

Ganzer Bestand: mittlere Bestandes Höhe.

2.2.3.2 Mechanisch behandelte Flächen und Kontrollflächen

Die Beurteilung der oberirdischen Knöterichbiomasse fand auf den FM- und FK-Flächen jeweils im Mai statt. Dabei wurden die folgenden Grössen erfasst:

Dauerquadrate: Anzahl Stängel, Stängeldurchmesser, längster Stängel.

Ganzer Bestand: längster Spross, mittlere Bestandeshöhe.

2.3 AUSGESCHIEDENE VERSUCHSFLÄCHEN

Die Aufgabe, beziehungsweise das Ausscheiden einzelner Versuchsflächen musste während der gesamten Projektdauer immer wieder hingenommen werden. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung der seit 2014 aus dem Projekt ausgeschiedenen Flächen.

ID	Start	Stopp	Gruppe	Grund für die Entlassung
BE01	2008	2014	FC	Der Standort wurde vor der Erhebung gemäht.
BE02	2008	2014	FC	Der Standort wurde vor der Erhebung gemäht.
GL11	2008	2016	FK	Aushubarbeiten im Rahmen eines Meliorationsprojektes.
TI14	2013	2015	FK	Standort von Pächter überbaut.
TI18	2013	2015	FC	Standort von Pächter überbaut.
VS04	2008	2015	FM	Ressourcenmangel
VS05	2008	2015	FM	Ressourcenmangel
VS06	2008	2015	FK	Ressourcenmangel
VS10	2008	2015	FK	Ressourcenmangel
VS11	2008	2015	FC	Beweidung und Entfernung der Markierungen.
VS12	2008	2015	FK	Ressourcenmangel
ZH17	2008	2014	FC	Beurteilungsperimeter konnte nicht erhalten werden.
ZH29	2008	2014	FK	Herbizidbehandlung durch Unterhalt.
ZH37	2011	2014	FC	Beurteilungsperimeter konnte nicht erhalten werden.

Tabelle 2: Zusammenstellung der ausgeschiedenen Flächen 2014-2016.

2.3.1.1 Wallis

Aufgrund der Ressourcenknappheit beim Kanton Wallis und der grossen Entfernung zur Projektleitung in Zürich mussten die Kontrollflächen und die mechanisch behandelten Flächen aufgegeben werden. Nicht mehr im Versuch berücksichtigt wurden aus diesem Grund VS04, VS05, VS06, VS10 und VS12.

2.3.1.2 Tessin

Als sich die Pachtverhältnisse auf den Parzellen der Landwirtschaftsfläche mit den Versuchsflächen in Riazino TI veränderten, wurden zwei Standorte (TI14 und TI 18) mit einem Gemüseanbautunnel überbaut.



Abbildung 9: Überbaute Kontrollfläche TI14 in Riazino. Das orange Dauerquadrat ist im Hintergrund noch knapp zu sehen. (Bild: L. Schmid, 2015)

2.4 BEHANDLUNG UND UNTERHALT

Für die Durchführung der chemischen Behandlungen auf sämtlichen Projektstandorten wurde Gabriel Popow beauftragt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass die Behandlungen konstant auf dieselbe Art und Weise erfolgten.

2.4.1 Chemische Methoden

Für die chemische Behandlung mit der Rückenspritze (Birchmeier) wurde das Produkt «Touchdown System 4» mit 360 g Glyphosat a.e. pro Liter¹ verwendet. Dies entspricht bei einer 2% Herbizidkonzentration einer Lösung mit 7.2 g Wirkstoff pro Liter Spritzbrühe².

Es wurde keine spezifische Wirkstoffmenge angestrebt. Die ausgebrachte Menge Glyphosat ergab sich durch die Anzahl an verbliebenen Knöterichpflanzen. Durch die drastisch reduzierte Blattoberfläche eines Bestandes lag die grösste Herausforderung darin, die Pflanzen für die Applikation überhaupt zu finden und die Pflanze möglichst ganzheitlich zu behandeln.

Es wurden ab 2014, jeweils Ende August, folgende chemische Behandlungsmethoden angewandt:

- **FC1:** 1 x Behandlung mit 2% Herbizidkonzentration
- **FC2:** 1 x Behandlung mit 10% Herbizidkonzentration
- **FC3:** 2 x Behandlung (innerhalb von 96 Stunden) mit 10% Herbizidkonzentration

Einzelne Bestände konnten nicht behandelt werden, da oberirdisch kein Knöterich gefunden wurde (Bezeichnung mit FC0). Details zu den Standorten ohne oberirdische Knöterichbiomasse finden sich in Kapitel 3.2 und in Anhang A.

Da der Behandlung immer eine Erhebung vorausging, wurden die oft sehr kleinen Sprosse durch das Erhebungsteam mit Holzstöckchen markiert (siehe Seite 15, Abbildung 16) Zusätzlich erleichterte ein angepasster Unterhalt die Behandlung merklich.

2.4.1.1 Verteilung der chemisch behandelten Flächen

Folgend die auf den 70 Standorten angewendeten FC-Methoden:

Methode	2014	2015	2016*
FC0	8	10	12
FC1	21	19	20
FC2	24	22	18
FC3	21	20	20
Total	74	71	70

Abbildung 10: Verteilung der Standorte innerhalb der FC-Gruppe.

*2016 wurde keine Behandlung mehr durchgeführt, da der Effekt erst nach Projektende zu sehen wäre. Dennoch kann angegeben werden, wie viele Standorte pro FC-Methode übriggeblieben sind.

2.4.2 Mechanische Methode

Die 11 Schnittflächen wurden 2014 und 2015 jährlich je drei Mal gemäht. Ursprünglich hat man 2008 mit sechs Schnitten pro Jahr begonnen. Da bereits vor 2013 aufgrund der guten Resultate auf drei Schnitte pro Jahr reduziert wurde, wurde diese Methode so übernommen.

2.4.3 Unterhalt

Im Gegensatz zum pauschalen Abmähen, wie es bei der mechanischen Methode der Fall ist, müssen bei der chemischen Behandlung Ende August bereits nach drei Jahren nur noch einzelne Knöterichsprosse behandelt werden (Abbildung 11). Deshalb erwies sich der richtige Unterhalt auf diesen Flächen für das Wieder-

¹ a.e. = acid equivalents = Säureäquivalente = N-(Phosphonomethyl)glycin-Säure

² Wenn in diesem Bericht von einer 2%igen Herbizidkonzentration gesprochen wird, ist damit die 2%ige Lösung des Handelsproduktes gemeint, die einer 7.2%igen Lösung des Wirkstoffes entspricht.

auffinden der letzten Knöterichsprosse zwischen der starken Begleitvegetation als entscheidend. Wo nötig und möglich, wurde auf den Herbizidflächen im Frühling ein Schnitt gemacht mit der Absicht, die aufkommende (Strauch-) Vegetation niedrig zu halten. Auf elf ausgewählten Standorten wurde ein «rigoroser Unterhalt» mit Entfernung der obersten Humusschicht und der darin enthaltenen Pflanzenteile durchgeführt (siehe Abbildung 12 Seite 13ff). Die Folgevegetation, die sich im Laufe der Jahre bei der chemischen Behandlung mit Glyphosat einstellt, wird in erster Linie entfernt, um für die Applikation das Auffinden der z.T. sehr kleinen Sprosse zu erleichtern.



Abbildung 11: Knöterichsprosse auf ZH16 im August 2015. (Bild: A. De Micheli, 2015)

3 RESULTATE UND INTERPRETATION

3.1 UNTERHALT

Ein fehlender oder falscher Unterhalt kann zu verschiedenen Problemen führen:

Probleme bei fehlendem Mähen (Gras- und Krautvegetation):

- Gewisse Knöteriche sind unter dem Gras versteckt und nur schwer zu finden.
- Wenn das hohe Gras abknickt, knicken auch die Knöteriche und werden überdeckt. Es ist fraglich, ob über einen abgeknickten Stängel überhaupt noch Glyphosat in die Rhizome transportiert wird.
- Knöterich sieht nach mehrjähriger chemischer Behandlung zum Teil ähnlich aus wie einheimische Krautpflanzen (z.B. Wicken).

Probleme bei fehlendem Entbuschen:

- Die Behandlung wird durch Büsche oder Brombeeren stark erschwert bis unmöglich.
- Gewisse Knöterichsprosse werden in den Büschen leicht übersehen.

Aus dem Erfahrungsbericht der Praktikanten der Sektion Biosicherheit des AWEL Zürich, die auf elf Standorten eingesetzt für den «rigorosen Unterhalt» wurden, bei dem auch die oberste Humusschicht des Standorts entfernt wurde, können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Der Aufwand ist in erster Linie vom Untergrund (Mächtigkeit der Humusschicht) abhängig. So dauert die Arbeit auf einer Schotterfläche wie beispielsweise dem Gleisbereich in Abbildung 12 etwa doppelt so lange wie auf der ehemaligen Landwirtschaftsfläche in Abbildung 14, da die Handarbeit durch einen höheren Gesteinsanteil stark erschwert wird.



Abbildung 12: Der Standort Glarus 13 im Mai 2015 vor (Bild oben links) und nach (Bild oben rechts) dem Entfernen der Vegetation mitsamt der obersten Humusschicht. (Bilder: AWEL, 2016)



Abbildung 13: Bis zur Erhebung Ende August 2015 konnte sich die Vegetation zwar gut erholen, das Auffinden der oberirdischen Knöterichsprosse wurde aber dennoch erleichtert. (Bild: AWEL, 2015)

- Eine geschlossene Vegetation, wie sie sich ohne diesen drastischen Eingriff mit den Jahren ausbildet, wirkt sich zusätzlich erschwerend aus. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass der Aufwand für einen derartigen Unterhalt viel geringer ausfällt, wenn man bereits im ersten Jahr nach der Behandlung damit beginnt.

Auch wenn ein rigoroser Unterhalt durchgeführt wurde, kann eine Fläche im August trotzdem wieder komplett überwuchert sein (Abbildung 15). Das Auffinden der wenigen verbliebenen Knöterichsprosse wurde, gemäss der Erhebungs- und Behandlungsteams, dennoch zum grössten Teil sehr erleichtert.



Abbildung 14: ZH101; Situation vor dem Entfernen der obersten Bodenschicht Ende Mai 2015. (Bild: AWEL, 2015)



Abbildung 15: ZH101 vor der Erhebung im August 2015. Es dominiert eine Hirse Art. (Bild: A. De Micheli, 2015)



Abbildung 16: ZH101 nach dem Entfernen der Begleitvegetation. Die gefundenen kleinen Knöterichsprosse wurden mit Stöckchen markiert. (Bild: A. De Micheli, 2015)

3.2 TILGUNGSVERIFIKATION

Gemäss Arbeitshypothese wird im Rahmen dieses Versuchs ein Bestand als möglicherweise getilgt betrachtet, wenn während drei aufeinanderfolgenden Jahren oberirdisch keine Knöterichsprosse mehr festgestellt werden können (siehe Kapitel 1.2.3). Mit Ausnahme von fünf Versuchsflächen im Wallis und einem Standort im Kanton Luzern konnte dieser Zustand bei 91% der Untersuchungsflächen nicht erreicht werden.

■ Mögliche Tilgung ■ Knöterich vorhanden

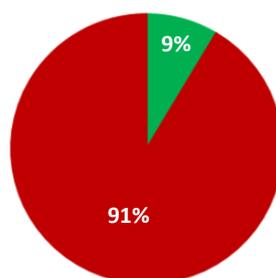


Abbildung 17: Tilgungsverifikation nach achtjähriger Versuchsdauer

Nebst diesen sechs Standorten, gibt es noch weitere, auf welchen im Laufe der Versuchsdauer zumindest vorübergehend kein Knöterich festgestellt wurde. Tabelle 3 zeigt sämtliche Standorte, auf welchen seit dem Start des Pilotversuchs 2008 jeweils pro Jahr keine Knöterichsprosse gefunden wurden. Weil es bis 2012 kein eigentliches Attribut für den Zustand "Fläche frei von Knöterich" gab, wurde die Datenbank in den Kommentaren nach Ausdrücken wie zum Beispiel "keine", "Stängel", "keine Stängel", "ohne" usw. durchsucht. Die Aussagen in den Kommentaren konnten z.T. anhand von Bildmaterial der entsprechenden Standorte bestätigt oder widerlegt werden. So konnten beispielsweise bei der Erhebung übersehene Knöterichsprosse festgestellt oder einzelne nicht mehr als „zum Bestand gehörend“ interpretiert werden. Grundsätzlich sind die Angaben bis 2012 mit Vorsicht zu geniessen.

KT	STAO	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
ZH	ZH21		■	■		■	■		■	
ZH	ZH08			■		■				
ZH	ZH32			■		■				
VS	VS07				■	■	■	■	■	■
VS	VS01					■	■	■	■	■
VS	VS02					■	■	■	■	■
VS	VS08					■	■			
VS	VS09					■				■
ZH	ZH04					■				■
LU	LU10							■	■	■
VS	VS13							■	■	■
VS	VS16							■	■	■
BE	BE06								■	■
GL	GL20									■
LU	LU03									■
ZH	ZH28									■

Tabelle 3: Versuchsstandorte mit chemischer Behandlung ohne oberirdische Knöterichbiomasse (grüne Flächen).

Es gab Standorte wie z.B. LU10, auf welchem bei der Erhebung im August 2014 noch Knöterich gefunden wurde, aber schon wenige Wochen später bei der Behandlung nichts mehr gefunden werden konnte. Die Gründe sind, wie in diesem Fall, häufig nicht bekannt.

In der Gruppe der mechanischen Behandlung gab es während der gesamten Versuchsdauer keinen einzigen Standort, auf dem während einer oder mehrerer Jahre keine oberirdischen Knöterichsprosse vorhanden waren.

Auch wenn das Ziel der Tilgung eines Knöterichbestandes im Fokus dieses Projekts steht, werden im Folgenden noch weitere Resultate vorgestellt, welche die Veränderungen der oberirdischen Knöterichbiomasse etwas detaillierter beschreiben.

3.3 BIOMASSEREDUKTION 2008-2014

Um den Effekt einer Behandlung beschreiben zu können wurde 2008 ein Modell mittels multipler Regression geeicht. Tabelle 4 (Seite 18) zeigt den Verlauf der Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse die mithilfe dieses Modells berechnet wurde. Zwischen den chemischen Methoden besteht bereits nach zwei Behandlungsjahren kein signifikanter Unterschied mehr. Die Beurteilung der Zustände mittels dieser Formel wurde schliesslich per 2014 abgeschlossen.

Die Berechnung der Biomasse erfolgte anhand einer Formel mit den Faktoren:

$$10^a \times \text{mittlere Bestandes Höhe}^b \times \text{mittlerer Durchmesser der Stängel der Dauerquadrate}^c \times \text{Stängelzahl der Dauerquadrate}^d$$

$$\text{mit } a = -1.5046, b = 0.6105, c = 1.1021, d = 0.5920, \text{ mit } R^2 = 0.83$$

(R^2 ist das Korrelationsmass, wobei 1 einen perfekten Zusammenhang bedeutet. 0.83 zeigt also einen starken Zusammenhang zwischen den mit der Formel errechneten Werten und den Messungen im Feld.)

Es hat sich im Verlaufe des Projekts gezeigt, dass sich diese Formel bei den behandelten Flächen nur sehr bedingt zur Berechnung der oberirdischen Biomasse eignet. Sobald sich nämlich innerhalb der beiden Dauerquadrate keine Sprosse mehr befinden wird ein Operand null. Das Resultat wird folglich immer null sein, auch wenn sich im Bestand ausserhalb der Dauerquadrate noch Knöterichpflanzen befinden.

Zudem ist die mittlere Bestandeshöhe ein generell schwierig zu bestimmender Wert. Je inhomogener der Knöterichbestand wird, desto schwieriger wird die Erfassung dieses Wertes.

Abbildung 18 zeigt die Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse innerhalb der ersten sechs Behandlungsjahre. Mit der chemischen Behandlung eines Knöterichbestandes kann eine drastische Reduktion erreicht werden. Allerdings bleibt auch im sechsten Jahr immer noch ein kleiner Rest übrig (Abbildung 19). Auch die mechanische Behandlung führt zu einer starken Reduktion, wobei sich die oberirdische Knöterichbiomasse bei ca. 20% zu stabilisieren scheint.

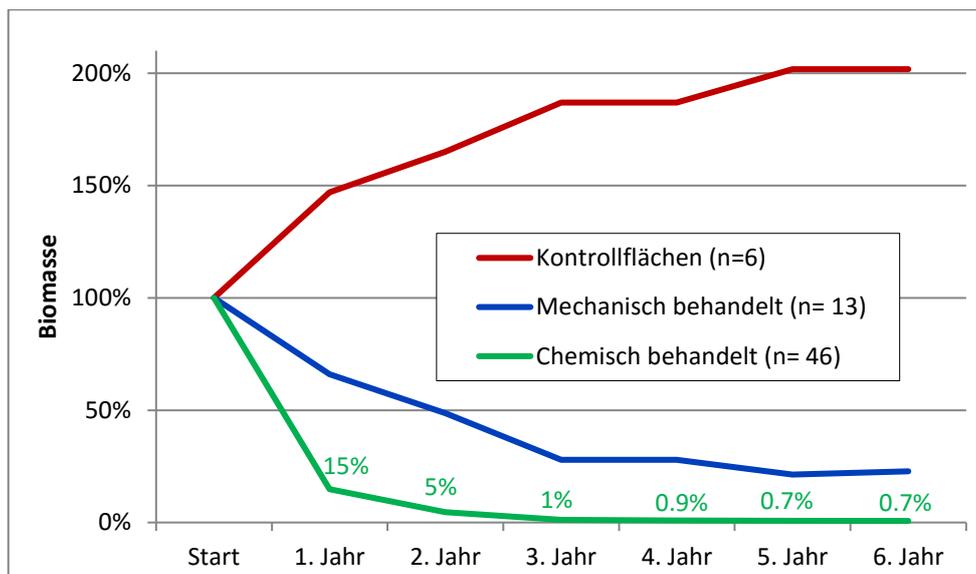


Abbildung 18: Veränderung der oberirdischen Knöterichbiomasse innerhalb der ersten sechs Behandlungsjahre.



Abbildung 19: Typisches Resultat einer langjährigen Behandlung von Knöterich mit Glyphosat, der Bonsai Knöterich (Bild: Andrea De Micheli)

		Daten Dauerquadrate											Daten Gesamtbestand				
		Veränderung der oberirdischen Knöterichbiomasse nach						Standorte ohne Stängel in den Dauerquadraten nach						Standorte ohne Stängel im ganzen Bestand nach			
Behandlungsmethode		1 Jahr	2 Jahren	3 Jahren	4 Jahren	5 Jahren	6 Jahren	1 Jahr	2 Jahren	3 Jahren	4 Jahren	5 Jahren	6 Jahren	3 Jahren	4 Jahren	5 Jahren	6 Jahren
Herbizid Blatt-applikation (Standardmenge)	H1 (n=3)	-84%	-96%	-100%	-100%	-99.7%	-100%	0	0	0	2	2	3	0	1	0	1
	C1 (n=4)	-66%	-87%	-96%	-96%	-98.3%	99.8%	0	0	0	1	1	3	0	1	1	2
	C2 (n=4)	-85%	-96%	-99%	-99%	-99.9%	-100%	0	0	0	2	3	4	0	2	0	1
	C3** (n=4)	-92%	-96%	96%	-96.8%	-98%		0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
Schneiden-Spritzen	C4 (n=6)	-64.7%	-96%	-99%	-99%	-99.3%	-98%	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0
	C6 (n=5)	-86%	-91%	-100%	-100%	-99.8%	-99.1%	0	0	0	2	1	3	0	1	0	1
	C7 (n=3)	-95%	-97%	-99%	-99%	-96.6%	-96%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Herbizid Blatt-applikation (hohe Menge)**	C8** (n=3)	-96%	-96%	-99%				0	1	1				0			
	C9** (n=4)	-98%	-96.4%	-99.5%				2	1	2				0			
Stängelinjektion	S1 (n=5)	-96%	-99.7%	-100%	-100%	-99.8%	-99.9%	0	0	0	5	4	4	0	3	1	1
	S2 (n=3)	-92%	-98%	-99.8%	-99.8%	-99.8%	-99.3%	0	0	0	3	3	1	0	1	2	1
	S3 (n=2)	-77%	-97%	-99.5%	-99.5%	-100.0%	-100.0%	0	0	0	2	3	2	1	1	0	1
mechanisch	M1 (n=11)	-29%	-51%	-70%	-70%	-76.6%	-75%	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	M2 (n=2)	-62%	-53%	-84%	-84%	-90%	-89.3%	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
keine Behandlung	K0 (n=6)	+47%	+65%	+87%	+87%	+101.8%	+101.8%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	58							2	2	3	19	19	25	1	12	5	8
		< 65%	65–95%	95–99.9%	100%	Kontrollen											

Tabelle 4: Effekte der Behandlungen aufgeteilt nach Behandlungsjahren und -methode. Dargestellt sind die relativen Differenzen der Mittelwerte der oberirdischen Biomasse im Vergleich zum Zustand vor der ersten Behandlung. Die Prozentangaben widerspiegeln nur die Dauerquadrate, d.h. ein 100%iger Effekt bedeutet nicht zwingend das Fehlen von oberirdischer Biomasse im Gesamtbestand. Erläuterungen zu den Behandlungsmethoden finden sich im Schlussbericht 2012 (S. 15).

* Hinweis: die Anzahl Wiederholungen „n“ zeigt die Anzahl Standorte, welche seit Beginn der Versuche stetig korrekt behandelt wurden und keine ungeplanten Eingriffe verzeichnen.

**Die Methode C3 startete erst 2009. C8 und C9 wurden 2011 gestartet.

3.3.1 Biomassveränderung zwischen Mai und August

Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Versuchsstandorte wurden bis 2013 die Daten zur Berechnung der oberirdischen Knöterichbiomasse nur im Mai erhoben. Im Laufe des Projekts wurde von diversen Beteiligten immer wieder (subjektiv) festgestellt, dass sich die Kontrollflächen im Gegensatz zum chemisch behandelten Knöterich von der Beurteilung im Mai bis zur Behandlung im August verhältnismässig stärker entwickelten. Deshalb wurden diese beiden Gruppen im Mai und im August 2014 erfasst.

Als Referenzgrösse wurde die Startbiomasse vom Mai 2008 verwendet. Es hat sich gezeigt, dass die Kontrollflächen während des Sommers im Schnitt um 30.5% Knöterichbiomasse zunahm, während auf den FC-Flächen die Knöterichbiomasse im August fast gleich gross war wie im Mai. Wie es scheint, wurde deshalb die Effizienz der Methoden durch die Zustandserfassung im Mai systematisch unterschätzt. Zudem spielt es für FC-Flächen keine Rolle, ob die Zustandserfassung im Mai oder im August durchgeführt wird.

Methoden	Mittlere Biomasseveränderung zwischen Mai und August 2014
Chemisch (n=73)	-1.7%
Kontrolle (n=14)	30.5%

Tabelle 5: Mittelwert der Biomasseveränderung zwischen Mai und August 2014.



Abbildung 20: T104 - 30% Herbizidkonzentration, sechs Monate nach der ersten Behandlung. (Bild: L. Schmid, 2014)



Abbildung 21: T104 - 30% Herbizidkonzentration, ein Jahr nach der ersten Behandlung. (Bild: L. Schmid, 2014)



Abbildung 22: T114 – Kontrollfläche. (Bild: L. Schmid, 2014)

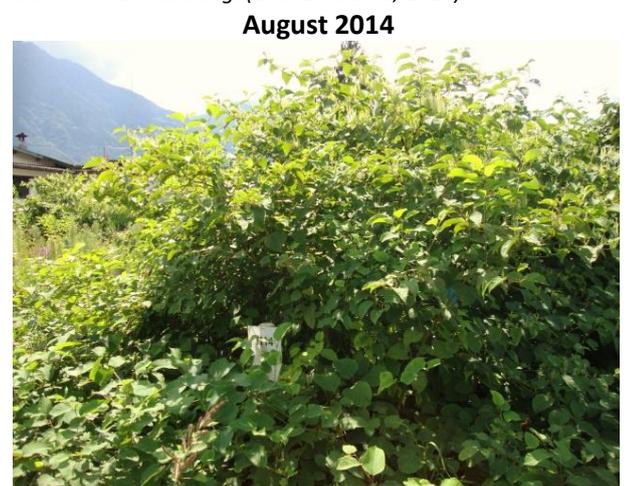


Abbildung 23: T114 – Kontrollfläche. (Bild: L. Schmid, 2014)

3.4 ENTWICKLUNG DER CHEMISCH BEHANDELTEN FLÄCHEN

Durch die Überarbeitung der Datenerhebung stehen seit 2014 Angaben zum Zustand einzelner Bereiche (Quadranten) eines Knöterichbestandes zur Verfügung. Somit kann die grobe räumliche Verteilung der vorhandenen Knöterichsprosse zwischen 2014 und 2016 ausgewertet und dargestellt werden. Unter anderem wurde in den Quadranten die Wuchsdichte der Knöterichsprosse festgehalten. Als grobe Vereinfachung lässt sich daraus auch die Präsenz beziehungsweise die Absenz von Knöterich darstellen.

In Anhang A findet sich eine ausführliche Erläuterung zu der Interpretationsweise der Daten und die Herleitung der folgend zusammengefassten Aussagen:

- 28 der 70 chemisch behandelten Standorte (40%) haben sich während der letzten drei Jahre betreffend der Absenz / Präsenz von oberirdischer Knöterichbiomasse nicht verändert. Es wurde entweder immer oder nie Knöterich gefunden. Die restlichen 42 Standorte (60%) weisen diesbezüglich keine Konstanz auf. Dieses Resultat ist nicht auf die jeweilige chemische Behandlungsmethode zurückzuführen.
- 2016 gab es 35 Standorte (50%), welche gleich viele Quadranten mit, beziehungsweise ohne oberirdische Knöterichbiomasse aufwiesen wie 2014. 29 Standorte (41%) haben sich schlecht entwickelt. Das bedeutet, dass die Präsenz der Knöterichsprosse zwischen 2014 und 2016 tendenziell eher zugenommen hat. Nur auf sechs Standorten (9%) wurden 2016 weniger Quadranten mit oberirdischen Knöterichsprossen gefunden als 2014.
- Die Kantone BE, GL, LU und ZH weisen keine kantonsspezifischen Gemeinsamkeiten auf.
- Mit der Behandlung im Tessin wurde erst 2013 begonnen. Sämtliche Erkenntnisse der Vorjahre wurden berücksichtigt und entsprechende Optimierungen wurden vorgenommen. Dennoch war es weder mit starken noch mit schwachen Herbizidkonzentrationen und einem intensiven, angepassten Unterhalt innerhalb von zwei Jahren nicht möglich, einen Bestand im dritten Jahr frei von oberirdischen Knöterichsprossen zu bekommen.
- Es scheint nicht entscheidend für den Zustand einer Fläche, wie lange sie chemisch behandelt wird. Für die Häufung der möglicherweise eliminierten Flächen im Wallis sind sehr wahrscheinlich andere Gründe vorhanden.
- Es wurde schon im Bericht 2012 festgestellt, dass die oberirdische Biomasse nach drei Jahren auf allen chemisch behandelten Flächen ähnlich stark reduziert wurde. Dieser Zustand hält danach über eine weiterhin unbestimmte Dauer an.
- Standorte, welche zu Beginn mit der Methode der Stängelinjektion behandelt wurden, weisen in den Jahren 2014-2016 im Durchschnitt die stärkste Dezimierung der oberirdischen Knöterichbiomasse auf. Allerdings konnte auch in dieser Gruppe nur auf vier dieser insgesamt zehn Flächen eine mögliche Tilgung erreicht werden.

3.5 RHIZOMGRABUNGEN UND SPROSSVERSUCHE 2016

Der ausführliche Bericht zu den Rhizomgrabungen und den Sprossversuchen findet sich in Anhang B. Die Hypothese, dass, wenn während 3 Jahren oberirdisch keine Biomasse beobachtet werden kann, auch alle unterirdischen Rhizome abgestorben sind, dass also der Bestand definitiv getilgt ist, konnte nicht abschliessend untersucht werden. Um die Standorte zum Projektabschluss auch unterirdisch beurteilen zu können, wurden Rhizomgrabungen organisiert. Wie bereits in anderen Kapiteln festgestellt, kann die Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse auf den Standorten aufgrund ihrer unterschiedlichen Entstehungs- und Behandlungsgeschichte nur bedingt miteinander verglichen werden. Dasselbe gilt für die Vergleichbarkeit der Rhizome im Boden. Die Rhizomgrabungen und der Sprossversuch müssen aufgrund der kleinen Stichprobengrösse als Fallbeispiele betrachtet werden.

Die Grabungen wurden auf einer Kontrollfläche, einer chemisch und einer mechanisch behandelten Fläche durchgeführt.



Abbildung 24: Mannschaft bei der Suche nach Rhizomteilen. (Bild: S. Gregori)

Mit Hilfe eines Baggers wurden jeweils 40cm tiefe Stichproben genommen und auf Knöterichrhizome durchsucht.

Die Unterschiede bezüglich der Verteilung der Rhizome zwischen LU06 (FK) und den beiden behandelten Flächen LU07 (FC) und ZH15 (FM) sind gross. Unter der nicht behandelten Fläche finden sich die Rhizome in nicht weniger als 2m Tiefe. Bei der chemisch behandelten Fläche unmittelbar daneben sind es nur 80cm.

Am Beispiel des Standorts ZH15 zeigt sich, dass der Ursprung der Bestände auf bauliche Massnahmen zurückgeführt werden kann und sich deswegen nicht zwingend mit zunehmender Tiefe weniger Rhizome finden lassen.

Nach dem Ausgraben wurden die Rhizome an der WSL Birmensdorf gewogen und deren Länge gemessen. Aus jeder Tiefenklasse wurden danach drei Stichproben eingetopft und im Gewächshaus zum Wachstum angesetzt. Die Untersuchung der Rhizome nach zwei Monaten zeigt, dass die nicht behandelte Kontrollgruppe auch zum Ende der Vegetationsperiode noch äusserst vital ist. 95% der Stichproben aus der Kontrollgruppe zeigten vitale feine Wurzeln zur Nährstoffaufnahme und 52% zeigten sogar neue Sprosse, welche zum Teil zu bis zu 35 cm hohen Pflanzen heranwuchsen. Die Stichproben der behandelten Flächen zeigten sowohl bei der chemischen als auch bei der mechanischen Gruppe stark reduzierte Vitalität. Nur die Hälfte dieser Proben zeigte vitale Wurzeln und lediglich 6% (2 von 33) wiesen einen neuen Spross auf.

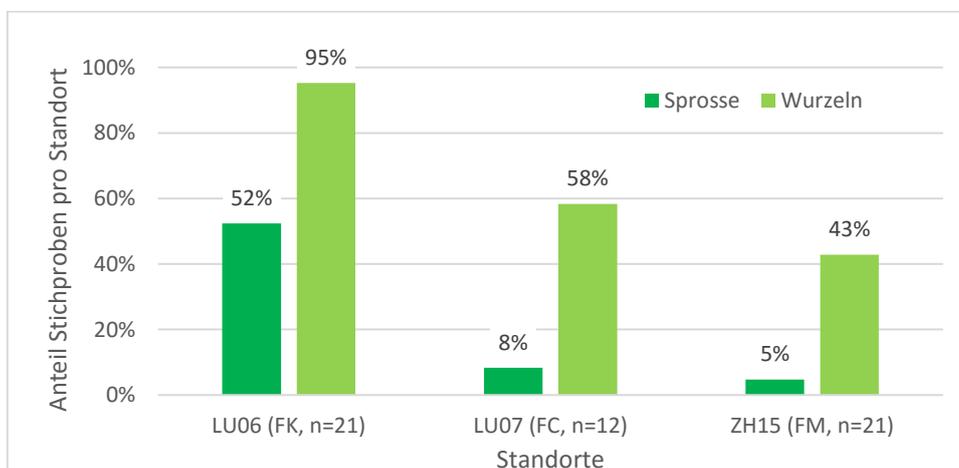


Abbildung 25: Ergebnisse des Sprossversuchs. Anteil der Stichproben mit Wurzeln, bzw. Sprossen pro Standort.

4 DISKUSSION

In jedem Fall kann binnen drei Jahren ab der ersten Behandlung eine drastische Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse mit der jährlichen Blattapplikation einer 2% Herbizidkonzentration erreicht werden. Das Resultat dieser 2% Herbizidkonzentration unterscheidet sich bereits nach zwei Behandlungsjahren nicht mehr von der Wirkung einer 30% Herbizidkonzentration. Stark dezimierte aber immer noch vitale Knöterichsprosse sind aber auch nach acht Jahren chemischer Behandlung in den meisten Fällen immer noch mehr oder weniger konstant vorhanden. Auch wenn diese für eine weitere chemische Behandlung gefunden werden können, kann durch die winzige Blattoberfläche nicht genügend Wirkstoff aufgenommen werden, weshalb eine Behandlung im Rhizom kaum einen Effekt erzielt. Die Vermutung liegt nahe, dass dies ein Grund für den fehlenden Erfolg der chemischen Behandlung ist. Das Pilotprojekt war jedoch nicht auf die Beantwortung dieser Fragestellung ausgerichtet und somit können lediglich Beobachtungen festgehalten werden.

Es muss bei oberirdisch knöterichfreien Flächen damit gerechnet werden, dass in den Folgejahren wieder ein Wachstum möglich ist und dass die Rhizome im Boden in Folge einer Störung (z.B. bauliche Eingriffe) sofort wieder neue Sprosse bilden können. Selbst für die drei Flächen im Wallis, welche 2016 seit fünf bzw. sechs Jahren keine oberirdische Knöterichbiomasse mehr aufwiesen, kann nicht abschliessend Entwarnung gegeben werden. Ein Autor des Knotweed Code of Practice (Environmental Agency, 2013) hat in England auf einem mit Glyphosat behandelte Standort nach 15 Jahren absoluter Absenz oberirdischer Knöterichbiomasse wieder vitale Sprosse gefunden (mündliche Mitteilung im Rahmen eines Knöterichseminars in Manchester). Betrachtet man die Entwicklung der chemisch behandelten Flächen, fällt auf, dass sich die Präsenz und Absenz von oberirdischen Knöterichsprossen auf einem Standort von Jahr zu Jahr häufig räumlich unterscheidet. Gleichzeitig wurde während der alljährlichen Behandlungen und Zustandserfassungen genau dieses Phänomen der jährlich wechselnden Muster der vorhandenen Knöterichsprosse auf einem Bestand subjektiv festgestellt. Diese Erscheinung wurde, entsprechend dem Spiel bei dem Maulwurfe, die aus Löchern hervorkommen, mittels eines Hammers zurück in die Löcher geschlagen werden müssen, fortan als Whac-A-Mole-Effekt bezeichnet. Dass die Behandlungen der oberirdischen Knöterichsprosse mit Glyphosat zu einem stark reduzierten Krüppelwuchs (Abbildung 19, Seite 17) führen können ist bekannt. Diese fein verästelten Triebe werden Hexenbesen ((Bollens & Fischer, 2013)) oder Bonsai Knöterich (Environmental Agency, 2013) genannt. Der Whac-A-Mole-Effekt ergänzt die Möglichkeit zur Beschreibung der Resultate einer langjährigen Behandlung des Knöterichs mit Glyphosat.



Abbildung 26: Die Knöterichbekämpfung als Spiel. Der Whac-A-Mole-Effekt beschreibt das Phänomen, dass auch nach Jahren der chemischen Behandlung die Knöterichsprosse immer wieder an einem anderen Fleck hervorwachsen können. (Illustration: Valentin Rüegg, 2016)

Die Knöterichbiomasse auf den mechanisch behandelten Flächen wird durch den häufigen Schnitt drastisch reduziert. Dies scheint ebenso für die ober- als auch für die unterirdische Knöterichbiomasse zu gelten. Allerdings reichte es nicht für eine gänzliche unter- und oberirdische Tilgung der Knöterichbestände. Innerhalb der vergangenen 8 Jahre konnten mit mechanischen Methoden keine Flächen oberirdisch von Knöterich befreit werden. Dass die Rhizome durch die regelmässigen Eingriffe durchaus in Mitleidenschaft gezogen wurden, konnte am Beispiel des Standorts ZH15 durch die Rhizomgrabungen und die Topfversuche Ende 2016 deutlich gezeigt werden. Es ist davon auszugehen, dass eine vollständige Tilgung durch regelmässigen Schnitt sehr lange dauern wird, sofern sie überhaupt möglich ist.

Als Alternative zum regelmässigen Schnitt könnte man den Knöterich ausreissen. Der Unterschied zum Mähen: Man schont die Begleitvegetation der oberen Kraut- und der Strauchschicht. Auf diese Weise entsteht eine andere Konkurrenzsituation. Zudem werden die Basalteile jeweils mitentfernt. Dieses Vorgehen raubt der Pflanze grosse Energiereserven und unterbricht das Rhizomnetzwerk unterirdisch.

Die Rhizomgrabungen 2016 haben gezeigt, dass die Entstehungsgeschichte eines Knöterichbestandes bei der Beurteilung und der Festlegung einer allfälligen Behandlungsstrategie noch zusätzlich an Bedeutung gewinnen sollte. Unabhängig vom erklärten Ziel einer Behandlung und der dazu gewählten Behandlungsmethoden ist es wichtig, zu Beginn einer Behandlung eine genaue Dokumentation des Bestandes anzulegen. Es empfiehlt sich den Bestand im Feld klar zu kennzeichnen und in einem GIS flächengenau zu erfassen. Insbesondere die Grundstückseigentümer, die Behörden (Gemeinde, Kanton) und allfällige Pächter müssen über den Bestand und das Vorhaben informiert sein. Es muss diesbezüglich sichergestellt werden, dass auch die Unterhaltsdienste über einen längeren Zeitraum garantieren können, dass die markierte Fläche vor Fremdeinwirkungen geschützt bleibt. Diese Vorkehrungen ermöglichen die genaue Lokalisierung des Bestandes auch nach einer starken Dezimierung.

Die Rhizome der im Versuch chemisch und mechanisch behandelten Knöterichpflanzen können zum Teil wieder austreiben. Die Gründe könnten sein, dass isolierte, fragmentierte oder weit abgelegene Rhizome kein Herbizid (mehr) erhalten oder dass der Wirkstoff mit der Zeit in den Rhizomen abgebaut wird, ohne der Pflanze zu schaden. Topfversuche sind künstliche Szenarien und können nur das Potenzial zum Sprosswachstum angeben. Ob die Rhizome auch auf ihrem ursprünglichen Standort wieder austreiben würden und ob ein Trieb aus beispielsweise 80cm Tiefe überhaupt die Erdoberfläche erreichen würde, kann nicht gesagt werden. Hexenbesen sind noch auf fast allen Standorten zu finden, was zeigt, dass nicht alle Rhizome komplett abgestorben sein können.

Nach einer Reduktion der oberirdischen Knöterichbiomasse kann die Folgevegetation die weitere Behandlung stark erschweren. Ein angepasster Unterhalt muss daher als Teil der Behandlungsmethode verstanden werden. Es kommt immer auf den Standort und die Mittel an, welche zur Verfügung stehen. Ein grosser Aufwand ist für die Unterhaltsteams im Rahmen des regulären Unterhalts erfahrungsgemäss nicht realisierbar. Deren Ziele (z.B. Einhalten von Leistungsstandards, Instandhaltung der Infrastruktur, Erhalt der Strassensicherheit, Ästhetik) könnten unter Umständen schon bei einer 95 prozentigen Reduktion der oberirdischen Biomasse erreicht werden. Wichtig ist, dass die Unterhaltmassnahmen auf das Bekämpfungsziel- und die Bekämpfungsmethode abgestimmt sind und von Beginn an konsequent durchgeführt werden.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Erwartung, dass die Knöterichproblematik durch die Identifizierung einer der im Pilotversuch angewendeten Behandlungsmethoden als «best practice» innert kürzester Zeit entschärft werden könnte, kann nicht erfüllt werden. Wenn man davon ausgeht, dass bezüglich dem Knöterich die Verhinderung einer weiteren Ausbreitung und die Minimierung von Schäden als oberste Ziele im Knöterichmanagement definiert werden, muss der zeitliche Rahmen unweigerlich entsprechend den neuen Erkenntnissen aus dieser Langzeitstudie angepasst werden. Somit stehen die akkumulierten Kosten von langjährigen chemischen oder mechanischen Behandlungen eines Knöterichbestandes, wie sie in diesem Projekt angewendet wurden, den einmaligen Kosten einer Entfernung durch Ausgraben gegenüber. Unter der Voraussetzung, dass die Grundgesamtheit der mit Knöterich belasteten Standorte bekannt ist, kann eine Priorisierung dieser Standorte erfolgen. Schlussendlich geben die gesetzlichen Vorgaben und standortspezifischen Eigenheiten die Rahmenbedingungen für das weitere Vorgehen.

6 DANK

Die zweite Projektphase wurde ermöglicht durch die finanzielle Unterstützung des BAFU (Sektion Arten, Ökosysteme, Landschaften) und des Kantons Zürich (AWEL). Zudem haben sich die Kantone Bern, Glarus, Luzern, Tessin und Wallis substantiell beteiligt. Folgende Personen und Ämter setzten sich mit ihrem Know-how, ihrer Erfahrung und ihren Ressourcen für das Projekt ein:

Projekt-Oberleitung

Anne-Gabrielle Wüst-Saucy (BAFU), Sara Restrepo-Vassalli (BAFU), Gian-Reto Walther (BAFU), Christian Pillonel (BAFU), Florine Leuthardt (BAFU), Jan Waespe (BLW), Michel Horner (KPSD), Daniel Fischer (AWEL)

Projektteam

Erwin Jörg (Kanton Bern), Peter Zopfi (Kanton Glarus), Peter Kull (Kanton Luzern), Mauro Togni (Kanton Tessin), Adolf Imesch und Michèle Burgener (Kanton Wallis)

Experten

Ursula Bollens, Gabriel Popow, Andrea De Micheli, René Bertiller, Alberto Conelli, Lorenzo Schmid, Sabine Güsewell

Grabung- & Topfversuche

Simon Knüsel (WSL), Jan Wunder (WSL), Werner Haas (Gewässerunterhalt Betrieb Sihl), Gärtnerei Felber (Hochdorf), Lorenz Neuhaus (Kanton Graubünden)

Sowie die unzähligen Unterhaltsdienste, mit der Umsetzung Beauftragte sowie Praktikantinnen und Praktikanten der Sektion Biosicherheit des Kanton Zürich.

Ihnen sei an dieser Stelle ganz herzlich gedankt!

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Adler, C. (1993). Zur Strategie und Vergesellschaftung des Neophyten *Polygonum cuspidatum* unter besonderer Berücksichtigung der Mahd. In T. Heinken, *Band 13* (Bd. 13, S. 373-397). Tuexenia.
- Bollens, U. (2005). *Bekämpfung des Japanischen Staudenknöterichs - Literaturreview und Empfehlung für Bahnanlagen*. Bern: Bundes Amt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Bollens, U., & Fischer, D. (01. 01 2013). Abgerufen am 14. 10 2016 von http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/biosicherheit_neobiota/neobiota/pilotversuch_japanknoeterich/_jcr_content/contentPar/downloadlist/downloaditems/schlussbericht_2008_.spooler.download.1387292606058.pdf/Pilotversuch+zur+Bek%C3%A4mpfung+de
- Environmental Agency, U. K. (1. 07 2013). Abgerufen am 2016 von https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/536762/LIT_2695.pdf

Anhang A ENTWICKLUNG DER CHEMISCH BEHANDELTEN FLÄCHEN

Da seit 2014 der Zustand der 70 chemisch behandelten Knöterichbestände zusätzlich räumlich auf Quadranten bezogen betrachtet wurde, kann die grobe räumliche Verteilung der vorhandenen Knöterichsprosse ausgewertet, beziehungsweise dargestellt werden. Unter anderem wurde in den Quadranten die Bewuchsdichte der Knöterichsprosse festgehalten. Als grobe Vereinfachung lässt sich daraus auch die Präsenz beziehungsweise die Abwesenheit von Knöterich darstellen.

Diese beiden Parameter «Dichte Klasse» beziehungsweise «Abwesenheit / Präsenz» der oberirdischen Knöterichvegetation können sich über die Jahre auf einem Standort ändern. Diese Veränderung kann mit folgenden Grössen beschrieben werden:

G steht für die **Gleichheit** (Konstanz) eines Standorts über die Jahre. Wenn ein Quadrant bezüglich der «Dichte Klasse» beziehungsweise «Abwesenheit / Präsenz» von Jahr zu Jahr gleich ist, gibt es einen Punkt. Ein Bestand kann also maximal vier Punkte für alle vier Quadranten erhalten, wenn er während einem Jahr absolut gleich ist. Während zwei Jahren sind acht Punkte möglich.

D steht für die **Differenz** (Unterschied bzw. Veränderung) eines Standorts über die Jahre. Wenn sich ein Quadrant von Jahr zu Jahr verändert gibt es entweder einen Minuspunkt (es hat Knöterich im Quadranten, in dem es im Vorjahr keinen hatte) oder einen Pluspunkt (es hat keinen Knöterich im Quadranten, in dem es im Vorjahr hatte). Die Werte eines Standorts liegen für «Dichte Klasse» stets zwischen (-16) und 16 beziehungsweise für «Abwesenheit / Präsenz» zwischen (-4) und 4 unabhängig über wie viele Jahre verglichen wird.

S steht für die **Summe** der Werte innerhalb eines Standorts über eine beliebige Anzahl Jahre und entspricht dem Zustand eines Standorts. Die Werte liegen für die Dichteklassen zwischen 0 und 12 und für die «Abwesenheit / Präsenz» zwischen 0 und 4 pro Jahr und werden mit jedem Jahr das hinzukommt aufaddiert.

Lokalität		Dichte Klassen 0-4								14+15+16			Behandlungsalter und Methoden				Abwesenheit / Präsenz								14+15+16									
KT	Stao	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S	Alter	Start-Treat	2014-Treat	2015-Treat	2012	2013	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S			
BE	BE06	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	S1	FC2	FC0			0	G	D	S	0	G	D	S	0	G	D	S
BE	BE07	1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	8	C4	FC2	FC2			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
GL	GL13	1	1	G	D	S	2	1	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C6	FC1	FC2			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
GL	GL19	1	0	G	D	S	0	0	G	D	S	1	0	G	D	S	8	C5	FC3	FC3			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
GL	GL20	1	1	G	D	S	2	2	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C2	FC2	FC2			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
GL	GL23	1	1	G	D	S	1	2	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C5	FC1	FC1			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
GL	GL24	1	0	G	D	S	3	1	G	D	S	2	2	G	D	S	6	C5	FC3	FC3			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
LU	LU01	2	0	G	D	S	1	1	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C1	FC1	FC1			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S
LU	LU02	0	0	G	D	S	1	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C2	FC2	FC2			1	G	D	S	1	G	D	S	1	G	D	S

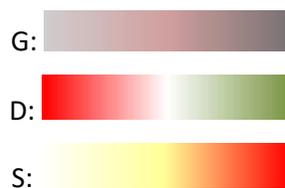
Abbildung 27: Printscreen der Exceltabelle zur visuellen Beurteilung der Standortentwicklung bezüglich Dichte (links) und der Abwesenheit / Präsenz (rechts) von oberirdischer Knöterichbiomasse.

Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt aus der Exceltabelle, welche die räumlichen Daten visualisiert (Komplette Tabelle Seite 10-11). Diese Betrachtung dient der Ermittlung von Gemeinsamkeiten und Unregelmässigkeiten innerhalb einzelner Gruppen (z.B. Methode, Behandlungsalter, Kanton). Dabei symbolisieren Rot schlechte und Grün gute Werte.

Darstellung der Dichte Klassen (Beispiele)

Lokalität		Dichte Klassen 0-4									14+'15+'16		
KT	Stao	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S
BE	BE06	0 0 1 0	G	D	S	0 0 0 0	G	D	S	0 0 0 0	G	D	S
			3	1	1		4	0	0		7	1	1
BE	BE07	1 1 1 1	G	D	S	1 1 2 2	G	D	S	1 0 1 1	G	D	S
			2	-2	10		1	3	9		3	1	13
GL	GL13	1 1 1 1	G	D	S	2 1 2 2	G	D	S	0 0 1 1	G	D	S
			1	-3	11		0	5	9		1	2	13
GL	GL19	1 0 1 0	G	D	S	0 0 1 0	G	D	S	1 0 0 1	G	D	S
			3	1	3		1	-1	3		4	0	5
GL	GL20	1 1 0 1	G	D	S	2 2 1 1	G	D	S	0 0 0 0	G	D	S
			1	-3	9		0	6	6		1	3	9
GL	GL23	1 1 2 2	G	D	S	1 2 3 2	G	D	S	0 0 1 0	G	D	S
			2	-2	14		0	7	9		2	5	15
GL	GL24	1 0 1 1	G	D	S	3 1 2 2	G	D	S	2 2 2 1	G	D	S
			0	-5	11		1	1	15		1	-4	18

Farbskalen:



Grösse

Dichteklassen 0-4

G = Gleichheit

Min. = 0

Max. = 4

(innerhalb eines Jahres)

D = Differenz

Min. = (-16)

Max. = 16

(Zeitraum unabhängig)

S = Summe

Min. = 0

Max. = 16

(pro Jahr)

'14+'15+'16

Erläuterung

Jeder Standort wird durch die vier Quadranten im entsprechenden Jahr dargestellt. Dichteklassen der Knöterichvegetation:

Deckungsgrad **Wert**

0 0

<1% 1

1-5% 2

5-25% 3

>25 4

Gleichheit innerhalb eines Zeitraumes bezüglich der Dichteklasse. Für G eignet sich auch der Begriff «Ausgeglichenheit» oder «Konstanz». Es wird jeder einzelne Quadrant verglichen.

Bsp.: Auf BE07 gleichen sich zuerst die oberen Quadranten (G=2), im folgenden Jahr nur noch der Quadrant oben links (G=1).

Veränderung innerhalb eines Zeitraumes bezüglich der Dichte Klasse. Es wird der gesamte Bestand verglichen.

Bsp.: GL20 verliert 2015 in 3 Quadranten an Qualität (-3) und ist dann 2016 frei von Knöterich (+6). Über den gesamten Zeitraum verändern sich der Standort positiv (3).

Zustand der Standorte innerhalb eines Zeitraumes bezüglich der Dichteklasse. Es wird jeder einzelne Quadrant verglichen. Und von Jahr zu Jahr hinzuaddiert.

Bsp.: GL24 kommt aufgrund der zum Teil sehr hohen Dichte auf einen Wert von 18.

Die Grössen G, D und S werden hier für den Zeitraum von zwei Jahren betrachtet.

Darstellung der Absenz / Präsenz (Beispiele)

Lokalität		Absenz / Präsenz										14+'15+'16			
KT	Stao	2012	2013	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S
BE	BE06				3	1	1		4	0	0		7	1	1
BE	BE07				4	0	8		3	1	7		7	1	11
GL	GL13				4	0	8		2	2	6		6	2	10
GL	GL19				3	1	3		1	-1	3		4	0	5
GL	GL20				3	-1	7		0	4	4		3	3	7
GL	GL23				4	0	8		1	3	5		5	3	9
GL	GL24				3	-1	7		4	0	8		7	-1	11

Farbskalen:



Grösse

Absenz / Präsenz

Erläuterung

Jeder Standort wird durch vier Quadranten im entsprechenden Jahr dargestellt. Für die Jahre vor 2014 fehlen die detaillierten Angaben zu Quadranten. Allerdings wurde seit 2012 das Attribut «Fläche knöterichfrei» erfasst und kann zur groben Beurteilung der Standortentwicklung miteinbezogen werden.

Für die Darstellung der Absenz / Präsenz von oberirdischer Knöterichvegetation genügen die Werte **0** und **1**.

G = Gleichheit

Min. = 0

Max. = 4

(innerhalb eines Jahres)

Gleichheit innerhalb eines Zeitraumes bezüglich der Absenz / Präsenz. Für G eignet sich auch der Begriff «Ausgeglichenheit» oder «Konstanz». Es wird jeder einzelne Quadrant verglichen.

Bsp.: Auf GL23 gleichen sich zuerst alle Quadranten (G=4), im folgenden Jahr nur noch einer (G=1).

D = Differenz

Min. = (-4)

Max. = 4

(Zeitraum unabhängig)

Veränderung innerhalb eines Zeitraumes bezüglich der Absenz / Präsenz. Es wird der gesamte Bestand verglichen.

Bsp.: GL19 gewinnt in einem Quadranten an Qualität (+1) und verliert sie im folgenden Jahr wieder (-1).

S = Summe

Min. = 0

Max. = 4

(pro Jahr)

Zustand der Standorte bezüglich der Absenz / Präsenz. Es wird jeder einzelne Quadrant verglichen.

Bsp.: BE07 und GL24 kommen aufgrund der stetigen Präsenz auf fast allen Quadranten auf einen hohen Wert von 11.

'14+'15+'16

Die Grössen G, D und S werden hier für den Zeitraum von drei Jahren betrachtet.

A 1.1. Gleichheit der chemisch behandelten Flächen 2014 -2016

A 1.1.1. Dichte Klassen

Alle vier Quadranten gleichen sich nur auf sieben Standorten (10%) während drei Jahren. Sechs dieser sieben Standorte sind seit mindestens drei Jahren knöterichfrei. Vier dieser sieben Standorte wurden zu Beginn mit der Stängelinjektion behandelt.

A 1.1.2. Absenz / Präsenz

Das Verhältnis liegt zwischen absolut konstanten Standorten und Standorten, die sich zwischen 2014 und 2016 verändert haben bei 28:42. Nur einer der 28 Standorte (40%) hatte immer im selben Quadranten Knöterich (VS08). Alle anderen 27 konstanten Standorte hatten 2014-2016 entweder in jedem Quadranten Knöterich (21) oder in keinem (6). Auf 42 Standorten (60%) wurden die Quadranten eines Standorts von Jahr zu Jahr nicht im selben Zustand angetroffen, jedoch aber immer mit oberirdischer Knöterichbiomasse.

A 1.1.3. Interpretation

Der grundsätzliche Unterschied der beiden Betrachtungsweisen liegt darin, dass bei der Betrachtung der Absenz / Präsenz kein Unterschied gemacht wird, wieviel Knöterich es auf einer Fläche hat, sondern nur ob es hat oder nicht. Somit ist es einfacher eine gewisse Konstanz zu erreichen als bei der Dichte, welche sich immer ein wenig ändern kann. Eine Gemeinsamkeit bezüglich der chemischen Methode konnte in keiner dieser Gruppen nachgewiesen werden.

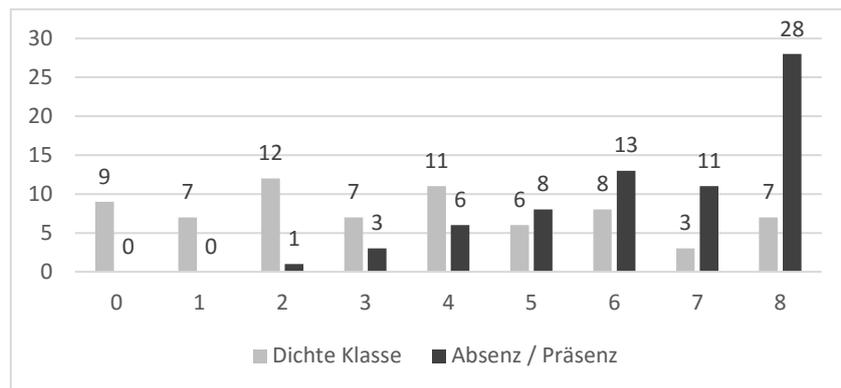


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Gleichheitswerte unterschieden nach Dichte Klasse und Absenz / Präsenz.

Lokalität	Dichte Klassen 0-4								14+15+16			Behandlungsalter und Methoden								
	KT	Stao	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S	Alter	Start-Treat	2014-Treat	2015-Treat		
LU	LU10	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	S1	FC0	FC0
VS	VS01	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	C1	FC0	FC0
VS	VS02	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	S2	FC0	FC0
VS	VS07	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	S1	FC0	FC0
VS	VS08	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	3	8	C4	FC0	FC1
VS	VS13	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	S3	FC0	FC0
VS	VS16	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	0 1 0 0 1 0	G	D	S	8	0	0	8	C6	FC0	FC0

Abbildung 29: Auswahl der sieben konstantesten Standorte bezüglich Dichte Klassen der Knöterichbestände.

A 1.2. Differenz der chemisch behandelten Flächen 2014 - 2016

Bei der Berechnung des D-Wertes wird jeweils das Start- mit dem Endjahr (2014 und 2016) verglichen. Zusätzlich wird nur der Bestand, das heisst alle vier Quadranten zusammengefasst, betrachtet. Lokale Verschiebungen von Knöterichsprossen werden somit nicht berücksichtigt. Der D-Wert ist deswegen eine Ergänzung zum G-Wert, welcher über die Richtung einer Veränderung nichts aussagt.

A 1.2.1. Dichte Klassen

19 Standorte (27%) weisen bezüglich ihrer Dichte keine Veränderungen auf. 32 Standorte (46%) haben positive Werte. Das bedeutet, dass die Dichte der Knöterichsprosse auf diesen Standorten tendenziell eher zugenommen hat. Nur 19 Standorte (27%) zeigen eine negative Tendenz der Dichte.

A 1.2.2. Absenz / Präsenz

Noch klarer sieht es bei der Differenz der Absenz / Präsenz Entwicklung aus: 35 Standorte (50%) haben sich während diesem Zeitraum nicht verändert. Sechs (9%) haben sich nur geringfügig gut entwickelt, die restlichen 29 Standorte (41%) haben sich zum Schlechten hin verändert, das heisst es wurden 2016 mehr Quadranten mit Knöterichsprossen gefunden als 2014.

D-Wert	Anzahl	D-Wert	Anzahl
Dichteklassen	Standorte	Absenz / Präsenz	Standorte
-5	2	-3	1
-4	4	-2	1
-3	4	-1	4
-2	3	0	35
-1	6	1	12
0	19	2	11
1	8	3	5
2	9	4	1
3	3		
4	4		
5	6		
10	1		
14	1		

Tabelle 6: Differenzen der FC-Flächen 2014-2016

Lokalität		Dichte Klassen 0-4								14*15*16			Behandlungsalter und Methoden				Absenz / Präsenz								14*15*16						
KT	Stao	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S	Alter	Start-Treat	2014-Treat	2015-Treat	2012	2013	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S
ZH	ZH28	2	1	2	G	D	S	1	1	0	G	D	S	0	1	0	0	G	D	S	1	3	S	1	3	1	1	1	1	1	1
		3	0	9	11	0	0	3	1	1	0	0	0	3	10	11	3	10	11	1	3	5	3	1	1	4	4	5			

Abbildung 30 als Beispiel: Es gibt nur eine Fläche mit D-Wert 4 bei der Präsenz / Absenz. Dieser Standort befand sich 2014 in einem schlechten Zustand und zeigte dann eine drastische Besserung.

Auf der Hälfte der Standorte wurden 2016 gleich viele Quadranten pro Standort mit beziehungsweise ohne oberirdische Knöterichbiomasse vorgefunden wie 2014. 29 Standorte haben sich mehrheitlich schwach positiv entwickelt. Nur auf sechs Standorten wurden 2016 mehr Quadranten mit oberirdischen Knöterichsprossen gefunden als 2014.

A 1.3. Summen der chemisch behandelten Flächen 2014 - 2016

Die Summe der Werte innerhalb der Quadranten (S-Wert) über mehrere Jahre sagt viel über den effektiven Zustand der Fläche aus. Hohe Werte bedeuten einen schlechten, tiefe Werte einen besseren Zustand. Je mehr Quadranten mit Knöterich gefunden werden desto schlechter steht es um den Standort.

A 1.3.1. Dichte Klassen

Bei den Dichteklassen zeigt sich ein sehr breites Bild. Diese detaillierte Betrachtungsweise, lässt in diesem Fall keine vernünftige Gruppenbildung zu. Eine Interpretation der Resultate ist nicht möglich.

Der S-Wert präsentiert als einzige Größe direkt die sechs Standorte, auf welchen während drei Jahren kein Knöterich gefunden wurde (Wert = 0 in Abbildung 31).

A 1.3.2. Absenz / Präsenz

Auf 34 Standorten (49%) wurden die höchsten Werte 11 und 12 ermittelt. Auf 21 Standorten (30%) wurde auf jedem der Quadranten während drei Jahren mindestens ein Knöterichspross gefunden. Es geht dabei um die bloße Präsenz/Absenz von Knöterichsprossen. Detaillierter (jedoch nicht aussagekräftiger) kann die Summe der Dichteklassen eine Aussage zum Zustand eines Standorts machen (Abbildung 31).

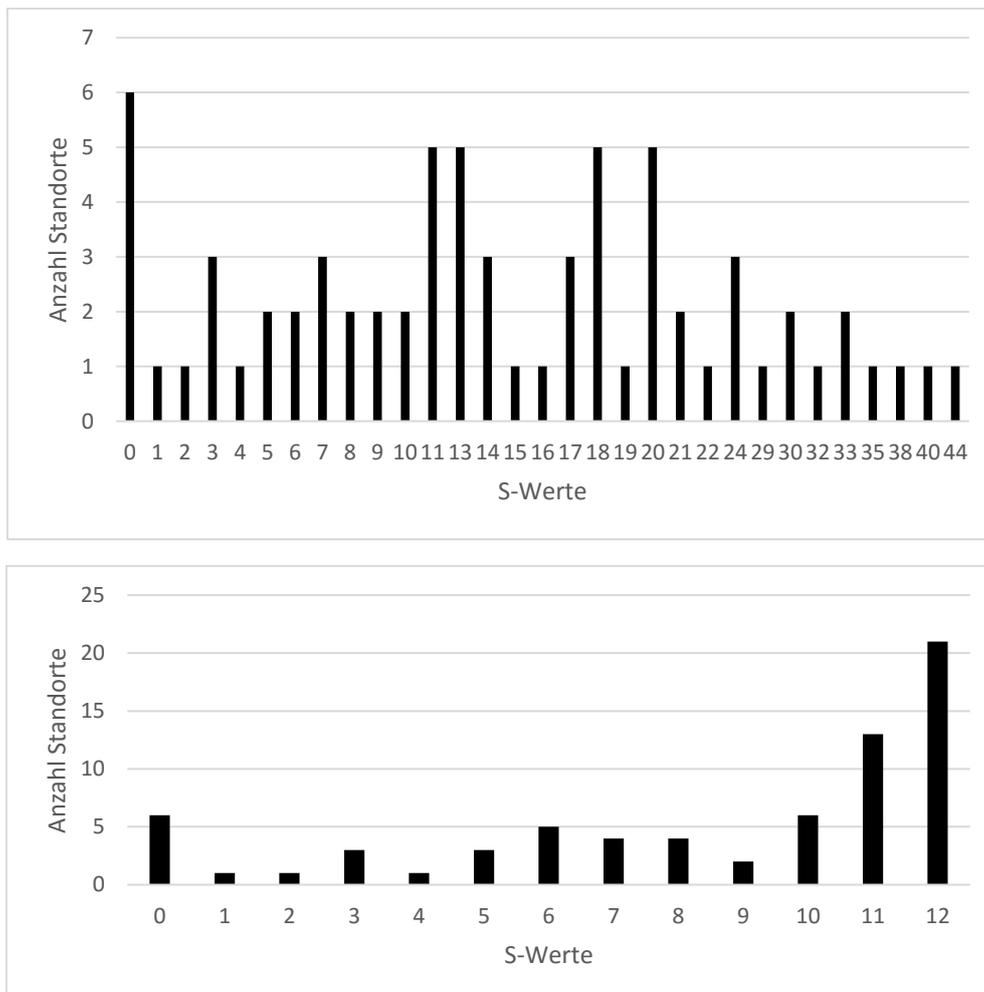


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der Standorte bezüglich der S-Werte 2014-2016 für die Dichte Klassen (oben) bzw. die Präsenz / Absenz der Knöterichpflanze (unten).

Auch hier lassen sich keine Rückschlüsse auf die Behandlungsmethoden ziehen. Die Datengrundlage und auch die Resultate sind zu heterogen.

A 1.3.3. Behandlungsalter

Es scheint nicht entscheidend für den Zustand einer Fläche, wie lange sie chemisch behandelt wird. Für die Häufung der möglicherweise getilgten Flächen sind sehr wahrscheinlich andere Gründe vorhanden. Es wurde schon im Bericht 2012 festgestellt, dass sich die oberirdische Biomasse nach 3 Jahren auf allen chemisch behandelten Flächen sehr ähnlich ist. Dieser Zustand hält danach über eine zurzeit noch unbestimmte Anzahl Jahre an.

Behandlungsalter	n	S-Mittelwert 2014-2016 Absenz / Präsenz pro Fläche	Mögliche Tilgung
8 Jahre	38	7	LU10, VS01, VS02, VS07, VS13, VS16
7 Jahre	5	9	
6 Jahre	1	11	
5 Jahre	10	12	
4 Jahre	16	10	
Total	70	8.6	6 Standorte (9%)

Tabelle 7: S-Mittelwerte in Bezug auf das Behandlungsalter.

A 1.3.4. Chemische Methoden

Betrachtet man die S-Werte in Tabelle 8, zeigt sich, dass die Stängelinjektionen als Methodengruppe für einen gewissen Erfolg verantwortlich gemacht werden kann. Allerdings konnte nur auf vier der zehn Flächen mit initialer Stängelinjektion mindestens drei Jahre in Folge die Absenz von oberirdischen Knöterichsprosse bestätigt werden.

Startmethode	n	S-Mittelwert 2014-2016 Absenz / Präsenz pro Fläche	Mittleres Behandlungsalter	Mögliche Tilgung
S3	2	1.5	8	VS13
S2	3	3.3	8	VS02
S1	5	3.4	8	VS07, LU10
H1	3	6.7	8	
C2	4	7	8	
C6	4	7.5	8	VS16
C1	14	9.3	5	VS01
C4	6	9.5	8	
C7	3	9.7	8	
C3	4	9.8	7	
C5	5	9.8	8	
C9	8	10.4	4	
C8	9	11	4	

Tabelle 8: Auflistung der S-Mittelwerte 2014-2016 pro Fläche der jeweiligen Gruppe der initialen chemischen Behandlung.

Die Methoden C8 und C9 mit starker Herbizidkonzentration (10% & 30%) wurden erst später in den Versuch aufgenommen. Wie in Kapitel A 1.3.3 ausgeführt hat das Behandlungsalter durchaus einen Effekt auf das Resultat. Nimmt man jedoch bei den Methoden C8 und C9 die jüngeren Tessiner Flächen aus der Rechnung verschlechtert sich der S-Mittelwert für C8 auf 11 und für C9 sogar auf 12.

Die Methoden in Tabelle 8, können grob in zwei Gruppen von Konzentrationen zusammengefasst werden:

- A. 2% Herbizidkonzentration (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7) mit n=40 und S-Mittelwert 8.9
- B. >2% Herbizidkonzentrationen (C8, C9, H1, S1, S2, S3) mit n=30 und dem S-Mittelwert 6.0

Die stärkeren Herbizidkonzentrationen führen zu einem nur leicht besseren Ergebnis. Die Qualitätsunterschiede der Stängelinjektionsmethoden gegenüber allen anderen Methoden sind jedoch eindeutig (n=9, S-Mittelwert = 3.3).

Die darauffolgend 2014-2016 angewendeten FC-Methoden haben weder einen stark positiven noch einen ausgeprägt negativen Einfluss auf den weiteren Verlauf der Flächenzustände.

FC-Methode	n	G-Mittelwert	D-Mittelwert	S-Mittelwert
FC1	19	6.8	0.4	9.7
FC2	21	6.2	0.8	9.7
FC3	20	6.2	0.8	9.4
Alle	60	6.4	0.7	9.6

Wo eine FC-Methode angewandt wurde, fanden sich im Durchschnitt pro Fläche in jedem Jahr drei Quadranten mit Knöterichsprosse (S-Mittelwert = 9.6 (max. 12) → 3 Quadranten pro Jahr). Dabei haben sich diese Flächen nur sehr gering verändert (D-Mittelwert = 0.7 (max. 4)) bzw. zeigen eine grosse Konstanz (G-Mittelwert = 6.4 (max. 8)).

A 1.4. Auffälligkeiten bezüglich Kantone

Die Kantone BE, GL, LU und ZH weisen keine kantonspezifischen Eigenheiten auf.

A 1.4.1. Tessin

Mit der Behandlung im Tessin wurde erst 2013 begonnen. Nach drei Jahren chemischer Behandlung sind immer noch auf allen Flächen Knöterichsprosse zu finden. Die Vegetationsperiode im Tessin dauert mehrere Wochen länger als in der restlichen Schweiz. Auf diesen Flächen handelte es sich mit grosser Sicherheit um sehr starke gut ausgebildete Individuen. Im Tessin wurden die Bestände von Beginn an nur durch ein ausgewähltes Team behandelt beziehungsweise erhoben und es wurde ein angepasster Unterhalt durchgeführt.

Lokalität		Dichte Klassen 0-4									14+*15+*16		
KT	Stao	2014			2015			2016			G D S		
		G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
TI	TI01	3,3	1	29	4,4	0	25	2,1	4	38	G	D	S
		3,4	1	-3	4,4	0	7	3,3	1	4			
TI	TI02	2,1	0	19	4,2	1	18	2,2	1	24	G	D	S
		1,2	0	-7	4,3	1	8	1,0	1	1			
TI	TI04	1,1	1	5	0,1	3	-1	1,1	4	7	G	D	S
		1,1	1	3	0,0	3	-1	0,0	4	2			
TI	TI06	3,3	2	22	3,3	1	-3	4,3	3	35	G	D	S
		3,3	2	2	2,2	1	-3	3,3	3	-1			
TI	TI08	1,3	2	9	1,0	1	4	0,2	3	11	G	D	S
		1,2	2	5	1,0	1	0	0,0	3	5			
TI	TI09	3,3	1	26	4,4	0	22	2,2	1	33	G	D	S
		3,2	1	-4	3,4	0	8	2,1	1	4			
TI	TI11	1,2	2	12	2,2	2	-3	2,3	4	21	G	D	S
		1,2	2	0	0,2	2	-3	2,2	4	-3			
TI	TI12	1,2	1	10	1,0	1	-3	2,1	2	17	G	D	S
		2,1	1	2	1,2	1	-3	2,2	2	-1			
TI	TI13	3,4	2	30	4,4	2	30	3,3	4	44	G	D	S
		3,4	2	-2	4,4	2	2	4,4	4	0			
TI	TI16	1,1	2	10	2,1	4	12	2,1	6	16	G	D	S
		1,1	2	-2	2,1	4	0	2,1	6	-2			
TI	TI19	2,2	3	15	2,1	2	10	2,1	5	18	G	D	S
		2,2	3	1	2,2	2	4	0,0	5	5			

Abbildung 32: Zusammenfassung der Tessiner FC-Flächen in der Darstellung der Dichteklassen.

Sämtliche Erkenntnisse der Vorjahre wurden berücksichtigt und entsprechende Optimierungen wurden vorgenommen. Dennoch war es auch mit der Startbehandlung von 30% Herbizidkonzentration,

der Folgebehandlung von zwei Mal 10% Herbizidkonzentration und einem intensiven, angepassten Unterhalt innerhalb von drei Jahren nicht möglich einen Bestand im vierten Jahr oberirdisch frei von Knöterichsprosse zu bekommen.

A 1.4.2. Wallis

Die besten Resultate finden sich im Wallis. Dabei ist auffallend, dass zwei der drei Standorte mit der längsten Knöterichabsenz (2012-2016) zu Beginn mit einer Stängelinjektion behandelt wurden (siehe Kapitel 3.2 Seite 15 des Schlussberichts).

Als Grund für die Erfolge im Wallis wird zudem das kontinentale Klima mit den ausgeprägten Temperaturextremen im Sommer, wie auch im Winter vermutet. Es bietet dem Knöterich vermutlich nicht die optimalen Wachstumsbedingungen. Das würde bedeuten, dass sich die Bestände ohne eine Behandlung möglicherweise aufgrund der klimatischen Umstände im Wallis langsamer ausbreiten (seitlich und in die Tiefe) und dass sich durch eine Behandlung dementsprechend schneller ein grösserer Effekt zeigen könnte. Der Versuch war jedoch zu wenig spezifisch auf diese Fragestellung ausgerichtet. Es bleibt daher bei dieser Vermutung.

Lokalität		Dichte Klassen 0-4									14+15+16					
KT	Stao	2014			2015			2016			14+15+16					
		G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S			
VS	VS01	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
VS	VS02	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
VS	VS07	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
VS	VS08	0	0	0	4	0	2	0	1	0	0	1	0	8	0	3
VS	VS09	0	1	0	3	1	3	0	1	0	0	1	0	6	2	3
VS	VS13	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
VS	VS16	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
VS	VS18	0	1	0	3	1	5	1	1	1	0	1	0	6	2	6

Abbildung 33: Zusammenfassung der Walliser FC-Flächen in der Darstellung der Dichteklassen.

Lokalität	Dichte Klassen D-4										14+15+16			Behandlungsalter und Methoden				Absenz / Präsenz										14+15+16										
	KT	Geo	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S	Alter	Start-Treat	2014-Treat	2015-Treat	2012	2013	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S						
BE	BE06		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	7	1	1				0	0	0	G	D	S	0	0	0	7	1	1
BE	BE07		1	1	1	G	D	S	1	1	1	G	D	S	1	1	1	G	D	S	3	1	13				4	0	8	4	0	8	3	1	7	3	1	11
GL	GL13		1	1	1	G	D	S	2	1	1	G	D	S	0	0	0	G	D	S	1	2	13				4	0	8	2	2	6	6	2	10			
GL	GL19		1	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	1	0	0	G	D	S	4	0	5				3	1	3	1	-1	3	4	0	5			
GL	GL20		1	1	1	G	D	S	2	2	2	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	1	9				3	-1	7	0	4	4	3	3	7			
GL	GL23		1	1	1	G	D	S	1	2	2	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	5	15				4	0	8	1	3	5	5	3	9			
GL	GL24		1	0	0	G	D	S	3	1	1	G	D	S	2	2	2	G	D	S	1	-4	18				3	-1	7	4	0	8	7	-1	31			
LU	LU01		2	0	0	G	D	S	1	1	1	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	4	10				3	-1	7	1	3	5	4	2	8			
LU	LU02		0	0	0	G	D	S	1	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	4	1	7				3	-1	5	2	2	4	5	1	6			
LU	LU03		1	1	1	G	D	S	3	3	3	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	4	13				4	0	6	1	3	3	5	3	6			
LU	LU04		0	1	0	G	D	S	1	2	2	G	D	S	1	1	1	G	D	S	2	-3	14				2	-2	6	4	0	8	6	-2	10			
LU	LU05		1	1	1	G	D	S	2	2	2	G	D	S	1	1	1	G	D	S	0	-1	18				4	0	8	4	0	8	8	0	10			
LU	LU07		0	0	0	G	D	S	1	1	1	G	D	S	1	0	0	G	D	S	5	-1	3				2	-2	2	3	1	3	5	-1	3			
LU	LU08		1	1	1	G	D	S	1	1	1	G	D	S	1	1	1	G	D	S	5	1	8				2	0	6	3	1	5	5	1	8			
LU	LU10		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	0				4	0	0	4	0	0	8	0	0			
LU	LU11		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	1	0	0	G	D	S	3	14	33				4	0	8	2	2	6	6	2	10			
LU	LU12		1	1	1	G	D	S	3	3	3	G	D	S	1	1	1	G	D	S	0	0	18				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
LU	LU13		2	1	1	G	D	S	2	3	3	G	D	S	2	2	2	G	D	S	5	0	17				4	0	8	3	1	7	7	1	11			
TI	TI01		3	3	3	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	1	1	G	D	S	1	4	38				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
TI	TI02		2	1	1	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	2	2	G	D	S	1	1	24				4	0	8	3	1	7	7	1	11			
TI	TI04		1	1	1	G	D	S	0	0	0	G	D	S	1	1	1	G	D	S	4	2	7				1	3	5	3	-1	3	4	2	7			
TI	TI06		3	3	3	G	D	S	3	3	3	G	D	S	0	0	0	G	D	S	3	-1	35				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
TI	TI08		1	3	3	G	D	S	1	0	0	G	D	S	0	2	2	G	D	S	3	5	11				2	2	6	1	1	3	3	3	7			
TI	TI09		3	3	3	G	D	S	0	0	0	G	D	S	2	2	2	G	D	S	1	4	33				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
TI	TI11		1	2	2	G	D	S	2	2	2	G	D	S	2	3	3	G	D	S	4	-3	21				3	1	7	3	-1	7	6	0	11			
TI	TI12		1	2	2	G	D	S	1	0	0	G	D	S	2	1	1	G	D	S	2	-1	17				3	1	7	3	-1	7	6	0	11			
TI	TI13		3	3	3	G	D	S	0	0	0	G	D	S	3	3	3	G	D	S	4	0	14				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
TI	TI16		1	1	1	G	D	S	2	1	1	G	D	S	2	1	1	G	D	S	6	-2	16				4	0	8	4	0	8	8	0	12			
TI	TI19		2	2	2	G	D	S	2	1	1	G	D	S	2	1	1	G	D	S	5	5	18				4	0	8	2	2	6	6	2	10			
VS	VS01		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	0				4	0	0	4	0	0	8	0	0			
VS	VS02		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	0				4	0	0	4	0	0	8	0	0			
VS	VS07		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	0				4	0	0	4	0	0	8	0	0			
VS	VS08		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	3				4	0	2	4	0	2	8	0	3			
VS	VS09		0	1	1	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	6	2	3				3	1	3	3	1	1	6	2	3			
VS	VS13		0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	0	0	0	G	D	S	8	0	0				4	0	0	4	0	0	8	0	0			

Lokalität	Dichte Klassen 0-4												14+15+16			Behandlungsalter und Methoden				Absenz / Präsenz												14+15+16				
	KT	Beao	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S	Alter	Start-Treat	2014-Treat	2015-Treat	2012	2013	2014	G	D	S	2015	G	D	S	2016	G	D	S				
VS	VS16		0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C6	FC0	FC0				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
VS	VS18		0	1	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	7	C1	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH04		1	0	G	D	S	3	2	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C2	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH05		2	2	G	D	S	2	1	G	D	S	0	1	G	D	S	8	C7	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH07		1	1	G	D	S	1	2	G	D	S	1	1	G	D	S	8	C4	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH08		0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	H1	FC0	FC0				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH101		1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	3	C9	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH102		2	1	G	D	S	4	3	G	D	S	2	1	G	D	S	3	C1	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH103		1	1	G	D	S	0	1	G	D	S	1	1	G	D	S	3	C8	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH12		3	1	G	D	S	1	0	G	D	S	1	0	G	D	S	8	C2	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH16		1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	3	2	G	D	S	5	C1	FC1	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH18		2	2	G	D	S	1	1	G	D	S	3	2	G	D	S	7	C3	FC2	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH19		1	1	G	D	S	1	0	G	D	S	1	1	G	D	S	8	S1	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH20		1	1	G	D	S	0	1	G	D	S	1	1	G	D	S	8	C4	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH21		1	0	G	D	S	0	0	G	D	S	0	1	G	D	S	8	C1	FC3	FC0				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH22		1	1	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	C7	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH23		1	1	G	D	S	2	2	G	D	S	2	2	G	D	S	8	C5	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH24		1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	1	1	G	D	S	8	C4	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH27		3	4	G	D	S	4	4	G	D	S	3	2	G	D	S	2	S5	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH28		2	2	G	D	S	1	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	S2	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH30		1	2	G	D	S	2	4	G	D	S	1	2	G	D	S	7	C3	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH31		0	1	G	D	S	0	0	G	D	S	0	0	G	D	S	8	S2	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH32		0	1	G	D	S	0	1	G	D	S	1	1	G	D	S	8	S1	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH33		1	1	G	D	S	2	2	G	D	S	1	1	G	D	S	8	C1	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH36		0	1	G	D	S	0	1	G	D	S	0	1	G	D	S	8	H1	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH39		2	3	G	D	S	2	3	G	D	S	3	3	G	D	S	5	C1	FC2	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH40		1	1	G	D	S	3	3	G	D	S	2	2	G	D	S	3	C8	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH41		1	1	G	D	S	2	3	G	D	S	2	1	G	D	S	5	C9	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH44		2	2	G	D	S	4	4	G	D	S	2	2	G	D	S	5	C1	FC1	FC1				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH45		1	1	G	D	S	3	3	G	D	S	1	3	G	D	S	5	C8	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH46		1	1	G	D	S	2	2	G	D	S	1	2	G	D	S	5	C9	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH47		1	1	G	D	S	2	2	G	D	S	2	2	G	D	S	5	C8	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH48		1	1	G	D	S	3	3	G	D	S	3	3	G	D	S	5	C9	FC3	FC3				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH49		1	1	G	D	S	4	3	G	D	S	1	1	G	D	S	5	C1	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S
ZH	ZH50		2	2	G	D	S	3	3	G	D	S	2	0	G	D	S	5	C8	FC2	FC2				G	D	S	G	D	S	G	D	S	G	D	S

Anhang B RHIZOMGRABUNGEN UND SPROSSVERSUCHE 2016

B 1. ALLGEMEINES

Um die Standorte zum Projektabschluss auch unterirdisch beurteilen zu können, wurden Rhizomgrabungen organisiert. Das Ziel des Versuches war es, herauszufinden, welche Rhizome innerhalb von zwei Monaten nach einer Störung wieder austreiben. Eine Störung wie z.B. Veränderung der Umgebung (pH-Wert, Feuchte, Temperatur, etc.), Schnitt, Bruch, etc. kann aber die Bildung neuer Sprosse durchaus anregen. Gemäss Angaben von englischen Spezialisten (T. Renals, L. E. Child, D. Shaw) kann aber eine allfällige Dormanz der Rhizome nicht mit abschliessender Sicherheit ausgeschlossen werden. Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit können aufgrund der zu kleinen Stichprobengrösse und der möglichen Dormanz keine gemacht werden. Die Rhizomgrabungen und der Sprossversuch müssen somit als Fallbeispiele betrachtet werden.

B 2. METHODIK

B 2.1. Grabung

In Luzern beziehungsweise in Zürich kamen zwei verschiedene Bagger mit unterschiedlich grossen Schaufeln zum Einsatz. Aufgrund der unterschiedlichen Schaufelbreite entstanden verschiedene Volumina. Das Vorgehen war immer dasselbe. Zuerst wurde ein Graben ausgehoben und das Material zur Seite gelegt. Dann wurden die Tiefenstufen markiert (Abbildung 34). Die Schaufel konnte auf diese Weise sehr genau in der richtigen Tiefe für einen oberflächenparallelen Abstich angesetzt werden. Zum Schluss wurde das richtige Volumen von Hand mit einem Spaten abgetrennt (Abbildung 35). Grundsätzlich wurde immer ein Block ausgehoben um dann sogleich die Rhizome aus dem Bodenmaterial herauszusuchen. Wenn keine Rhizome gefunden wurden, wurde kein weiterer Block ausgehoben.



Abbildung 34: Mit Leuchtspray wurden die Abschnitte mit 40cm Abstand markiert. (Bild: Gregori, 2016)



Abbildung 35: Nachdem mit der Schaufel in der richtigen Tiefe angesetzt wurde, konnten die Blöcke mit einem Spaten einfach abgetrennt werden. (Bild: Gregori, 2016)

Um die Rhizome aus dem Bodenmaterial zu entnehmen, wurde die Schaufel auf Brusthöhe positioniert und drei bis vier Personen konnten die Erde von Hand langsam aus der Schaufel verlesen (Abbildung 36). Die Rhizomteile wurden pro Tiefenstufe in stabilen Kunststoffsäcken gesammelt und für den Transport verpackt.



Abbildung 36: Verlesen der Rhizome aus dem ausgehobenen Boden. (Bild: Gregori, 2016)

Zum Schluss wurden die Gräben wieder gefüllt, die Flächen planiert und neu angesät (Abbildung 37).



Abbildung 37: LU06 und LU07 nach den Rhizomgrabungen. (Bild: Gregori, 2016)

B 2.2. Datenerhebung

Für die Datenerhebung wurden die Rhizome zuerst gewaschen. Mit Hilfe einer Schnur wurde die totale Länge der Rhizomteile pro Tiefenstufe einer Grabung gemessen und dann gewogen.



Abbildung 38: Reinigung der Rhizome. (Bild: Gregori, 2016)



Abbildung 39: Längenmessung der Rhizome. (Bild: Gregori, 2016)

B 2.3. Sprossversuch

Zu jeder Tiefenstufe, aus der Rhizome gewonnen werden konnten, wurden drei Stichproben für den Sprossversuch entnommen, fotografiert (Abbildung 40) und in Töpfen unter 5cm steriler Blumenerde eingepflanzt. Damit die Erde nicht austrocknet, wurden die Töpfe auf einer saugfähigen Matte platziert und je nach Bedarf zwei bis drei Mal pro Woche gewässert. Die Temperaturen in der Klimakammer der WSL Birmensdorf erreichten maximal 35°C am Tag und 14°C in der Nacht, wobei der hohe Maximalwert durch das milde Wetter nur in den ersten beiden Wochen (Anfang September) erreicht wurde. Danach pendelten sich die Tagestemperaturen zwischen 21°C und 27°C ein, während die Nachttemperaturen durch eine zugeschaltete Heizung nie unter 18°C lagen.



Abbildung 40: Beispiel einer Rhizomstichprobe für die Sprossversuche. (Bild: Gregori, 2016)



Abbildung 41: Sprossversuche in einer Klimakammer der WSL Birmensdorf. Gut sichtbar sind links die starken Triebe der Kontrollfläche. (Bild: Gregori, 2016)

B 3. RESULTATE UND INTERPRETATION

B 3.1. Rhizomgrabungen

Die oben angesprochenen Unterschiede der Schaufelvolumina pro 40cm Bodenschicht (288 Liter in Zürich und 128 Liter in Luzern) wurden berücksichtigt und die Daten auf 100 Liter Boden normalisiert.

B 3.1.1. LU06 (Kontrollfläche)

Der Unterschied zwischen Graben 1 und 2 ist gross. Graben 1 befindet sich mehr im Zentrum des Bestandes, während Graben 2 gegen den Rand des Bestandes ausgehoben wurde. Während in Graben 2 bereits ab einer Tiefe von 80cm keine Rhizomteile mehr gefunden wurden, nimmt die Menge in Graben 1 ab 160cm Tiefe noch einmal zu. Diese Zunahme in der Tiefe des zentralen Graben 1 könnte ein Anzeichen für den Ursprung (eingebautes Knöterichmaterial) des Bestandes sein, der mit grosser Wahrscheinlichkeit durch bauliche Massnahmen entstanden ist.

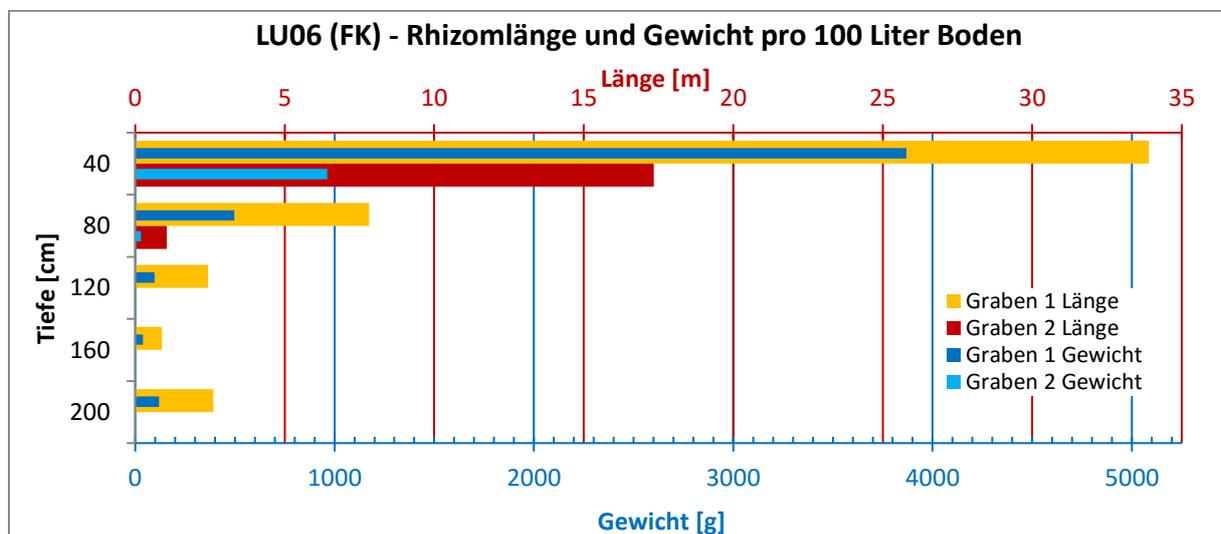


Abbildung 42: Länge und Gewicht der Rhizome pro Hektoliter Boden auf Standort LU06 (FK)

B 3.1.2. LU07 (chemisch behandelte Fläche)

Der chemisch behandelte Bestand zeigt mit zunehmender Tiefe eine rasche Abnahme der Rhizommenge. Zudem finden sich in beiden Gräben nur bis 80 cm Tiefe Rhizomteile.

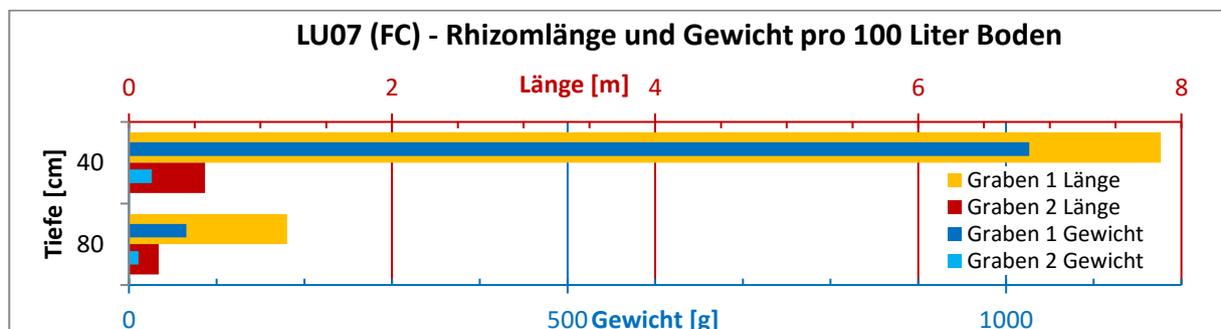


Abbildung 43: Länge und Gewicht der Rhizome pro Hektoliter Boden auf Standort LU07 (FC)

B 3.1.3. ZH15 (mechanisch behandelte Fläche)

Auffallend ist bei ZH15 Graben 1 das hohe Gewicht im Verhältnis zu der gesamten vorhandenen Länge der Rhizomstücke. Dies kam im Vergleich zu der Kontrollfläche (LU06) durch sehr schwere und dicke (vergrabene) Rhizomstücke zustande (Abbildung 45), welche aufgrund von Bodenverdichtungen (sauerstoffarmes Milieu) während mehr als 60 Jahren, seit ihrem Einbau bei baulichen Massnahmen (Verlegung der Sihltalstrasse), nicht zersetzt wurden. ZH15 ist ein gutes Beispiel um die Individualität der Standorte aufzuzeigen.

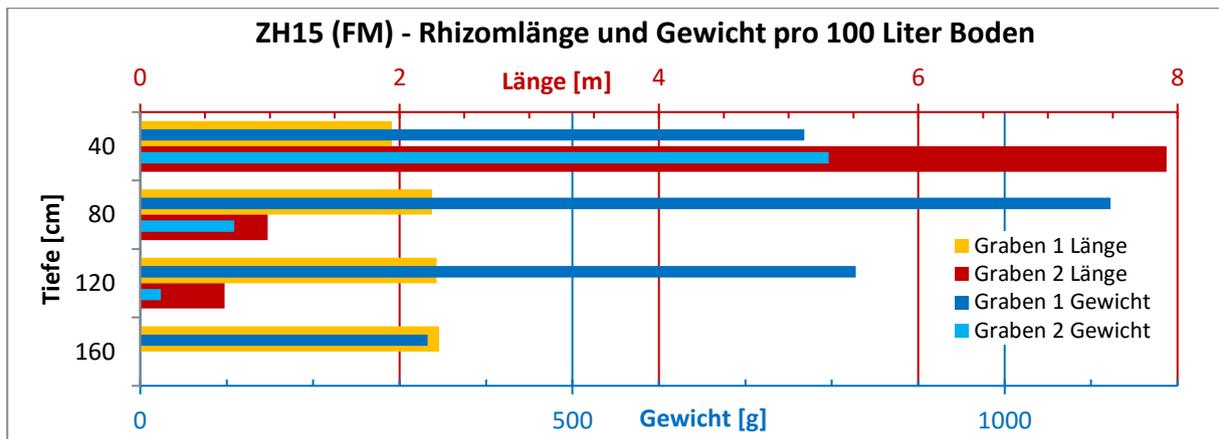


Abbildung 44: Länge und Gewicht der Rhizome pro Hektoliter Boden auf Standort ZH15 (FM)



Abbildung 45: Zeugen der Bodenverdichtung und Fehler bei baulichen Massnahmen aus den 1950er Jahren (Verlegung der Sihltalstrasse): Ein aus einer Tiefe von 80cm ausgegrabenes, gut erhaltenes ursprüngliches Basalteil. (Bild: Gregori, 2016)

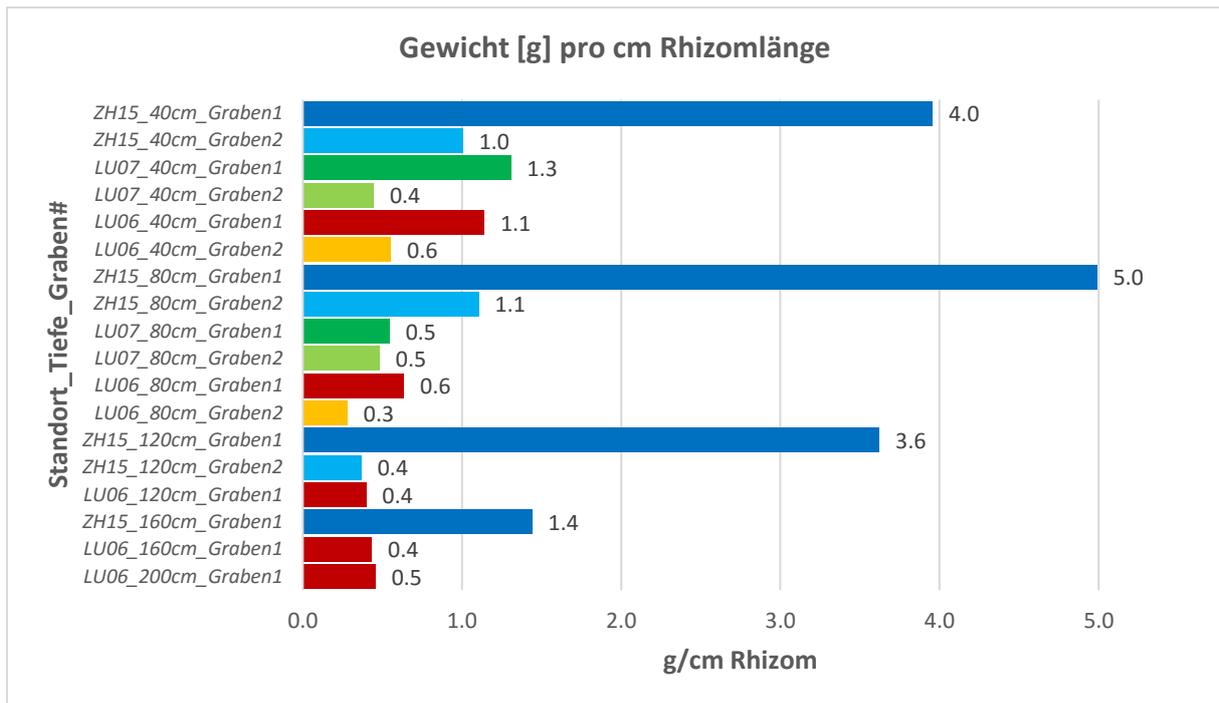


Abbildung 46: Verhältnis zwischen Gewicht und Rhizomlänge. Ein höherer Wert kann entweder durch grössere Dichte oder einen grösseren Rhizomdurchmesser entstehen.

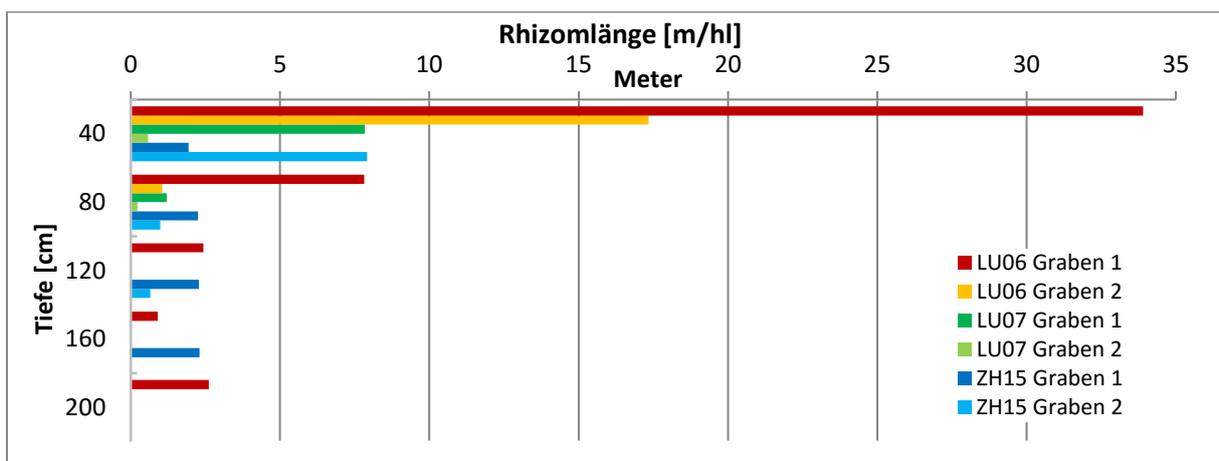


Abbildung 47: Länge der Rhizome in Meter pro 100 Liter Boden

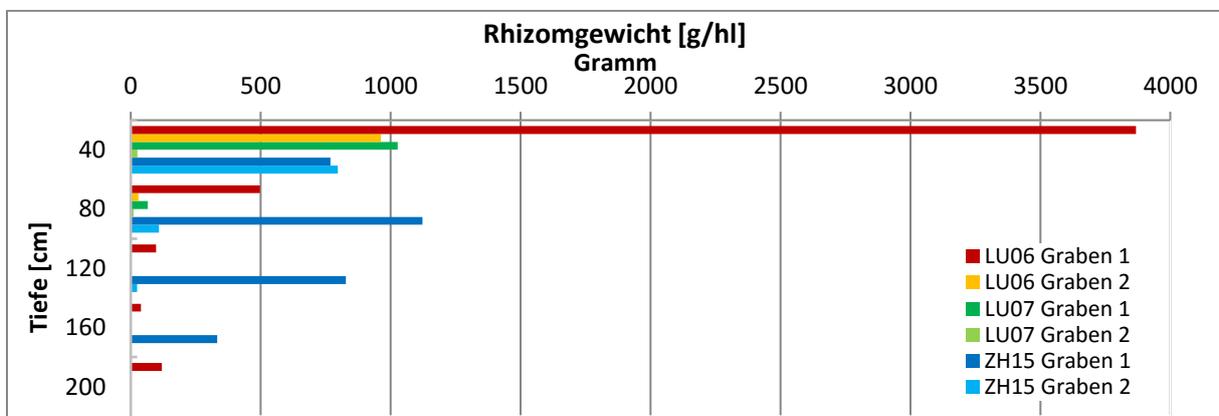


Abbildung 48: Gewicht der Rhizome pro 100 Liter Boden

B 3.2. Sprossversuch

Der Sprossversuch dient zur Beurteilung der Vitalität der Rhizome. Obschon dieser Untersuchung nicht mit abschliessender Sicherheit eine Aussage über den gesamten Bestand zulässt, kann anhand des Spross- bzw. des Wurzelwachstums ein zuverlässiger Eindruck über den Zustand der Stichprobe gewonnen werden.

95% der Stichproben aus der Kontrollgruppe zeigten vitale feine Wurzeln zur Nährstoffaufnahme und 52% zeigten zum Teil sogar mehrere neue Sprosse, welche zum Teil zu bis zu 35 cm hohen Pflanzen heranwuchsen (Abbildung 51).

Die Stichproben der behandelten Flächen zeigten sowohl bei der chemischen als auch bei der mechanischen Gruppe stark reduzierte Vitalität. Nur die Hälfte dieser Proben zeigte vitale Wurzeln und lediglich 6% (2 von 33) wiesen jeweils einen neuen Spross auf.

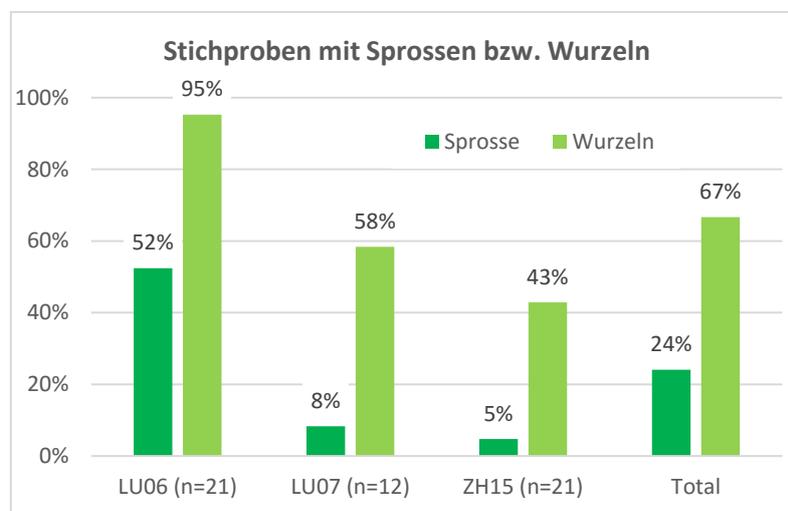


Abbildung 49: Ergebnisse des Sprossversuchs.



Abbildungen 50: Wurzeln an Rhizomstichproben nach zwei Monaten in steriler Blumenerde (v.l.n.r.: LU06 120cm Tiefe, LU07 80cm Tiefe, ZH15 40cm Tiefe). (Bilder: Gregori, 2016)

Die feinen hellen Wurzeln zur Nährstoffaufnahme finden sich nach zwei Monaten in der Blumenerde an 67% der total 54 Rhizomstichproben.



Abbildung 51: Knöterichspross aus Standort LU06 nach 8 Jahren ohne jegliche Behandlung. Das Rhizom wurde in 80cm Tiefe gefunden. (Bild: Gregori, 2016)

Die Erwartung, dass eine Rhizomstichprobe aus der Kontrollgruppe vitale Knöterichsprosse entwickeln kann, wurde in 52% der Fälle erfüllt. Die Sprosse sind auch noch zum Ende der Vegetationsperiode innerhalb von zwei Monaten nach der Störung durch das Ausbaggern Ende August in den Töpfen zu gesunden Jungpflanzen herangewachsen.



Abbildung 52: Knöterichspross aus Standort LU07 nach 8 jähriger chemischer Behandlung. Das Rhizom wurde in 80cm Tiefe gefunden. (Bild: Gregori, 2016)

Aus dem Standort LU07 gab es nur eine von 12 Stichproben, welche es schaffte, einen Spross auszutreiben. Dieser war allerdings äusserst schwach. Dennoch, er hat es durch die ca. 5cm Blumenerde an die Oberfläche geschafft und Chlorophyll gebildet. Ob es dieser Trieb auch aus der Tiefe aus der die Stichprobe stammte an die Erdoberfläche geschafft hätte bleibt offen. Das Beispiel zeigt aber, dass auch nach 8 Jahren chemischer Behandlung noch vitale Rhizome vorhanden sind.



Abbildung 53: Knöterichspross aus Standort ZH15 nach 8 jähriger mechanischer Behandlung. Das Rhizom wurde in 120cm Tiefe gefunden. (Bild: Gregori, 2016)

Die einzige Stichprobe aus der mechanisch behandelten Fläche, welche Sprosse bildete stammt aus 120 cm Tiefe. Ob dieser Rhizomteil jemals mit den anderen oberflächennahen Teilen verbunden war, kann nicht gesagt werden. Dementsprechend ist auch nicht sicher, ob dieser Teil seit seiner Ankunft an diesem Standort jemals mit Nährstoffen versorgt wurde. Gemäss Aussage des Flächenverantwortlichen wurden die baulichen Massnahmen auf dieser Fläche, welche mit grösster Wahrscheinlichkeit zur Präsenz des Knöterichs geführt haben, vor mehr als 60 Jahren durchgeführt.

Folgend die Darstellung der vitalen Wurzeln beziehungsweise der neuen Sprosse eingeteilt nach der Tiefe der Rhizomproben:

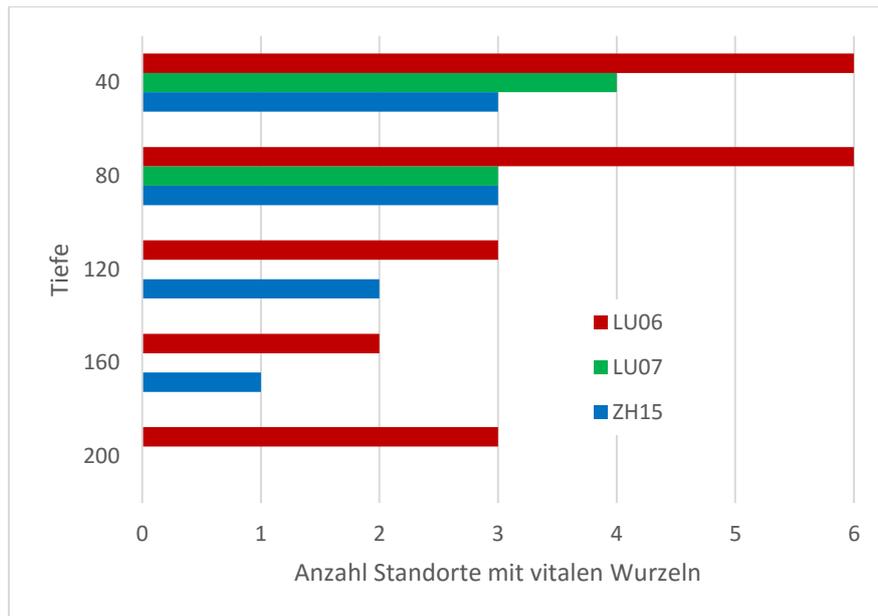


Abbildung 54: Anzahl Standorte mit vitalen Wurzeln dargestellt nach der ursprünglichen Tiefe der Rhizomproben.

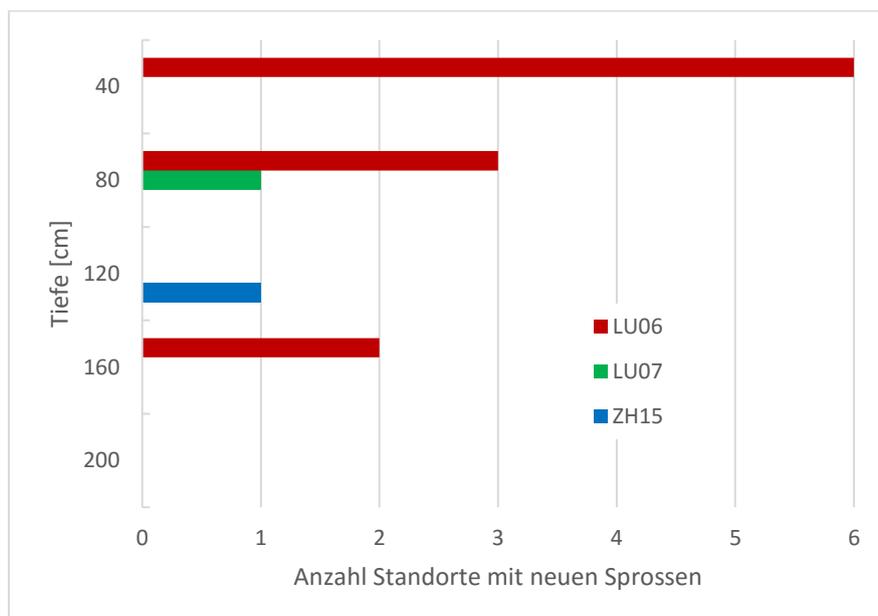


Abbildung 55: Anzahl Standorte mit neuen Sprossen dargestellt nach der ursprünglichen Tiefe der Rhizomproben.

B 4. DISKUSSION

Die Kontrollflächen zeigten die deutlichsten Vitalitätszeichen. Überraschenderweise fanden sich bei den Rhizomteilen aus der mechanisch behandelten Fläche relativ weniger vitale Stücke als aus der chemisch behandelten Fläche. Die in Kapitel B 3.1.3 angesprochenen Verhältnisse der Bodenverdichtung könnten aber zur Folge haben, dass die vorhandenen Rhizomteile zwar tot sind, aber nicht abgebaut wurden. Somit liesse sich die geringe Anzahl an vitalen Rhizomen erklären. Es bleibt allerdings die Frage offen, wie der Zustand der Rhizome auf dieser Zürcher Fläche zu Beginn des Versuchs war. Denn damals handelte es sich um einen äusserst vitalen Knöterichbestand dessen Rhizome zumindest in den obersten Bodenschichten sicherlich sehr austriebsfähig waren. Der regelmässige Schnitt der Knöterichpflanze muss also durchaus einen Effekt auf die Vitalität der Rhizome haben.