

**Landschaftsökologische Analyse des Vorkommens von
Senecio aquaticus (Wasser-Kreuzkraut)
in voralpinen Feuchtwiesen
(Master-Arbeit)**



Verfasser: Holger Hennings

Studiengang: Landschaftsplanung, Ökologie und Naturschutz (Master) /
TU München

Erstbetreuer/-prüfer: Prof. Dr. Johannes Kollmann, TU München (Freising-Weihenstephan)

Zweitbetreuer: Dr. Gisbert Kuhn, Landesanstalt für Landwirtschaft (Freising)

Zweitprüfer: Dr. Thomas Wagner, TU München (Freising-Weihenstephan)

Vorgelegt im Oktober 2013



Technische Universität München

Lehrstuhl für Renaturierungsökologie

Prof. Dr. Johannes Kollmann

Emil-Ramann-Straße 6
85354 Freising-Weihenstephan

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz (IAB)**

Dr. Gisbert Kuhn

Lange Point 12
85354 Freising-Weihenstephan



Bayerisches Landesamt für Umwelt

Bayerisches Landesamt für Umwelt

**Koordinationsstelle Moorrenaturierung
Ref. 54 Arten- und Lebensraumschutz**

Ulrich M. Sorg

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Inhalt

| | |
|--|----|
| Zusammenfassung/Summary..... | 8 |
| 1. Einführung in die Thematik | 11 |
| 2. Probleme mit <i>Senecio</i> -Arten im Wirtschaftsgrünland | 15 |
| 3. Biologie von <i>Senecio aquaticus</i> | 16 |
| 4. Material und Methoden..... | 21 |
| 4.1 Untersuchungsgebiete..... | 21 |
| 4.2 Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu | 27 |
| 4.3 Versuch der Vorhersage potentieller Standorte von <i>Senecio aquaticus</i> mit Hilfe einer GIS-Analyse im Landkreis Oberallgäu | 37 |
| 5 Ergebnisse..... | 41 |
| 5.1 Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu..... | 41 |
| 5.2 Ergebnisse der GIS-Analyse..... | 60 |
| 6. Diskussion | 63 |
| 6.1 Diskussion zu den Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu | 63 |
| 6.2 Diskussion zur GIS-Analyse | 67 |
| 6.3 Einflussfaktoren auf die Ergebnisse..... | 70 |
| 7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen | 71 |
| Literaturverzeichnis | 73 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: <i>Senecio aquaticus</i> im Blütenstadium auf den Versuchsflächen am Öschlesee im Allgäu (eigene Aufnahme) | 16 |
| Abbildung 2: <i>Senecio aquaticus</i> : Einzelpflanze im Blütenstadium (eigene Aufnahme) | 17 |
| Abbildung 3: Rosetten von <i>Senecio aquaticus</i> auf den Versuchsflächen am Öschlesee (eigene Aufnahme) | 17 |
| Abbildung 4: Verbreitung von <i>Senecio aquaticus</i> in Deutschland mit Schwerpunkten in Flussniederungen und Moorbereichen (Bayern, Oberrheinebene und Schwarzwald, Niedersachsen, Schleswig-Holstein) (Quelle: FloraWeb, Bundesamt für Naturschutz 2006) | 18 |
| Abbildung 5: Typischer Feuchtwiesen-Standort von <i>Senecio aquaticus</i> westlich des Großen Alpsees bei Immenstadt (eigene Aufnahme) | 19 |
| Abbildung 6: Lage der Untersuchungsgebiete im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 22 |
| Abbildung 7: Umgebung des Untersuchungsgebiets Martinszell im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 24 |
| Abbildung 8: Umgebung des Untersuchungsgebiets Oberstdorf im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 25 |
| Abbildung 9: Umgebung des Untersuchungsgebiets Immenstadt im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 26 |
| Abbildung 10: Umgebung des Untersuchungsgebiets Wagneritz im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 26 |
| Abbildung 11: Gebiet 2, süd-westlich von Martinszell mit den Teilflächen 11 bis 16 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 29 |
| Abbildung 12: Gebiet 3, süd-westlich von Oberstdorf mit den Teilflächen 17 und 18 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 29 |
| Abbildung 13: Gebiet 4, westlich des Großen Alpsees bei Immenstadt, mit den Teilflächen 19 bis 22 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de ; bearbeitet) | 30 |
| Abbildung 14: Gebiet 5, südlich von Rettenberg-Wagneritz mit den Teilflächen 23 bis 25 | 30 |
| Abbildung 15: GIS-Modell zur Darstellung der Flächen, auf denen <i>Senecio aquaticus</i> vorkommen kann | 39 |
| Abbildung 16: Die Durchschnittswerte der Feuchtezahl nach Ellenberg von allen Arten, die auf den einzelnen Teilflächen vorkommen, spiegeln die vor Ort eingeschätzten Feuchtigkeitsverhältnisse meist gut wider (außer bei den Flächen 15 und 24 mit Mineraldüngung) | 42 |
| Abbildung 17: Der Durchschnitt der Stickstoffzahl nach Ellenberg von allen Arten, die auf den einzelnen Teilflächen vorkommen, entspricht oft nicht den tatsächlichen Stickstoffverhältnissen | 43 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 18: Die DCA („Detrended Correspondence Analysis“) von den Vegetationsaufnahmen auf den Teilflächen 13 – 25 zeigt deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung der Teilflächen (Eigenwert Achse 1: 0,57; Eigenwert Achse 2: 0,35) | 45 |
| Abbildung 19: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> ist bei den feuchten Teilflächen 16, 19 und 23 marginal signifikant höher als bei den frischen Flächen 14, 20 und 25 | 47 |
| Abbildung 20: Der Deckungsanteil aller Blütenpflanzen bei den Teilflächen zeigt an, dass die Pflanzendecke meist gut geschlossen war..... | 48 |
| Abbildung 21: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> wird bei zunehmender durchschnittlicher Feuchtezahl nach Ellenberg bei den Teilflächen 13 bis 25 größer | 49 |
| Abbildung 22: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> wird bei zunehmender Artenzahl von Calthion-Arten bei den Teilflächen 13 bis 25 größer | 49 |
| Abbildung 23: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> wird mit zunehmender durchschnittlicher N-Zahl bei den Teilflächen 13 bis 25 geringer | 51 |
| Abbildung 24: Der Shannon-Weaver-Index (abgewandelt) ist bei den Teilflächen 15, 21 und 24 (mit mineralischer Düngung) marginal signifikant geringer als bei den Vergleichsflächen 16, 19 und 23 | 52 |
| Abbildung 25: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> wird mit zunehmendem Deckungsanteil von <i>Carex acutiformis</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 größer..... | 53 |
| Abbildung 26: Der Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> wird mit zunehmendem Deckungsanteil von <i>Juncus effusus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 größer..... | 54 |
| Abbildung 27: Stetigkeit von <i>Carex acutiformis</i> , <i>Juncus effusus</i> und <i>Juncus inflexus</i> sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben: Anzahl der Probeflächen)..... | 55 |
| Abbildung 28: Stetigkeit von <i>Carex acutiformis</i> , <i>Juncus effusus</i> und <i>Juncus inflexus</i> sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen bzw. von allen Probeflächen mit <i>Senecio aquaticus</i>) | 55 |
| Abbildung 29: Stetigkeit von <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen mit <i>Carex acutiformis</i> , <i>Juncus effusus</i> bzw. <i>Juncus inflexus</i>)..... | 56 |
| Abbildung 30: Stetigkeit von <i>Ranunculus repens</i> und <i>Taraxacum officinale</i> sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben: Anzahl der Probeflächen) | 58 |
| Abbildung 31: Stetigkeit von <i>Ranunculus repens</i> und <i>Taraxacum officinale</i> sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen bzw. von allen Probeflächen mit <i>Senecio aquaticus</i>) .. | 58 |
| Abbildung 32: Stetigkeit von <i>Senecio aquaticus</i> bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen mit <i>Ranunculus repens</i> bzw. <i>Taraxacum officinale</i>) | 59 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Zeigerwerte nach Ellenberg von <i>Senecio aquaticus</i> (Quelle: FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz (2006)))..... | 19 |
| Tabelle 2: Lage der untersuchten Teilflächen (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de)..... | 31 |
| Tabelle 3: Feuchtigkeitsverhältnisse und Management auf den Teilflächen 13 bis 25..... | 32 |
| Tabelle 4: Im Rahmen der GIS-Analyse verwendete Daten..... | 38 |
| Tabelle 5: Bewertung der Vorkommenswahrscheinlichkeit von <i>Senecio aquaticus</i> bei bestimmter „theoretischer Nutzung“ der Flächen..... | 40 |
| Tabelle 6: Unterschiede der Deckung von <i>Senecio aquaticus</i> zwischen den frischen Teilflächen und den feuchten Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet..... | 47 |
| Tabelle 7: Deckung von <i>Senecio aquaticus</i> bei den Flächen mit mineralischer Stickstoff-Düngung sowie bei den Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet (ohne mineralischer Düngung)..... | 50 |
| Tabelle 8: Shannon-Weaver-Index (abgewandelt) bei den Flächen mit mineralischer Stickstoff-Düngung sowie bei den Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet..... | 52 |
| Tabelle 9: Korrelation zwischen <i>Senecio aquaticus</i> und <i>Carex acutiformis</i> sowie <i>Juncus effusus</i> , keine Korrelation zwischen <i>Senecio aquaticus</i> und <i>Juncus inflexus</i> (bei den Teilflächen 13 bis 25)..... | 53 |
| Tabelle 10: keine Korrelation zwischen <i>Senecio aquaticus</i> und <i>Juncus effusus</i> , <i>Juncus inflexus</i> sowie <i>Carex acutiformis</i> bei den Teilflächen 1 bis 25..... | 56 |
| Tabelle 11: geringe negative Korrelation zwischen <i>Senecio aquaticus</i> und <i>Taraxacum officinale</i> sowie <i>Ranunculus repens</i> bei den Teilflächen 13 bis 25..... | 57 |
| Tabelle 12: geringe negative Korrelation zwischen <i>Senecio aquaticus</i> und <i>Ranunculus repens</i> sowie <i>Taraxacum officinale</i> bei den Teilflächen 1 bis 25..... | 59 |
| Tabelle 13: Vergleich zwischen der Vorkommenswahrscheinlichkeit von <i>Senecio aquaticus</i> entsprechend der GIS-Auswertung und dem Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> , der bei der Vegetationsaufnahme in den vier Untersuchungsgebieten gefunden wurde. | 68 |

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Lage der einzelnen Probeflächen auf den Teilflächen 13 bis 25

Anlage 2: Ergebnistabelle der Vegetationsaufnahmen (Vegetationstabelle)

Anlage 3: Merkmale des Pflanzenbestandes

Anlage 4: Ergebnis des H-Tests nach Kruskal-Wallis

Anlage 5: Ergebnis des U-Tests nach Mann-Whitney (Korrelationsmatrices)

Anlage 6: Ergebnis Spearman-Korrelation

Kartenverzeichnis

Karte 1: Übersichtskarte Landkreis Oberallgäu (Nord)

Karte 2: Übersichtskarte Landkreis Oberallgäu (Süd)

Karte 3: Untersuchungsgebiet Martinszell

Karte 4: Untersuchungsgebiet Oberstdorf

Karte 5: Untersuchungsgebiet Immenstadt

Karte 6: Untersuchungsgebiet Wagneritz

Zusammenfassung/Summary

Die Art *Senecio aquaticus* wird, wie andere Arten der Gattung *Senecio*, als Unkraut im Grünland eingestuft, da sie Pyrrolizidin-Alkaloide enthält, die toxisch für Vieh sind. Auch für den Menschen können diese Stoffe schädlich sein. Darüber hinaus besitzt die Pflanze eine gute Ausbreitungsfähigkeit durch frühe Blütenbildung, Windausbreitung und hohe Keimung sowie eine gute Regenerationsfähigkeit aus der langlebigen Samenbank. Im Grünland der Alpen hat sich *Senecio aquaticus* in jüngster Zeit ausgebreitet. Die Art bevorzugt feuchte bis nasse Wiesen und Weiden sowie Ränder von Bächen und moorige Bereiche. Auch im Allgäu haben viele Landwirte mit der Pflanze Probleme, weil die betroffenen Bereiche nicht mehr beweidet werden sollen und das Mähgut nicht verfüttert werden darf.

In einigen Studien wurden bereits Untersuchungen zu *Senecio*-Arten und zu *Senecio aquaticus* sowie den Möglichkeiten der Zurückdrängung dieser Arten im Wirtschaftsgrünland untersucht. Nicht alle Bekämpfungsmethoden sind jedoch mit den Zielen des Naturschutzes vereinbar. Die Untersuchungen dieser Master-Arbeit und des Master-Projekts (Hennings 2013) im Allgäu sollen die Ergebnisse der bisherigen Studien ergänzen. Im Master-Projekt wurden Management-Maßnahmen, die auf Versuchsflächen getestet wurden, im Hinblick auf die Effizienz sowie die Auswirkungen auf die Biodiversität untersucht. Im Rahmen dieser Master-Arbeit wurden außerhalb der Versuchsflächen in vier ausgewählten Gebieten im Landkreis Oberallgäu weitere Vegetationsuntersuchungen (in Anlehnung an die Methode von Braun-Blanquet) durchgeführt und statistisch ausgewertet. Ziel war es dabei, das Vorkommen von *Senecio aquaticus* in Abhängigkeit der Feuchtigkeit und vom Flächen-Management zu untersuchen und festzustellen, welche anderen Arten bevorzugt zusammen mit *Senecio aquaticus* oder ohne diese Art vorkommen. Darüber hinaus wurde mit einer GIS-basierten Analyse ein Versuch unternommen, potentielle Standorte von *Senecio aquaticus* im Landkreis Oberallgäu in Karten darzustellen.

Die vorliegenden Untersuchungen kamen zu folgenden Ergebnissen:

1. Mineralische Stickstoff-Düngung führt zu einer Reduzierung der Abundanz von *Senecio aquaticus*, aber auch zu einer Verringerung der Biodiversität. Daher ist sie nicht als Bekämpfungsmethode geeignet. Die im Rahmen der Agrarumweltprogramme wie Kulturlandschaftsprogramm, Vertragsnaturschutzprogramm oder ökologischer Landbau erlaubte Düngung sollte ausgeschöpft werden. Die Düngung sollte gleichmäßig erfolgen.
2. Eine Verringerung der Bodenfeuchte kann *Senecio aquaticus* ebenfalls reduzieren. Aus Sicht des Naturschutzes sollten jedoch Feuchtwiesen erhalten bleiben, um die Molinietalia-Gesellschaften nicht weiter zu dezimieren.
3. Bei den Vegetationsaufnahmen dieser Arbeit kam *Senecio aquaticus* oft mit *Carex acutiformis* und *Juncus effusus* gemeinsam vor.

4. Feuchtwiesen, auf denen noch kein *Senecio aquaticus* vorhanden ist, die aber auf Grund der Standortbedingungen anfällig für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* sind (u.a. durchschnittliche Feuchtezahl von etwa $\geq 5,9$), sollten regelmäßig auf *Senecio aquaticus* hin untersucht werden (im Allgäu besonders an Stellen, wo *Juncus effusus* und *Carex acutiformis* vorhanden sind). Bei den gefährdeten Flächen ist besonders auf eine geschlossene Pflanzendecke zu achten, d.h. diese Flächen sollten nicht beweidet werden.
5. Mit Hilfe einer GIS-Analyse konnte im Landkreis Oberallgäu noch keine genaue Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* ermittelt werden. Es ist aber mit der durchgeführten Analyse erkennbar, dass es im Allgäu gehäuft Bereiche gibt, die als Standort für *Senecio aquaticus* geeignet sind, wenn dort keine mineralische Düngung oder gezielte Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden. Eine zukünftig optimierte GIS-Analyse kann dazu beitragen, Bereiche zu finden, die hinsichtlich *Senecio aquaticus* überwacht werden sollten.

Summary

The species *Senecio aquaticus* is categorized as grassland weed (like other species of the genus *Senecio*), because it contains pyrrolizidine alkaloids, which are toxic to livestock. These substances can also be poisonous for humans. In addition the plant is flowering early and also produces numerous seeds. The seeds are dispersed easily by wind and germinate quickly; the species can also regenerate easily from the persistent seed bank. In recent years *Senecio aquaticus* has spread in the grassland of the European Alps. It prefers wet meadows and pastures as well as edges of rivers and marsh. Also at the north-edge of the Alps in the Bavarian region "Allgäu" many farmers have problems with this plant, because they cannot use the affected parts of their land as pasture and also may not use the hay to feed their livestock.

Some recent studies have focussed on the *Senecio*- species and, more particularly *Senecio aquaticus* and the possibility to control the species in the grassland. But not every control method is accordable with the goals of nature conservation. The investigations of this Master-Thesis and the Master-Project (Hennings 2013) in the "Allgäu"-region, are aimed to complement these studies. In the Master-Project additional investigations to management experiments had been carried out. They aimed to assess the efficiency of the management-methods as well as the impact on biodiversity. In this Master-Thesis four areas in the rural district "Oberallgäu" were chosen for further vegetation assessments (following the method of Braun-Blanquet) and statistical data analysis. These assessments aimed to investigate the appearance of *Senecio aquaticus* as function of the soil humidity and the management of the areas. We further wanted to find out which other species often appear together with *Senecio aquaticus* or without it. Additionally we tried to illustrate potential

habitats of *Senecio aquaticus* in the rural district “Oberallgäu” on maps by using a GIS-based analysis.

In summary we found the following results and conclusions:

1. The application of mineral nitrogen-fertilizer can reduce the abundance of *Senecio aquaticus*, but also leads to a decrease of biodiversity. Therefore this method is not appropriate as a control method. In Germany many farmers are members of agri-environmental programs and therefore fertilization is restricted. They should use the allowed amount of fertilizer and realize a plain application.
2. Lowering the soil humidity also can reduce the abundance of *Senecio aquaticus*. But for nature conservation it is important to preserve wet grasslands with the plant society “Molinietalia”, which has already been decreased.
3. The vegetation assessment in this study often showed an appearance of *Senecio aquaticus* together with *Carex acutiformis* and *Juncus effusus*.
4. On wet grassland areas, which have suitable conditions for *Senecio aquaticus* (e.g. Ellenberg-moistness-number $\geq 5,9$), but where *Senecio aquaticus* has not been found yet, should frequently be observed (in the Allgäu region particularly in places with *Juncus effusus* and *Carex acutiformis*). Especially in these areas holes in the vegetation cover should be prevented, which means they should not be used for grazing.
5. With a GIS-based analysis in the rural district “Oberallgäu” the chance of appearance of *Senecio aquaticus* could only be displayed inaccurately. But the analysis showed, that there are many areas in the Oberallgäu, which are suitable for *Senecio aquaticus*, if no mineral nitrogen-fertilizer is used and if *Senecio aquaticus* is not reduced by special control methods. In future the GIS-analysis can be improved by supplemented and updated input data. This will simplify the search for areas which should be observed concerning *Senecio aquaticus*.

1. Einführung in die Thematik

Auf Weideflächen und Mähwiesen, die der Futterproduktion dienen, sind aus Sicht der Landwirtschaft nur diejenigen Gräser und Kräuter erwünscht, die für die Ernährung der Nutztiere eine positive Rolle spielen. Andere Gräser und Kräuter sind aus unterschiedlichen Gründen unerwünscht (sog. „Ungräser“ bzw. „Unkräuter“) (Kuhn *et al.* 2011). Beispiele sind Pflanzen mit einem geringen Futterwert oder Pflanzen mit giftigen Inhaltsstoffen. Ziel des Naturschutzes ist es dagegen, im Grünland eine möglichst hohe Biodiversität zu erhalten bzw. wieder herzustellen. Dazu wurden Maßnahmenprogramme wie das Vertragsnaturschutzprogramm (VNP), das Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) und der ökologischen Landbau eingeführt. Gegen die Unkräuter bzw. Ungräser müssen daher Bekämpfungsmethoden gefunden werden, die auch auf Flächen einsetzbar sind, auf denen Auflagen dieser Programme gelten. Zu den Auflagen zählen beispielsweise der Verzicht bzw. die Einschränkung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln und eine Unterlassung von mineralischer Düngung (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2011, 2011a).

Die Gattung *Senecio* (Kreuzkraut bzw. Greiskraut) ist mit ca. 1250 Arten eine große Gruppe innerhalb der *Asteraceae* (Bresinsky *et al.* 2008). Die Arten dieser Gattung werden als Unkräuter angesehen, da sie Pyrrolizidin-Alkaloide enthalten, die toxisch für Vieh sind (Leiss 2010; Suter & Lüscher 2011). In Deutschland sind folgende *Senecio*-Arten im Wirtschaftsgrünland von Bedeutung (vgl. Floraweb, Bundesamt für Naturschutz 2006):

- *Senecio alpinus* (L.) Scop.,
- *Senecio aquaticus* Hill,
- *Senecio erratius* Bertol.,
- *Senecio erucifolius* L.,
- *Senecio inaequidens* D.C.,
- *Senecio jacobaea* L.,
- *Senecio vernalis* Waldst. & Kit.,
- *Senecio viscosus* L.,
- *Senecio vulgaris* L.

Diese Arten (außer *Senecio inaequidens*) sind in Deutschland heimisch. *Senecio inaequidens* ist ein Neophyt, der sich in den letzten Jahren vor allem entlang von Bahnlinien und Straßen ausgebreitet hat (Conradi *et al.* 2011). Von den oben genannten Arten sind *Senecio aquaticus*, *Senecio erucifolius*, *Senecio jacobaea*, *Senecio vernalis*, *Senecio viscosus* und *Senecio vulgaris* am weitesten verbreitet (vgl. Floraweb, Bundesamt für Naturschutz 2006).

Im Grünland der Alpen hat sich *Senecio aquaticus* in jüngster Zeit ausgebreitet (Suter & Lüscher 2011). Auch im Allgäu haben viele Landwirte mit der Pflanze Probleme, weil die betroffenen Bereiche nicht mehr beweidet und das Mähgut nicht verfüttert werden sollten.

Im Jahr 2005 haben M. Suter und A. Lüscher eine Erhebung zum Vorkommen von *Senecio aquaticus* im Schweizer Grasland durchgeführt (Suter & Lüscher 2008). Dabei wurde festgestellt, dass bei folgenden Bedingungen ein hohes Risiko für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* vorhanden ist:

- Geringe Düngung,
- Wechsel der Management-Intensität,
- Starke Hanglage,
- Lückige Pflanzendecke.

Des Weiteren haben die Untersuchungen gezeigt, dass folgende Arten häufig gemeinsam mit *Senecio aquaticus* vorkommen:

- *Cynosurus cristatus*,
- *Filipendula ulmaria*,
- *Juncus effuses*.

Arten, die meist in Beständen mit *Senecio aquaticus* fehlen, sind entsprechend dieser Studie:

- *Dactylis glomerata*,
- *Ranunculus repens*,
- *Taraxacum officinale* agg.

Die Studie kommt zu dem Schluss, dass *Senecio aquaticus* langfristig am besten bekämpft werden kann, indem Schäden der Pflanzendecke vermieden werden und dichter Bewuchs geschaffen wird.

In den Jahren 2007 bis 2009 wurden von M. Suter und A. Lüscher in fünf Gebieten in der Schweiz verschiedene Management-Methoden auf die Wirksamkeit bezüglich der Verringerung von *Senecio aquaticus* untersucht (Suter & Lüscher 2011). Suter und Lüscher kamen zu der Vermutung, dass vorsichtiges Pflügen (wodurch die bestehenden Pflanzen vergraben werden) gefolgt von einer Samenbett-Präparation der obersten Schicht einen Erfolg zur Bekämpfung von *Senecio aquaticus* bewirken könnte. In weiteren Untersuchungen (vgl. Suter & Lüscher 2012) wurde gezeigt, dass *Senecio aquaticus* schnell keimt und eine große Samenbank ausbildet. Auch die Überlebensrate der Samen ist sehr hoch. Daher ist die Verhinderung der Ausbildung von Samen für die Bekämpfung von entscheidender Bedeutung.

In einer weiteren Studie (Bassler et al. 2011) wurden Bewirtschaftungsversuche (verschiedene Mähregimes) sowie populations- und vegetationsökologische Untersuchungen gemacht sowie Landwirte befragt. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass durch eine Mahd im Juli (erste Blütephase), einen Pflegeschnitt Anfang August (zweite Blütephase) und eine weitere Mahd Anfang Oktober die beste Reduktionswirkung erzielt werden kann. Durch diese Maßnahme wird die Samenverbreitung reduziert.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Master-Arbeit und des Master-Projekts (Hennings 2013) sollen die Ergebnisse dieser bisherigen Studien (vgl. auch Kapitel 6 des Master-Projekts) ergänzen. In dem Master-Projekt wurde auf Möglichkeiten zur Zurückdrängung von *Senecio aquaticus* im Wirtschaftsgrünland eingegangen. Die in diesem Zusammenhang durchgeführten Vegetationsaufnahmen stellten Begleituntersuchungen zu den Tastversuchen dar, die seit 2011 von der speziell gebildeten *Senecio*-Arbeitsgruppe (unter Mitarbeit verschiedener bayerischer Behörden) im Allgäu durchgeführt werden. Die Begleituntersuchungen hatten zum Ziel, die Effizienz der in den Tastversuchen getesteten Management-Maßnahmen sowie die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Naturschutz festzustellen.

Im Rahmen dieser Master-Arbeit wurden außerhalb der Versuchsflächen in vier ausgewählten Gebieten weitere Vegetationsuntersuchungen durchgeführt. Mit diesen Untersuchungen sollten gezielt folgende Fragen untersucht werden:

- Wie hängt die Abundanz von *Senecio aquaticus* von den Feuchtigkeitsverhältnissen ab?
- Wie hängt die Abundanz von *Senecio aquaticus* vom Management der Fläche (insbesondere Mineraldüngung und Gülledüngung) ab?
- Welche Indikator-Arten kommen im Allgäu häufig zusammen mit *Senecio aquaticus* vor?
- Welche Arten kommen im Allgäu seltener zusammen mit *Senecio aquaticus* vor?
- Wo sind im Landkreis Oberallgäu Bereiche, an denen die Voraussetzungen für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* gegeben sind?

Die Beantwortung dieser Fragen trägt dazu bei, besser einschätzen zu können, auf welchen Standorten ein Vorkommen von *Senecio aquaticus* wahrscheinlich ist. Wenn die Pflanze auf diesen Standorten noch nicht vorhanden ist, so muss hier in Zukunft mit einer Ausbreitung dieser Art gerechnet werden, so dass entsprechende Vorsorge-Maßnahmen anzuraten sind. Die Untersuchungen bilden ebenfalls eine Grundlage für die Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von indirekten Bekämpfungsmaßnahmen zur Zurückdrängung der Pflanze im Wirtschaftsgrünland. Eine indirekte Bekämpfung hat nach Voigtländer *et al.* (1987) zum Ziel, die Standortfaktoren (inkl. Nährstoff- und Wasserversorgung), sowie die Pflege und Nutzung für die erwünschten Arten zu optimieren.

In den Untersuchungen von Suter & Lüscher (2008) in der Schweiz wurden in jedem Gebiet zwei Versuchsflächen ausgewählt, wobei auf einer Fläche *Senecio aquaticus* vorkam und auf der anderen Fläche (Kontrollfläche) nicht. Dabei sollten die Standortbedingungen beider Flächen möglichst gleich sein, aber das Management konnte sich unterscheiden. Die Ergebnisse zeigten, dass bei den Flächen auf denen *Senecio aquaticus* vorhanden war, signifikant weniger Stickstoff zugegeben wurde, als bei den Flächen ohne *Senecio aquaticus*. Da sich das Management der beiden Vergleichsflächen jedoch nicht nur in der Düngung unterschied, könnte das Ergebnis durch diese Nebeneffekte beeinflusst worden sein. Um

den Einfluss der Düngung noch näher zu beleuchten, werden in dieser Master-Arbeit gezielt Flächen verglichen, die sich möglichst nur in der Düngung unterscheiden. Ein weiterer Unterschied dieser Arbeit verglichen mit den Untersuchungen von Suter & Lüscher ist, dass hier in jedem Bereich mindestens drei Aufnahmeflächen auf einer Fläche mit möglichst gleichen Bedingungen aufgenommen wurden. Dasselbe wird bei unterschiedlichen Feuchtegraden gemacht, die in der Studie von Suter & Lüscher nicht untersucht wurden. Durch die vorliegende Arbeit können dann die Ergebnisse von Suter & Lüscher mittels einer anderen Untersuchungsmethode bestätigt (bzw. widerlegt oder genauer differenziert) werden. Außerdem kann überprüft werden, ob die Ergebnisse aus der Schweiz auch im Allgäu anwendbar sind.

2. Probleme mit *Senecio*-Arten im Wirtschaftsgrünland

Die Arten der *Senecio*-Gattung beinhalten verschiedene Gruppen von sekundären Pflanzenstoffen, die sie vor Herbivoren schützen. Zu diesen sekundären Pflanzenstoffen zählen Phenylpropanoide, Flavonoide, Benzochinone und insbesondere Pyrrolizidin-Alkaloide (Leiss 2011).

Pyrrolizidin-Alkaloide sind toxisch für Vieh (Suter & Lüscher 2011). Sowohl der Verzehr von frischen als auch getrockneten Pflanzen (in Form von Silage bzw. Heu) kann Leberschäden bei den Tieren hervorrufen (Candrian *et al.* 1984, zit. in: Leiss 2011). Aufgrund der toxischen Eigenschaften verursachen *Senecio*-Arten eine erhöhte Sterblichkeit bei den Nutztieren sowie geringere landwirtschaftliche Erträge in Teilen von Europa, Nordamerika, Australien und Asien (Roberts *et al.* 2007). Bei den Kreuzkräutern sind alle Entwicklungsstadien (insbesondere der Zeitpunkt des Blütenstadiums) giftig (Gehring *et al.* 2012). *Senecio jacobaea* hat von allen heimischen *Senecio*-Arten die stärkste Giftwirkung (Briemle 2000). Daneben haben *Senecio aquaticus* und *Senecio alpinus* höhere Konzentrationen an Pyrrolizidin-Alkaloiden (Gehring *et al.* 2012). Während *Senecio aquaticus* bevorzugt in nassen Wiesen vorkommt, ist *Senecio jacobaea* eher in Mager-, Trocken- und Halbtrockenrasen sowie Krautfluren und Säumen zu finden. Der Lebensraum von *Senecio alpinus* ist im subalpinen und alpinen Bereich in Hochstaudenfluren, Gebüsch und in überdüngten Weiden (vgl. BiolFlor, Klotz *et al.* 2013).

Auch für den Menschen können diese Stoffe schädlich sein. Nach Edgar *et al.* (2002) (zit. in: Leiss 2011) ist in einigen europäischen Ländern für Pyrrolizidin-Alkaloide ein Grenzwert von 0,1 µg als maximale tägliche orale Dosis bzw. 0,1 µg pro 100 g Nahrungsmittel festgelegt worden. Bei Futter-Experimenten mit Kühen wurden jedoch bis zu 10 µg pro 100 ml Milch gefunden. Darauf basierend wurde die natürlich vorkommende mögliche Konzentration von Pyrrolizidin-Alkaloiden in Kuhmilch mit maximal 0,2 µg pro 100 ml Milch abgeschätzt (Candrian *et al.* 1991, zit. in: Leiss 2011). In kommerziellem Honig wurden Konzentrationen von 0,19 µg bis 12 µg pro 100 g gefunden (vgl. Kempf *et al.* 2008, zit. in: Leiss 2011).

Neben der Giftigkeit ist die gute Ausbreitungsfähigkeit der *Senecio*-Arten durch Windausbreitung ein Problem. So können sie bei Veränderungen der Lebensräume schnell auswandern. Auch genetisch können sie sich rasch an Veränderungen anpassen, so dass eine schnelle Ausbildung von Resistenzen gegen Herbizide denkbar ist (Conradi *et al.* 2011).

3. Biologie von *Senecio aquaticus*

Morphologie

Senecio aquaticus (Abbildungen 1 - 3) ist ein Hemikryptophyt und wird bis maximal 90 cm hoch; die Pflanze besitzt aufrechte (kantige bzw. gerillte) Stengel (Sebald *et al.* 1996). Die Blätter, Blüten und Samen sind nach Lauber & Wagner (2012) wie folgt beschrieben. Die Blätter sind kahl oder zerstreut spinnwebig und gelbgrün. Die oberen Blätter sind fiederschnittig, während die unteren Blätter einen breit-lanzettlichen Endabschnitt haben. Die untersten Blätter sind oft ungeteilt. Die zahlreichen Köpfe sind als doldige Rispe angeordnet und haben einen Durchmesser von 2-3 cm. Sowohl die Zungen- als auch die Röhrenblüten sind gelb. Die Samen besitzen einen ca. 3 mm langen Pappus.



Abbildung 1: *Senecio aquaticus* im Blütenstadium auf den Versuchsflächen am Öschlesee im Allgäu (eigene Aufnahme)



Abbildung 2: *Senecio aquaticus*: Einzelpflanze im Blütenstadium (eigene Aufnahme)



Abbildung 3: Rosetten von *Senecio aquaticus* auf den Versuchsfeldern am Öschlesee (eigene Aufnahme)

Verbreitung

Senecio aquaticus ist in Teilen Europas heimisch und hat in Deutschland eine weite Verbreitung (Abbildung 4). Dies gilt insbesondere für Bayern, das westliche Baden-Württemberg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Entsprechend der Verbreitungskarte ist zu vermuten, dass die Vorkommens-Schwerpunkte in Bereichen mit mittlerem bis hohem Jahresniederschlag, vor allem in Flussniederungen sowie in Bereichen mit Vorkommen von Hoch- oder Niedermooren liegen. In Regionen mit einem geringen Jahresniederschlag (Teile von Thüringen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz u.a.) ist *Senecio aquaticus* dagegen vermutlich weniger zu finden.

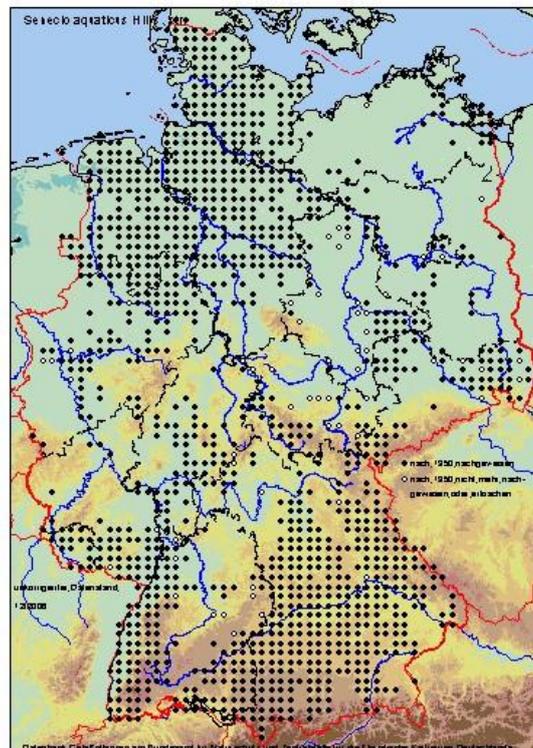


Abbildung 4: Verbreitung von *Senecio aquaticus* in Deutschland mit Schwerpunkten in Flussniederungen und Moorbereichen (Bayern, Oberrheinebene und Schwarzwald, Niedersachsen, Schleswig-Holstein) (Quelle: FloraWeb, Bundesamt für Naturschutz 2006)

Die Art kommt weiterhin in Teilen Europas (West- und Mitteleuropa, Norditalien) vor (Sebold *et al.* 1996, FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)), vor allem in der planar-collinen Höhenstufe (Flach- und Hügelland) (FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)). Im nördlichen Voralpenland der Schweiz ist sie auf 400–1200 m Höhe zu finden (Suter & Lüscher 2011).

In manchen Regionen ist *Senecio aquaticus* selten und teilweise auf der Roten Liste (Suter & Lüscher 2011). Nach Leiss (2011) nimmt die Abundanz von *Senecio*-Arten jedoch in West-

und Zentral-Europa zu. Im Grünland der Alpen hat sich *Senecio aquaticus* in jüngster Zeit ausgebreitet (Suter & Lüscher 2011).

Standort

Als Standort bevorzugt *Senecio aquaticus* feuchte bis nasse Wiesen und Weiden sowie Ränder von Bächen und moorige Bereiche (BioFlor (Klotz *et al.* 2013)). *Senecio aquaticus* werden nach FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006) die in der Tabelle 1 angegebenen Zeigerwerte nach Ellenberg zugeordnet. Ein typischer Feuchtwiesen-Standort im Allgäu ist in Abbildung 5 dargestellt.

Tabelle 1: Zeigerwerte nach Ellenberg von *Senecio aquaticus* (Quelle: FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006))

| Art des Zeigerwerts | Wert | Beschreibung |
|-----------------------|------|--------------------------------------|
| Lichtzahl | 7 | Halblichtpflanze |
| Temperaturzahl | 6 | Mäßigwärme- bis Wärmezeiger |
| Kontinentalitätszahl | 2 | Seeklima zeigend |
| Feuchtezahl | 8 | Feuchte- bis Nässezeiger |
| Reaktionszahl | 4 | Säure- bis Mäßigsäurezeiger |
| Stickstoffzahl | 5 | Mäßigen Stickstoffreichtum anzeigend |
| Salzzahl | 0 | Nicht salzertragend |
| Schwermetallresistenz | - | Nicht schwermetallresistent |



Abbildung 5: Typischer Feuchtwiesen-Standort von *Senecio aquaticus* westlich des Großen Alpsees bei Immenstadt (eigene Aufnahme)

Vergesellschaftung

Senecio aquaticus kommt häufig in Sumpfdotterblumen-Futterwiesen (*Calthion palustris*) vor (FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006), Dierschke & Briemle 2002). Es handelt sich dabei um Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte. Bei diesem Pflanzenverband treten nach Ellenberg & Leuschner (2010) außer *Senecio aquaticus* häufig folgende Arten auf:

- *Bromus racemosus*,
- *Caltha palustris*,
- *Cirsium oleraceum*,
- *Lotus uliginosus*,
- *Myosotis palustris*,
- *Polygonum bistorta*.

Keine der genannten Arten sind allerdings in diesem Verband durchgehende Charakterarten. Typisch in diesem Verband ist auch das Fehlen von Arten der Verbände *Arrhenatherion elatioris* und *Molinion caeruleae*.

Nach Ellenberg & Leuschner (2010) gab es im nordwestdeutschen Tiefland bodensaure Feuchtwiesen – sogenannte Wassergreiskrautwiesen (*Bromo-Senecionetum aquatica*) – mit *Senecio aquaticus* als Charakterart. Diese Wiesen sind jedoch durch eine zu hohe Düngung selten geworden. Bei den Wassergreiskrautwiesen handelt es sich zwar um nährstoffreiche Standorte, aber eine zu hohe Stickstoffdüngung wurde als nachteilig für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* beobachtet (vgl. Suter & Lüscher 2008). Dies wird in dieser Master-Arbeit näher untersucht.

Überdauerung und Ausbreitung

Senecio aquaticus ist eine zweijährige Art, die unter bestimmten Umständen (z.B. durch Mahd) mehrjährig werden kann. In der Studie von Bassler *et al.* (2011) wurden einige Pflanzen mindestens 6 Jahre alt. Die Überwinterung erfolgt in Form von Rosetten. Von Juni bis Oktober können Blüten gefunden werden. Nach dem Mähen produziert *Senecio aquaticus* schnell wieder Blüten und eine große Menge an Samen, die vom Wind ausgebreitet werden. Die Samen haben eine große Überlebensrate und keimen schnell, wobei die Keimung durch Lichteinfall ausgelöst wird. Auf Grund dieser Eigenschaften hat *Senecio aquaticus* besonders an Stellen mit offenem Boden einen Konkurrenzvorteil. Darüber hinaus wird eine große, langlebige Samenbank ausgebildet, so dass sich die Art auch nach einer längeren Phase mit ungünstigen Bedingungen auf einem Standort wieder etablieren kann. Diese Angaben beruhen auf den Untersuchungen von Suter & Lüscher (2008 bzw. 2011).

4. Material und Methoden

4.1 Untersuchungsgebiete

Auswahl

Durch eine Analyse mit dem geographischen Informationssystem ArcGIS (Version 10.1) wurden Bereiche im Landkreis Oberallgäu identifiziert, in denen *Senecio aquaticus* auf Grund der örtlichen Standortbedingungen vorkommen kann (vgl. Kapitel 4.3 und 5.2). Anschließend wurden einzelne besonders großflächige Bereiche, an denen mit ArcGIS eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* ermittelt worden war, im Rahmen von Vorbegehungen auf das Vorkommen von *Senecio aquaticus* untersucht und Gespräche mit den örtlichen Landwirten geführt, die diese Flächen bewirtschaften. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse wurden vier Untersuchungsgebiete für die weiteren Untersuchungen ausgewählt, die folgenden Kriterien entsprachen:

- *Senecio aquaticus* kommt (zumindest in Teilbereichen) vor,
- Bereiche mit unterschiedlichen Feuchtigkeitsverhältnissen vorhanden (feucht, frisch),
- Bewirtschaftung durch Auskünfte der Landwirte bekannt,
- Möglichst Bereiche mit unterschiedlicher Düngungsintensität vorhanden (Gülledüngung – Mineraldüngung), sonst aber möglichst gleiche Bewirtschaftung.

Lage

Zusätzlich zu dem Gebiet 1 (Versuchsflächen am Öschlesee in der Gemeinde Sulzberg), mit dem sich das Master-Projekt (Hennings 2013) befasst, wurden die folgenden vier weiteren Gebiete ausgewählt (vgl. Abbildung 6):

- Gebiet 2: süd-westlich von Martinszell in der Gemeinde Waltenhofen, in unmittelbarer Nähe der Versuchsfläche, die im Master-Projekt behandelt wurde (siehe Abbildung 7),
- Gebiet 3: süd-westlich von Oberstdorf am Karatsbichlweg (siehe Abbildung 8),
- Gebiet 4: westlich des großen Alpsees bei Immenstadt (siehe Abbildung 9),
- Gebiet 5: südlich der Gemeinde Rettenberg-Wagneritz (siehe Abbildung 10).

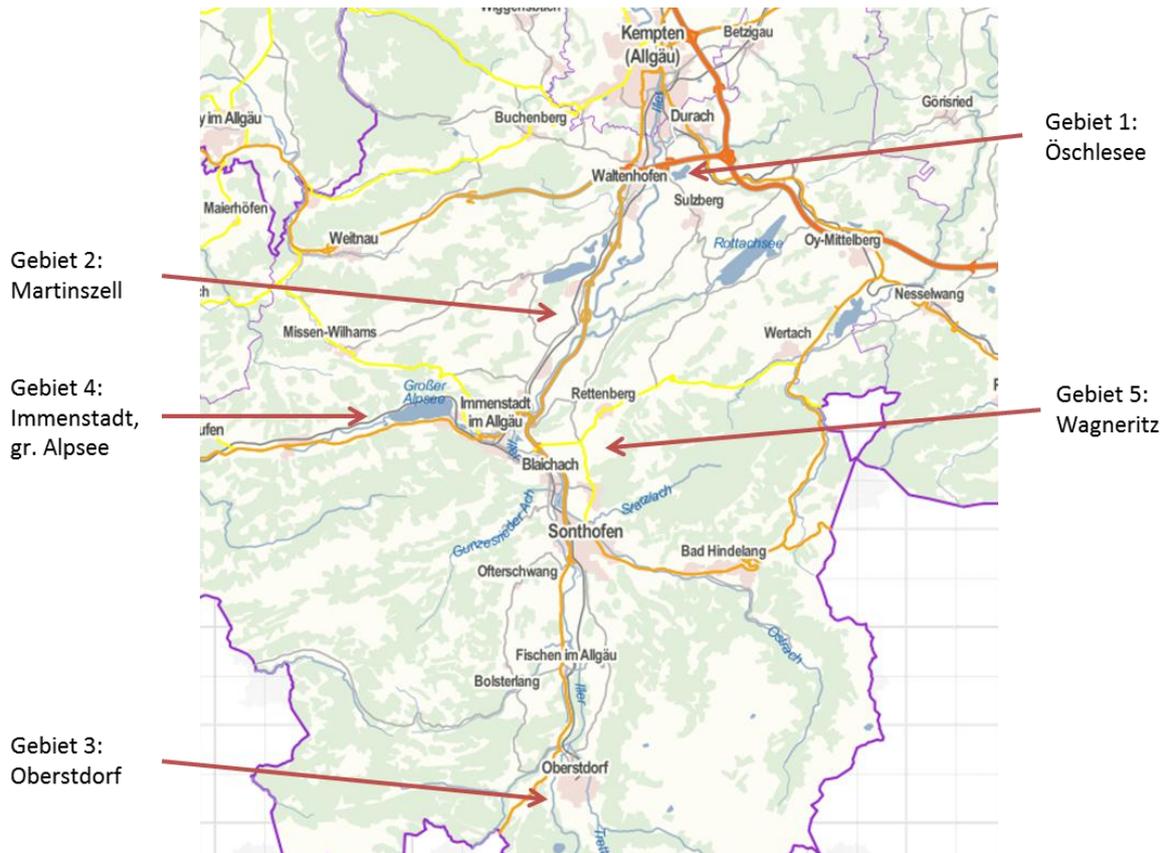


Abbildung 6: Lage der Untersuchungsgebiete im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

Geologie / Böden

Die nachfolgenden Ausführungen zur Geologie ergeben sich aus Doppler et al. (2004):

Der Landkreis Oberallgäu gehört zu der geologischen Großbaueinheit der Alpen (im Süden) sowie zum Molassebecken (im Norden). Die Molasse ist geprägt von Ablagerungen in Form von Feinsedimenten, Sanden und Kiesen, die heute zum Teil verfestigt sind. Im Bereich der Alpen liegen die großtektonischen Baueinheiten Nördliche Kalkalpen, Flysch, Helvetikum und Faltenmolasse (von Süd nach Nord) im Landkreis. Für die Kalkalpen ist das mächtige Kalk- und Dolomitgestein typisch. Im Flysch, welches den Bereich der bewaldeten Vorberge der bayerischen Alpen darstellt, herrschen Sedimente aus der Kreidezeit vor. Das Helvetikum ist geprägt von Kalk- und Mergelgesteinen sowie glaukonitischen Sandsteinen. Die Untersuchungsgebiete Öschlesee, Martinszell, Immenstadt und Wagneritz befinden sich im Bereich der Faltenmolasse. Das Untersuchungsgebiet bei Oberstdorf befindet sich am Übergang vom Flysch zum Helvetikum.

Entsprechend der „Karte der Bodenregionen Deutschlands“ (5. Aufl. 2005) (vgl. Blume et al. 2010) befindet sich der größte Teil des Landkreises Oberallgäu in der Bodenregion der Alpen.

In dieser Bodenregion herrschen die Bodentypen Rendzina, Braunerde, Ranker und Gley vor. Nur der nördliche Teil des Landkreises Oberallgäu gehört zu der Bodenregion der Jungmoränenlandschaften, in der vorwiegend die Bodentypen Parabraunerde, Gley und Moor vorkommen. Aus der Übersichtsbodenkarte 1:25000 (ÜBK 25, Datenquelle: © Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.lfu.bayern.de) geht hervor, dass die Untersuchungsflächen in Martinszell einen Hochmoor-Torf oder Moorgley bzw. Braunerde-Gley (bei der frischen Fläche) aufweisen. In Immenstadt und Oberstdorf liegt Gley bzw. Braunerde vor. Für Wagneritz sind keine Informationen vorhanden.

Klima/Niederschlag

In Oberstdorf liegt die Jahresdurchschnittstemperatur im Mittel der Jahre 1981 bis 2010 bei 6,6 °C (Deutscher Wetterdienst 2013a). Sie liegt damit um 2,2 °C unter dem Bundesdurchschnitt von 8,8 °C bezogen auf denselben Zeitraum (Deutscher Wetterdienst 2013b). In Kempten beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur im selben Zeitraum 7,6 °C (1,2 °C unter dem Bundesdurchschnitt) (Deutscher Wetterdienst 2013a).

Der Jahresniederschlag in Oberstdorf (Durchschnittswert von 1981 bis 2010) liegt bei 1742 mm (Deutscher Wetterdienst 2013a) und ist mehr als doppelt so hoch wie der Bundesdurchschnitt im selben Zeitraum von 818 mm (Deutscher Wetterdienst 2013b). Auch in Kempten ist der Jahresniederschlag mit 1261 mm in diesem Zeitraum deutlich höher als der Bundesdurchschnitt.

Die Niederschlags- und Temperaturwerte im Bereich des Untersuchungsgebiets Martinszell dürften auf Grund der Nähe zur Stadt Kempten und den vergleichbaren Höhenverhältnissen ähnlich sein wie die Werte von Kempten. Bei den Standorten Immenstadt und Wagneritz ist davon auszugehen, dass die Werte zwischen den Werten von Kempten und Oberstdorf liegen.

Topographie

Grundlage für die nachfolgenden Angaben zur Topographie sind der „Topographische Atlas Bayern“ (Berninger et al. 1968) sowie das digitale Höhenmodell „dgm5m“ (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de):

Der Süd-Osten des Landkreises Oberallgäu ist geprägt durch die Kalkhochalpen (Höhe bis mehr als 2000 m über NN). Westlich davon erstreckt sich der Einschnitt des Illertals von Süd nach Nord (Höhe rd. 800 m über NN bei Oberstdorf). Nord-westlich des Illertals befinden sich die schwäbischen Voralpen mit Gipfelhöhen von rd. 1300 m bis knapp unter 2000 m. Von dort aus werden die Berge im Bereich der Faltenmolasse Richtung Norden zum Molassebecken hin weiter niedriger.

Das Untersuchungsgebiet Martinszell (Abbildung 7) befindet sich im „Oberdorfer Moos“ auf einer Höhe von rd. 710 m über NN. Nach Süden hin schließt sich auf etwa gleicher Höhe das „Werdensteiner Moos“ an. In Richtung Nord-Westen steigt das Gebiet leicht an. In derselben Richtung grenzt der Oberdorfer Wald mit Höhenlagen von bis zu rd. 780 m an. Auch in Richtung Süd-Westen steigt das Gelände (nach einem ca. 1000 m langen flachen Bereich) leicht an. Im Osten ist das Gelände bis zur rd. 1.100 m vom Zentrum des Untersuchungsgebiets entfernten Bahnlinie relativ flach. Dahinter steigt es bis zur Bundesstraße B 19 bis auf eine Höhe von rd. 750 m an.

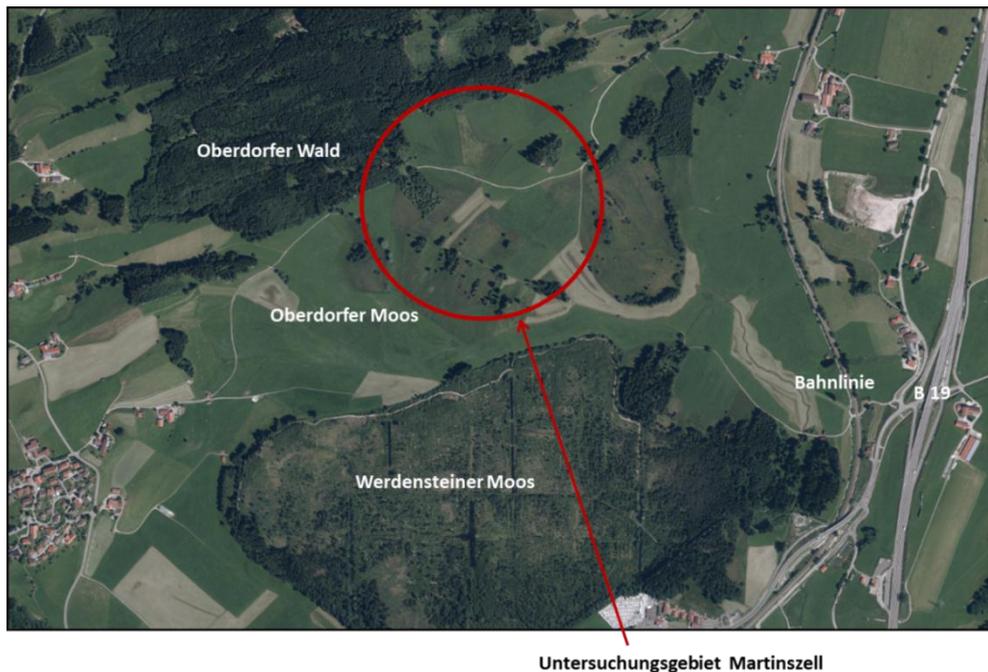
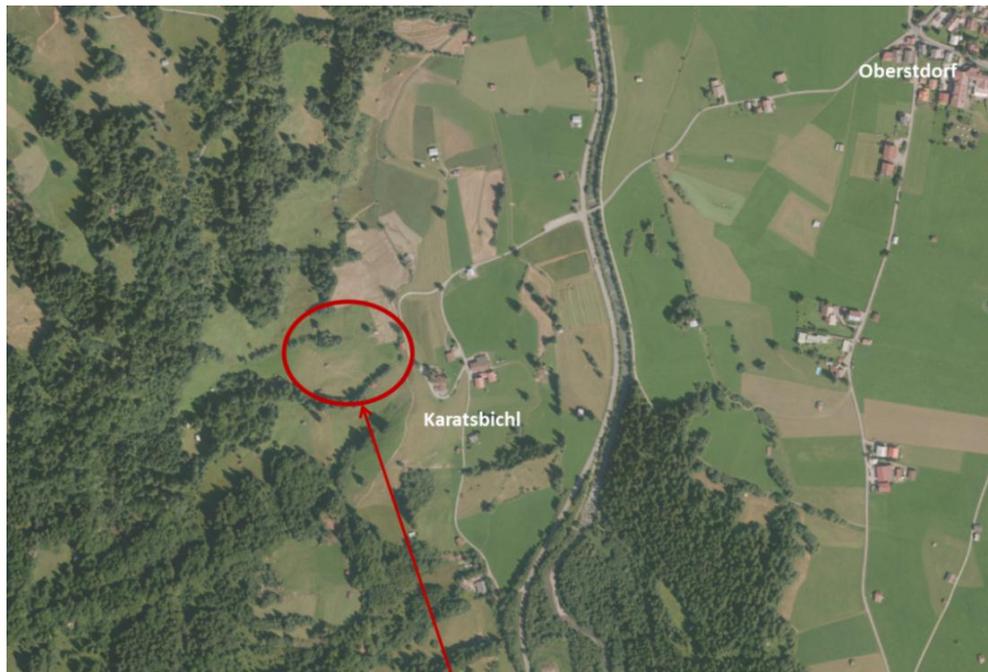


Abbildung 7: Umgebung des Untersuchungsgebiets Martinszell im Landkreis Oberallgäu
(Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013,
www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

Das Untersuchungsgebiet Oberstdorf befindet sich auf einer Höhe von rd. 800 m. Östlich des Untersuchungsgebietes ist das Gelände einheitlich auf rd. 800 m Höhe. Innerhalb des Untersuchungsgebietes und darüber hinaus steigt das Gelände nach Westen hin deutlich an.



Untersuchungsgebiet Oberstdorf

Abbildung 8: Umgebung des Untersuchungsgebiets Oberstdorf im Landkreis Oberallgäu (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

Westlich des großen Alpsees bei Immenstadt befindet sich das Untersuchungsgebiet Immenstadt im Tal der Konstanzer Ach, welches sich von Süd-Westen nach Nord-Osten erstreckt, auf einer Höhe von knapp 730 m ü. NN. Sowohl nach Nord-Westen als auch nach Süd-Osten steigt das Gelände stark an.

Das Untersuchungsgebiet Wagneritz befindet sich südlich der Ortschaft Rettenberg-Wagneritz am Ostrand des Illertals auf einer Höhe von rd. 730 m ü.NN. Westlich bzw. nord-westlich des Gebiets ist das Gelände flach, während sich süd-östlich der steile Hang des Grünen befindet.

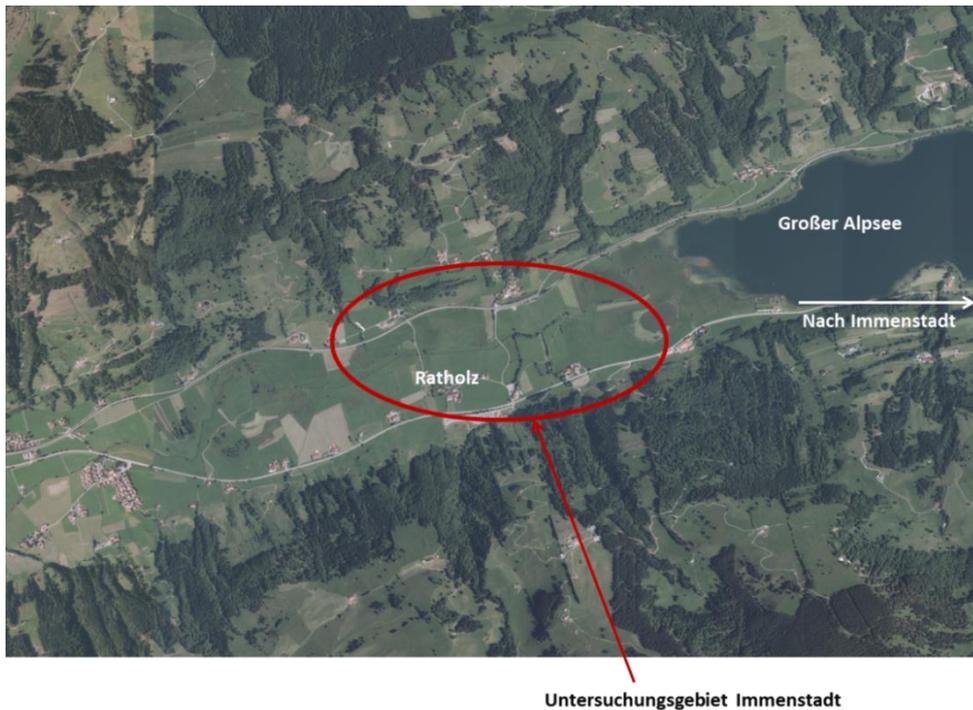


Abbildung 9: Umgebung des Untersuchungsgebiets Immenstadt im Landkreis Oberallgäu
 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013,
www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

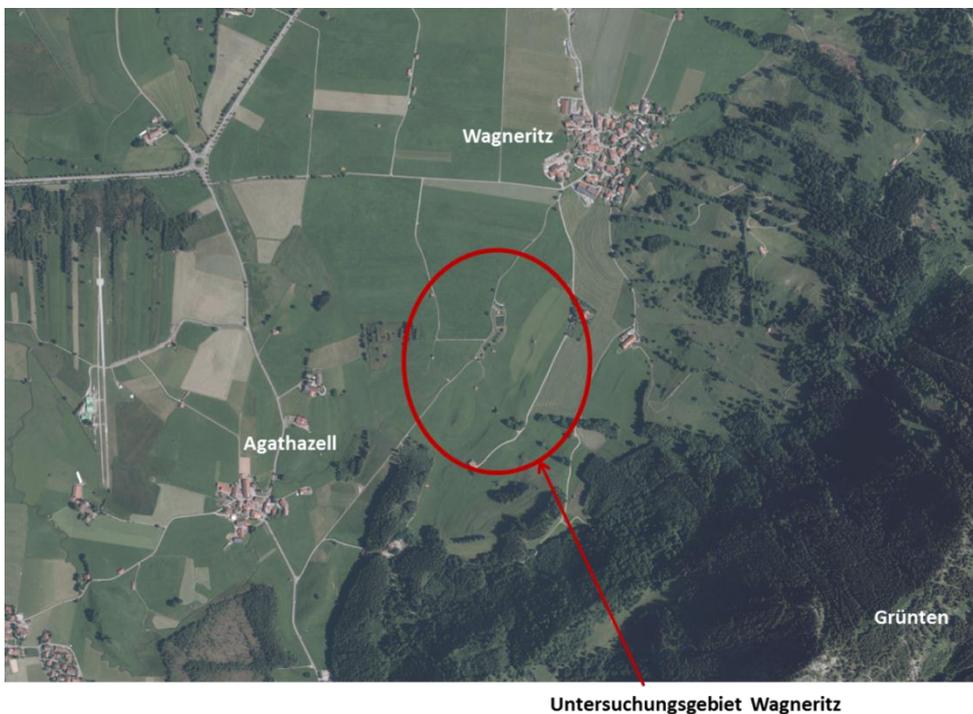


Abbildung 10: Umgebung des Untersuchungsgebiets Wagneritz im Landkreis Oberallgäu
 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013,
www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

4.2 Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu

Hypothesen

Wie in Kapitel 1 (Einführung in die Thematik) erläutert, sollen im Rahmen dieses Abschnitts der Arbeit die Abhängigkeit der Abundanz von *Senecio aquaticus* von den Feuchtigkeitsverhältnissen und von der Düngung festgestellt werden. Außerdem soll untersucht werden, ob das Vorkommen von *Senecio aquaticus* mit bestimmten Arten positiv bzw. negativ korreliert. Daneben soll die Auswirkung der Düngung auf die Biodiversität beleuchtet werden.

Zentraler Bestandteil der Untersuchungen waren die unten genannten Hypothesen, die mit Hilfe der Ergebnisse verteidigt oder widerlegt werden sollen.

Die Hypothese 1 ergab sich auf Basis der Literaturrecherche (vgl. Suter & Lüscher 2008), den Gesprächen mit den Landwirten sowie eigenen Beobachtungen. Der Optimalbereich für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* scheint im feuchten Bereich sowie an Standorten mit geringer Düngung zu sein. Grundlage für die Hypothesen 2 und 3 waren die eigenen Beobachtungen und Vermutungen im Rahmen der Vegetationsaufnahme vor Ort sowie wiederum die Literaturquelle von Suter & Lüscher (2008). Es war auffällig, dass sehr oft auf Flächen, wo mindestens eine der Arten *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* vorkam, auch *Senecio aquaticus* gefunden wurde. Diese drei Arten haben vermutlich ähnliche Standortansprüche wie *Senecio aquaticus*. So liegen die in der Literatur angegebenen Ellenberg-Zeigerwerte für Feuchte und Stickstoff in einem ähnlichen Bereich (FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)). Trotzdem ist keine dieser Arten entsprechend FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006) dem Verband Calthion zuzuordnen. Die in Kapitel 3 genannten Arten, welche mit *Senecio aquaticus* vergesellschaftet sind, wurden in diesen Vegetationsaufnahmen weniger häufig als *Juncus effusus* und *Carex acutiformis* zusammen mit *Senecio aquaticus* bzw. gar nicht gefunden.

Die Hypothesen lauten im Einzelnen:

1. Auf feuchten Standorten mit nur mäßiger Düngung ist die Abundanz von *Senecio aquaticus* höher als auf frischen Standorten sowie auf Standorten mit mineralischer Düngung.
2. Auf Standorten mit intensiver mineralischer Düngung ist die Biodiversität geringer als auf Standorten mit Gülle-Düngung.
3. *Senecio aquaticus* korreliert positiv mit *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* sowie negativ mit *Taraxacum officinale* und *Ranunculus repens* (zur negativen Korrelation vgl. Suter & Lüscher 2008).

Versuchsdesign

Innerhalb der oben genannten Gebiete (vgl. Kapitel 4.1) wurden Teilflächen ausgewählt, auf denen die Vegetationsaufnahmen durchgeführt wurden. Es war beabsichtigt, die Teilflächen so auszuwählen, dass sie die folgenden Eigenschaften hatten:

- mindestens eine Teilfläche im feuchten Bereich ohne mineralischer Düngung (z.B. Gülledüngung),
- mindestens eine Teilfläche in einem etwas weniger feuchten bzw. frischen Bereich, (in dem *Senecio aquaticus* noch vorkommen kann) mit Gülledüngung,
- möglichst eine Teilfläche im feuchten Bereich mit mineralischer Düngung.

Die Flächen wurden so ausgewählt, dass sie sich möglichst nur in Bezug auf die Feuchtigkeit oder die Düngungsart (mineralisch bzw. nicht mineralisch) unterscheiden. Außerdem sollten die Abstände zwischen den Teilflächen möglichst klein sein (maximal ca. 2000 m). Die unterschiedlichen Feuchtegrade wurden mit Hilfe des vorgefundenen Grades der Bodenvernässung sowie mit bestimmten Zeigerarten vor Ort erkannt (je größer der Deckungsanteil von besonders wasserliebenden Pflanzen wie *Carex acutiformis*, *Juncus articulatus* oder *Juncus effusus*, um so feuchter der Standort). Daneben wurde angenommen, dass der Standort mit zunehmendem Abstand zum Gewässer und zunehmender Höhe trockener wird. Die Information zur Art der Düngung wurde direkt von den Landwirten eingeholt. Die Teilflächen (im Folgenden abgekürzt mit TF) in den Gebieten 2 bis 5 sind in den Abbildungen 11 bis 14 mit Pfeilen dargestellt. Eine genaue Begrenzung der Flächen wurde nicht vorgenommen, da die Übergänge zu Bereichen mit anderen Standortbedingungen fließend sind.

In Gebiet 2 (Martinszell, vgl. Abbildung 11) wurden drei unterschiedliche Feuchtigkeitsbereiche (TF 13 (frisch bis feucht), TF 14 (frisch) und TF 16 (feucht)) gewählt. Außerdem wurde eine feuchte Fläche mit mineralischer Düngung untersucht (TF 15). Die in der Abbildung 11 mit TF 11 und TF 12 bezeichneten Flächen sind die Versuchsfläche und Kontrollfläche, die im Rahmen des Master-Projektes (Hennings 2013) untersucht wurden.

Westlich von Oberstdorf (Gebiet 3, vgl. Abbildung 12) konnte keine Fläche gefunden werden, die sich in der Nähe der Teilflächen 17 und 18 befand, und auf der mit Mineraldünger gedüngt wird. Nach Auskunft der Landwirte befindet sich die nächstgelegene Fläche, auf der mit Mineraldünger gedüngt wird, im Ort Fischen und damit mehrere Kilometer entfernt. Daher wurden hier nur die unterschiedlichen Feuchtebereiche der Flächen TF 17 (feucht) und TF 18 (frisch bis feucht) verglichen.

In Gebiet 4 (Immenstadt, vgl. Abbildung 13) wurden drei unterschiedliche Feuchtebereiche untersucht (TF 19 (feucht), TF 20 (frisch) und TF 22 (frisch bis feucht)) sowie eine feuchte Fläche mit mineralischer Düngung (TF 21). In Wagneritz (Gebiet 5, vgl. Abbildung 14) wurden

zwei Feuchtebereiche (TF 23 (feucht) und TF 25 (frisch)) sowie eine feuchte Fläche mit mineralischer Düngung (TF 24) aufgenommen.



Abbildung 11: Gebiet 2, süd-westlich von Martinszell mit den Teilflächen 11 bis 16 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

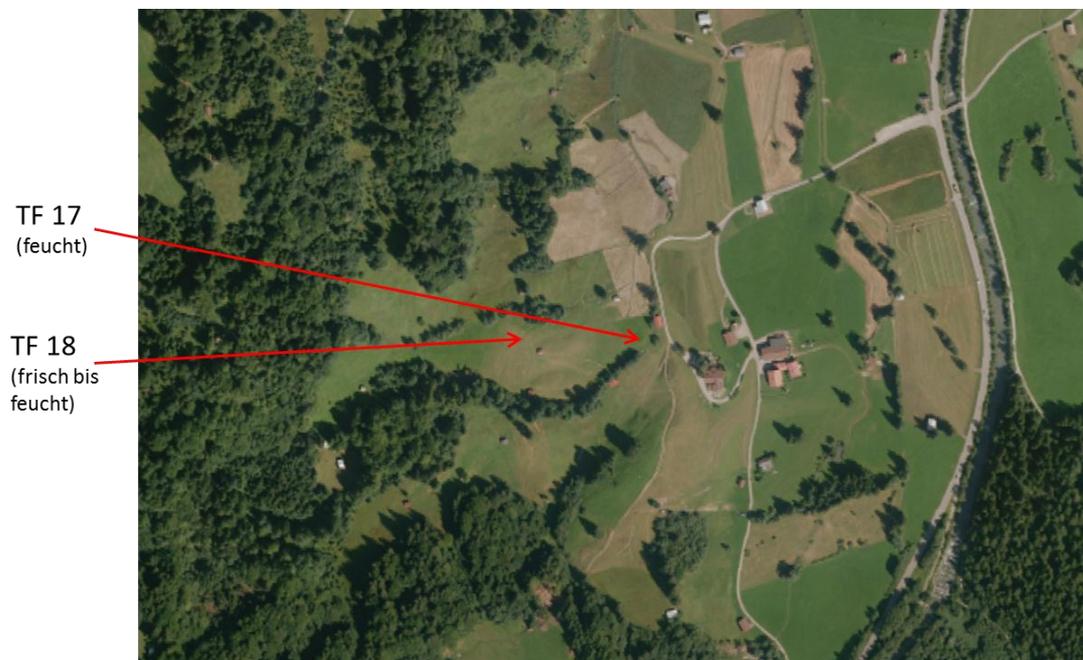


Abbildung 12: Gebiet 3, süd-westlich von Oberstdorf mit den Teilflächen 17 und 18 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

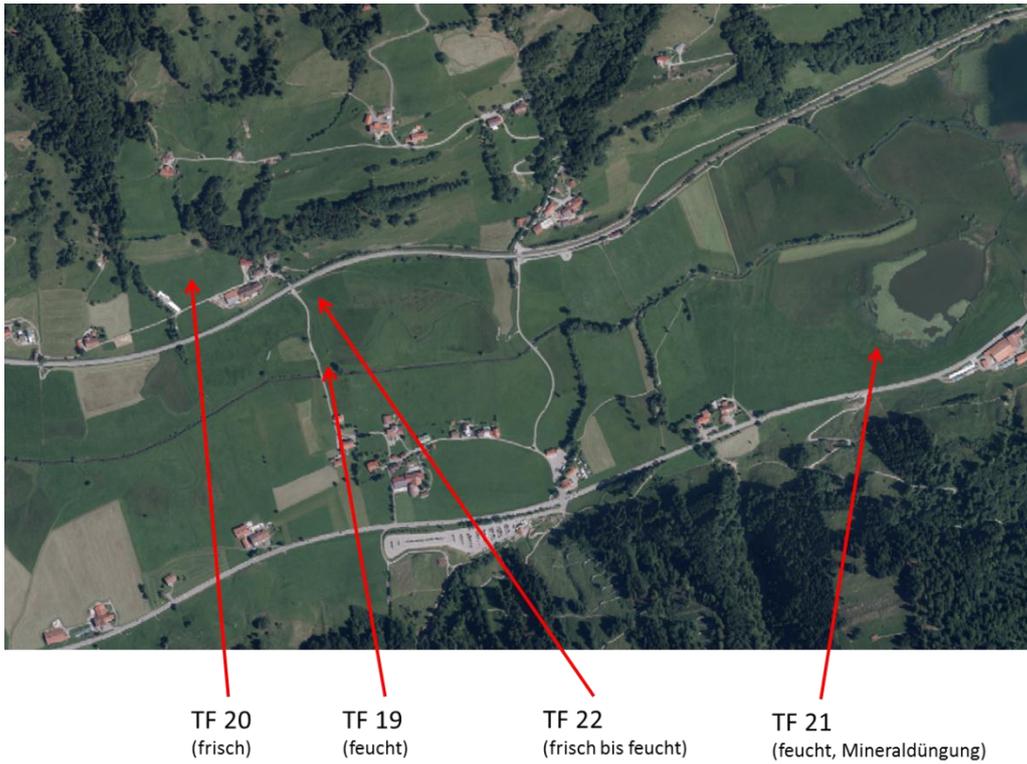


Abbildung 13: Gebiet 4, westlich des Großen Alpsees bei Immenstadt, mit den Teilflächen 19 bis 22 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)



Abbildung 14: Gebiet 5, südlich von Rettenberg-Wagneritz mit den Teilflächen 23 bis 25 (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de; bearbeitet)

Die Nummer des Flurstücks, auf dem sich die jeweilige Teilfläche befindet sowie die Gauss-Krüger-Koordinaten eines zentralen Punktes der Teilfläche sind in der Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2: Lage der untersuchten Teilflächen (Quelle: Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de)

| Teilflächen-Nr. | Flurstück-Nummer | Gauß-Krüger-Koordinaten eines zentralen Punktes auf der Teilfläche | |
|-----------------|------------------|--|---------------|
| | | Rechtswert | Hochwert |
| 13 | 611 | 4.369.351,022 | 5.276.884,992 |
| 14 | 621 | 4.369.320,727 | 5.277.267,845 |
| 15 | 610/4 | 4.369.335,147 | 5.276.961,589 |
| 16 | 602/4 (+ 603) | 4.369.028,362 | 5.276.866,339 |
| 17 | 3965 | 4.368.732,998 | 5.252.787,223 |
| 18 | 3965 | 4.368.619,492 | 5.252.766,585 |
| 19 | 554 | 4.359.583,453 | 5.271.199,470 |
| 20 | 546 | 4.359.272,298 | 5.271.371,240 |
| 21 | 435 | 4.360.806,253 | 5.271.248,044 |
| 22 | 554 / 536 | 4.359.542,623 | 5.271.345,897 |
| 23 | 821 | 4.371.287,373 | 5.269.954,011 |
| 24 | 810 | 4.371.344,920 | 5.270.055,214 |
| 25 | 821/825 | 4.371.316,478 | 5.269.924,907 |

Die Feuchtigkeitsverhältnisse sowie das Management auf den einzelnen Teilflächen sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Feuchtigkeitsverhältnisse und Management auf den Teilflächen 13 bis 25

| Untersuchungsgebiet | Nummer Gebiet | Nummer Teilfläche | Feuchtigkeitsbereich | Art und Häufigkeit der Düngung G: Gülle; S: Stallmist; m: mineralisch | Menge der Mineraldüngung [kg N/ha] | Häufigkeit Mahd (M) und Beweidung (B) | Herbizidanwendung | Nutzungsänderung in den letzten 20 Jahren? |
|---------------------|---------------|-------------------|----------------------|--|------------------------------------|--|---|---|
| Martinszell | 2 | 13 | Frisch bis feucht | 3 - 4 x G 1 x S | - | 3 x M 1 x B | nein | Bis vor 15 Jahren Mineraldüngung |
| | 2 | 14 | Frisch | 3 - 4 x G 1 x S | - | 3 x M 1 x B | nein | |
| | 2 | 15 | feucht | 4 x G 2 x m | 27 | 5 x M | Einzelbek. Ampfer; 2 x Einzelbek. <i>Senecio aquaticus</i> (Simplex) | Bis vor 2 Jahren wurde bei Bedarf gekalkt |
| | 2 | 16 | feucht | 3 - 4 x G 1 x S | - | 2 - 3 x M 1 x B | nein | Bis vor 15 Jahren Mineraldüngung |
| Oberstdorf | 3 | 17 | feucht | 1 x G 1 x S | - | 3 x M | nein | früher 2 x M |
| | 3 | 18 | Frisch bis feucht | 1 x G 1 x S | - | 2 x M 1 x B | nein | Nein |
| Immenstadt | 4 | 19 | feucht | 4 x G | - | 4 x M | Einzelbek. Ampfer | nein |
| | 4 | 20 | Frisch | Keine | - | 3-4 x B | Einzelbek. Ampfer | nein |
| | 4 | 21 | feucht | 4 x m | 20 | 4 x M | nein | |
| | 4 | 22 | Frisch bis feucht | 4 x G | - | 4 x M | Einzelbek. Ampfer | nein |
| Wagneritz | 5 | 23 | feucht | 5 x G | - | 4 x M 1 x B | nein | Bis 2008: chemische Ampfer-Bek.; Umstellung auf Bio-Landwirtschaft im Jahr 2010 |
| | 5 | 24 | feucht | 4 x m | 22 | 5 x M (teilweise eine Mahd durch Beweid. ersetzt) | Einzelbek. Ampfer; Keine Bek. von <i>Senecio aquaticus</i> | |
| | 5 | 25 | frisch | 5 x G | - | 4 x M 1 x B | nein | Bis 2008: chemische Ampfer-Bek.; Umstellung auf Bio-Landwirtschaft im Jahr 2010 |

Vegetationsaufnahmen

Auf jeder Teilfläche (Nr. 13 bis 25) wurden nun wie bei dem Master-Projekt (Hennings 2013, Teilflächen 1 bis 12) Vegetationsaufnahmen vorgenommen, um die genannten Hypothesen zu untersuchen. Die Vegetationsaufnahmen fanden im September und Oktober 2012 statt. Die Aufnahmen wurden in Anlehnung an die Methode von Braun-Blanquet (1964) durchgeführt. Auf allen Teilflächen wurden mindestens drei (teilweise auch vier) quadratische Probeflächen (Plots) mit einer Größe von jeweils zwei mal zwei Meter (4 m²) mit Begrenzungsstäben abgesteckt. Die Lage der Probeflächen wurde nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Keine Probefläche soll direkt am Rand der Untersuchungsfläche liegen (Vermeidung von Randeffekten).
- Die Deckung der Probeflächen soll möglichst repräsentativ für die gesamte Teilfläche sein (insbesondere in Bezug auf die Feuchtigkeitszeiger).
- Die Probeflächen sollen möglichst auf der Teilfläche verteilt sein.
- Die Hangneigung soll möglichst gering sein.

Um diesen Kriterien zu entsprechen, wurde von einer rein zufälligen Auswahl der Probeflächen abgewichen. Die Forderung, dass die Hangneigung möglichst gering sein soll, führte dazu, dass bei der Teilfläche 18 in Oberstdorf die Probeflächen in einer Reihe angeordnet werden mussten, da es nur einen schmalen Bereich mit geringer Hangneigung gab. Dies war bei der Teilfläche 25 (Wagneritz) ähnlich. Die genaue Lage der Probeflächen auf den einzelnen Teilflächen ist den Abbildungen in der Anlage 1 zu entnehmen.

Bei jeder untersuchten Probefläche wurde für alle Arten von Gefäßpflanzen, die sich auf der Probefläche befanden, der von oben sichtbare Deckungsanteil in Prozent der gesamten Fläche bestimmt und notiert. Die Anzahl der aufgenommenen Arten pro Probefläche variierte zwischen sechs und 28. Zur Bestimmung der Pflanzen sind die folgenden Bestimmungsbücher zu Hilfe genommen worden:

- Rothmaler: Exkursionsflora von Deutschland, Band 2 Gefäßpflanzen (Grundband) (Jäger 2011), Band 3 Gefäßpflanzen (Atlasband) (Jäger 2000),
- Flora Vegetativa (Eggenberg et al. 2009).

Außerdem wurden die von oben sichtbaren Deckungsanteile von Moosen, Streu und Boden festgehalten. Bei Moosen und Streu ist keine Differenzierung nach Arten vorgenommen worden.

Auswertung der Vegetationsaufnahmen

Zu jeder Art wurden die folgenden Informationen angegeben (soweit hierzu Angaben gefunden wurden):

- Zugehörigkeit zu einer Pflanzenfamilie entsprechend Jäger (2011),
- Ellenbergsche Zeigerwerte (vgl. FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)),
- Zugehörigkeit zu einer Vegetationseinheit, (gegliedert in Klasse, Ordnung und Verband) (vgl. FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)),
- Gefährdung in Deutschland bzw. Bayern (vgl. FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)).

Um die Standorteigenschaften zu ermitteln, wurden bei allen Teilflächen die Durchschnittswerte der Feuchtezahl, der Reaktionszahl und der Stickstoffzahl nach Ellenberg von allen auf den Teilflächen vorkommenden Arten gebildet. Dabei ist keine Gewichtung nach dem Deckungsanteil vorgenommen worden, damit das Ergebnis nicht durch eine lokal besonders starke Deckung einer Art (z.B. bei Arten mit unterirdischen Ausläufern) beeinflusst wird.

Als Indikatoren für die Biodiversität wurden die Artenzahl und eine Abwandlung des Shannon-Weaver-Index (Index zur Beschreibung der α -Diversität) bei allen Probeflächen ermittelt. Der Shannon-Weaver-Index ist folgendermaßen definiert:

$$H_s = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

H_s: Diversität bezogen auf Arten- und Individuenzahlen

$$P_i = n_i/N \quad \sum P_i = 1$$

P_i = Wahrscheinlichkeit, dass die Art i auftritt (relative Häufigkeit gemessen von 0 bis 1)

S = Gesamtzahl der Arten

N = Gesamtindividuenzahl

n_i = Individuenzahl der Art i

(vgl.: Hill 1973, Shannon 1948)

Bei den durchgeführten Vegetationsaufnahmen wurde nur die Deckung und nicht zusätzlich die Individuenzahl (vgl. „Artmächtigkeit“ nach Braun-Blanquet 1964) erfasst, um eine einfache statistische Auswertung zu ermöglichen. Dementsprechend wird hier P_i ermittelt, indem der vorgefundene Deckungsanteil der jeweiligen Art auf einer Probefläche durch den gesamten Deckungsanteil der Blütenpflanzen auf der jeweiligen Probefläche geteilt wird. H_s gibt dann die Diversität bezogen auf die Artenzahlen und die Deckungsanteile an. H_s steigt mit der Artenzahl und mit der Gleichverteilung der Deckungsanteile. Dieser Index wurde zusätzlich zu der Artenzahl ermittelt, da hier die Verteilung der Deckungsanteile mit berücksichtigt ist. Alternativ zum Shannon-Weaver-Index hätte beispielsweise auch auf den Simpson-Index oder den Brillouin-Index zurückgegriffen werden können. Der Brillouin-Index

reagiert besonders empfindlich auf Arten mit wenigen Individuen, während der Simpson-Index die Arten mit hoher Individuenzahl besonders berücksichtigt. Beides sollte hier nicht besonders hervorgehoben werden, so dass der Shannon-Weaver-Index gewählt wurde.

Eine weitere Variable, die im Zusammenhang mit der Biodiversität untersucht wurde, ist der Deckungsanteil der Gräser. Im Rahmen dieser Arbeit werden die folgenden Pflanzenfamilien zu den Gräsern gezählt:

- Poaceae (Süßgräser),
- Juncaceae (Binsengewächse),
- Cyperaceae (Sauergräser).

Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse wurde die Statistik-Software IBM SPSS Statistics (Version 20) zu Hilfe genommen. Um zu entscheiden, welche statistischen Untersuchungsverfahren im vorliegenden Fall geeignet sind, mussten die Variablen zunächst auf Normalverteilung hin untersucht werden. Diese lag nur bei einem Teil der Variablen vor. Auch nach Durchführung geeigneter Transformationen (Lg 10, arcsin-Wurzel) konnten nicht alle Variablen in eine Normalverteilung überführt werden. Um die statistische Auswertung für alle Variablen einheitlich zu gestalten, wurde bei den weiteren Untersuchungen auf einen verteilungsunabhängigen Mittelwertvergleich zurückgegriffen:

- H-Test nach Kruskal-Wallis
(zur Bestimmung, ob es bei den einzelnen Variablen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsflächen gibt),
- Anschließend: U-Test nach Mann-Whitney (zur Bestimmung zwischen welchen Variablen es signifikante Unterschiede gibt).

Zur Untersuchung von Abhängigkeiten zwischen Variablen wurde eine Rangkorrelation nach Spearman durchgeführt. Im Gegensatz zu dem Pearsonschen Korrelationskoeffizienten ist die Spearman-Korrelation verteilungsunabhängig und daher im vorliegenden Fall anwendbar. Bei der Spearman-Korrelation zeigen Korrelations-Koeffizienten zwischen 0,3 und 0,7 eine schwache Korrelation an. Bei einem Korrelations-Koeffizienten zwischen 0,7 und 1,0 handelt es sich um eine starke Korrelation (Leyer & Wesche 2007).

Zusätzlich wurde eine DCA („Detrended Correspondence Analysis“ (entzerrte Korrespondenzanalyse)) mit dem Programm PC-Ord (Version 6.0) durchgeführt, um Unterschiede der Artenzusammensetzung und der Standortparameter bei den einzelnen Teilflächen aufzuzeigen. Bei der DCA handelt es sich um eine indirekte Gradientenanalyse. Die Analyse erfolgt dabei allein mit Hilfe der Artvorkommen. Grundlage dafür war ebenfalls die Vegetationstabelle (Anlage 2), die entsprechend aufbereitet werden musste, um das Programm PC-Ord verwenden zu können. Im Rahmen der Aufbereitung wurde die Tabelle vereinfacht, so dass nur noch die Arten enthalten waren, die mindestens auf fünf Teilflächen vertreten waren. Dadurch konnte die Artenzahl auf 31 Arten reduziert und eine übersichtliche graphische Darstellung der wichtigsten Arten ermöglicht werden. Als zweite

Tabelle wurde die Tabelle „Merkmale des Pflanzenbestandes“ (Anlage 3) in das Programm eingelesen, wobei hier nur die folgenden Merkmale ausgewählt wurden:

- Artenzahl,
- Deckungsanteil Calthion-Arten,
- Deckungsanteil Molinion-Arten,
- Deckungsanteil Cynosyrion-Arten,
- Deckungsanteil Gräser,
- Shannon-Weaver-Index,
- Feuchte-Zahl nach Ellenberg,
- Reaktionszahl nach Ellenberg,
- Stickstoff-Zahl nach Ellenberg.

Vor Erstellung der DCA wurden keine Transformation und keine Standardisierung vorgenommen. Eine Standardisierung wird von dem Programm PCOrd im Rahmen der DCA automatisch durchgeführt.

Bei der DCA wurden die folgenden Einstellungen gewählt:

- „Downweight rare species“: seltene Arten werden weniger berücksichtigt (da ohne diese Einstellung bei einer DCA seltene Arten überproportional in die Analyse eingehen (vgl. Leyer & Wesche 2007), wodurch das Ergebnis verfälscht wird),
- „Rescale axes“: Standardisierung der Achsen,
- „Rescaling Threshold“: 0,2; d.h. Achsen, die kürzer als 0,2 sind, werden nicht neu skaliert,
- „Number of segments“: 26, d.h. die Standardisierung wird mit 26 Segmenten durchgeführt.

Die DCA wurde der PCA (Principal Component Analysis) vorgezogen, da für eine PCA ein linearer Zusammenhang zwischen Arten-Abundanzen eine Voraussetzung ist. Ein linearer Zusammenhang ist gegeben, wenn die Gradientenlänge kleiner als zwei ist (vgl. Albrecht 2012). Nach Durchführung der DCA ergab sich für die Achse 1 eine Gradientenlänge von 2,791. Bei der Achse 2 betrug die Gradientenlänge 2,425. Daher war die Wahl einer DCA richtig.

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung stellen einen Durchschnittswert über den Untersuchungszeitraum dar, in dem zu verschiedenen Zeitpunkten auch die Management-Maßnahmen durchgeführt und damit Veränderungen hervorgerufen wurden.

In Kapitel 5.1 werden die Ergebnisse der statistischen Auswertungen in Bezug auf die in oben genannten Hypothesen dargestellt. Ergänzend werden zusätzliche Auffälligkeiten behandelt. Die angegebenen Signifikanzen stellen die exakte (zweiseitige) Signifikanz dar, außer wenn explizit darauf hingewiesen wird. Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis-Tests sind in der Anlage 4 dargestellt. Die genauen Irrtumswahrscheinlichkeiten (p-Werte) entsprechend dem U-Test

nach Mann-Whitney sind der Anlage 5 zu entnehmen. Bei $p > 0,1$ wird hier der Zusammenhang als „nicht signifikant“ eingestuft. Von „marginal signifikant“ wird hier gesprochen, wenn $p > 0,05$ und $p \leq 0,1$ ist. Bei Werten bis 0,05 wird der Zusammenhang als „signifikant“ bezeichnet. Die Auswertungen beziehen sich auf die Teilflächen 13 bis 25. Bei ergänzenden Auswertungen der Teilflächen 1 bis 12 (Versuchsflächen Öschlesee und Martinszell, siehe hierzu das Master-Projekt (Hennings 2013)) wird darauf ebenfalls gesondert hingewiesen.

Anmerkungen zur Methodik der Teilflächen 1 bis 12 (Master-Projekt)

Bei den Untersuchungen im Rahmen des Master-Projektes wurden Vegetationsaufnahmen auf den Versuchsflächen am Öschlesee und in Martinszell durchgeführt, um die Wirksamkeit und Biodiversitäts-Effekte der getesteten Management-Verfahren zu untersuchen. Auf jeder Versuchs- bzw. Kontrollfläche sind zwei bis vier Probeflächen aufgenommen worden.

Die Vegetationsaufnahmen und statistische Auswertung wurden beim Master-Projekt wie in der vorliegenden Master-Arbeit durchgeführt (Aufnahme nach Braun-Blanquet und Auswertung mit dem Programm SPSS (H-Test nach Kruskal-Wallis und U-Test nach Mann-Whitney)).

4.3 Versuch der Vorhersage potentieller Standorte von *Senecio aquaticus* mit Hilfe einer GIS-Analyse im Landkreis Oberallgäu

In diesem Teil der Arbeit wurde eine Analyse mit dem geographischen Informationssystem ArcGIS (Version 10.1) der Firma Esri durchgeführt, um Bereiche des Landkreises Oberallgäu darzustellen, auf denen die Standortbedingungen für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* gegeben sind.

Die Daten, welche in das GIS-System digital eingelesen und für die Analyse verwendet wurden, sind in der Tabelle 4 angegeben.

Nach dem Einlesen der Daten wurde das in der Abbildung 15 dargestellte Modell erstellt und ausgeführt. Mit dem Werkzeug „Select“ wurden bei den LSK-Daten (theoretische Nutzung) die Bereiche ausgewählt, auf denen theoretisch *Senecio aquaticus* vorkommen kann:

- Feuchtwiesen,
- Frischwiesen und Weiden,
- ackerfähiges Grünland.

Feuchtwiesen sind der typische Standort von *Senecio aquaticus* (vgl. Kapitel 3). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Pflanze an etwas feuchteren Stellen von Frischwiesen und Weiden sowie von ackerfähigem Grünland vorkommt. Daher wurden diese Bereiche in die Analyse einbezogen.

Tabelle 4: Im Rahmen der GIS-Analyse verwendete Daten

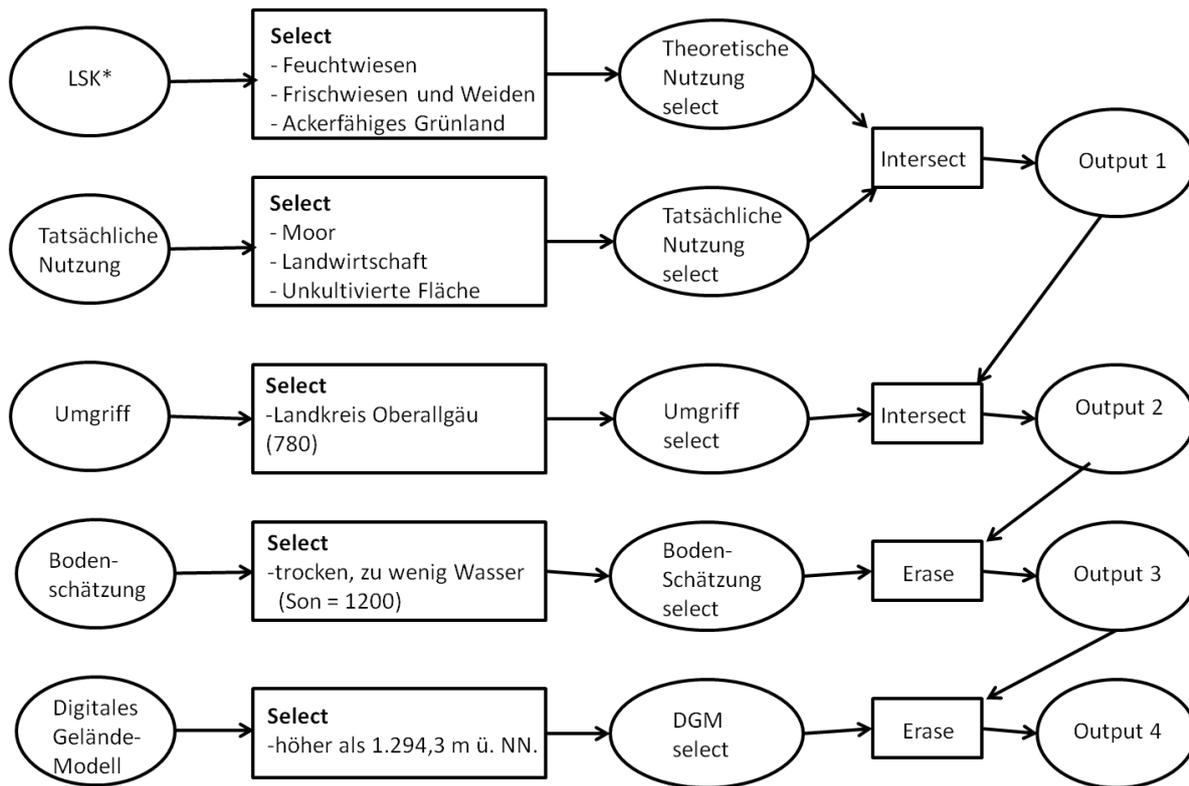
| Datenbezeichnung | Inhalte | Stand | Quelle |
|--|--|-------------|---|
| Landwirtschaftliche Standortkartierung in Bayern (LSK) | Nutzungseignung der Flächen (theoretische Nutzung), u.a. | Januar 2006 | Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft |
| Tatsächliche Nutzung | Tatsächliche Flächennutzung | August 2012 | Bayerische Vermessungsverwaltung* |
| Umgriff | Grenze des Landkreises Oberallgäu | August 2012 | Bayerische Vermessungsverwaltung* |
| Bodenschätzung | Bewertung der Ertragsfähigkeit des Bodens | März 2011 | Bayerische Vermessungsverwaltung* |
| DGM 5 m | Digitales Geländemodell | August 2012 | Bayerische Vermessungsverwaltung* |

*Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung 2013, www.geodaten.bayern.de

Bei den Daten der „tatsächlichen Nutzung“ wurden die folgenden Nutzungen ausgewählt:

- Moor,
- Landwirtschaft,
- unkultivierte Fläche.

Senecio aquaticus kommt oft in moorigen Standorten vor (vgl. BioFlor (Klotz et al. 2013). Zu der Nutzung „Landwirtschaft“ zählt auch Grünland, das ein potentieller Standort von *Senecio aquaticus* ist. Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Pflanze in feuchten Bereichen von unkultivierten Flächen vorkommt, wurden diese Flächen ebenfalls ausgewählt.



* Landwirtschaftliche Standortkartierung

Abbildung 15: GIS-Modell zur Darstellung der Flächen, auf denen *Senecio aquaticus* vorkommen kann

Anschließend wurden die ausgewählten Bereiche von beiden Datensätzen mit dem Werkzeug „Intersect“ verschnitten. Das Ergebnis dieser Verschnidung („Output 1“) sind Bereiche, die in beiden Datensätzen ausgewählt wurden, d.h. Bereiche, bei denen sowohl die theoretische Nutzung als auch die tatsächliche Nutzung potentielle Standorte von *Senecio aquaticus* darstellen. Um nur den Landkreis Oberallgäu zu berücksichtigen, wurde aus dem Datensatz „Umgriff“ der Landkreis Oberallgäu (Code 780) mit dem Werkzeug „Select“ ausgewählt und mit dem Ergebnis der ersten Verschnidung erneut mit „Intersect“ verschnitten. Das Ergebnis davon ist „Output 2“. Als nächstes wurden Bereiche, die in der Bodenschätzung unter „sonstigen Angaben“ („son“) als trocken dargestellt sind (Code 1200) mit Hilfe des Werkzeugs „Erase“ aus dem „Output 2“ entfernt (Ergebnis: „Output 3“). Trockene Bereiche können kein Standort der feuchtigkeitsliebenden Pflanze *Senecio aquaticus* sein. Da ein Vorkommen von *Senecio aquaticus* in Höhenlagen über 1.200 m nicht bekannt ist (Suter & Lüscher 2011), wurden höher liegende Bereiche mit Hilfe des digitalen Geländemodells ausgewählt und mit dem Werkzeug „Erase“ aus dem „Output 3“ entfernt (Auf Grund der in dem Datensatz vorgegebenen Klassifizierung wurden die Bereiche entfernt, die höher als 1294,30 m liegen). Das Ergebnis wird hier als „Output 4“ bezeichnet.

Um die Wahrscheinlichkeit, mit der *Senecio aquaticus* an diesen potentiellen Standorten vorkommt, mit zu berücksichtigen, wurde vor Anwendung des beschriebenen Modells in der

Attributtabelle des Datensatzes der theoretischen Nutzung eine Spalte eingefügt, in der die Bewertung entsprechend der Tabelle 5 eingetragen wurde. Bei Feuchtwiesen wurde die Vorkommenswahrscheinlichkeit mit „hoch“ angegeben, da dies der typische Standort von *Senecio aquaticus* ist. Da bei Frischwiesen und Weiden *Senecio aquaticus* nur in feuchteren Bereichen (d.h. frisch bis feuchten Bereichen) vorkommt, wurde hier die Vorkommenswahrscheinlichkeit mit „gering bis mittel“ eingestuft. Entsprechend der Auswertungen auf Basis der Vegetationsaufnahmen (Kapitel 5.1 und 6.1) wurde dies bestätigt. Demnach kann *Senecio aquaticus* bei einer Feuchtezahl von 6,0 noch mit einem Deckungsanteil von > 1 % vorkommen. Dies entspricht nach Kapitel 5.1 einem „frisch bis feuchten“ Standort (Übergangsbereich zwischen frisch und feucht). Auf eine Bewertung der Vorkommenswahrscheinlichkeit von ackerfähigem Grünland konnte verzichtet werden, da dies in dem Datensatz nach Ausführung des Modells nicht vorkam.

Tabelle 5: Bewertung der Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* bei bestimmter „theoretischer Nutzung“ der Flächen

| Theoretische Nutzung (LSK-Daten) | Bewertung der Vorkommenswahrscheinlichkeit von <i>Senecio aquaticus</i> |
|---|---|
| Molinietalia (Feuchtwiesen) | hoch |
| Arrhenatheretalia (Frischwiesen und Weiden) | gering bis mittel |
| Ackerfähiges Grünland | Keine Bewertung |

Um einen Hinweis auf die Genauigkeit der GIS-Analyse zu bekommen, wird beispielhaft im Bereich der Flächen, auf denen die Vegetationsaufnahmen durchgeführt worden waren (vgl. Abschnitt 4.2) kontrolliert, ob die Aussage der GIS-Analyse ungefähr zu den vorgefundenen Abundanzen von *Senecio aquaticus* passt.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu

Zunächst sollen die vor Ort eingeschätzten Feuchtegrade der Teilflächen (vgl. Angaben in Tabelle 3) mit den durchschnittlichen Feuchtigkeits-Zahlen nach Ellenberg von den aufgenommenen Arten verglichen werden. In der Tabelle in Anlage 3 ist ersichtlich, dass die Mittelwerte der durchschnittlichen Feuchtezahl nach Ellenberg bei den Teilflächen zwischen 5,6 und 6,7 lagen. In Abbildung 16 sind anstatt der Mittelwerte die Mediane erkennbar. Nach FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006) haben Frischezeiger eine Feuchtezahl von 5, während Feuchtezeiger einen Wert von 7 aufweisen. Pflanzen mit einer Feuchtezahl von 6 sind zwischen Frische- und Feuchtezeigern angeordnet. In Anlehnung daran soll hier angenommen werden, dass eine durchschnittliche Feuchtezahl von über 6,1 einen „feuchten“ Standort anzeigt. Eine durchschnittliche Feuchtezahl von unter 5,9 deutet auf einen „frischen“ Standort hin. Bei Feuchtezahlen von 5,9 bis 6,1 wird der Standort als „frisch bis feucht“ angenommen. Wenn es Anzeichen gibt, dass die durchschnittliche Feuchtezahl nicht den tatsächlichen Feuchtegrad des Standortes anzeigt, wird hier jedoch davon abgewichen. Ein Vergleich der Angaben zur Feuchtigkeit in Tabelle 3 mit den Mittelwerten der durchschnittlichen Feuchtezahlen nach Anlage 3 zeigt, dass es bei allen Teilflächen außer den Teilflächen 15 (Martinszell) und 24 (Wagneritz) eine Übereinstimmung gibt. Die Teilfläche 24 war nach Einschätzung vor Ort feucht, der Mittelwert der durchschnittlichen Feuchtezahl zeigt jedoch einen frischen Standort an. Es ist zu vermuten, dass die Mineraldüngung auf dieser Fläche zu einer Verschiebung des Artenspektrums und damit zu einer Verschiebung der Feuchtezahl geführt hat. Daher wird die Fläche wie vor Ort eingeschätzt als feucht bezeichnet. Dies ist jedoch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. In Martinszell ist anhand der vorliegenden Daten ebenfalls nicht sicher zu bestimmen, welchen Feuchtegrad die Fläche 15 (mit Mineraldüngung) hatte und welcher Vergleichsfläche die Fläche 15 in Bezug auf die Feuchtigkeit am besten entspricht. Der Mittelwert der durchschnittlichen Feuchtezahl, der einen frischen Standort anzeigt, kann bei der Fläche 15 aufgrund einer möglichen Verschiebung des Artenspektrums nicht zur Beurteilung der Feuchtigkeit herangezogen werden (siehe oben). Die Fläche 13 liegt unmittelbar angrenzend zur Fläche 15 auf der anderen Seite des dortigen Wasserlaufs. Die durchschnittliche Feuchtezahl der Fläche 13 liegt zwischen 5,71 und 6,31 und war nach Einschätzung vor Ort „frisch bis feucht“. Allerdings liegt die Fläche 15 auch angrenzend zu der feuchteren Fläche, auf dem sich die Versuchsflächen (vgl. Hennings 2013) befinden (durchschnittliche F-Zahl zwischen 6,10 und 6,69). Außerdem war die Fläche 15 nach Einschätzung vor Ort etwas feuchter als die Fläche 13. Dies spricht dafür, dass die Fläche 15 in Bezug auf die Feuchtigkeit der feuchten Fläche 16 (durchschnittliche Feuchtezahl 6,15 bis 6,46) entsprechen kann. Daher wird hier (mit dem Hinweis einer Unsicherheit) ein feuchter Standort angenommen. Zusätzlich ist darauf hinzuweisen, dass innerhalb der Teilflächen

auch kleinräumige Unterschiede bei der Feuchtigkeit (sowie bei anderen Umweltfaktoren) vorhanden sein können. Eine Teilfläche mit besonders großen Unterschieden stellt entsprechend der DCA (Abbildung 18) die Teilfläche 21 (Immenstadt, mit mineralischer Düngung) dar.

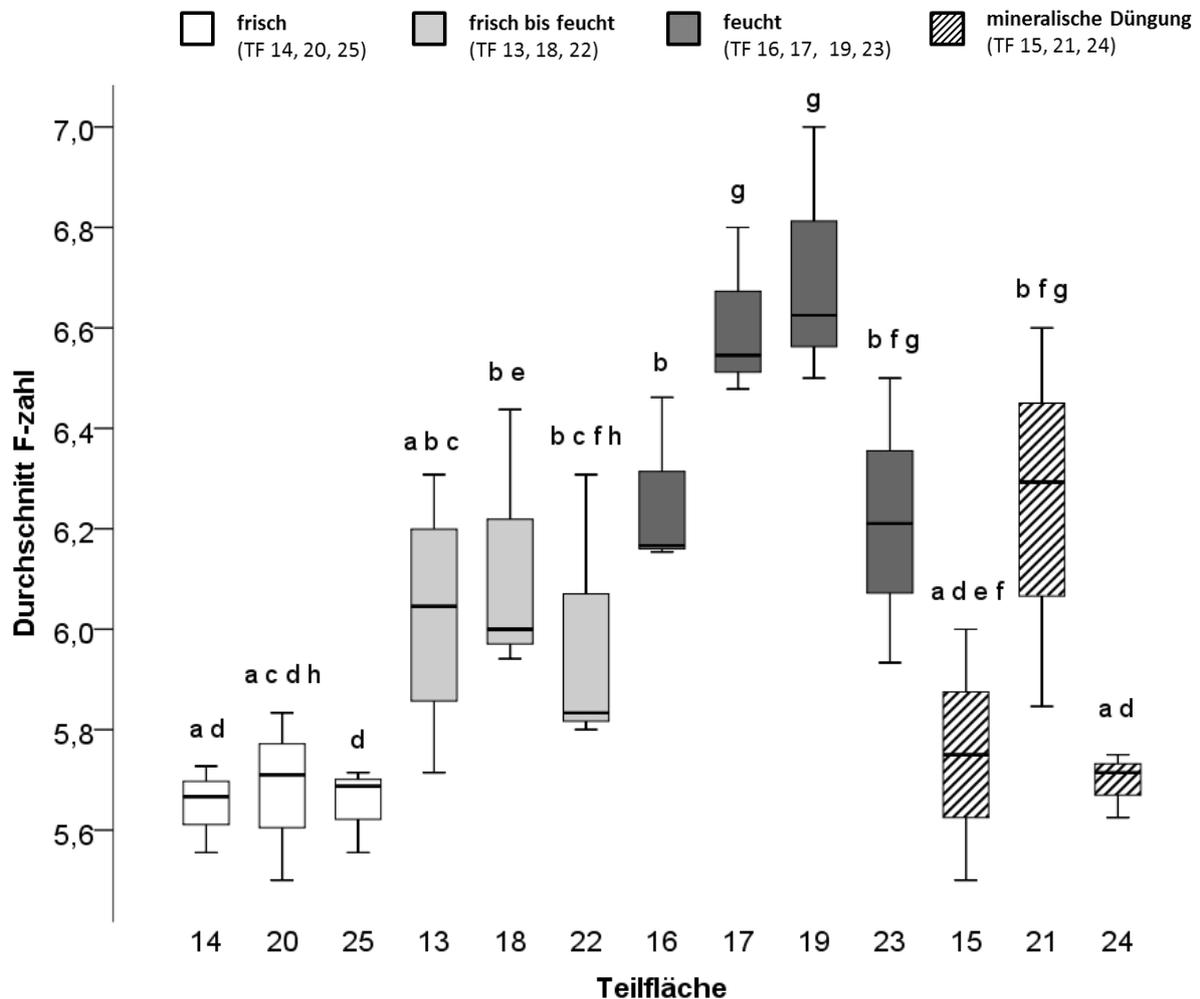


Abbildung 16: Die Durchschnittswerte der Feuchtezahl nach Ellenberg von allen Arten, die auf den einzelnen Teilflächen vorkommen, spiegeln die vor Ort eingeschätzten Feuchtigkeitsverhältnisse meist gut wider (außer bei den Flächen 15 und 24 mit Mineraldüngung)

Ergänzend zu der Beurteilung der Feuchtigkeit nach den Mittelwerten der Feuchtezahlen wurde auch untersucht, welche Flächen sich in Bezug auf die durchschnittlichen Feuchtezahlen signifikant bzw. marginal signifikant unterscheiden. Aus den ermittelten p-Werten in der Anlage 5 kann entnommen werden, dass sich im jeweiligen Untersuchungsgebiet die frischen Flächen (Nr. 14, 20 und 25) marginal signifikant von den feuchten Flächen (16, 19 und 23) unterscheiden. Dadurch werden die Angaben zur Feuchtigkeit der Tabelle 3 weiter gestützt. Da die „frisch bis feuchten“ Flächen einen Feuchtegrad zwischen den feuchten und frischen Flächen aufweisen, wurden bei diesen

Flächen signifikante Unterschiede zu den feuchten bzw. frischen Flächen nicht überprüft. Weiterhin ist auffällig, dass die Flächen 17 (Oberstdorf) und 19 (Immenstadt) entsprechend der durchschnittlichen Feuchtezahl die feuchtesten Flächen waren. Nach der Einschätzung vor Ort war die Fläche 17 von allen Flächen die feuchteste. Dies kann durch die durchschnittliche Feuchtezahl nicht bestätigt werden. Bei den frischen Flächen (14, 20 und 25) gibt es auf Grund der durchschnittlichen Feuchtezahlen keine größeren Unterschiede. Diese können als die drei „trockensten“ Standorte angesehen werden.

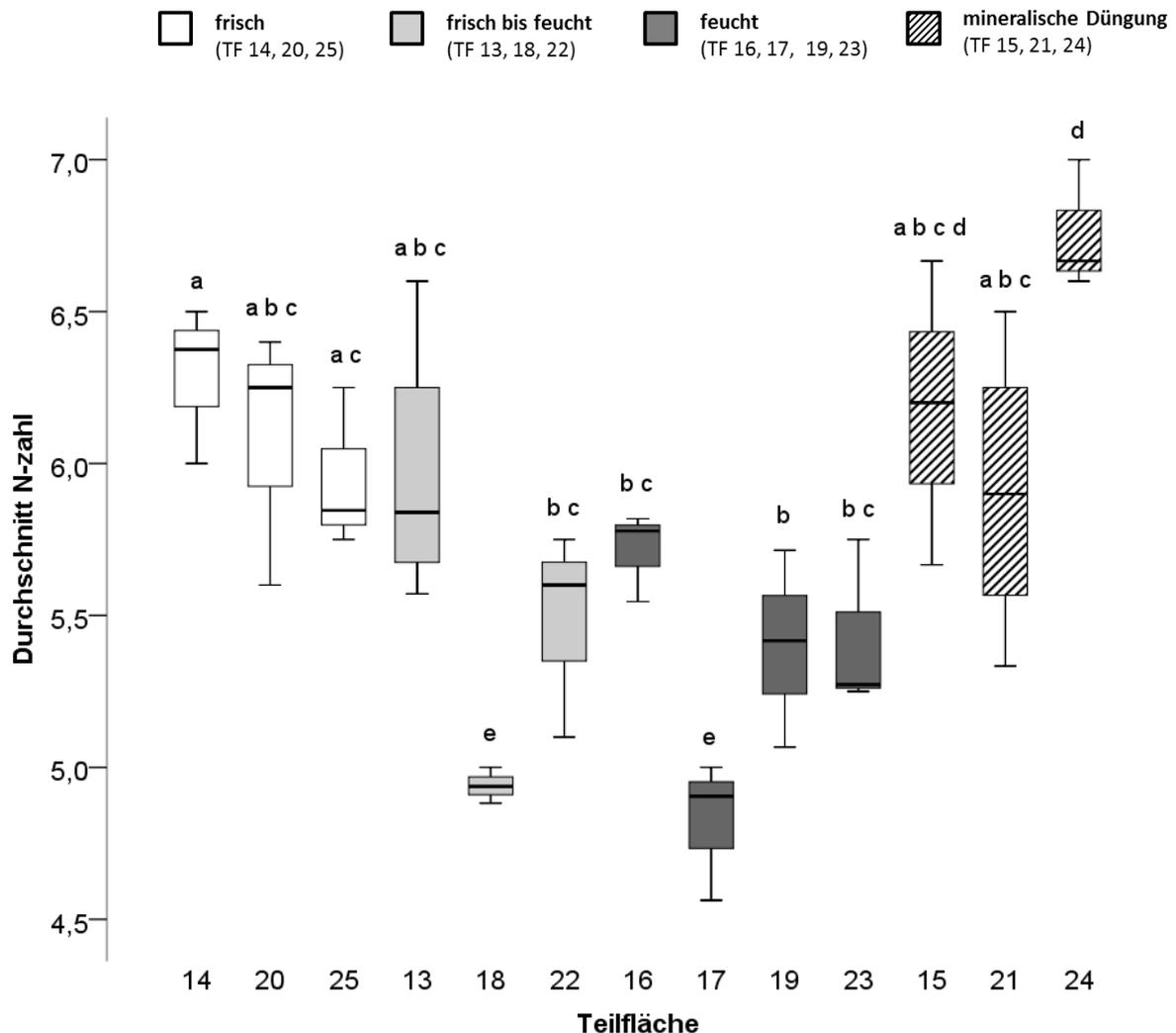
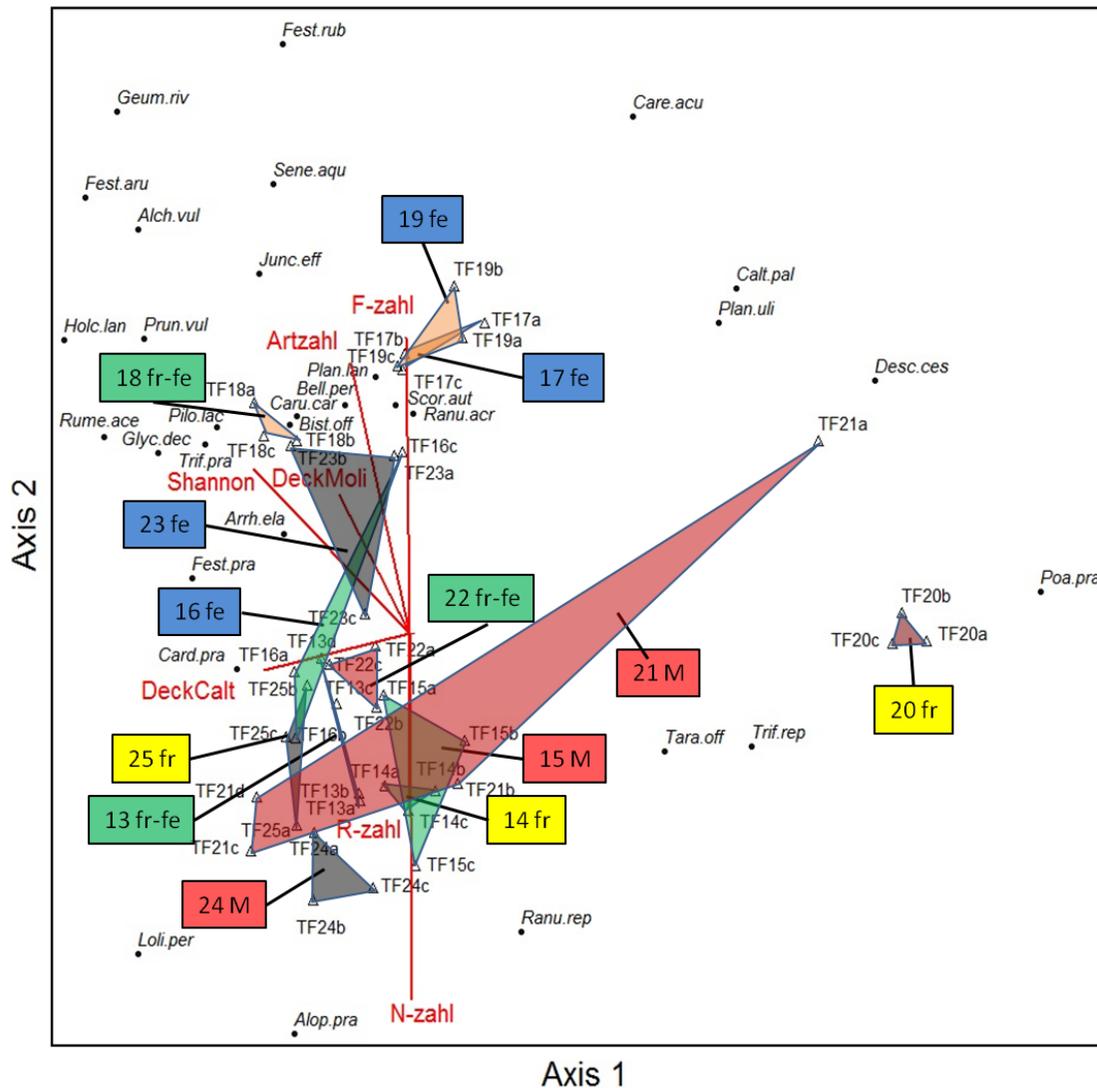


Abbildung 17: Der Durchschnitt der Stickstoffzahl nach Ellenberg von allen Arten, die auf den einzelnen Teilflächen vorkommen, entspricht oft nicht den tatsächlichen Stickstoffverhältnissen

Bei der durchschnittlichen N-Zahl (Abbildung 17) sind die Ergebnisse nicht so deutlich, wie bei der F-Zahl. Der Pflanzenbestand auf der Fläche Nr. 15 (mit Mineraldüngung) weist in Martinszell nicht den höchsten Durchschnittswert der N-Zahl auf. Es wird hier trotzdem davon ausgegangen, dass auf dieser Fläche der Stickstoff-Gehalt im Boden durch die mineralische Düngung deutlich höher war als bei den Flächen 13, 14 und 16. Dies wird

jedoch nicht durch den Pflanzenbestand verifiziert. Auffällig ist, dass die Flächen Nr. 17 und 18 (Oberstdorf) die niedrigsten Mittelwerte der N-Zahl aufweisen. Auf den Flächen 17 und 18 wird einmal pro Jahr mit Gülle und einmal pro Jahr mit Stallmist gedüngt, d.h. weniger als bei den Flächen an den anderen Standorten (vgl. Tabelle 3). Bei den Teilflächen 19 bis 22 (Immenstadt) ist wie bei den Flächen in Martinszell auf Grund der Ergebnisse der N-Zahlen kein Unterschied zwischen den Flächen mit und ohne Mineraldüngung festzustellen. Die Fläche 21 (mit Mineraldüngung) weist nicht den höchsten Durchschnittswert bei der N-Zahl auf. In Wagneritz (Teilflächen 23 bis 25) kann die höhere Stickstoffdüngung bei der Teilfläche 24 (Mineraldüngung) anhand der durchschnittlichen N-Zahl dagegen abgelesen werden. Die Teilfläche 24 besitzt eine marginal signifikant höhere N-Zahl als die anderen Teilflächen in Wagneritz. Außerdem ist der Mittelwert der durchschnittlichen N-Zahl auch im Vergleich zu allen anderen Teilflächen höher. Dies steht im Einklang mit den Angaben der Landwirte zur Menge der mineralischen Stickstoffdüngung (vgl. Tabelle 3): auf der Teilfläche 24 wird viermal pro Jahr mit einer Menge von 22 kg N/ ha gedüngt, d.h. hier wird dem Boden am meisten Stickstoff zugefügt.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass sich die Flächen mit unterschiedlichen Feuchtegraden und unterschiedlicher Düngung in Bezug auf die vorkommenden Arten unterscheiden haben, woraus sich die Unterschiede bei den Zeigerwerten ergaben. Die Unterschiede in Bezug auf die Arten gehen auch aus der DCA hervor (Abbildung 18). Es ist erkennbar, dass die feuchten Teilflächen eher im oberen Teil der Grafik liegen (Arten mit höherer Feuchte-Zahl, vgl. Achse „F-Zahl“), während die frischen Teilflächen sich mehr im unteren Bereich befinden, d.h. die Arten unterscheiden sich. Jedoch gibt es auch Unterschiede innerhalb der Feuchtegrade, besonders bei den „frisch bis feuchten“ Teilflächen. Die Teilflächen mit Mineraldüngung befinden sich vorwiegend im unteren Teil der Grafik (Arten mit höherer N-Zahl, vgl. Achse „N-Zahl“). Innerhalb der Teilflächen gibt es teilweise nur geringe Unterschiede bei der Artenzusammensetzung (insbesondere bei den Teilflächen 14, 18, 20 und 22). Bei einigen Teilflächen sind die Unterschiede beträchtlich. Dies gilt besonders für die Teilfläche 21. So zeigt die erste Aufnahme der Teilfläche 21 (TF 21a) einen eher stickstoffarmen Standort an, obwohl auf dieser Fläche mineralisch gedüngt wird. Die Unterschiede der Teilflächen sind in Bezug auf die N-Zahl und die F-Zahl (beide Achsen verlaufen parallel und in entgegengesetzte Richtung) größer als in Bezug auf den Deckungsanteil von Calthion-Arten (Achse verläuft fast senkrecht zu den Achsen „F-Zahl“ und „N-Zahl“). Ausnahmen sind die erste Aufnahme der Teilfläche 21 sowie die Aufnahmen der Teilfläche 20, die einen deutlich geringeren Deckungsanteil von Calthion-Arten aufweisen als die übrigen Teilflächen (siehe auch Tabelle „Merkmale des Pflanzenbestandes in Anlage 3).



Teilflächen:

- 13-16: Martinszell
- 17-18: Oberstdorf
- 19-22: Immenstadt
- 23-25: Wagneritz

Standortverhältnisse:

- fr: frisch
- fr-fe: frisch bis feucht
- fe: feucht
- M: Mineraldüngung

Aufnahmen (Beispiele):

- TF20a: erste Aufnahme auf Teilfläche 20
- TF20b: zweite Aufnahme ...

Arten (abgekürzt, Beispiele):

- Junc. eff: Juncus effusus
- Sene.aqu: Senecio aquaticus

Abbildung 18: Die DCA („Detrended Correspondence Analysis“) von den Vegetationsaufnahmen auf den Teilflächen 13 – 25 zeigt deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung der Teilflächen (Eigenwert Achse 1: 0,57; Eigenwert Achse 2: 0,35)

Zu Hypothese 1: Auf feuchten Standorten mit nur mäßiger Düngung ist die Abundanz von *Senecio aquaticus* höher als auf frischen Standorten sowie auf Standorten mit mineralischer Düngung.

Wie zuvor erläutert, kann davon ausgegangen werden, dass die Flächen 14 (Martinszell), 20 (Immenstadt) und 25 (Wagneritz) (alle mit maximal fünfmal jährlicher Düngung ohne Mineraldünger, bei Fläche 20 nur Düngung durch Beweidung) im frischen Feuchtigkeitsbereich liegen. Bei allen diesen Flächen wurde kein *Senecio aquaticus* gefunden (vgl. Abbildung 19 und Anlagen 2 und 3). Auch bei den Flächen 13 und 22 (ebenfalls nur Düngung mit Gülle), die eine etwas höhere durchschnittliche F-Zahl aufweisen, wurde nur maximal ein Deckungsanteil von 1 % *Senecio aquaticus* gefunden. Bei der ebenfalls frisch bis feuchten Fläche 18 war dagegen der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* mit durchschnittlich 3,3 % höher. Wie aus der Tabelle in Anlage 3 hervor geht, betrug bei den frischen Flächen 14, 20, und 25 die Deckung der Blütenpflanzen 93 % oder mehr (die Mittelwerte sind ebenfalls der Anlage 3 zu entnehmen). Bei den frischen bis feuchten Flächen war die Deckung der Blütenpflanzen in einer Probefläche auf der Teilfläche 13 mit 87 % geringer. Insgesamt kann von einer weitgehend geschlossenen Pflanzendecke gesprochen werden. Als feuchte Flächen können, wie oben dargestellt, die Teilflächen 15, 16, 17, 19, 21, 23 und 24 eingestuft werden. Bei den Teilflächen 15, 21 und 24 wird jedoch mit Mineraldünger gedüngt. Die Flächen 16, 17, 19 und 23 waren demnach feuchte Standorte mit mäßiger nicht mineralischer Düngung (maximal fünfmal Düngung pro Jahr). Diese Flächen besaßen mindestens eine Gesamtdeckung mit Blütenpflanzen von 90 % und maximal einen Anteil von offenem Boden von 5 % (vgl. Anlage 3 sowie Abbildung 20). Dem zu Folge war die Pflanzendecke ebenfalls weitgehend geschlossen. Entsprechend der Anlage 5 bzw. der Abbildung 19 waren die Deckungsanteile von *Senecio aquaticus* auf den Flächen 16, 19 und 23 marginal signifikant höher als auf den frischen Vergleichsstandorten (Flächen 14, 20, und 25) im selben Untersuchungsgebiet. Zu der feuchten Fläche 17 wurde kein frischer Vergleichsstandort untersucht. Die höchste Abundanz (mittlerer Deckungsanteil von 9 % *Senecio aquaticus*) wurde bei der Fläche 17 (Oberstdorf) erreicht. Bei den Flächen 16 (Martinszell - Mittelwert 6,0 %), 19 (Immenstadt – Mittelwert 3,7 %) und 23 (Wagneritz – Mittelwert 6,0 %) wurden etwas geringere Werte erreicht.

Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen frischen und feuchten Flächen sind in der Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 6: Unterschiede der Deckung von *Senecio aquaticus* zwischen den frischen Teilflächen und den feuchten Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet

| Untersuchungsgebiete | Frische Teilflächen | | Feuchte Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet | | Signifikante Unterschiede bei der Deckung von <i>Senecio aquaticus</i> ? |
|----------------------|---------------------|--|---|--|--|
| | Teilflächen-Nummer | Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> (Mittelwert) [%] | Teilflächen-Nummer | Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> (Mittelwert) [%] | |
| Martinszell | 14 | 0,0 | 16 | 6,0 | Ja (marginal) |
| Oberstdorf | - | - | 17 | 9,0 | - |
| Immenstadt | 20 | 0,0 | 19 | 3,7 | Ja (marginal) |
| Wagneritz | 25 | 0,0 | 23 | 6,0 | Ja (marginal) |

Anmerkung: in Oberstdorf wurde keine frische Teilfläche untersucht

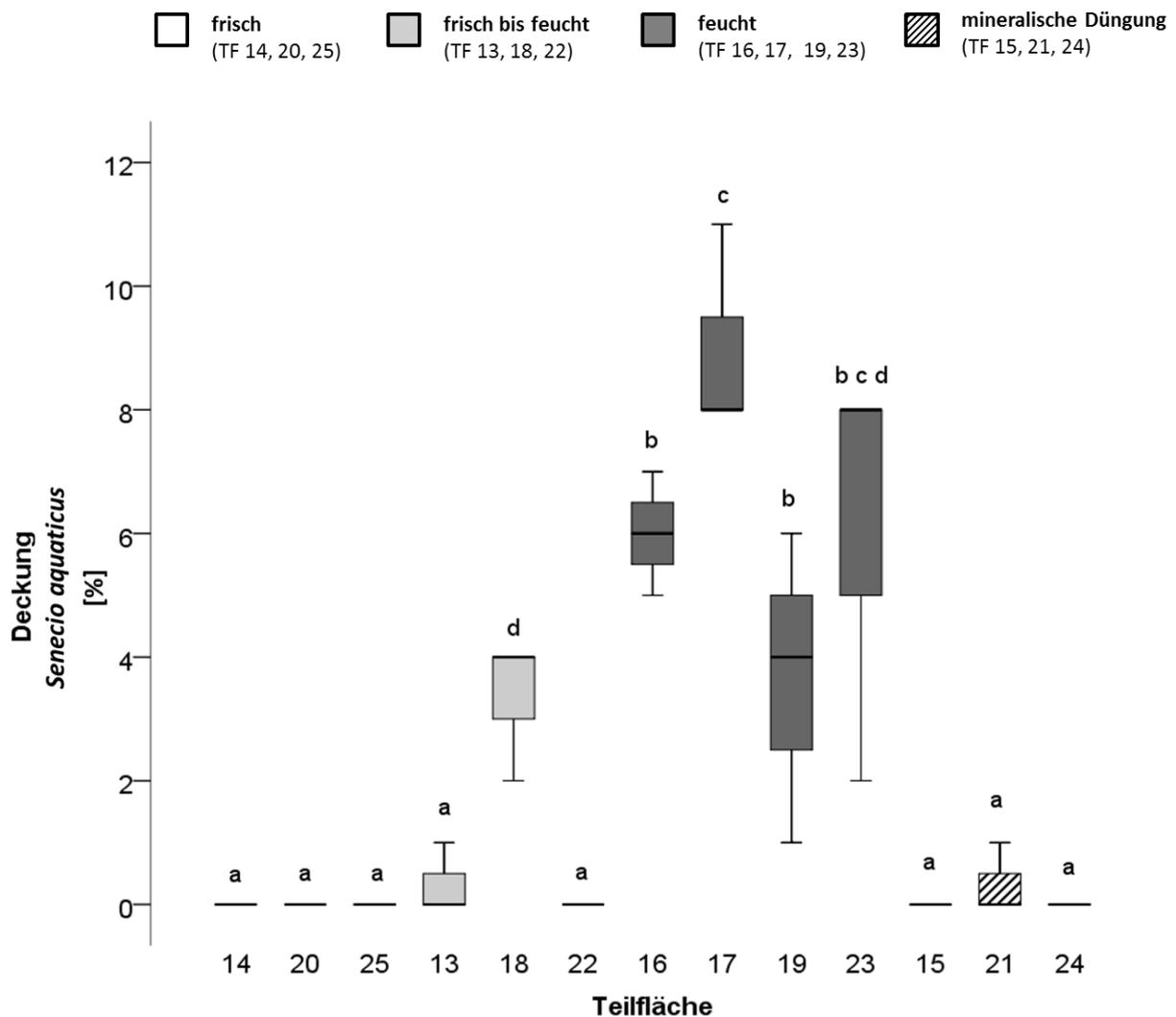


Abbildung 19: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* ist bei den feuchten Teilflächen 16, 19 und 23 marginal signifikant höher als bei den frischen Flächen 14, 20 und 25

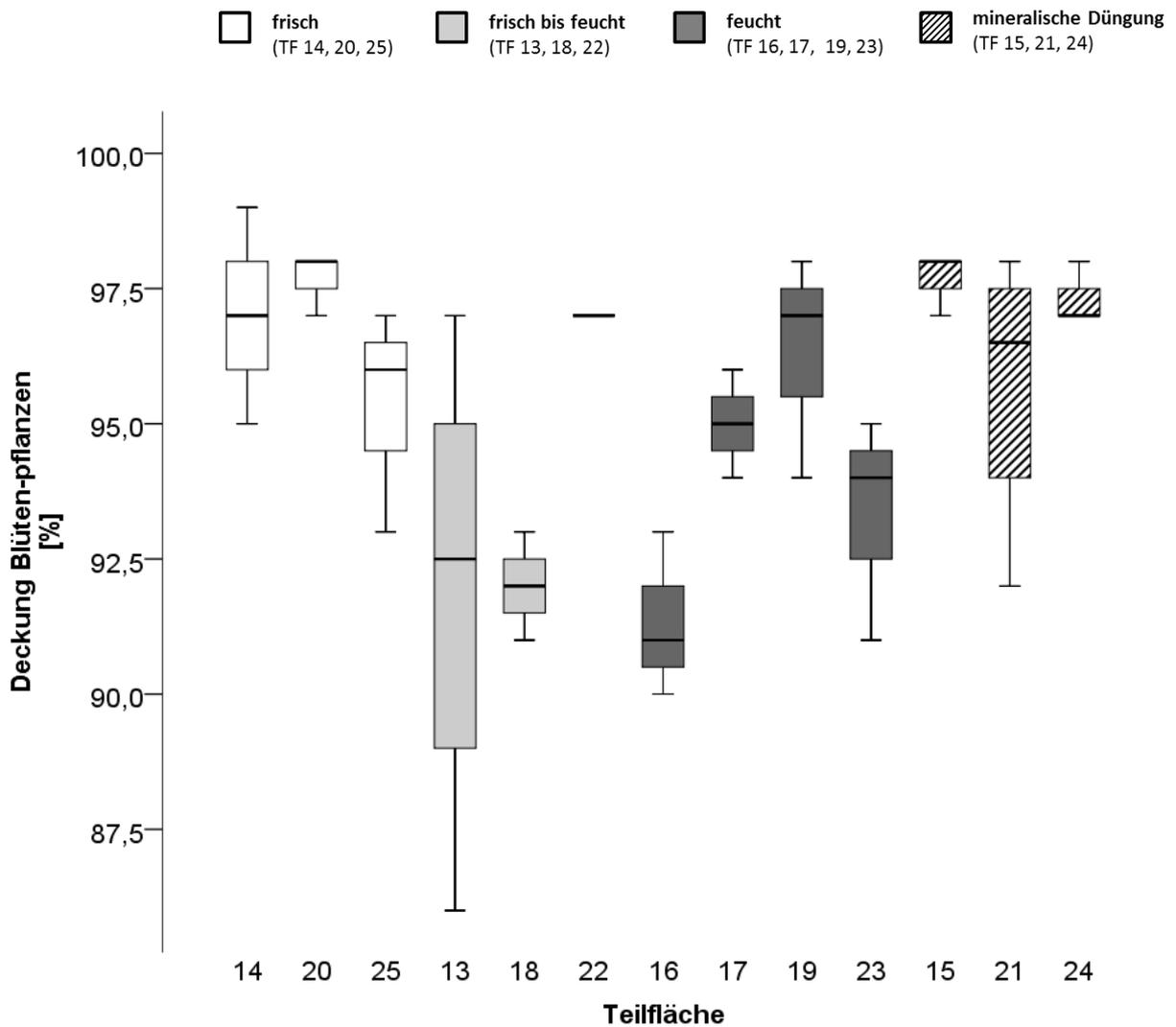


Abbildung 20: Der Deckungsanteil aller Blütenpflanzen bei den Teilflächen zeigt an, dass die Pflanzendecke meist gut geschlossen war

Zu diesen Ergebnissen passen auch die positiven Spearman-Korrelationen zwischen Feuchtezahl ($R = 0,734$; $p = 0,000$ (signifikant)) sowie der Anzahl von Calthion-Arten (d.h. Nass- bzw. Feuchtwiesenarten; $R = 0,775$, $p = 0,000$ (signifikant)) und dem Deckungsanteil von *Senecio aquaticus*, die im Rahmen der Auswertungen gefunden wurde (vgl. Anlage 6 sowie Abbildungen 21 und 22).

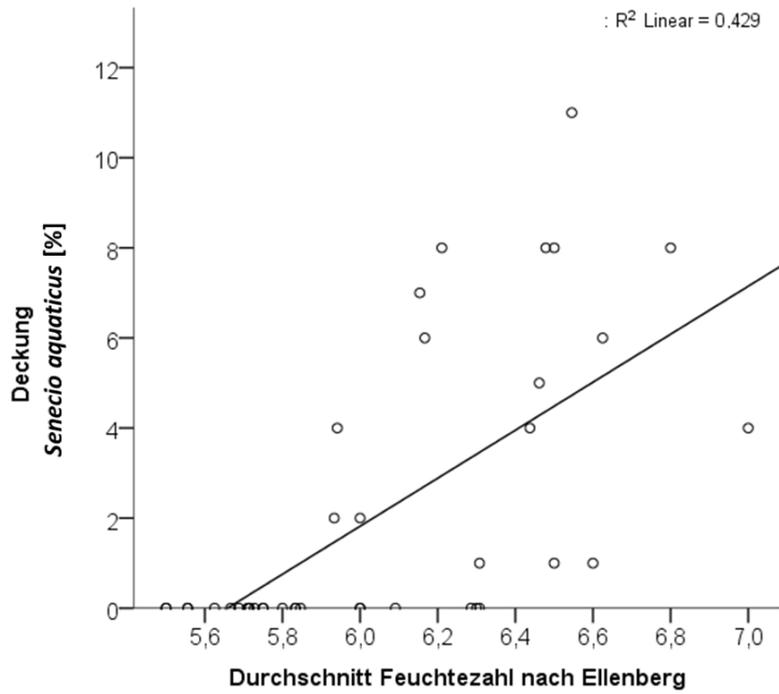


Abbildung 21: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* wird bei zunehmender durchschnittlicher Feuchtezahl nach Ellenberg bei den Teilflächen 13 bis 25 größer

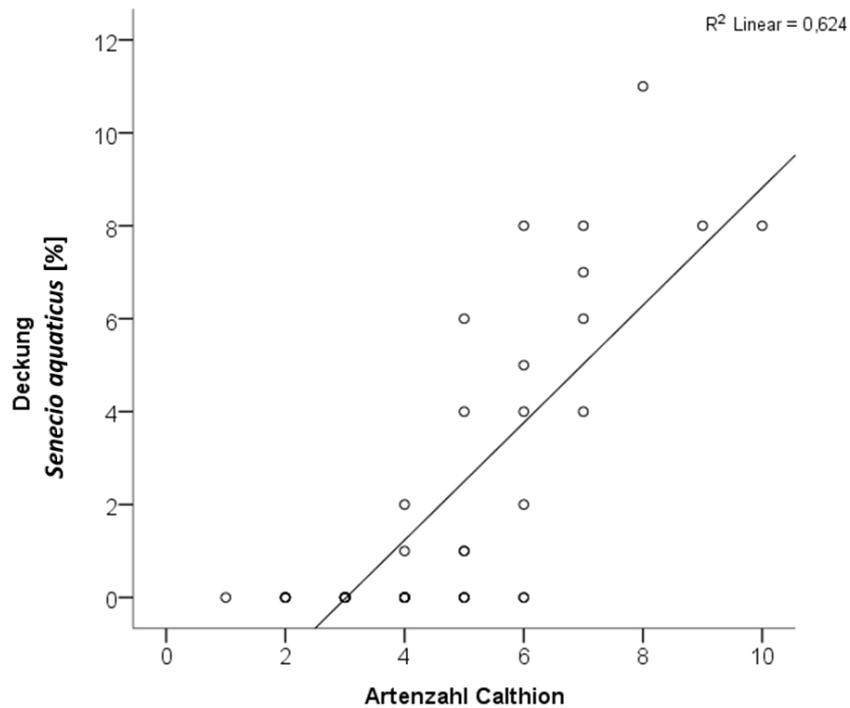


Abbildung 22: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* wird bei zunehmender Artenzahl von Calthion-Arten bei den Teilflächen 13 bis 25 größer

Die Flächen mit mineralischer Düngung sind die Teilflächen 15 (Martinszell), 21 (Immenstadt) und 24 (Wagneritz). Bei diesen Flächen wurde auf fast allen Probeflächen kein *Senecio aquaticus* gefunden. Nur bei einer Probefläche der Teilfläche 21 wurde *Senecio aquaticus* in sehr geringer Menge (1 %) aufgenommen. Die Vergleichsflächen ohne mineralische Düngung und sonst ähnlichen Standortbedingungen sind die Teilflächen 16 (Martinszell), 19 (Immenstadt) und 23 (Wagneritz) (Siehe Tabelle 7). Bei den Flächen ohne mineralische Düngung wurden Mittelwerte der Deckung der Pflanze *Senecio aquaticus* von 6 % (Fläche 16), 3,7 % (Fläche 19) bzw. 6 % (Fläche 23) erreicht. Entsprechend der Anlage 5 waren die Unterschiede zu den Vergleichsflächen 15, 21 bzw. 24 marginal signifikant. Zudem ergab die Spearman-Korrelation eine (wenn auch geringe) negative Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und der Stickstoff-Zahl ($R = -0,690$; $p = 0,000$ (signifikant)). Die Aussagefähigkeit dieser Korrelation (vgl. Abbildung 23) ist jedoch sehr begrenzt, da die durchschnittlichen Stickstoff-Zahlen nicht unbedingt den wirklichen Stickstoffgehalt des Bodens widerspiegeln.

Tabelle 7: Deckung von *Senecio aquaticus* bei den Flächen mit mineralischer Stickstoff-Düngung sowie bei den Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet (ohne mineralischer Düngung)

| Untersuchungsgebiete | Flächen mit mineralischer N-Düngung | | Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet | | Signifikante Unterschiede bei der Deckung von <i>Senecio aquaticus</i> ? |
|----------------------|-------------------------------------|--|---|--|--|
| | Nummer | Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> (Mittelwert) [%] | Nummer | Deckungsanteil von <i>Senecio aquaticus</i> (Mittelwert) [%] | |
| Martinszell | 15 | 0,0 | 16 | 6,0 | Ja (marginal) |
| Immenstadt | 21 | 0,3 | 19 | 3,7 | Ja (marginal) |
| Wagneritz | 24 | 0,0 | 23 | 6,0 | Ja (marginal) |

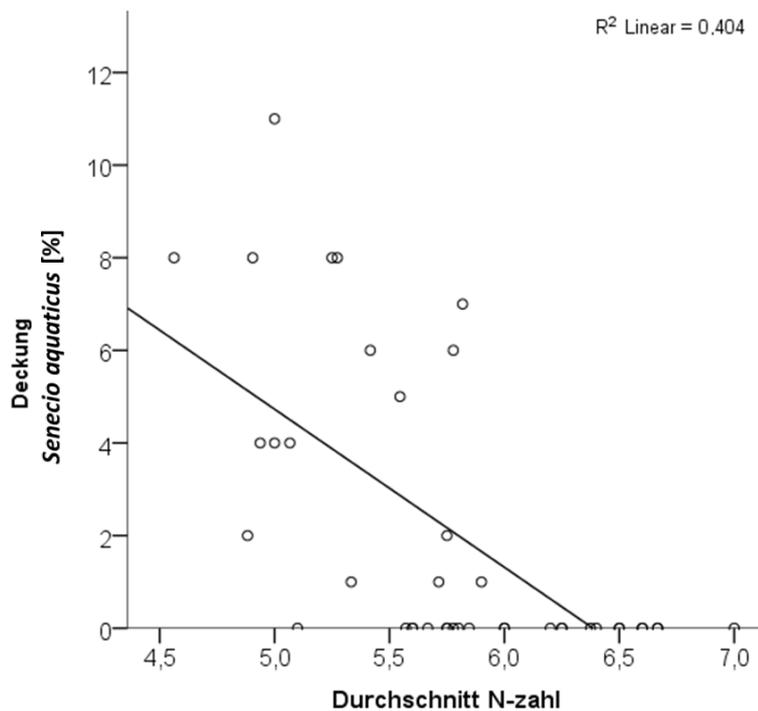


Abbildung 23: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* wird mit zunehmender durchschnittlicher N-Zahl bei den Teilflächen 13 bis 25 geringer

Zu Hypothese 2: Auf Standorten mit intensiver mineralischer Düngung ist die Biodiversität geringer als auf Standorten mit Gülle-Düngung.

Um diese Hypothese zu untersuchen, werden dieselben Flächen herangezogen, wie bei der Hypothese 1 und im Hinblick auf den Shannon-Weaver-Index untersucht (vgl. Abbildung 24). Das in der Tabelle 8 dargestellte Ergebnis ist ähnlich wie bei dem Vergleich der Deckung von *Senecio aquaticus*. Die Flächenvergleiche in Martinszell, Immenstadt und Wagneritz ergaben, dass bei den Flächen mit Mineraldüngung der Shannon-Weaver-Index marginal signifikant geringer war als bei den Vergleichsflächen. Bei den Flächen mit Mineraldüngung liegen die Mittelwerte des Shannon-Weaver-Indexes zwischen 1,7 und 2,0. Die Flächen ohne Mineraldüngung weisen Mittelwerte des Shannon-Weaver-Indexes von 2,3 bis 2,7 auf.

Im Zusammenhang mit der Biodiversität wurden auch die Deckungsanteile von Gräsern und Krautigen bei diesen Flächen verglichen. Es kann jedoch nicht bestätigt werden, dass sich diese Deckungsanteile bei den Flächenvergleichen signifikant unterscheiden.

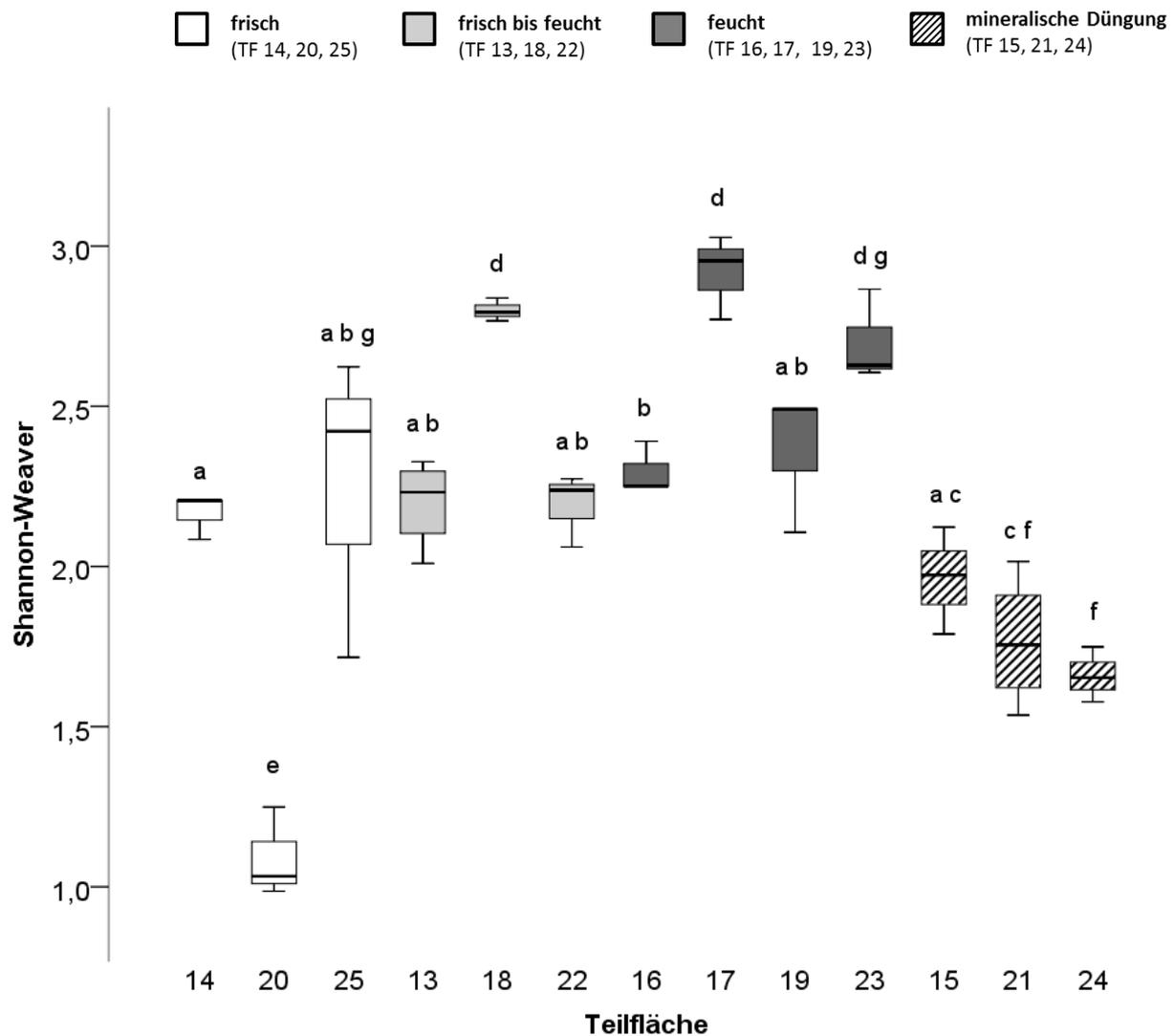


Abbildung 24: Der Shannon-Weaver-Index (abgewandelt) ist bei den Teilflächen 15, 21 und 24 (mit mineralischer Düngung) marginal signifikant geringer als bei den Vergleichsflächen 16, 19 und 23

Tabelle 8: Shannon-Weaver-Index (abgewandelt) bei den Flächen mit mineralischer Stickstoff-Düngung sowie bei den Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet

| Untersuchungsgebiete | Flächen mit mineralischer N-Düngung | | Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet | | Signifikante Unterschiede bei Shannon-Weaver-Index |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|--|
| | Nummer | Shannon-Weaver (Mittelwert) [-] | Nummer | Shannon-Weaver (Mittelwert) [-] | |
| Martinszell | 15 | 2,0 | 16 | 2,3 | Ja (marginal) |
| Immenstadt | 21 | 1,8 | 19 | 2,4 | Ja (marginal) |
| Wagneritz | 24 | 1,7 | 23 | 2,7 | Ja (marginal) |

Zu Hypothese 3: *Senecio aquaticus* korreliert positiv mit *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* sowie negativ mit *Taraxacum officinale* und *Ranunculus repens*.

Entsprechend der Tabelle 9 konnte mit den Ergebnissen der Teilflächen 13 bis 25 nach Spearman eine starke Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Carex acutiformis* nachgewiesen werden (siehe auch Abbildung 25). Auch die Signifikanz war sehr hoch ($p = 0,000$). Bei *Juncus effusus* ergab sich eine geringe Korrelation (ebenfalls signifikant, $p = 0,008$ – vgl. Abbildung 26). Bei *Juncus inflexus* ist der Korrelations-Koeffizient mit 0,293 knapp unter 0,3; d.h. es kann keine Korrelation nachgewiesen werden (marginal signifikant, $p = 0,063$).

Tabelle 9: Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Carex acutiformis* sowie *Juncus effusus*, keine Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Juncus inflexus* (bei den Teilflächen 13 bis 25)

| | | Deckung <i>Juncus</i> <i>effusus</i> [%] | Deckung <i>Juncus</i> <i>inflexus</i> [%] | Deckung <i>Carex</i> <i>acutiformis</i> [%] |
|--|------------------------------|---|--|--|
| Deckung <i>Senecio</i> <i>aquaticus</i> [%] | Korrelations- Koeffizient | 0,408 | 0,293 | 0,778 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,008 | 0,063 | 0,000 |
| | N | 41 | 41 | 41 |

Signifikanz:
 marginal signifikant ($0,100 \geq p > 0,05$)
 signifikant ($p \leq 0,05$)
 Korrelation:
 gering ($0,7 > R \geq 0,3$)
 stark ($1,0 \geq R \geq 0,7$)

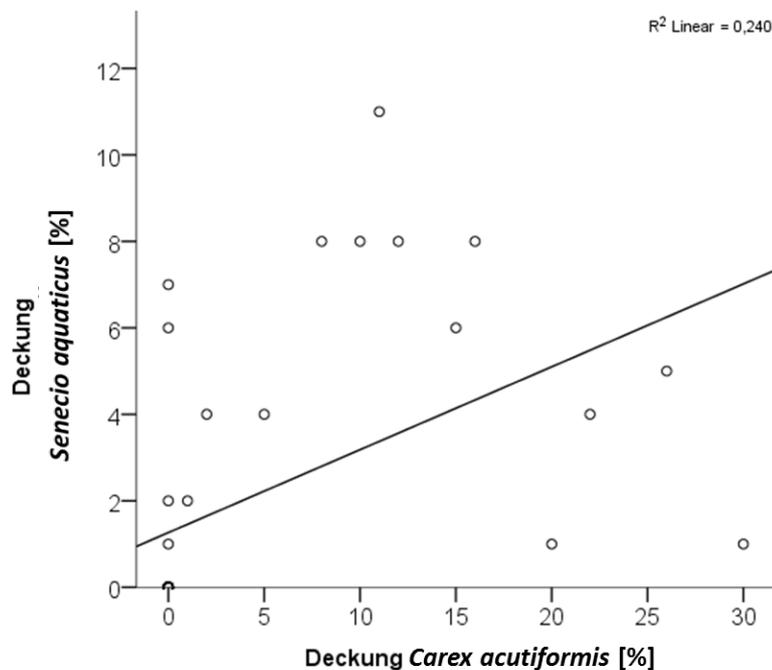


Abbildung 25: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* wird mit zunehmendem Deckungsanteil von *Carex acutiformis* bei den Teilflächen 13 bis 25 größer

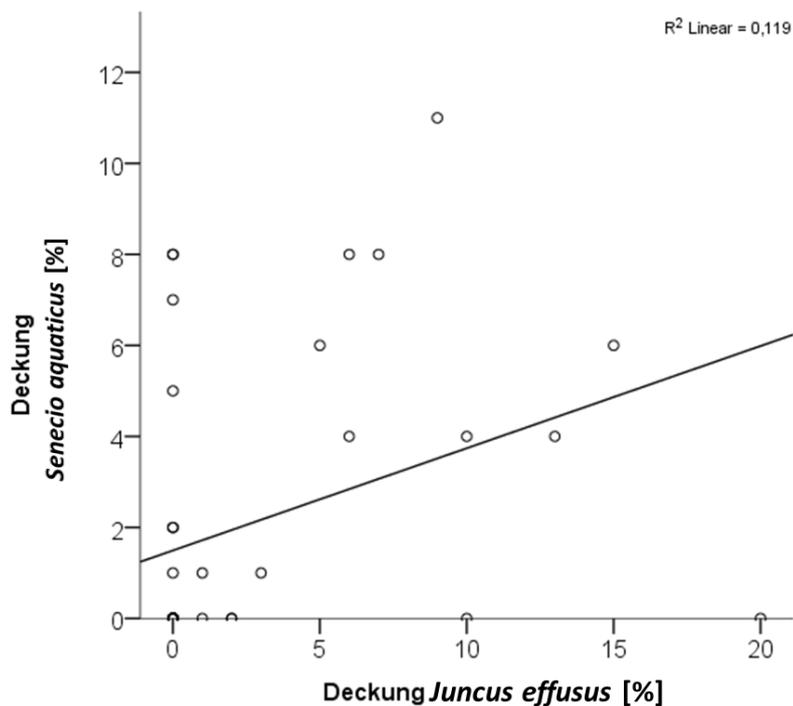


Abbildung 26: Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* wird mit zunehmendem Deckungsanteil von *Juncus effusus* bei den Teilflächen 13 bis 25 größer

Entsprechend den Abbildungen 27 und 28 beträgt die Stetigkeit von *Carex acutiformis* mit *Senecio aquaticus* 13 (76 % der Flächen mit *Senecio aquaticus* weisen auch *Carex acutiformis* auf), während die Stetigkeit von *Juncus effusus* mit *Senecio aquaticus* bei 10 (59 %) liegt. *Juncus inflexus* weist dagegen nur eine Stetigkeit mit *Senecio aquaticus* von 2 (12 %) auf. Aus der Abbildung 27 geht ebenfalls hervor, dass bei 15 Probeflächen mit *Senecio aquaticus* auch *Carex acutiformis* oder *Juncus effusus* vorkam. Dies entspricht einem Anteil von 88 % (vgl. Abbildung 28). Nur bei zwei Probeflächen mit *Senecio aquaticus* wurde keine dieser beiden Arten gefunden. Da die Stetigkeit von *Juncus inflexus* sehr gering war, wurde diese Art hier nicht weiter betrachtet.

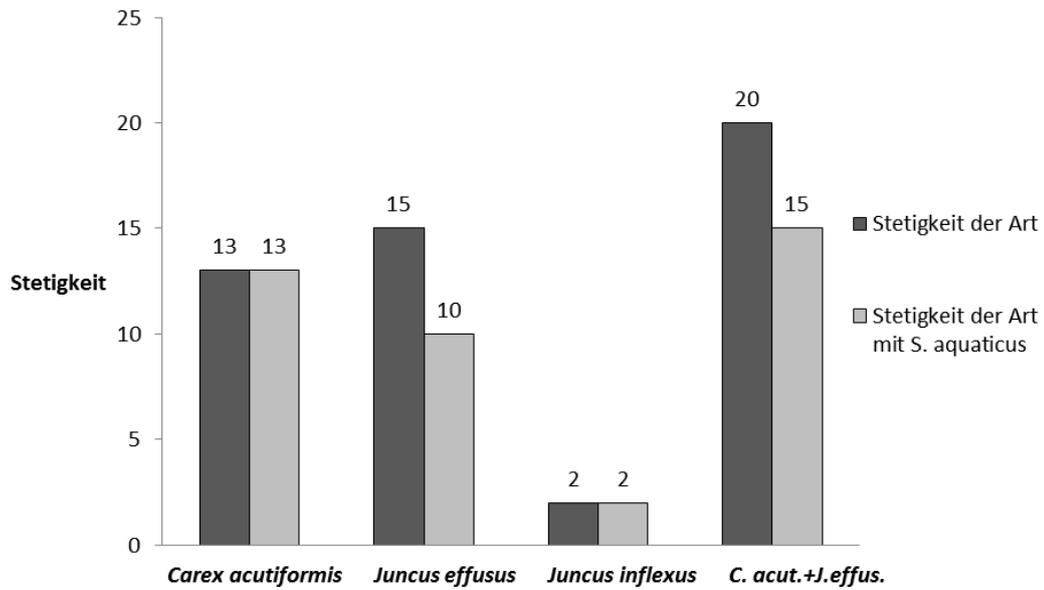


Abbildung 27: Stetigkeit von *Carex acutiformis*, *Juncus effusus* und *Juncus inflexus* sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben: Anzahl der Probeflächen)

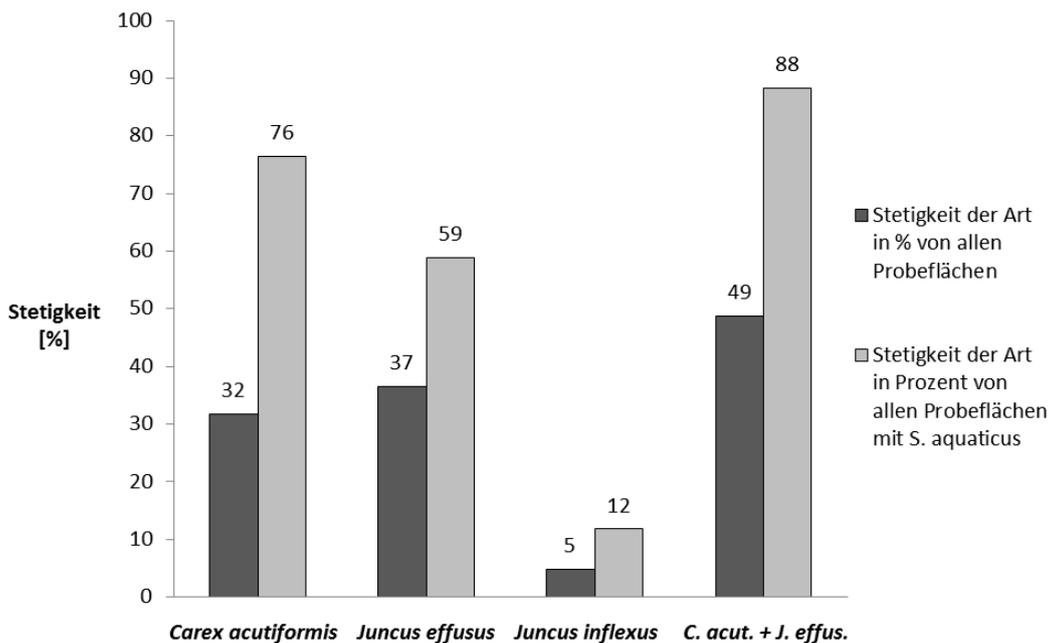


Abbildung 28: Stetigkeit von *Carex acutiformis*, *Juncus effusus* und *Juncus inflexus* sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen bzw. von allen Probeflächen mit *Senecio aquaticus*)

In der Abbildung 29 ist zusätzlich angegeben, auf wieviel Prozent aller Probeflächen, bei denen *Carex acutiformis*, *Juncus effusus* bzw. *Juncus inflexus* vorkamen, auch *Senecio aquaticus* gefunden wurde. Es zeigt sich, dass auf allen Probeflächen, auf denen *Carex acutiformis* bzw. *Juncus inflexus* vorkamen, auch *Senecio aquaticus* gefunden wurde.

Allerdings ist die Aussage in Bezug auf *Juncus inflexus* auf Grund der geringen Stetigkeit kaum aussagekräftig. Bei *Juncus effusus* war dies nur in 67 % von den Probeflächen der Fall.

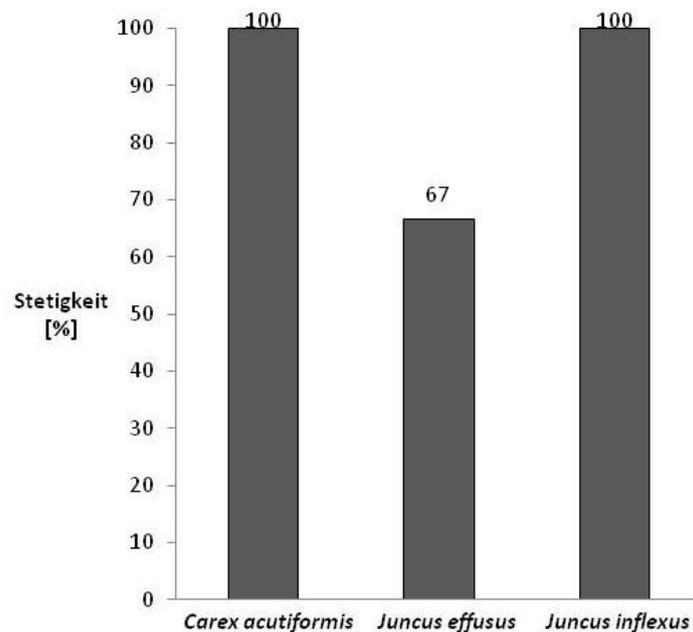


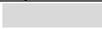
Abbildung 29: Stetigkeit von *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen mit *Carex acutiformis*, *Juncus effusus* bzw. *Juncus inflexus*)

Es stellte sich die Frage, ob diese Zusammenhänge auch in anderen Gebieten Bayerns gefunden werden. Dazu wurden die im Rahmen des Grünlandmonitoring Bayern (Kuhn et al. 2011) festgestellten Vegetationszahlen der aufgenommenen Probeflächen untersucht. Dabei zeigte sich jedoch ein ganz anderes Bild. Hier kam *Juncus effusus* von den genannten Arten am häufigsten zusammen mit *Senecio aquaticus* vor. Dies war aber nur bei ca. 19 % der Flächen der Fall, auf denen *Senecio aquaticus* vorkam. *Carex acutiformis* wurde auf ca. 11 % der Flächen mit *Senecio aquaticus* ebenfalls gefunden. Bei *Juncus inflexus* waren es 9 % der Flächen mit *Senecio aquaticus*.

Ergänzend zu der Korrelationsanalyse mit den 41 Probeflächen in den vier beschriebenen Untersuchungsgebieten wurde erneut eine Korrelationsanalyse durchgeführt, die auch die Probeflächen der Teilflächen 1 bis 12 enthielt (46 Probeflächen), welche im Rahmen des Master-Projektes aufgenommen wurden (Öschlesee und Martinszell). Dabei konnte keine Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* sowie *Carex acutiformis* ermittelt werden. Wie die Tabelle 10 zeigt, sind die Korrelations-Koeffizienten jeweils unter 0,3 (d.h. keine Korrelation). Die Zusammenhänge bei *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* sind nicht signifikant. Bei *Juncus effusus* zeigte sich eine marginale Signifikanz.

Tabelle 10: keine Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* sowie *Carex acutiformis* bei den Teilflächen 1 bis 25

| | | Deckung <i>Juncus effusus</i> [%] | Deckung <i>Juncus inflexus</i> [%] | Deckung <i>Carex acutiformis</i> [%] |
|--|------------------------------|---|--|--|
| Deckung <i>Senecio aquaticus</i> [%] | Korrelations- Koeffizient | 0,199 | -0,007 | -0,032 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,065 | 0,950 | 0,770 |
| | N | 87 | 87 | 87 |

Signifikanz:  marginal signifikant ($0,100 \geq p > 0,05$)
 signifikant ($p \leq 0,05$)
 Korrelation:  gering ($0,7 > R \geq 0,3$)
 stark ($1,0 \geq R \geq 0,7$)

Um zu ermitteln, ob *Ranunculus repens* und *Taraxacum officinale* bevorzugt ohne *Senecio aquaticus* vorkommen, wurde eine weitere Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt. Bei beiden Arten wurde eine geringe negative Korrelation bezüglich *Senecio aquaticus* ermittelt (vgl. Tabelle 11). Die Zusammenhänge hatten eine hohe Signifikanz ($p = 0,000$). Bei *Ranunculus repens* ($R = -0,639$) war die Korrelation etwas stärker als bei *Taraxacum officinale* ($R = -0,571$) und nahe an einer starken Korrelation.

Tabelle 11: geringe negative Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Taraxacum officinale* sowie *Ranunculus repens* bei den Teilflächen 13 bis 25

| | | Deckung <i>Taraxacum officinale</i> [%] | Deckung <i>Ranunculus repens</i> [%] |
|--|------------------------------|---|--|
| Deckung <i>Senecio aquaticus</i> [%] | Korrelations- Koeffizient | -0,571 | -0,639 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,000 | 0,000 |
| | N | 41 | 41 |

Signifikanz:  marginal signifikant ($0,100 \geq p > 0,05$)
 signifikant ($p \leq 0,05$)
 Korrelation:  gering ($0,7 > R \geq 0,3$)
 stark ($1,0 \geq R \geq 0,7$)

Zusätzlich wurden auch die Stetigkeiten dieser Arten mit *Senecio aquaticus* untersucht (Abbildungen 30 bis 32). Bei *Ranunculus repens* ergab sich eine Stetigkeit von 36 (auf 88 % aller Probeflächen der Teilflächen 13 bis 25 wurde diese Art gefunden). Sie kam jedoch nur auf zwölf Probeflächen (rd. 33 % der Probeflächen mit *Ranunculus repens*) zusammen mit *Senecio aquaticus* vor. Dies sind rund 71 % der Probeflächen, auf denen *Senecio aquaticus* vorkam. Bei *Taraxacum officinale* war das Ergebnis ähnlich. Auch diese Art kam auf einem großen Teil der untersuchten Probeflächen vor (Stetigkeit 35 bzw. 85 %). Auf 14 Probeflächen kam *Taraxacum officinale* gemeinsam mit *Senecio aquaticus* vor (dies

entspricht 40% der Probeflächen mit *Taraxacum officinale* und 82 % der Probeflächen mit *Senecio aquaticus*).

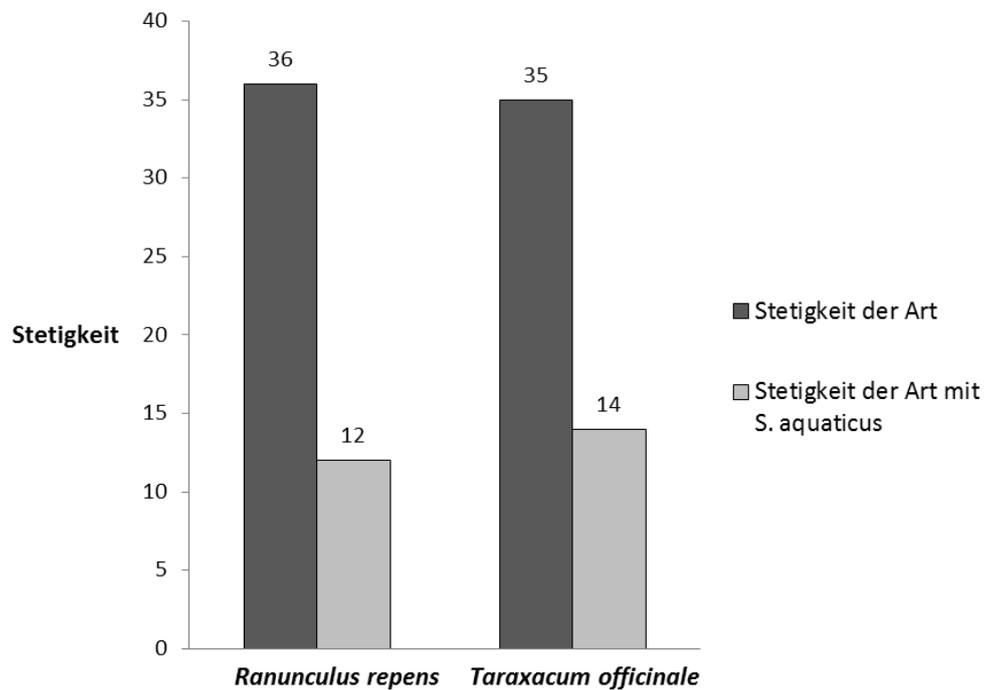


Abbildung 30: Stetigkeit von *Ranunculus repens* und *Taraxacum officinale* sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben: Anzahl der Probeflächen)

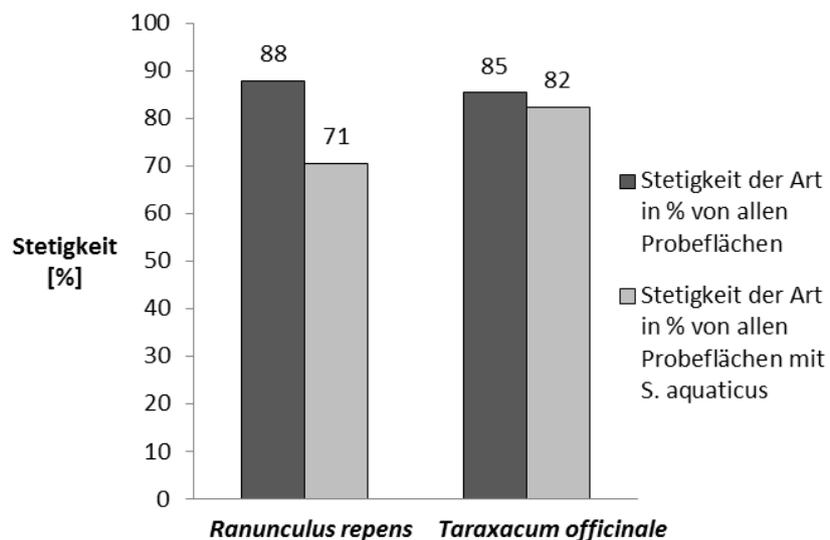


Abbildung 31: Stetigkeit von *Ranunculus repens* und *Taraxacum officinale* sowie Stetigkeit dieser Arten zusammen mit *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen bzw. von allen Probeflächen mit *Senecio aquaticus*)

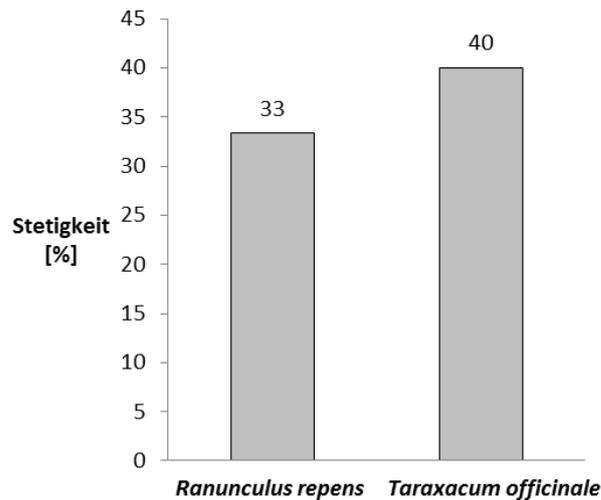


Abbildung 32: Stetigkeit von *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 (Angaben in Prozent von allen Probeflächen mit *Ranunculus repens* bzw. *Taraxacum officinale*)

Ergänzend wurde eine weitere Korrelationsanalyse durchgeführt, die auch die Probeflächen der Teilflächen 1 bis 12 aus dem Master-Projekt enthielt. Das Ergebnis war ähnlich wie bei den Teilflächen 13 bis 25. Bei beiden Arten zeigte sich eine geringe negative Korrelation bezüglich *Senecio aquaticus* (vgl. Tabelle 12). Die Zusammenhänge hatten eine hohe Signifikanz ($p = 0,000$). Bei *Taraxacum officinale* ($R = -0,698$) war die Korrelation im Gegensatz zu dem Ergebnis der Teilflächen 13 bis 25 etwas stärker als bei *Ranunculus repens* ($R = -0,464$) und nahe an einer starken Korrelation.

Tabelle 12: geringe negative Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Ranunculus repens* sowie *Taraxacum officinale* bei den Teilflächen 1 bis 25

| | | Deckung <i>Ranunculus repens</i> [%] | Deckung <i>Taraxacum officinale</i> [%] |
|--|--------------------------|--|---|
| Deckung <i>Senecio aquaticus</i> [%] | Korrelations-Koeffizient | -0,464 | -0,698 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,000 | 0,000 |
| | N | 87 | 87 |

Signifikanz:
 marginal signifikant ($0,100 \geq p > 0,05$)
 signifikant ($p \leq 0,05$)
 Korrelation:
 gering ($0,7 > R \geq 0,3$)
 stark ($1,0 \geq R \geq 0,7$)

5.2 Ergebnisse der GIS-Analyse

In den Karten 1 bis 6 ist das Ergebnis der GIS-Analyse, d.h. die potentiellen Standorte von *Senecio aquaticus* mit Angabe der Vorkommenswahrscheinlichkeit dargestellt. Auf den Übersichtskarten (Karten 1 und 2) ist erkennbar, dass es im Bereich der Untersuchungsgebiete 2 bis 5 (vgl. Kapitel 4.1) gehäuft Flächen gibt, auf denen die Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* entsprechend der GIS-Analyse mit „hoch“ bewertet wurde. In den Karten 3 bis 6 sind die Untersuchungsgebiete in Martinszell, Oberstdorf, Immenstadt und Wagneritz in größerem Maßstab dargestellt. Im Folgenden wird bei jeder Teilfläche die in der Karte dargestellte Vorkommenswahrscheinlichkeit mit dem vorgefundenen Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* verglichen. Dabei wird angenommen, dass bei einer hohen Vorkommenswahrscheinlichkeit auch die zu erwartende Abundanz höher ist als bei einer geringen bis mittleren Vorkommenswahrscheinlichkeit. Diese stichprobenhafte Kontrolle bildet die Grundlage für eine Beurteilung der Genauigkeit der GIS-Analyse.

Teilfläche 13:

Diese Teilfläche liegt sowohl im Bereich mit hoher Vorkommenswahrscheinlichkeit als auch im Bereich mit gering bis mittlerer Vorkommenswahrscheinlichkeit entsprechend der GIS-Analyse. Zwei der vier Aufnahmen lagen im Bereich mit geringer bis mittlerer Vorkommenswahrscheinlichkeit. Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* lag bei den Aufnahmen zwischen 0 und 1 %. Auf dieser Fläche wird *Senecio aquaticus* durch den bewirtschaftenden Landwirt ausgestochen, d.h. der Deckungsanteil wäre ohne diese Maßnahme etwas höher. *Senecio aquaticus* war demnach auf der Fläche vorhanden. Die Abundanz war jedoch marginal signifikant geringer als auf der feuchten Teilfläche 16. Das Ergebnis der GIS-Analyse (geringe bis mittlere (teilweise hohe) Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus*, vgl. Karte 3) spiegelt hier die tatsächlich vorgefundene geringe Abundanz von *Senecio aquaticus* nur teilweise wider.

Teilfläche 14:

Bei dieser Teilfläche wird von dem Ergebnis der GIS-Analyse eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt. Der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* lag bei allen Aufnahmen bei 0 %, d.h. es wurde kein *Senecio aquaticus* gefunden. Dies passt zu der angezeigten geringen bis mittleren Vorkommenswahrscheinlichkeit, wenn man davon ausgeht, dass in überdurchschnittlich feuchten Bereichen auf dieser Fläche *Senecio aquaticus* theoretisch vorkommen kann.

Teilfläche 15:

Die Teilfläche 15 liegt im Übergangsbereich zwischen hoher und gering bis mittlerer Vorkommenswahrscheinlichkeit. In keiner Aufnahme wurde *Senecio aquaticus* gefunden. Entsprechend der Hypothese 1 wird in diesem Bereich *Senecio aquaticus* vermutlich durch

die mineralische Stickstoffdüngung verdrängt, was durch die GIS-Auswertung nicht angezeigt wird.

Teilfläche 16:

Auf dieser Teilfläche lagen die aufgenommenen Deckungsanteile der Pflanze *Senecio aquaticus* zwischen 5 und 7 %, obwohl der Landwirt auf dieser Fläche die Pflanze aussticht. Entsprechend der GIS-Analyse wird auf dieser Teilfläche nur in Teilbereichen eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt. Sonst wird eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt. Eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit auf der gesamten Teilfläche würde hier besser zu den Aufnahmeergebnissen (5 bis 7 % Deckungsanteil von *Senecio aquaticus*) passen, d.h. an dieser Stelle ist die GIS-Analyse etwas ungenau. Der Grund dafür ist, dass die Fläche bei den LSK-Daten teilweise als „Frischwiese bzw. Weide“ eingestuft wird. Tatsächlich würde „Feuchtwiese“ hier aber besser die örtliche Situation widerspiegeln.

Teilfläche 17:

Nach der GIS-Analyse ist auf dieser Teilfläche die Wahrscheinlichkeit hoch, dass *Senecio aquaticus* auftritt. Tatsächlich wurde die Pflanze mit einem Deckungsanteil von 8 bis 11 % gefunden. Dies stimmt gut mit der hohen Vorkommenswahrscheinlichkeit entsprechend der Karte 4 überein.

Teilfläche 18:

Die Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* ist entsprechend der GIS-Auswertung gering bis mittel. Auf einem Teilbereich wird von der GIS-Auswertung angezeigt, dass hier *Senecio aquaticus* nicht vorkommt. Bei der Vegetationsaufnahme wurde die Pflanze mit einem Deckungsanteil von 2 bis 4 % gefunden. Zumindest dieser Teilbereich ist hier nicht korrekt dargestellt, weil die Aufnahmefläche 3 in diesem Bereich lag und dort *Senecio aquaticus* vorkam. Der Grund für diese Ungenauigkeit liegt darin, dass hier entsprechend der LSK-Daten ein Wald sein müsste. Möglicherweise hatte der nahegelegene Wald früher eine größere Ausdehnung und wurde inzwischen in Grünland umgewandelt. In dem übrigen Bereich, auf dem eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt wird, kann von einer Übereinstimmung gesprochen werden.

Teilfläche 19:

Auf dieser Teilfläche wurden Deckungsanteile zwischen 1 und 6 % aufgenommen. Die GIS-Analyse zeigt eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit an. Die Ergebnisse stimmen an dieser Stelle gut überein.

Teilfläche 20:

Das Ergebnis der GIS-Analyse war auf dieser Fläche eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit. Tatsächlich wurde hier bei keiner Aufnahme *Senecio*

aquaticus gefunden. Die Ergebnisse passen ungefähr zusammen, wenn in überdurchschnittlich feuchten Bereichen auf dieser Fläche *Senecio aquaticus* theoretisch vorkommen kann.

Teilfläche 21:

In diesem Bereich wird von der GIS-Analyse überwiegend eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit angegeben (teilweise eine geringe bis mittlere Wahrscheinlichkeit). Nur bei einer von vier Aufnahmen wurde *Senecio aquaticus* mit einem geringen Deckungsanteil von 1 % gefunden. Auf dieser Fläche trifft die Voraussage der GIS-Analyse (überwiegend hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit) nicht zu. Dies hat wie bei der Teilfläche 15 in Martinszell vermutlich mit der mineralischen Düngung zu tun, die nicht in der GIS-Analyse berücksichtigt werden konnte.

Teilfläche 22

Die GIS-Analyse zeigt auf dieser Fläche eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit an. Tatsächlich wurde bei keiner Aufnahme hier *Senecio aquaticus* gefunden. Die Ergebnisse von GIS-Analyse und Vegetationsaufnahme stimmen ungefähr überein, wenn in feuchteren Bereichen auf dieser Fläche *Senecio aquaticus* theoretisch vorkommen kann.

Teilfläche 23

Bei der Vegetationsaufnahme wurde hier *Senecio aquaticus* mit einem Deckungsanteil von 2 bis 8 % gefunden. Entsprechend der GIS-Auswertung wird hier allerdings nur eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt. Dies zeigt, dass dieser kleinräumige feuchte Bereich am Rand des Baches nicht bei dieser GIS-Auswertung von dem angrenzenden frischen Bereich abgegrenzt wird.

Teilfläche 24

Diese Fläche ist wie die Teilfläche 23 im feuchten Bereich am Gewässerrand, so dass eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit zu erwarten wäre. Tatsächlich wird aber nur eine geringe bis mittlere Wahrscheinlichkeit angezeigt und es wurde kein *Senecio aquaticus* aufgenommen. Der Grund für das Fehlen von *Senecio aquaticus* in den Aufnahmeflächen ist wie bei den Teilflächen 15 und 21 vermutlich, dass hier mineralisch gedüngt wird, was in der GIS-Auswertung nicht berücksichtigt werden konnte.

Teilfläche 25

Bei der Vegetationsaufnahme wurde hier kein *Senecio aquaticus* gefunden. Nach der GIS-Auswertung, die eine geringe bis mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit anzeigt, ist davon auszugehen, dass in Teilbereichen *Senecio aquaticus* vorkommen kann. Dies wurde auch von dem Landwirt, der die Fläche bewirtschaftet, bestätigt.

6. Diskussion

6.1 Diskussion zu den Vegetationsaufnahmen in vier Gebieten im Landkreis Oberallgäu

Zur DCA

Bei einigen Teilflächen lagen die Einzelaufnahmen im Streudiagramm der DCA relativ weit auseinander. Dies gilt besonders für die Teilfläche 21, bei der die erste Aufnahme einen eher stickstoffarmen Standort anzeigte, obwohl auf dieser Fläche mineralisch gedüngt wird. Dies könnte damit zusammenhängen, dass sich die Aufnahmefläche 21a relativ nah an der Uferzone des Teufelsees befindet. Da die Landwirte nicht direkt an Gewässern düngen dürfen (vgl. Düngeverordnung: Bundesministerium der Justiz 2006), kommt bei dieser Aufnahmefläche möglicherweise weniger Mineraldünger an.

Da im Streudiagramm die Achse der Artenzahl ungefähr in die Richtung der Achse der F-Zahl und etwa in die entgegengesetzte Richtung der N-Zahl verläuft, kann vereinfachend gesagt werden, dass bei diesen Vegetationsaufnahmen die Artenzahl mit zunehmender Feuchte und abnehmender N-Zahl größer wird. In Bezug auf *Senecio aquaticus* deutet das DCA-Ergebnis auf folgende Zusammenhänge hin:

- je feuchter ein Standort war (höhere F-Zahl), um so mehr *Senecio aquaticus* kam vor,
- je höher die N-Zahl und R-Zahl waren, um so weniger *Senecio aquaticus* war vorhanden,
- je mehr Kennarten des Molinion vorkamen, um so mehr *Senecio aquaticus* war vorhanden,
- *Senecio aquaticus* kam besonders an Standorten mit hoher Artenzahl vor.

Da mit einer DCA allerdings keine Interaktionen zwischen Umweltfaktoren aufgedeckt werden können (Leyer & Wesche 2007), sind diese Zusammenhänge nur als erste Hinweise zu werten. Der Zusammenhang mit Kennarten des Molinion widerspricht der Aussage von Ellenberg & Leuschner (2010), dass bei dem Verband *Calthion*, dem *Senecio aquaticus* zugeordnet wird, ein Fehlen von Arten des Molinion typisch ist.

Zu Hypothese 1: Auf feuchten Standorten mit nur mäßiger Düngung ist die Abundanz von *Senecio aquaticus* höher als auf frischen Standorten sowie auf Standorten mit mineralischer Düngung.

Durch die vorliegenden Ergebnisse wird die Hypothese 1 bestätigt: bei allen aufgenommenen frischen Flächen (die mäßig mit Gülle gedüngt wurden) konnte kein *Senecio aquaticus* gefunden werden. Auf den feuchten Flächen (mit mäßiger Gülle-Düngung) wurden marginal signifikant höhere Deckungswerte von *Senecio aquaticus* gefunden als auf

den frischen Vergleichsflächen im selben Untersuchungsgebiet. Die mittleren Deckungsanteile von *Senecio aquaticus* betragen auf den feuchten Flächen 3,7 bis 9 %. Mit Berücksichtigung der Tatsache, dass auf diesen Flächen von den Landwirten *Senecio aquaticus* durch Ausstechen aktiv bekämpft wird, sind diese Werte noch als hoch einzustufen. Das Ergebnis lässt vermuten, dass ein Standort mit einer Feuchtigkeitszahl nach Ellenberg von weniger als 5,9 zu trocken für die Pflanze *Senecio aquaticus* ist und dass *Senecio aquaticus* ab einer durchschnittlichen Feuchte-Zahl von ca. 6,0 in nennenswerter Abundanz (> 1 %) vorkommen kann. Möglicherweise ist der feucht bis frische Feuchtebereich auf den Flächen 13, 18 und 22 (Feuchtigkeits-Zahl nach Ellenberg zwischen 5,9 und 6,1) der Grenzbereich für das Vorkommen von *Senecio aquaticus*. Bei den Flächen 13 und 22 war der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* 0 bis maximal 1 %, während auf der Fläche 18 ein Durchschnittswert von 3,3 % gefunden wurde. Auf der Fläche 18 könnte eine Rolle spielen, dass hier der Stickstoffgehalt geringer war als bei den anderen frischen Flächen. Dadurch könnte *Senecio aquaticus*, das mit einer mäßigen Stickstoffkonzentration im Boden auskommt (Stickstoffzahl nach Ellenberg: 5 (vgl. FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)), auf dieser Fläche einen Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Arten haben, die bezüglich des Stickstoffgehalts im Boden einen höheren Optimalbereich besitzen. So nimmt Aerts (1999) an, dass Arten, die nicht an Nährstoffmangel angepasst sind, gegenüber solchen Arten, die einen gewissen Nährstoffmangel ertragen, bei guter Nährstoffversorgung bezüglich der Konkurrenz um Licht einen Vorteil haben. Bei Nährstoffmangel können diese konkurrenzstarken Arten jedoch von den Arten, welche die Nährstoffaufnahme und -speicherung optimiert haben, verdrängt werden. Dieser interspezifische Konkurrenzvorteil von *Senecio aquaticus* auf der Fläche 18 war vermutlich auf den anderen frisch bis feuchten Flächen nicht gegeben. Flächen mit einer lückigen Pflanzendecke wurden nicht untersucht. Auf solchen Standorten wäre es denkbar, dass *Senecio aquaticus* in einem Feuchtigkeitsbereich, der im Grenzbereich liegt, einen Konkurrenzvorteil durch diese Lücken ausspielen kann, da *Senecio aquaticus* eine große Samenbank ausbildet und schnell keimt, wie Suter & Lüscher (2012) herausgefunden haben.

Mit Verweis auf mögliche Unsicherheiten bei der Einschätzung des Feuchtegrades der einzelnen Flächen kann gesagt werden, dass durch die Ergebnisse auch der zweite Teil der Hypothese 1 bestätigt wird. Auf den feuchten Flächen mit mineralischer Düngung kam *Senecio aquaticus* gar nicht bzw. nur bis zu einem Deckungsanteil von maximal 1 % vor. Außerdem waren die Unterschiede zu den Vergleichsflächen ohne mineralische Düngung marginal signifikant. Zudem wurde eine (wenn auch geringe) negative Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und der Stickstoff-Zahl festgestellt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Studie von Suter & Lüscher (2008), die eine abnehmende Abundanz von *Senecio aquaticus* mit zunehmendem Stickstoff-Gehalt des Bodens festgestellt hatten.

Als mögliche Erklärung dieses Ergebnisses kann angeführt werden, dass die mineralische Stickstoffzugabe auf den Flächen 15, 21 und 24 (zwei bis viermal pro Jahr 20 bis 27 kg N/ha entsprechend der Tabelle 3) so hoch war, dass der Stickstoff sich direkt negativ auf *Senecio aquaticus* ausgewirkt hat. Es ist auch möglich, dass die hohe Stickstoffzugabe nur andere

Arten gestärkt hat, die dadurch einen so großen Konkurrenzvorteil gegenüber *Senecio aquaticus* hatten, dass *Senecio aquaticus* nicht mehr vorkam (vgl. Aerts 1999). Ebenfalls ist eine Kombination beider Erklärungen möglich. Es ist hier nicht wie bei der Feuchte-Zahl möglich eine ungefähre durchschnittliche N-Zahl eines Standortes zu nennen. Die durchschnittlichen N-Zahlen spiegeln nicht so gut die tatsächlichen Verhältnisse wider, wie es bei der F-Zahl der Fall ist. Neben dem Stickstoff können auch andere Inhaltsstoffe des Mineraldüngers eine Rolle spielen.

Ergänzend zu den Aussagen im Zusammenhang mit der Hypothese 1 ist erwähnenswert, dass bei der Teilfläche 17 die Stickstoff-Zahl von allen Flächen am niedrigsten (im Durchschnitt ca. 4,8) und die Feuchtigkeits-Zahl (zusammen mit der Teilfläche 19) am höchsten war (Durchschnittswert ca. 6,6). Genau auf dieser Fläche war der Deckungsanteil von *Senecio aquaticus* am höchsten von allen Teilflächen. Vor dem Hintergrund, dass ein Standort mit einer Stickstoffzahl von 5 und einer Feuchtigkeitszahl von 8 für *Senecio aquaticus* optimal ist (vgl. Zeigerwerte entsprechend FloraWeb (Bundesamt für Naturschutz 2006)) war dies auch so zu erwarten. Auch bei Standorten mit einer etwas höheren Stickstoffzahl (ca. 5,2 bis 5,7 wie bei den Teilflächen 16, 19 und 23) kann *Senecio aquaticus* noch in höherer Abundanz vorkommen.

Zu Hypothese 2: Auf Standorten mit intensiver mineralischer Düngung ist die Biodiversität geringer als auf Standorten mit Gülle-Düngung.

Die statistische Auswertung ergab, dass bei den Flächen mit Mineraldüngung der Shannon-Weaver-Index marginal signifikant geringer war als bei den Vergleichsflächen. Dieses Ergebnis bestätigt die Aussage der Hypothese 2, da der Shannon-Weaver-Index ein Maß für die α -Biodiversität ist. In den Mineraldüngern ist in hohem Maße Stickstoff enthalten. Ein Zusammenhang zwischen Stickstoff-Anreicherung und einer Reduktion der Biodiversität wurde bereits verschiedenen Studien gefunden (z.B. Chalcraft et al. 2008, Suding et al. 2005).

Es konnte jedoch nicht bestätigt werden, dass sich die Deckungsanteile von Gräsern und Krautigen bei diesen Flächen signifikant unterscheiden. Vielmehr ist zu vermuten, dass bei den Flächen mit mineralischer Stickstoffdüngung sich sowohl bei Gräsern als auch bei den Krautigen die Arten bei der Konkurrenz um Licht durchsetzen, die bei einem höheren Stickstoffgehalt konkurrenzstärker sind (vgl. Zerbe & Wiegand 2009, Suding et al. 2005). Bei geringeren Stickstoffgehalten im Boden können sich vermutlich auch die Arten (zu denen auch *Senecio aquaticus* gehört) noch behaupten, die an einen gewissen Stickstoffmangel angepasst sind. Da die Flächen ohne Mineraldüngung mit Gülle gedüngt werden, ist der Stickstoffgehalt auf diesen Flächen immer noch hoch genug, dass die konkurrenzstarken Arten auch vertreten sind. Dies könnte der Grund für eine höhere Artenzahl und eine stärker ausgeprägte Gleichverteilung der Arten sein. Auf Grund dessen kann der Shannon-Weaver-

Index höher sein. Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist nach Suding et al. (2005), dass Arten (insbesondere Arten mit geringer Abundanz) nach Stickstoff-Zugabe verdrängt werden, da sich die durchschnittliche Pflanzengröße durch die Nährstoffzufuhr erhöht, wodurch die Pflanzendichte abnimmt.

Auf Grund dieser Zusammenhänge ist es aus Sicht des Naturschutzes nicht zu empfehlen, Flächen mineralisch zu Düngen, um *Senecio aquaticus* zu bekämpfen. Auch nach Bassler et al. (2011) kommt auf naturschutzfachlich wertvollen Flächen eine Stickstoffdüngung nicht in Betracht.

Zu Hypothese 3: *Senecio aquaticus* korreliert positiv mit *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* sowie negativ mit *Taraxacum officinale* und *Ranunculus repens*.

Das Ergebnis der statistischen Auswertungen der Flächen 13 bis 25 unterstützt die Aussage der Hypothese 3 in Bezug auf *Juncus effusus* und *Carex acutiformis*. Bei *Juncus inflexus* konnte keine Korrelation nachgewiesen werden. Das Ergebnis zeigt, dass *Carex acutiformis* auf den untersuchten Flächen besonders häufig mit *Senecio aquaticus* vorkam.

Dieses Ergebnis unterscheidet sich deutlich von dem Ergebnis der Auswertung der Flächen 1 bis 25 (d.h. inklusive der Versuchs- und Kontrollflächen am Öschlesee und in Martinszell), bei der keine Korrelation zwischen den genannten Arten gefunden wurde. Eine mögliche Begründung dafür ist, dass die getesteten Management-Methoden sich auf die Abundanz von *Senecio aquaticus* und die drei anderen genannten Arten unterschiedlich auswirken:

- Bei den Flächen mit Herbizidanwendung (Teilflächen 5 bis 7) kamen *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* fast nicht vor. Dagegen wurde *Senecio aquaticus* im Folgejahr nach der Herbizidanwendung wieder gefunden.
- Bei der Teilfläche 8 (Striegeln und Nachsaat) kamen *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* gar nicht vor, während *Senecio aquaticus* einen hohen Deckungsanteil ausmachte.
- Bei einer stark reduzierten Management-Aktivität (Teilfläche 10) kamen *Juncus effusus*, *Juncus inflexus* und *Carex acutiformis* ebenfalls nicht vor, während *Senecio aquaticus* in hoher Abundanz nachgewiesen wurde.

Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass in den vier Untersuchungsgebieten bei einem drei- bis fünfmaligem Management in Form von Mahd bzw. Beweidung und Düngung (Gülle oder Mineraldünger) die Hypothese (außer in Bezug auf *Juncus inflexus*) zutrifft. Bei einem davon abweichendem Management kann die Hypothese nicht bestätigt werden.

Die statistische Auswertung von den Flächen des Grünlandmonitorings in Bayern zeigte dagegen keine Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und den genannten Arten. Die Tatsache, dass bei den Untersuchungen von Suter & Lüscher (2008) die Art *Juncus effusus* besonders häufig zusammen mit *Senecio aquaticus* gefunden wurde, spricht jedoch dafür,

dass diese beiden Arten in der Alpenregion häufig am selben Standort vorkommen. *Juncus effusus* scheint daher in der Alpenregion als Indikatorart für Standorte, die *Senecio aquaticus* enthalten können, geeignet zu sein. Dies ist durch weitere Untersuchungen noch zu bestätigen. Es bleibt jedoch ungeklärt, ob die vorgefundenen Zusammenhänge zwischen *Carex acutiformis* und *Senecio aquaticus* bei den Teilflächen 13 bis 25 nur zufällig in dieser Ausprägung gefunden wurden, oder ob diese Zusammenhänge im Bereich des Allgäu bei vergleichbarem Management flächendeckend gelten. Wenn dies der Fall ist, könnten die speziellen Standortbedingungen im Allgäu (z.B. besonders hoher Jahresniederschlag) eine mögliche Begründung sein. Eine Korrelation zwischen *Carex acutiformis* bzw. *Juncus inflexus* und *Senecio aquaticus* wurde von Suter & Lüscher in den Schweizer Alpen nicht gefunden.

Die Korrelationsanalyse nach Spearman zeigte eine (gering) negative Korrelation von *Ranunculus repens* und *Taraxacum officinale* mit *Senecio aquaticus*. Nur auf 33 % der Probeflächen, die *Ranunculus repens* aufwies, kam auch *Senecio aquaticus* vor, d.h. *Ranunculus repens* kommt überwiegend ohne *Senecio aquaticus* vor. Dies begründet die geringe Korrelation zwischen beiden Arten. Der relativ hohe Anteil der Flächen mit *Senecio aquaticus*, auf denen auch *Ranunculus repens* vorkam (71 %), begründet sich vermutlich nicht mit einer Vergesellschaftung beider Arten, sondern mit der hohen Stetigkeit von *Ranunculus repens*. Auch bei *Taraxacum officinale* war der Anteil der Probeflächen mit *Senecio aquaticus* von der Gesamtzahl der Probeflächen mit *Taraxacum officinale* mit 40 % relativ gering, obwohl *Taraxacum officinale* auf 82 % der Probeflächen gefunden wurde, die *Senecio aquaticus* aufwies. Dies ist wie bei *Ranunculus repens* mit der hohen Stetigkeit von *Taraxacum officinale* zu begründen und nicht mit einer Korrelation beider Arten.

Insgesamt unterstützt dieses Ergebnis die Aussage des zweiten Teiles der Hypothese 3 in Bezug auf *Taraxacum officinale* und *Ranunculus repens*. Dies entspricht auch den Ergebnissen von Suter & Lüscher (2008).

Ergänzend ist zu erwähnen, dass Suter und Lüscher (2008) zusätzlich zu den genannten Arten eine positive Korrelation zwischen *Senecio aquaticus* und *Cynosurus cristatus* sowie *Filipendula ulmaria* herausgefunden hatten. Dies kann durch die vorliegende Arbeit nicht bestätigt werden. Nach Bassler et al. (2011) kommt *Senecio aquaticus* häufig mit *Juncus filiformis*, *Carex leporina*, *Carex brizoides* und *Angelica sylvestris* vor. Auch diese Zusammenhänge können durch die vorliegende Arbeit nicht bestätigt werden. Keine dieser Arten wurde bei den Vegetationsaufnahmen gefunden.

6.2 Diskussion zur GIS-Analyse

Eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* wird in den Karten 1 bis 6 dort angezeigt, wo sich Feuchtwiesen befinden und die sonstigen Standortbedingungen, die bei der GIS-Analyse berücksichtigt werden konnten, gegeben sind. Diese Flächen treten im Bereich der Untersuchungsgebiete 2 bis 5 (vgl. Kapitel 4.1) gehäuft auf. Die

Untersuchungsgebiete sowie weitere Bereiche mit hoher Vorkommenswahrscheinlichkeit liegen bevorzugt in bzw. am Rand der Flusstäler der Iller und ihrer Nebenflüsse „Konstanzer Ach“ (mit großem Alpsee), Stillach, Rottach u.a.

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen der GIS-Analyse und den Vegetationsaufnahmen (vgl. Abschnitt 5.2) ist in Tabelle 13 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 13: Vergleich zwischen der Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* entsprechend der GIS-Auswertung und dem Deckungsanteil von *Senecio aquaticus*, der bei der Vegetationsaufnahme in den vier Untersuchungsgebieten gefunden wurde.

| Teilfläche | Vorkommens-Wahrscheinlichkeit nach GIS-Analyse | Deckungsanteil entsprechend Vegetations-Aufnahme [%] | Übereinstimmung der GIS-Analyse mit den vorgefundenen Verhältnissen |
|------------|--|--|---|
| 13 | Gering bis mittel (teilweise hoch) | 0 - 1 | ungenau |
| 14 | Gering bis mittel | 0 | ungefähr |
| 15 | Gering bis mittel | 0 | nein |
| 16 | Gering bis mittel (teilweise hoch) | 5 - 7 | ungenau |
| 17 | hoch | 8 - 11 | gut |
| 18 | Gering bis mittel (teilweise 0) | 2 - 4 | ungenau |
| 19 | hoch | 1 - 6 | gut |
| 20 | Gering bis mittel | 0 | ungefähr |
| 21 | Hoch (teilweise gering bis mittel) | 0 - 1 | nein |
| 22 | Gering bis mittel | 0 | ungefähr |
| 23 | Gering bis mittel | 2 - 8 | nein |
| 24 | Gering bis mittel | 0 | nein |
| 25 | Gering bis mittel | 0 | ungefähr |

In sechs von dreizehn Teilflächen stimmt demnach das Ergebnis der GIS-Analyse gut bzw. ungefähr mit der tatsächlich vorgefundenen Abundanz von *Senecio aquaticus* überein. Bei den Teilflächen 15, 21 und 24 wird vom Standort her eine korrekte Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt. Das Ergebnis wird jedoch durch die mineralische Düngung auf den Flächen verfälscht, so dass hier *Senecio aquaticus* nicht bzw. in nur sehr geringer Abundanz vorkommt. Bei den Teilflächen 13, 16, 18 und 23 wird das Vorkommen von *Senecio aquaticus* auf Grund von Ungenauigkeiten in den vorliegenden Daten nicht korrekt angezeigt.

Die Auswertung der GIS-Analyse in den Untersuchungsgebieten lässt darauf schließen, dass auf Flächen, für die eine hohe Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt wird, mit dem Vorkommen von *Senecio aquaticus* gerechnet werden muss, wenn dies nicht durch

mineralische Düngung oder gezielte Bekämpfungsmaßnahmen verhindert wird. Wenn *Senecio aquaticus* auf diesen Flächen vorkommt, nimmt es meist auch einen nennenswerten Deckungsanteil von deutlich über 1 % ein. Auf Flächen, für die eine mittlere bis geringe Vorkommenswahrscheinlichkeit angezeigt wird, muss zumindest in verhältnismäßig feuchten Teilbereichen (z.B. an Gewässerrändern und in Mulden) mit *Senecio aquaticus* gerechnet werden. Durch die Einbeziehung von weiteren Daten können diese Bereiche in einer überarbeiteten GIS-Analyse zukünftig differenziert werden.

Insbesondere Daten zum mittleren Grundwasserstand hätten das Modell weiter optimiert, da die Feuchtigkeit für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* von besonderer Bedeutung ist. Die flächendeckenden Grundwasserdaten sind jedoch noch in Bearbeitung und konnten vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (Standort Hof) noch nicht zur Verfügung gestellt werden. Alternativ wäre eine Einbeziehung der Wasserstufe aus der Bodenschätzung denkbar gewesen. Seit der Erhebung der Daten können jedoch (z.B. durch Drainagen) Veränderungen hervorgerufen worden sein. Daher wurde hier die Wasserstufe nicht berücksichtigt. Auch Angaben zum Stickstoffgehalt des Bodens bzw. zur Art und Intensität der Düngung wären nützlich gewesen. Es war zunächst beabsichtigt, die von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellten Daten zur Stickstoffauswaschung ins Grundwasser als Maß für den Stickstoffgehalt des Bodens heranzuziehen. Allerdings wurde dabei ein Wert für eine ganze Gemarkung angegeben, was für die GIS-Analyse zu ungenau war. Nach Angaben von Suter & Lüscher (2008) spielt auch die Hangneigung eine Rolle für das Vorkommen von *Senecio aquaticus*. Dies konnte im Rahmen der Vegetationsaufnahmen dieser Master-Arbeit jedoch nicht als wichtiges Kriterium erkannt werden (ohne dass dies speziell untersucht wurde). Ein weiteres Kriterium nach Suter & Lüscher (2008) ist eine Änderung des Managements der Flächen. Dazu lagen jedoch keine ausreichend genauen Daten vor. Die „CORINE“-Daten (CORINE Land Cover (CLC 2000 bzw. 2006); Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004 bzw. 2009) zeigen nur an, wo sich z.B. „Wiesen und Weiden“ befinden. Flächen, bei denen zwischen dem Jahr 2000 und 2006 beispielsweise aus Wald eine Wiese geschaffen wurde, könnten so identifiziert werden. Eine Änderung der Bewirtschaftung von einer Wiese oder Weide kann jedoch nicht dargestellt werden. Daher sind diese Daten zu ungenau. Bei einer zukünftigen erneuten GIS-Analyse könnte man erwägen, die InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zu beschaffen und ggf. mit einzubeziehen.

Außerdem ist bei einer zukünftigen erneuten GIS-Analyse darauf zu achten, dass die Daten möglichst aktuell sind, so dass auch die Flächennutzung korrekt angezeigt wird. Es ist zu betonen, dass das Analyseergebnis hier nur stichprobenhaft kontrolliert werden konnte.

6.3 Einflussfaktoren auf die Ergebnisse

Bei der Versuchsplanung wurde darauf geachtet, die Fehlerquellen möglichst gering zu halten. Beispielsweise wurde die Mindestzahl von drei Wiederholungen der Stichproben eingehalten (mindestens drei Probeflächen pro Teilfläche, mindestens drei Wiederholungen der Flächenvergleiche in unterschiedlichen Gebieten) (vgl. Munzert 1992). Die Vegetationsaufnahme inkl. Deckungsabschätzung und Bestimmung der Arten wurde sehr sorgfältig durchgeführt. Bei Zweifeln in Bezug auf die Bestimmung der Arten wurde Rücksprache mit den Betreuern gehalten. Trotzdem gibt es wie bei vergleichbaren Untersuchungen auch bei dieser Arbeit Fehlerquellen, die im Folgenden genannt werden.

Die Anzahl der aufgenommenen Probeflächen pro Fläche betrug drei bis vier. Eine noch größere Anzahl an Probeflächen pro Fläche hätte das Fehlerpotential von zufälligen Abweichungen weiter reduziert. Dies war jedoch wegen des zusätzlichen Aufwands nicht möglich.

Eine weitere denkbare Fehlerquelle ist die Bestimmung der Arten. Besonders bei den Pflanzen, die zum Zeitpunkt der Vegetationsaufnahme nicht blühten (z.B. verschiedene Gräser oder *Taraxacum*) ist eine gewisse Unsicherheit nicht auszuschließen.

Durch das Management auf den Flächen werden Veränderungen herbeigeführt, welche die Ergebnisse beeinflussen können. Dazu zählen beispielsweise Bekämpfungsmaßnahmen von *Senecio aquaticus* durch Herbizid-Einzelbekämpfung (nur auf den Flächen mit Mineraldüngung) oder durch Ausstechen dieser Pflanze (bei den Flächen ohne Mineraldüngung). Es spielt auch eine Rolle, wie der zeitliche Abstand zwischen der Vegetationsaufnahme und der letzten Mahd ist. Ein geringer Abstand zwischen der Mahd und der Vegetationsaufnahme hat einen Einfluss auf die von oben sichtbaren Deckungsanteile der Arten und kann zu Unsicherheiten bei der Bestimmung der Arten führen.

Bei dem Vergleich der unterschiedlichen Feuchtegrade und der unterschiedlichen Düngung war das Ziel, Flächen zu finden, die sich möglichst nur in dem Feuchtegrad bzw. der Düngung unterschieden. Es war nicht zu vermeiden, dass es trotzdem geringfügige Unterschiede (z.B. bei der Mähfrequenz) gab. Auf mögliche Ungenauigkeiten bei der Einschätzung der Feuchtigkeit der Teilflächen wurde bereits verwiesen (siehe Kapitel 5.1).

7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Pflanze *Senecio aquaticus* kann bei entsprechenden Standortbedingungen hohe Abundanzen erreichen. Auf Grund der Giftigkeit und der Schäden für die Landwirte ist dies ein dringliches Problem im feuchten Grünland des Allgäu sowie in anderen Regionen. Gleichzeitig betrifft dieses Thema auch den Naturschutz, weil durch die Bekämpfung der Pflanze möglichst nicht die Biodiversität verringert werden sollte.

Die Untersuchungen im Rahmen dieser Master-Arbeit lieferten folgende Ergebnisse:

- Mineralische Stickstoff-Düngung führte zu einer Reduzierung der Abundanz von *Senecio aquaticus*.
- Mineralische Stickstoff-Düngung führte außerdem zu einer Verringerung der Biodiversität.
- Auf frischen Standorten mit einer durchschnittlichen Feuchte-Zahl von weniger als 5,9 kam *Senecio aquaticus* in den untersuchten Gebieten im Allgäu nicht vor.
- Die Arten *Juncus effusus* und *Carex acutiformis* zeigten in den Untersuchungsgebieten im Allgäu Bereiche an, auf denen oft auch *Senecio aquaticus* vorkam. Dies ist aber nicht unbedingt auf andere Standorte übertragbar.
- Mit Hilfe einer GIS-Analyse konnte im Landkreis Oberallgäu derzeit noch keine genaue Vorkommenswahrscheinlichkeit von *Senecio aquaticus* ermittelt werden. Es ist aber mit der durchgeführten Analyse erkennbar, dass es im Allgäu gehäuft Bereiche gibt, die als Standort für *Senecio aquaticus* geeignet sind, wenn dort keine mineralische Düngung oder gezielte Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese Bereiche befinden sich vorwiegend in den Flusstälern.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen können die nachfolgend genannten Empfehlungen abgeleitet werden:

Mineraldünger sollte nicht als Bekämpfungsmethode gegen *Senecio aquaticus* eingesetzt werden, da durch Mineraldünger die Biodiversität verringert wird. Daher ist eine mineralische Düngung aus Sicht des Naturschutzes negativ zu bewerten. Für den Naturschutz ist vielmehr erstrebenswert, dass möglichst viele Flächen des Grünlandes im Rahmen der Agrarumweltprogramme (Kulturlandschaftsprogramm (KULAP), Vertragsnaturschutzprogramm (VNP) oder ökologischer Landbau) bewirtschaftet werden. Um *Senecio aquaticus* so weit wie möglich zu begrenzen, sollte die dabei erlaubte Düngung ausgeschöpft werden. Dabei ist auf eine möglichst gleichmäßige Düngung zu achten, damit nicht lokal nährstoffarme Bereiche entstehen, auf denen *Senecio aquaticus* besonders konkurrenzfähig zu sein scheint.

Eine Verringerung der Bodenfeuchte betroffener Flächen würde zu einer weiteren Verringerung des Vorkommens von Feuchtwiesen mit Pflanzengesellschaften der Ordnung Molinietales beitragen. Da viele Molinietales-Gesellschaften wertvoll und das Vorkommen

stark rückläufig ist (viele dieser Gesellschaften sind nach der Roten Liste der Pflanzengesellschaften Deutschlands gefährdet, vgl. Burkart et al. 2004) sollten diese Lebensräume aus Sicht des Naturschutzes erhalten bleiben. Feuchtwiesen, auf denen *Senecio aquaticus* vorkommt, sollten nicht beweidet werden und das Mähgut sollte nicht verfüttert werden. Feuchtwiesen, auf denen noch kein *Senecio aquaticus* vorhanden ist, die aber auf Grund der Standortbedingungen anfällig für das Vorkommen von *Senecio aquaticus* sind, sollten regelmäßig auf *Senecio aquaticus* hin untersucht werden (im Allgäu besonders an Stellen, wo *Juncus effusus* und *Carex acutiformis* vorhanden sind). Auch eine zukünftig optimierte GIS-Analyse kann dazu beitragen, Bereiche zu finden, die hinsichtlich *Senecio aquaticus* überwacht werden sollten. Um in Zukunft ein besseres Ergebnis bei einer GIS-Analyse erreichen zu können, muss die Genauigkeit und Aktualität der Eingangsdaten noch weiter verbessert werden. Bei den gefährdeten Flächen ist besonders auf eine geschlossene Pflanzendecke zu achten, d.h. diese Flächen sollten ebenfalls nicht beweidet werden (vgl. Suter & Lüscher 2008).

Weiterhin gelten die Empfehlungen zur Bekämpfung von *Senecio aquaticus*, die auf Basis der Untersuchungen des Master-Projektes (Hennings 2013) gemacht wurden, insbesondere:

- Flächen dreimal jährlich mähen (Anfang Juli, Anfang August, Anfang Oktober) (vgl. Bassler et al. 2011),
- Ausstechen der Pflanze inkl. Wurzel,
- In besonders betroffenen Bereichen: Anwendung des Herbizids Simplex (falls die Fläche konventionell bewirtschaftet wird).

Literaturverzeichnis

- Aerts, R. (1999). Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant–soil feedbacks. *Journal of Experimental Botany* (Nr. 50), S. 29-37.
- Albrecht, H. (2012). *Multivariate Analyse ökologischer Daten mit Methoden der Gradientenanalyse (Ordination)*. München: unveröffentlichtes Skript zur Lehrveranstaltung "Vegetation und Standort" (TU München).
- Bassler, G.; Kriechbaum, M. et al. (2011). *Giftpflanzen im Grünland - aktuelle Zunahme, Ursachen und Lösungsmöglichkeiten am Beispiel von Greiskraut-Arten und Herbstzeitlose*. (Univ. für Bodenkultur Wien, Hrsg.) Wien.
- Bayerische Vermessungsverwaltung. (2013). *BayernAtlas*. Abgerufen am 08. 05. 2013 von <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas>
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, L. u. (2011). *Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm*. Abgerufen am 18. 06. 2013 von <http://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/532142.pdf>
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. (2011a). *Das Kulturlandschaftsprogramm (KULAP)*. Abgerufen am 18. 06. 2013 von <http://www.verwaltung.bayern.de/portal/cl/1058/Gesamtliste.html?cl.document=3885356>
- Berninger, O.; Blechschmidt, D.; Böhm, D. et al. (1968). *Topographischer Atlas Bayern*. (B. Landesvermessungsamt, Hrsg.) München: Paul List Verlag.
- Blume, H.P.; Brümmer, G.W.; Horn, R. et al. (2010). *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Braun-Blanquet, J. (1964). *Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien: Springer Verlag.
- Bresinsky, A.; Körner, C.; Kadereit, J.W.; Neuhaus, G. & Sonnewald, U. (2008). *Strasburger Lehrbuch der Botanik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Briemle, G. (2000). *Giftpflanzen des Grünlandes*. Abgerufen am 08. 04. 2013 von https://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1209718_l1/LVVG_Giftpflanzen%20des%20Gr%C3%BCnlandes.pdf
- Bundesamt für Naturschutz. (2006). *FloraWeb*. (Bundesamt für Naturschutz) Abgerufen am 15. 03. 2013 von <http://www.floraweb.de/pflanzenarten/verbreitung.xsql?suchnr=5469&>
- Bundesministerium der Justiz. (2006). *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen*. Berlin.
- Burkart, M.; Dierschke, H., Hölzel, N.; Nowak, B.; Fartmann, T. (2004). *Synopsis der Pflanzengesellschaften Deutschlands* (Heft 9: Molinio-Arrhenatheretea). Göttingen: Selbstverlag der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft e.V.

- Candrian, U.; Lüthi, J.; Schmid, P.; Schlatter, C. (1984). Stability of pyrrolizidine alkaloids in hay and silage. *Agricultural Food Chemistry*(Nr.32), S. 935-937.
- Candrian, U.; Zweifel, U.; Lüthi, J.; Schmid, P.; Schlatter, C. (1991). Transfer of orally administered [3H] Seneciophylline into cow's milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*(Nr.39), S. 930-933.
- Chalcraft, D.; Cox, S.; Clark, C.; Cleland, E.; Suding, K.; Weiher, E., Pennington, D. (2008). Scale-dependent Responses of Plant Biodiversity to Nitrogen Enrichment. *Ecology*, Vol. 89, Nr. 8.
- Conradi, T. & Zehm, A. (2011). *Zusammenstellung zur Kreuzkraut-Situation (Gattung Senecio) - aktueller Kenntnisstand zum Management - Unveröffentlichtes Informationsblatt der Regierung von Schwaben und des Bayerischen Landesamtes für Umwelt*. Augsburg.
- Deutscher Wetterdienst. (2013a). Abgerufen am 05. 06. 2013 von http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten__kostenfrei%2Fkldat__D__mittelwerte__node.html
- Deutscher Wetterdienst. (2013b). Abgerufen am 05. 06. 2013 von http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2012/PK__03__05__12/ZuNF__PK__20120503,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/ZuNF__PK__20120503.pdf
- Dierschke, H. & Briemle, G. (2002). *Kulturgrasland*. Stuttgart: Ulmer.
- Doppler, G.; Fiebig, M.; Freudenberger W. et al. (2004). *GeoBavaria*. München: Bayerisches geologisches Landesamt.
- Edgar, J.A.; Roeder, E.; Molyneux, R.J. (2002). Honey from plants containing pyrrolizidine alkaloids: a potential threat to health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*(Nr.50), S. 2719-2730.
- Eggenberg, S. & Möhl, A. (2009). *Flora Vegetativa*. Bern u.a.: Haupt Verlag.
- Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010). *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Gehring, K. & Thyssen, S. (2012). *Jakobs-Kreuzkraut: Eine große Gefahr für die Gesundheit von Pferden und Rindern*. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) Abgerufen am 10. 04. 2013 von <http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/31470/>
- Hennings, H. (2013). *Wirksamkeit und Naturschutzeffekte von Management-Verfahren zur Bekämpfung unerwünschter Pflanzenarten im Wirtschaftsgrünland*. Freising: unveröffentlicht.
- Hill, M.O. (1973). Diversity and Evenness: A Unifying Notation and Its Consequences. *Ecology*(Nr.54), S. 427-432.

- Jäger, E.J. (2000). *Rothmaler: Exkursionsflora von Deutschland* (Bd. 3, Gefäßpflanzen: Atlasband). Heidelberg: Spektrum Verlag.
- Jäger, J. E. (2011). *Rothmaler: Exkursionsflora von Deutschland* (Bd. 2, Gefäßpflanzen (Grundband)). Heidelberg: Spektrum Verlag.
- Kempf, M.; Beuerle, T.; Bühringer, M.; Denner, M.; Trost, D.; von der Ohe, K.; Bhavanam VBR; Schreier, P. (2008). Pyrrolizidine alkaloids in honey: risk analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Molecular Nutrition & Food Research*, Nr.52, S. 1193-1200.
- Klotz, S.; Durka, W.; Kühn, I.; Fink, H. & May, R. (2013). *BioFlor Version 1.1*. (Bundesamt für Naturschutz & Umweltforschungszentrum Leipzig - Halle GmbH) Abgerufen am 10. 04. 2013 von <http://www2.ufz.de/biolflor/index.jsp>
- Kuhn, G.; Heinz, S. & Mayer, F. (2011). *Grünlandmonitoring Bayern - Ersterhebung der Vegetation 2002 - 2008*. Freising-Weihenstephan: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Lauber, K. & Wagner, G. (2012). *Flora Helvetica*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag.
- Leiss, K.A. (2011). Management practice for control of ragwort species. *Phytochemistry Reviews*(Nr.10), S. 153-163.
- Leyer, I. & Wesche, K. (2007). *Multivariate Statistik in der Ökologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Munzert, M. (1992). *Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen*. Berlin, Hamburg: Paul Parey Verlag.
- Oberdorfer, E. (1994). *Pflanzensoziologische Exkursionsflora*. Stuttgart: Ulmer Verlag.
- Roberts, P.D.; Pullin, A.S. (2007). The Effectiveness of Management Interventions Used to Control Ragwort Species. *Environmental Management*(Nr. 39), S. 691-706.
- Sebald, O.; Seybold, S.; Philippi, G. & Wörz, A. (1996). *Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs* (Bd. 6). Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer.
- Shannon, C.E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*(Nr.27), S. 379-423, 623-656.
- Suding, K.; Collins, S.; Gough, L.; Clark, C.; Cleland, E.; Gross, K.; Milchunas, D.; Pennings, S. (2005). Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilisation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Nr. 102, S. 4387-4392.
- Suter, M. & Lüscher, A. (2008). Occurrence of *Senecio aquaticus* in relation to grassland management. *Applied Vegetation Science*(Nr.2), S. 317-324.
- Suter, M. & Lüscher, A. (2011). Measures for the control of *Senecio aquaticus* in managed grassland. *Weed Research*(Nr. 51), S. 601-611.
- Suter, M. & Lüscher, L. (2012). Rapid and High Seed Germination and Large Soil Seed Bank of *Senecio aquaticus* in Managed Grassland. *The scientific World Journal*, DOI:10.1100/2012/723808.

Voigtländer, G. & Jacob, H. (1987). *Grünlandwirtschaft und Futterbau*. Stuttgart: Ulmer Verlag.

Zerbe, Z. & Wiegand, G. (2009). *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*. Heidelberg: Spektrum Verlag.

Leseanleitung zu den Anlagen 1 bis 6:

In Anlage 1 ist die Lage aller Probeflächen (P1, P2, ...) der Vegetationsaufnahmen in den vier Untersuchungsgebieten und insgesamt dreizehn Teilflächen (vgl. Kapitel 4.2) dargestellt. Die jeweils erste Abbildung zeigt die Lage der Teilflächen (TF). An Hand der weiteren Abbildungen können die Probeflächen mit Hilfe von markanten Punkten wiedergefunden werden. Die Nummerierung der Teilflächen beginnt mit 13, da die Teilflächen 1 bis 12 im Rahmen des Master-Projektes (vgl. Hennings 2013) vergeben waren.

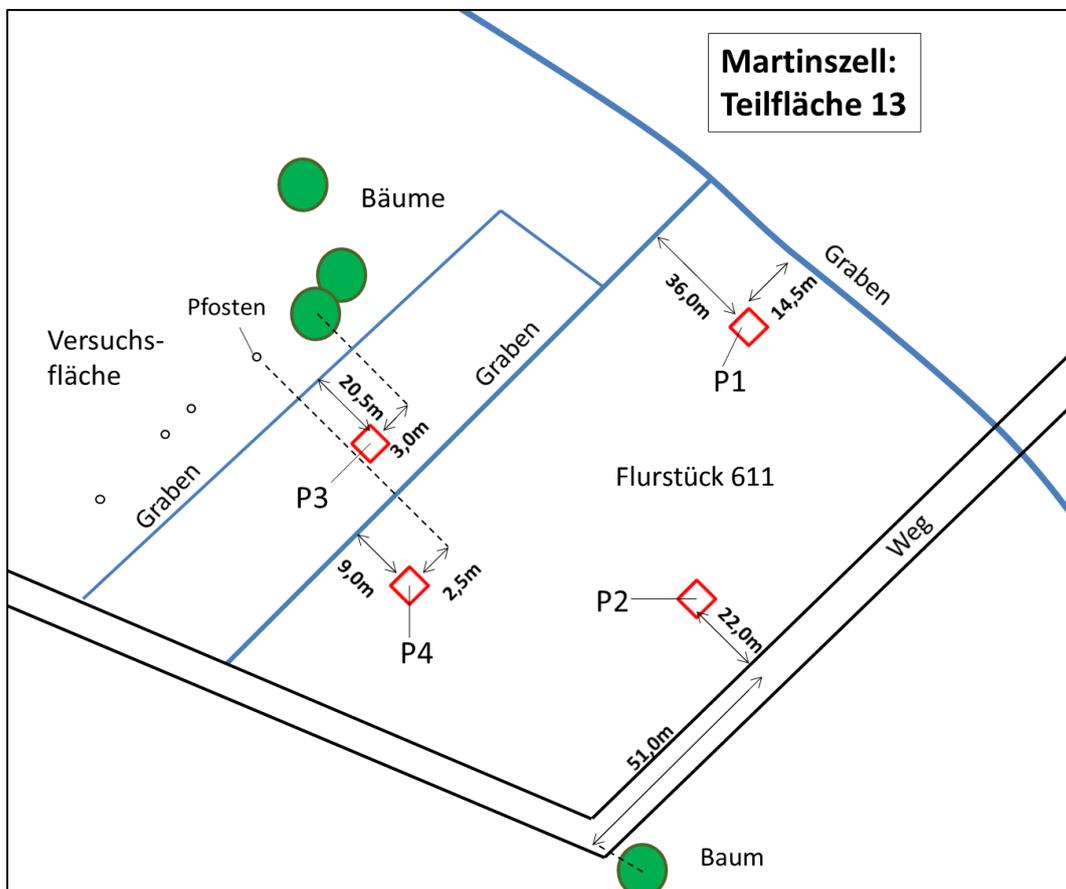
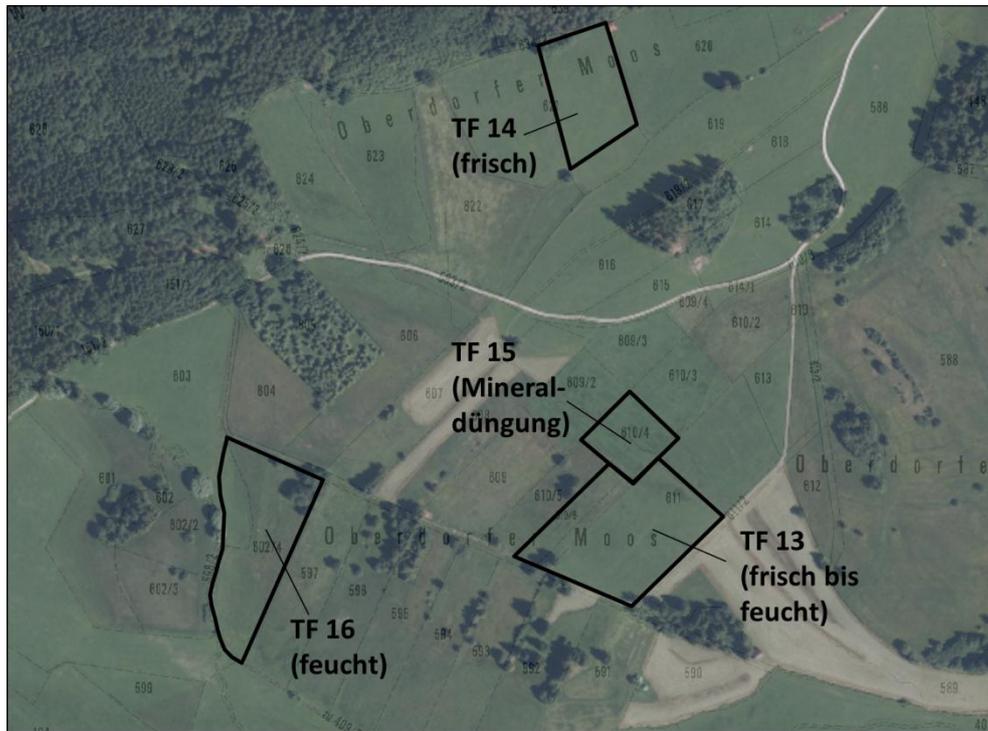
Die Anlage 2 gibt die von oben sichtbaren Deckungsanteile aller Arten in Prozent der gesamten Fläche auf den einzelnen Probeflächen an. Auch die Deckungsanteile von Moosen, Streu und offenem Boden wurden aufgenommen. In Anlage 3 sind zusätzlich bestimmte Parameter zur Beschreibung des Pflanzenbestandes (z.B. Artenzahl, Durchschnittswert von Ellenberg-Zeigerwerten etc.) angegeben.

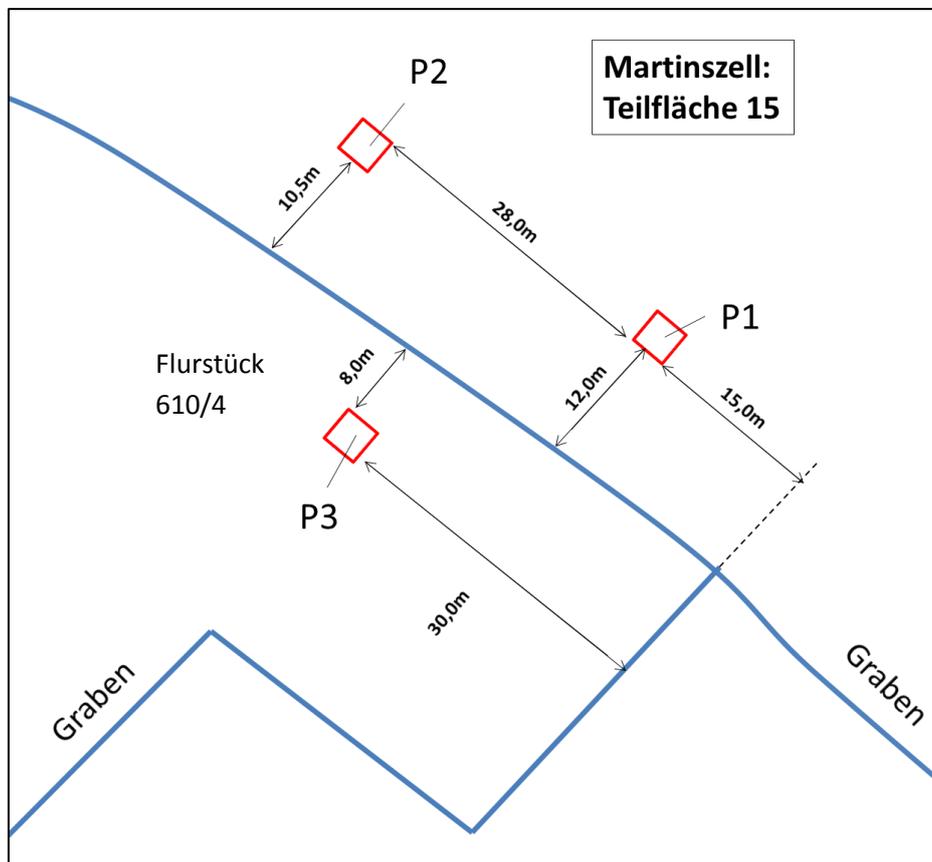
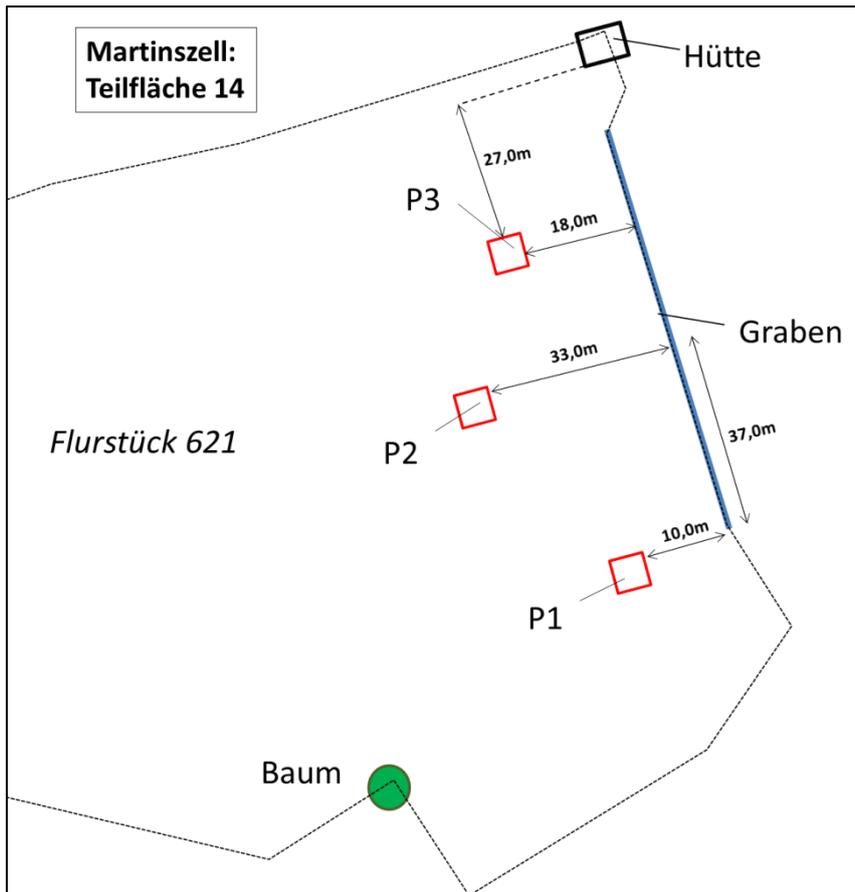
Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Daten sind den Anlagen 4 und 5 zu entnehmen. Zur Bestimmung, ob es bei den Variablen „Deckung *Senecio aquaticus*“, „Feuchtezahl nach Ellenberg“, „Stickstoffzahl nach Ellenberg“ und „Shannon-Weaver-Index“ signifikante Unterschiede zwischen den Teilflächen gibt, wurde zuerst ein H-Test nach Kruskal-Wallis durchgeführt. Die Irrtumswahrscheinlichkeiten sind in Anlage 4 angegeben. Zwischen welchen Variablen es signifikante Unterschiede gibt, kann der Anlage 5 entnommen werden. Die angegebenen Irrtumswahrscheinlichkeiten beruhen auf dem U-Test nach Mann-Whitney.

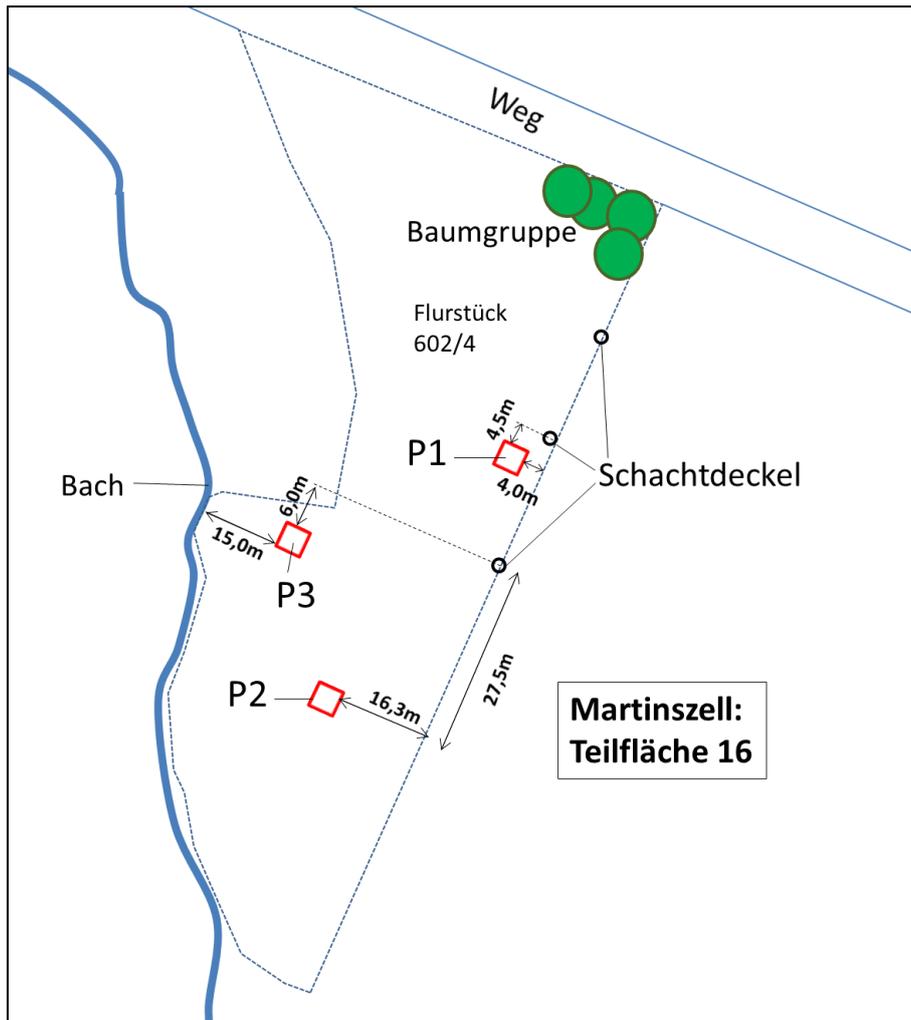
Anlage 6 zeigt die Ergebnisse der Rangkorrelation nach Spearman (Korrelationskoeffizient N sowie Signifikanz) zwischen ausgewählten Parametern.

Anlage 1: Lage der einzelnen Probestellen auf den Teilflächen 13 bis 25

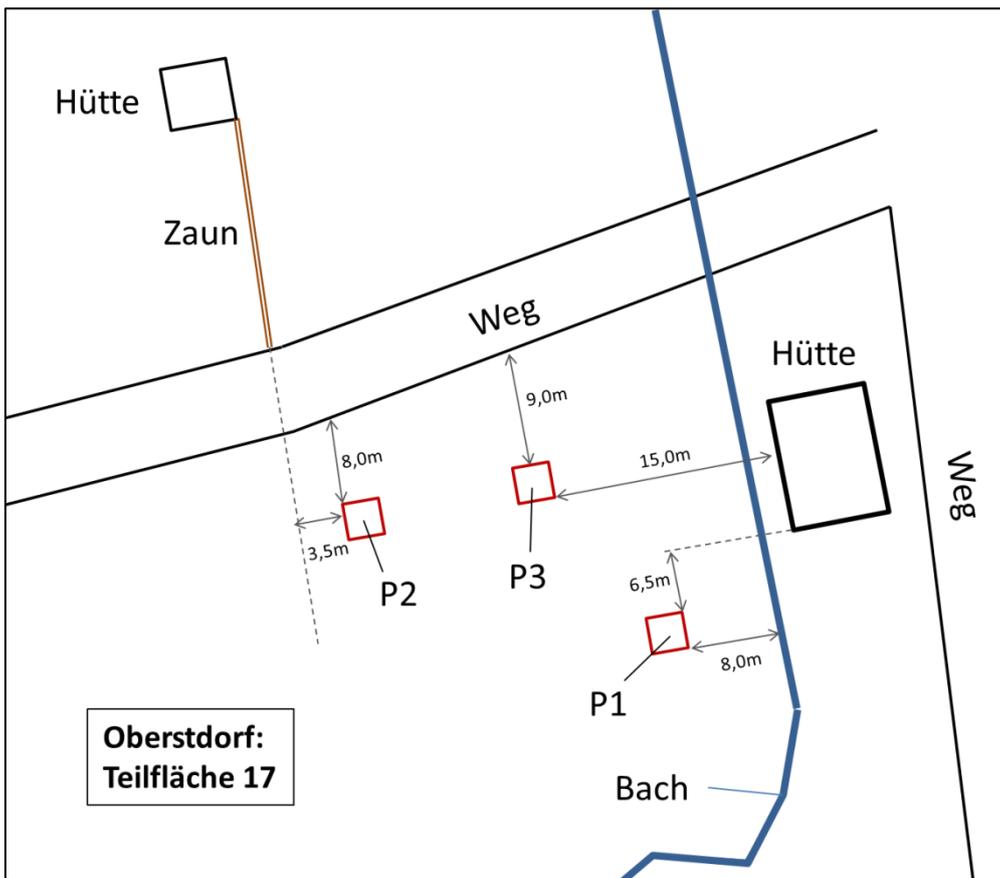
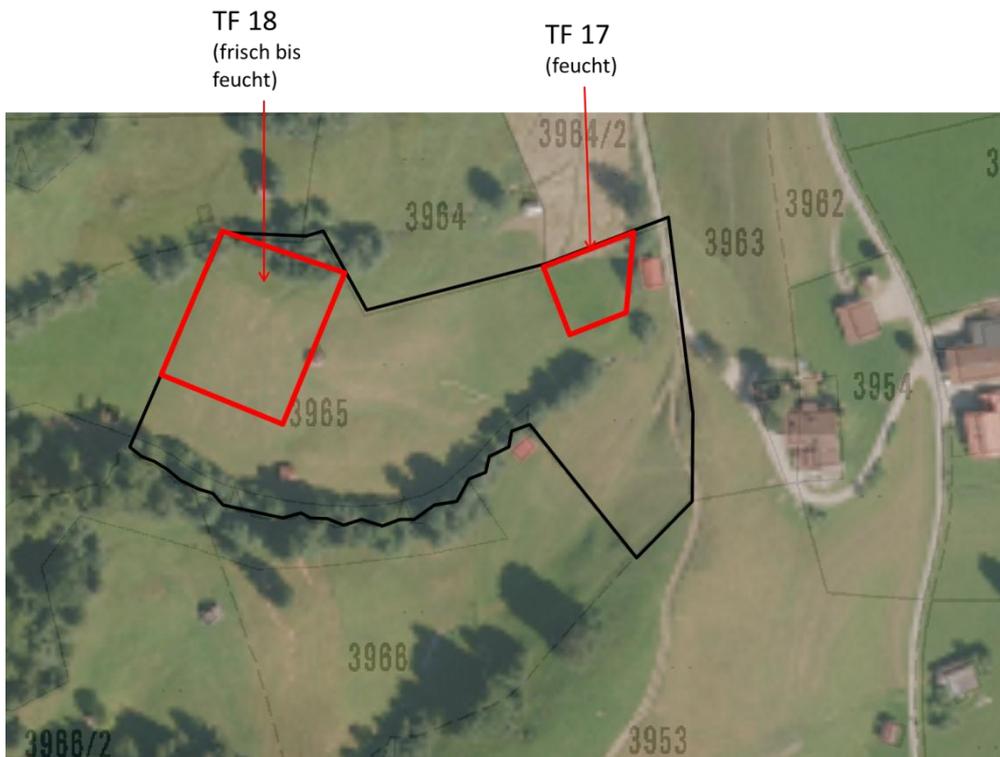
Anlage 1a: Teilflächen 13 bis 16 (Martinszell)

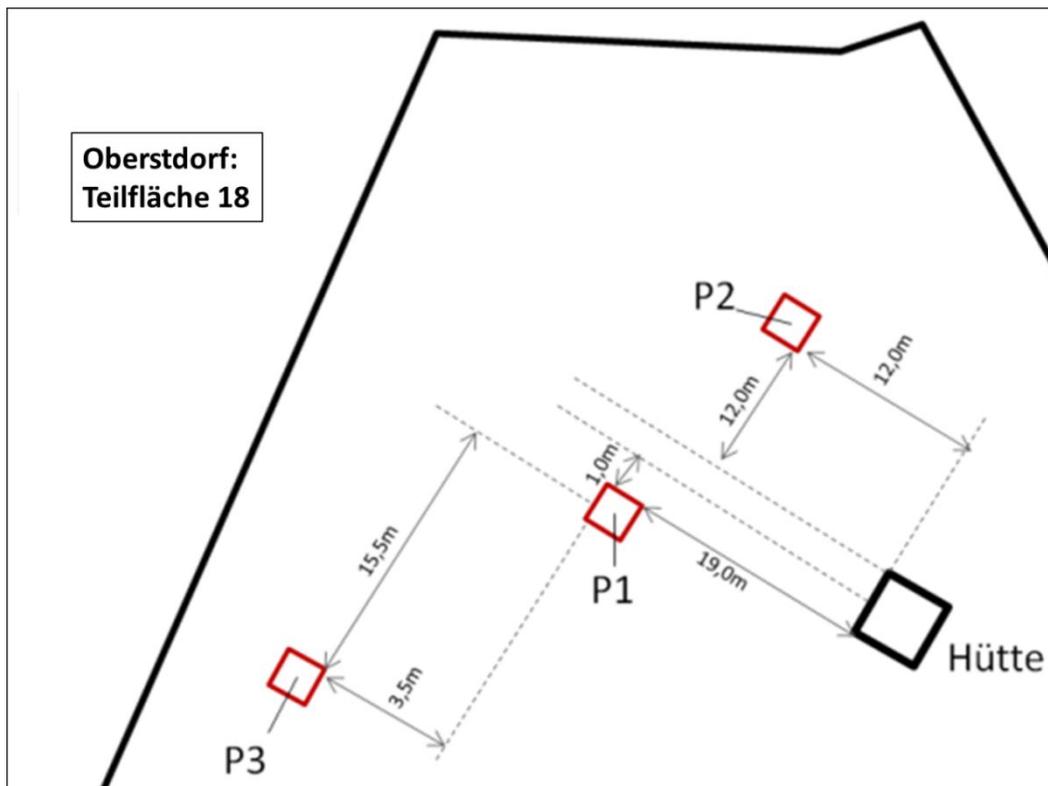




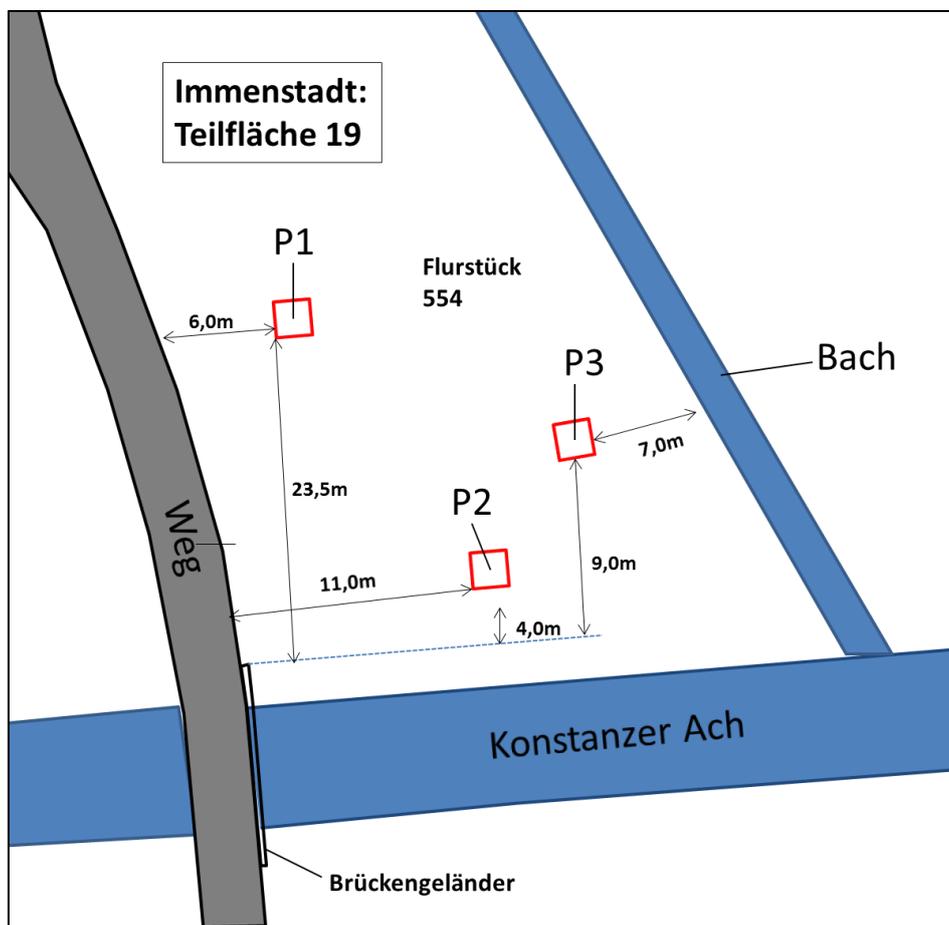
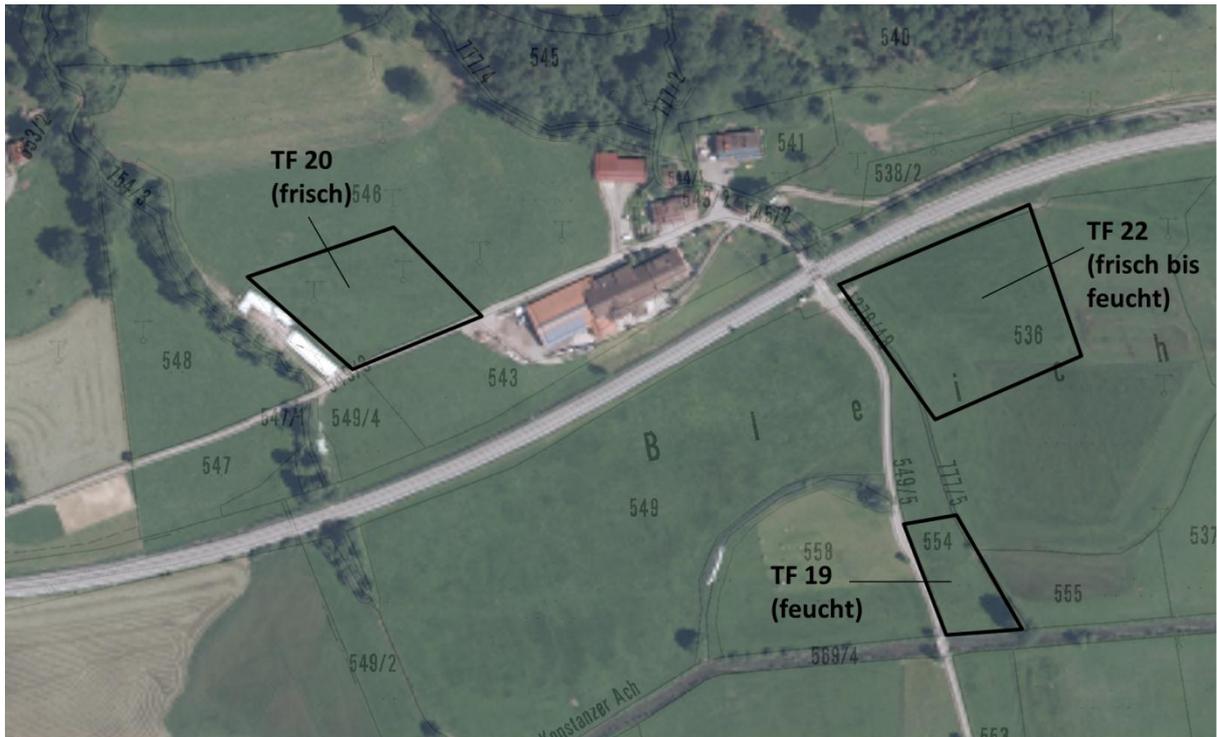


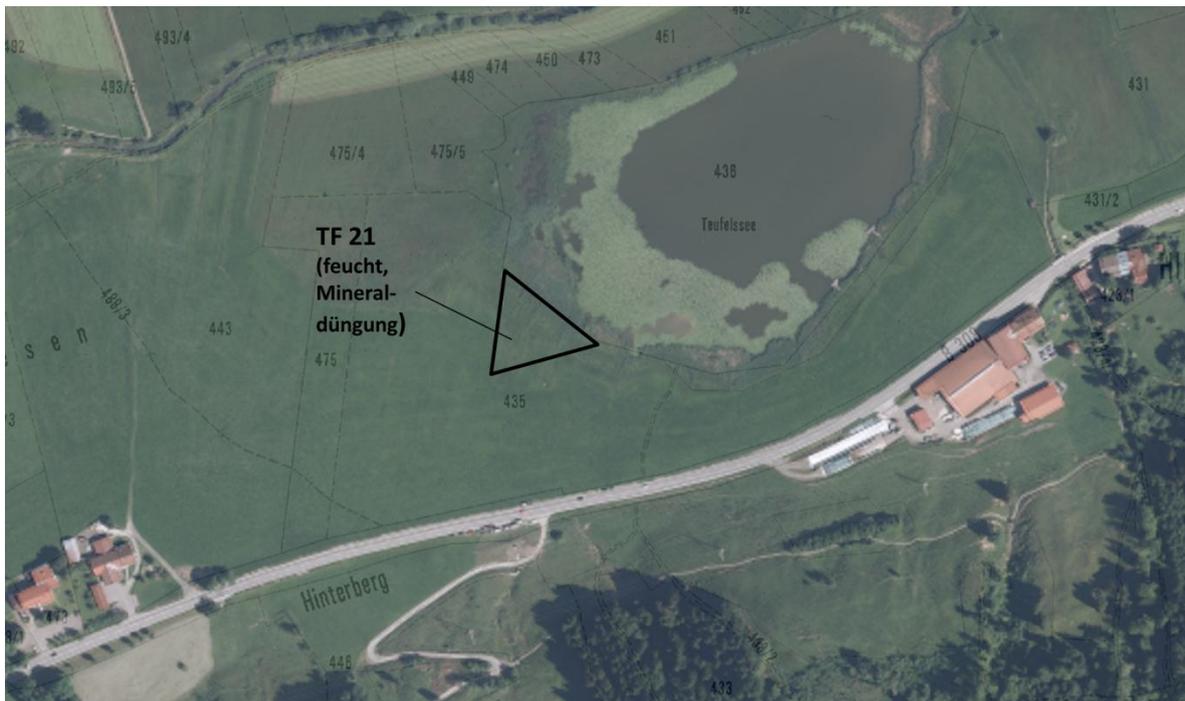
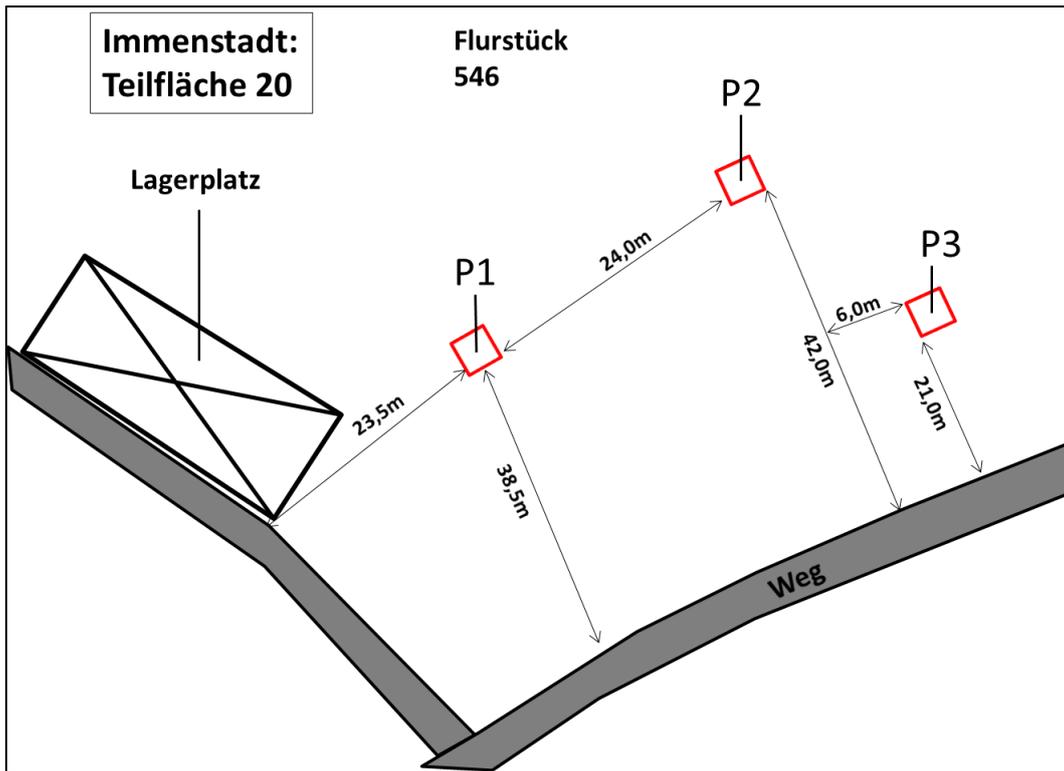
Anlage 1b: Teilflächen 17 und 18 (Oberstdorf)

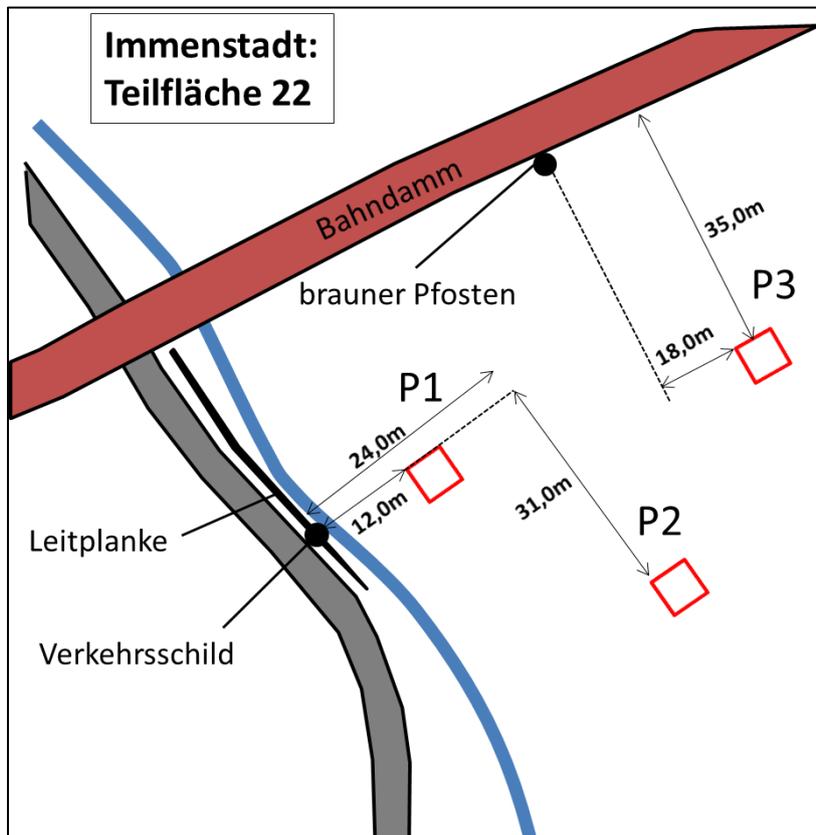
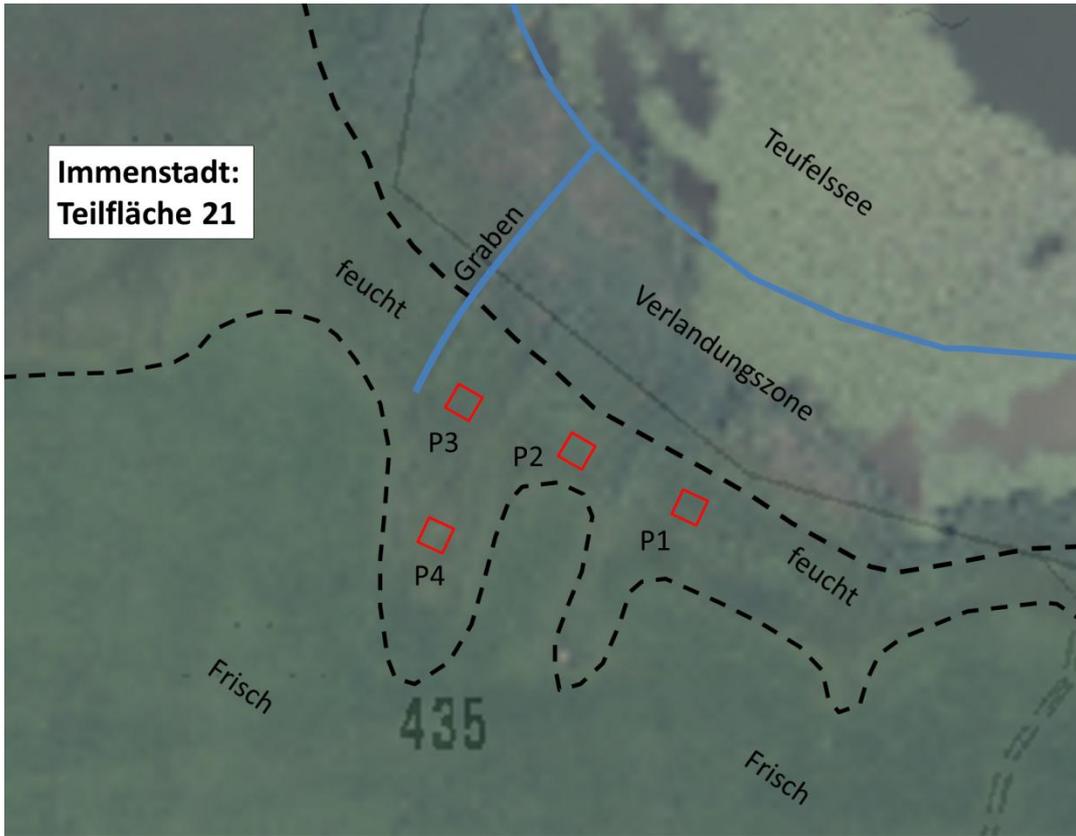




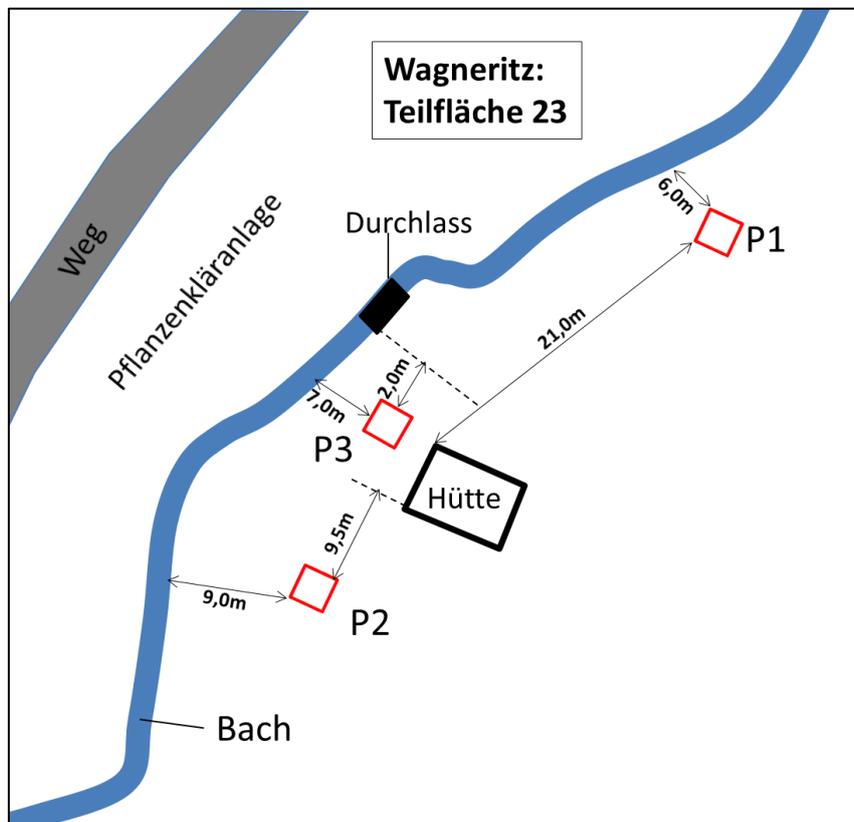
Anlage 1c: Teilflächen 19 bis 22 (Immenstadt)

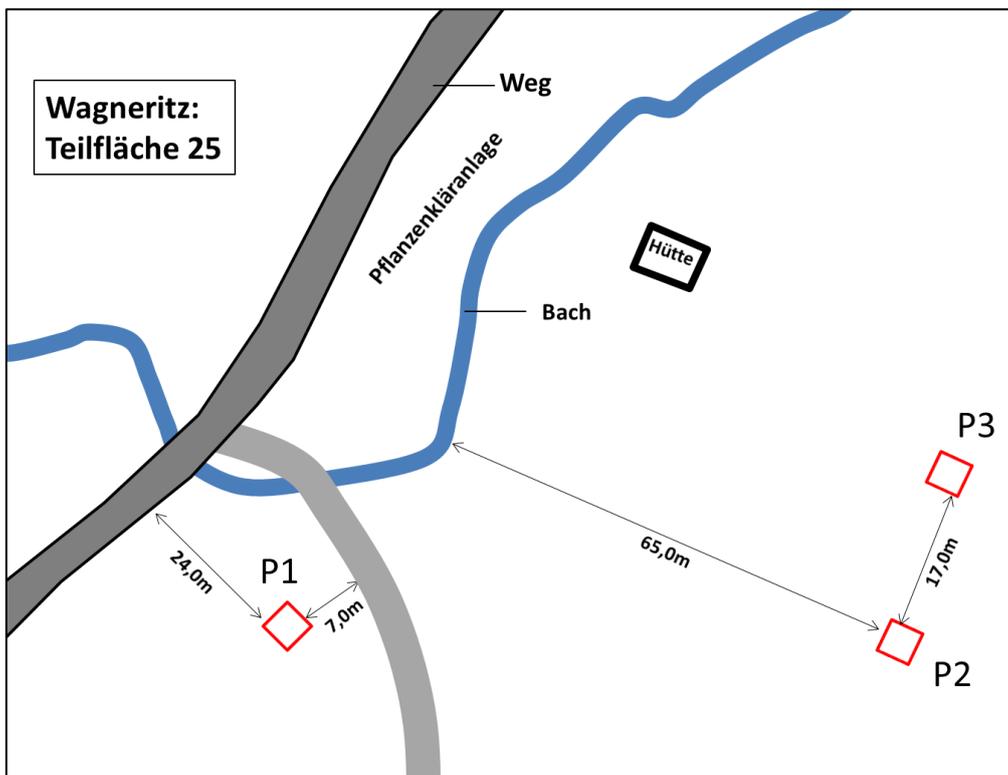
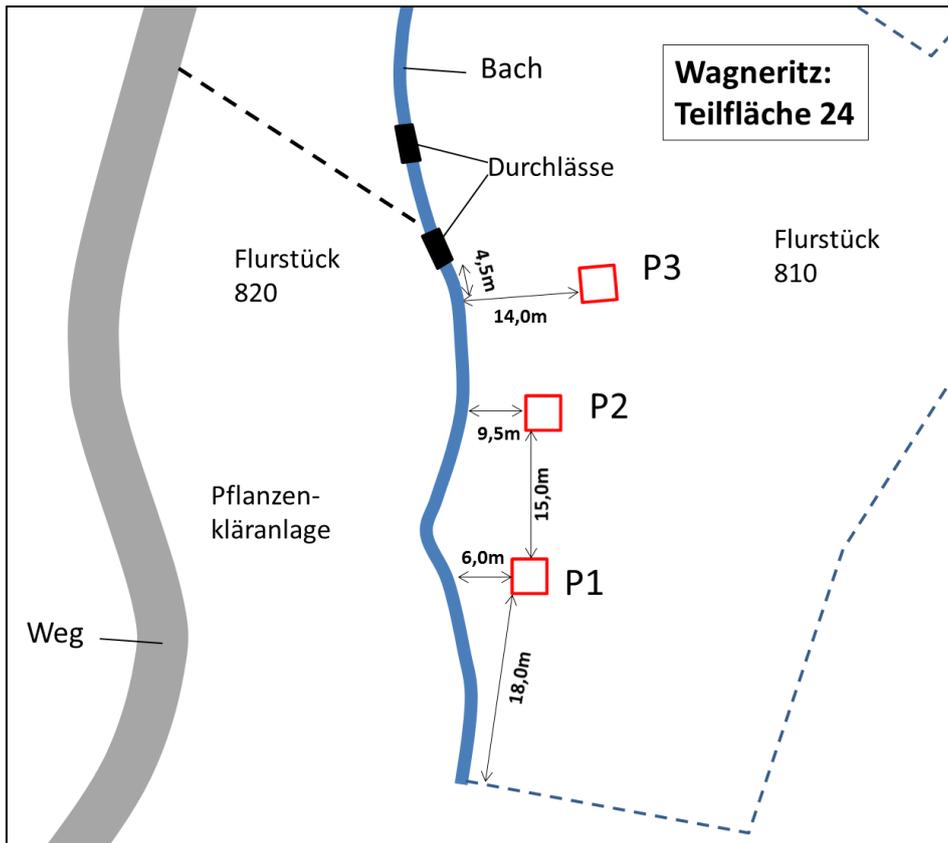






Anlage 1d: Teilflächen 23 bis 25 (Wagneritz)





Anlage 2: Ergebnistabelle der Vegetationsaufnahmen (Vegetationstabelle)

Anlage 3: Merkmale des Pflanzenbestandes

Anlage 4: Ergebnis des H-Tests nach Kruskal-Wallis

| | Deckung <i>Senecio aquaticus</i> [%] | F-Zahl | N-Zahl | Shannon- Weaver |
|------------------------------|--|---------|---------|--------------------|
| asymptotische Signifikanz | 0,000*** | 0,002** | 0,003** | 0,001*** |

Signifikanzniveaus:

| Irrtumswahr- scheinlichkeit | Bedeutung | Symbol |
|--------------------------------|----------------------|--------|
| $P > 0,10$ | nicht signifikant | n.s. |
| $0,10 \geq P > 0,05$ | marginal signifikant | m.s. |
| $0,05 \geq P > 0,01$ | signifikant | * |
| $0,01 \geq P > 0,001$ | signifikant | ** |
| $P \leq 0,001$ | signifikant | *** |

Anmerkung: Die Irrtumswahrscheinlichkeit gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Ablehnung der Nullhypothese („die Teilflächen 13 bis 25 unterscheiden sich nicht“) falsch ist.

Anlage 5: Ergebnis des U-Tests nach Mann-Whitney (Korrelationsmatrices)

1. Deckungsanteil *Senecio aquaticus*

| Nr. Teilfläche | Signifikanz | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13 | Asympt. Sig. (2-tailed) | 0,386 n.s. | 0,386 n.s. | 0,028 * | 0,026 * | 0,026 * | 0,042 * | 0,386 n.s. | 1,000 n.s. | 0,386 n.s. | 0,026 * | 0,386 n.s. | 0,386 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | 0,629 n.s. | 0,629 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. | 1,000 n.s. | 0,629 n.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. | 0,629 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,086 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 14 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | 1,000 n.s. | 0,037 * | 0,034 * | 0,034 * | 0,037 * | 1,000 n.s. | 0,386 n.s. | 1,000 n.s. | 0,034 * | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 0,629 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 15 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | 0,037 * | 0,034 * | 0,034 * | 0,037 * | 1,000 n.s. | 0,386 n.s. | 1,000 n.s. | 0,034 * | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 0,629 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 16 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | 0,046 * | 0,046 * | 0,184 n.s. | 0,037 * | 0,028 * | 0,037 * | 0,507 n.s. | 0,037 * | 0,037 * |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,300 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,600 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 17 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | 0,043 * | 0,046 * | 0,034 * | 0,026 * | 0,034 * | 0,197 n.s. | 0,034 * | 0,034 * |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,600 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 18 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,817 n.s. | 0,034 * | 0,026 * | 0,034 * | 0,361 n.s. | 0,034 * | 0,034 * |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,600 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 19 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,037 * | 0,042 * | 0,037 * | 0,268 n.s. | 0,037 * | 0,037 * |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,086 m.s. | 0,100 m.s. | 0,300 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 20 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,386 n.s. | 1,000 n.s. | 0,034 * | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | 0,629 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 21 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,386 n.s. | 0,026 * | 0,386 n.s. | 0,386 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | 0,629 n.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. | 0,629 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 22 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,034 * | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 23 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,034 * | 0,034 * |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 24 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 1,000 n.s. |

Signifikanzniveaus:

| Irrtumswahrscheinlichkeit | Bedeutung | Symbol |
|---------------------------|----------------------|--------|
| $P > 0,10$ | nicht signifikant | n.s. |
| $0,10 \geq P > 0,05$ | marginal signifikant | m.s. |
| $0,05 \geq P > 0,01$ | signifikant | * |
| $0,01 \geq P > 0,001$ | signifikant | ** |
| $P \leq 0,001$ | signifikant | *** |

| | |
|--|----------------------|
| | marginal signifikant |
| | signifikant |

2. F-Zahl

| Nr. Teilfläche | Signifikanz | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13 | Asympt. Sig. (2-tailed) | 0,077 m.s. | 0,212 n.s. | 0,157 n.s. | 0,034* | 0,858 n.s. | 0,034* | 0,077 m.s. | 0,386 n.s. | 0,858 n.s. | 0,480 n.s. | 0,108 n.s. | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | 0,114 n.s. | 0,229 n.s. | 0,229 n.s. | 0,057 m.s. | 0,857 n.s. | 0,057 m.s. | 0,114 n.s. | 0,486 n.s. | 0,857 n.s. | 0,629 n.s. | 0,114 n.s. | 0,057 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | 0,114 n.s. | 0,257 n.s. | 0,229 n.s. | 0,057 m.s. | 0,943 n.s. | 0,057 m.s. | 0,114 n.s. | 0,486 n.s. | 0,971 n.s. | 0,629 n.s. | 0,143 n.s. | 0,086 m.s. |
| 14 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | 0,513 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,827 n.s. | 0,034* | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 1,000 n.s. |
| 15 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | 0,050* | 0,050* | 0,184 n.s. | 0,050* | 0,658 n.s. | 0,077 m.s. | 0,275 n.s. | 0,127 n.s. | 0,658 n.s. | 0,513 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,114 n.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,700 n.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,300 n.s. | 0,100 m.s. | 0,800 n.s. | 0,114 n.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,800 n.s. | 0,700 n.s. |
| 16 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | 0,050* | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,724 n.s. | 0,275 n.s. | 0,827 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,857 n.s. | 0,400 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,857 n.s. | 0,400 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 17 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | 0,050* | 0,513 n.s. | 0,050* | 0,157 n.s. | 0,050* | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,229 n.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,229 n.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 18 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,050* | 0,050* | 0,724 n.s. | 0,275 n.s. | 0,827 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,857 n.s. | 0,400 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,857 n.s. | 0,400 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 19 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,050* | 0,077 m.s. | 0,050* | 0,077 m.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,114 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,114 n.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 20 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,034* | 0,184 n.s. | 0,050* | 0,827 n.s. | 0,827 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,300 n.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. | 1,000 n.s. |
| 21 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,289 n.s. | 0,724 n.s. | 0,034* | 0,034* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | 0,400 n.s. | 0,857 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,400 n.s. | 0,857 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. |
| 22 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 23 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 24 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,376 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | | 0,400 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,500 n.s. |

3. N-Zahl

| Nr. Teilfläche | Signifikanz | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13 | Asympt. Sig. (2-tailed) | 0,289 n.s. | 0,480 n.s. | 0,372 n.s. | 0,034* | 0,034* | 0,077 m.s. | 0,724 n.s. | 1,000 n.s. | 0,157 n.s. | 0,077 m.s. | 0,050* | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | 0,400 n.s. | 0,629 n.s. | 0,400 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,114 n.s. | 0,857 n.s. | 1,000 n.s. | 0,229 n.s. | 0,114 n.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | 0,400 n.s. | 0,629 n.s. | 0,457 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,114 n.s. | 0,857 n.s. | 1,000 n.s. | 0,229 n.s. | 0,114 n.s. | 0,086 m.s. | 1,000 n.s. |
| 14 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | 0,827 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. | 0,280 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,127 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,371 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| 15 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,127 n.s. | 0,827 n.s. | 0,480 n.s. | 0,127 n.s. | 0,127 n.s. | 0,184 n.s. | 0,827 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 1,000 n.s. | 0,629 n.s. | 0,200 n.s. | 0,200 n.s. | 0,200 n.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 1,000 n.s. | 0,629 n.s. | 0,200 n.s. | 0,200 n.s. | 0,300 n.s. | 1,000 n.s. |
| 16 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | 0,050* | 0,050* | 0,127 n.s. | 0,275 n.s. | 0,480 n.s. | 0,275 n.s. | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,275 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,400 n.s. | 0,629 n.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,400 n.s. | 0,629 n.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. |
| 17 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | 0,658 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,034* | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | 0,800 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 18 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,050* | 0,050* | 0,034* | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 19 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,127 n.s. | 0,157 n.s. | 0,513 n.s. | 0,827 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | 0,200 n.s. | 0,229 n.s. | 0,700 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,200 n.s. | 0,229 n.s. | 0,700 n.s. | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 20 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,724 n.s. | 0,184 n.s. | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,658 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | 0,857 n.s. | 0,200 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,857 n.s. | 0,300 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,800 n.s. |
| 21 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,157 n.s. | 0,077 m.s. | 0,034* | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | 0,229 n.s. | 0,114 n.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,229 n.s. | 0,114 n.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. |
| 22 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 1,000 n.s. | 0,050* | 0,077 m.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 1,000 n.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| 23 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,050* | 0,077 m.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| 24 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. |

4. Shannon-Weaver-Index (abgewandelt)

| Nr. Teilfläche | Signifikanz | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|----------------|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 13 | Asympt. Sig. (2-tailed) | 0,724 n.s. | 0,077 m.s. | 0,480 n.s. | 0,034* | 0,034* | 0,289 n.s. | 0,034* | 0,043* | 1,000 n.s. | 0,034* | 0,034* | 0,480 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | 0,857 n.s. | 0,114 n.s. | 0,629 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | 0,857 n.s. | 0,114 n.s. | 0,629 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 1,000 n.s. | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. |
| 14 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,034* | 0,513 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| 15 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,289 n.s. | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,400 n.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| 16 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. | 0,050* | 0,034* | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| 17 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,034* | 0,050* | 0,127 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 18 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,050* | 0,050* | 0,034* | 0,050* | 0,513 n.s. | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 19 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,050* | 0,034* | 0,275 n.s. | 0,050* | 0,050* | 0,827 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,057 m.s. | 0,400 n.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 1,000 n.s. |
| 20 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,034* | 0,050* | 0,050* | 0,050* | 0,050* |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. |
| 21 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,034* | 0,034* | 0,480 n.s. | 0,157 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. | 0,229 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | 0,057 m.s. | 0,057 m.s. | 0,629 n.s. | 0,229 n.s. |
| 22 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,050* | 0,050* | 0,513 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,100 m.s. | 0,700 n.s. |
| 23 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,050* | 0,127 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | 0,100 m.s. | 0,200 n.s. |
| 24 | Asympt. Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,127 n.s. |
| | Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)] | | | | | | | | | | | | 0,200 n.s. |
| | Exact Sig. (2-tailed) | | | | | | | | | | | | 0,200 n.s. |

Anlage 6: Ergebnis Spearman-Korrelation