Ökologische Bewertung der Waldränder in der Schweiz

Vergleich der Methoden LFI und Krüsi, Umrechnung der LFI Ökotonwerte in Krüsi-Punktzahlen und Beurteilung der Qualitäts-entwicklung in den letzten 20 Jahren (LFI2 – LFI4)

Impressum

Auftraggeber
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Markus Bolliger
Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften
3003 Bern

Projektpartner
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL)
Urs-Beat Brändli, Fabrizio Cioldi und Meinrad Abegg
Wissenschaftlicher Dienst LFI
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf

Autoren
Forschungsgruppe Vegetationsanalyse
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen
Manuel Babbi und Bertil O. Krüsi
Grüental, Postfach
8820 Wädenswil

Finanzierung
Das Projekt wurde durch das Programm LFI von BAFU und WSL finanziert.

Titelbild
Waldrand in der Gemeinde Krummenau (Kanton SG) (Foto: Eva Frei, ZHAW)

Copyright © 2015

Zusammenfassung

Ausgangslage: Waldränder sind in vielen Fällen zu wenig tief, weisen zu wenige Strukturelemente auf und es gibt keinen fliessenden Übergang vom Wirtschaftswald zum Offenland. Um den ökologischen Zustand von Waldrändern zu verbessern, werden deshalb Waldrandaufwertungen vorgenommen. Damit solche Waldrandaufwertungen sowie Pflegeeingriffe möglichst wirkungsvoll und zielgerichtet durchgeführt werden können, ist eine vorgängige zuverlässige Beurteilung des Ausgangszustandes, des ökologischen Potentials und des Aufwertungspotentials der Waldränder unabdingbar. In der Schweiz werden Waldränder mit der Methode LFI und der Methode Krüsi ökologisch bewertet. Ziel des LFI ist es, räumliche und zeitliche Vergleiche anzustellen und einen nationalen Überblick über die Entwicklung zu geben. Die praxisorientierte Methode Krüsi wurde entwickelt, um die ökologische Qualität von Waldrändern vor und nach Aufwertungseingriffen zu beschreiben. Auffällig ist die unterschiedliche Beurteilung der Waldrandqualität mit den beiden Methoden: Während im LFI2 (1993-1995) 25% der 1048 untersuchten Waldränder (inklusiv Subalpinstufe) als relativ hochwertig definiert bzw. taxiert wurden, wurden in mehreren regionalen Untersuchungen, welche mit der Methode Krüsi gemacht wurde, weniger als 1% der untersuchten Waldränder als gut beurteilt. Natürlich wäre es grundsätzlich sinnvoll, wenn die ökologische Qualität der Waldränder in der Schweiz nur mit einer Methode beurteilt würde. Zumindest sollten aber die mit den beiden Methoden ermittelten Ergebnisse einfach umgerechnet werden können. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die beiden Methoden miteinander verglichen und eine Umrechnungsformel entwickelt.

Methodik: Im Sommer und Herbst 2013 wurden in der gesamten Schweiz 67 Waldränder mit der Methode Krüsi ökologisch bewertet. 60 dieser Waldränder sind auch von der WSL zwischen 2009 und 2013 im Rahmen des LFI4 untersucht worden. Bei der Auswahl der 60 LFI Waldränder wurde darauf geachtet, dass möglichst das gesamte Qualitätsspektrum (gemäss Daten des LFI3) sowie alle Landesteile und Höhenstufen (bis zur oberen montanen Stufe) abgedeckt wurden. Bei den restlichen sieben Waldrändern handelt es sich um erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau, welche nicht im LFI integriert waren. Diese sieben Waldränder wurden nachträglich noch von Mitarbeitern der WSL mit der LFI Methode aufgenommen.

Resultate - Umrechnung: (1) Die Untersuchung ergab einen starken linearen Zusammenhang zwischen den mit der Methode LFI und der Methode Krüsi beurteilten Waldrändern. Das heisst eine Umrechnung der Werte ist leicht möglich. (2) Die Verteilung auf die sechs Qualitätskategorien („Waldrand nicht vorhanden“ bis „sehr wertvoll“) von den mit der Methode Krüsi im Feld beurteilten Waldrändern und den mit der in dieser Untersuchung entwickelten Umrechnungsformel umgerechneten LFI4 Ökotonwerten unterscheiden sich statistisch nicht. (3) Als anspruchsvoll und fehlerträchtig hat sich bei beiden Methoden die Abgrenzung des Krautsaums herauskristallisiert. Weitere Untersuchungen, die zu einer robusteren Beurteilung des Krautsaums führen, wären daher sicher sinnvoll. (4) Eine weitere Pendenz ist eine breitere wissenschaftliche Abstützung der in der Methode Krüsi definierten sechs Qualitätskategorien. (5) Leider lassen sich die beiden Methoden nicht durch kleine Modifikationen zu einer einzigen Methode für die ökologische Bewertung von Waldrändern in der Schweiz verschmelzen.

Resultate – Entwicklung der Waldrandqualität in der Schweiz: Gemäss den in Krüsi-Punktzahlen umgerechneten Ökotonwerten der 405 in LFI2, LFI3 und LFI4 aufgenommenen Waldränder und deren nachfolgenden Zuteilung zu den in der Methode Krüsi unterschiedenen sechs Qualitätskategorien hat sich die Qualität der Waldränder in der Schweiz in den vergangenen 20 Jahren insgesamt eher verschlechtert als verbessert. Besonders auffällig war, dass die Zahl der „sehr wertvollen“ Waldränder – nach einer leichten Zunahme vom LFI2 zum LFI3 (von 27 auf 33) – vom LFI3 zum LF4 stark abgenommen hat (von 33 auf 18).

Folgerungen für die Praxis: Aus Gründen der langfristigen Vergleichbarkeit der im Rahmen des LFI seit 1993 schweizweit erhobenen Daten zur Qualität der Waldränder soll die Methode LFI für nationale Erhebungen unbedingt unverändert beibehalten werden. Die Bewertung auf einem 100 m langen Abschnitt nach der Methode Krüsi scheint vor allem für kleinräumige Erhebungen durch weniger geübte Personen sinnvoll, zum Beispiel für die Erfassung des Ausgangszustandes und für die anschliessende Erfolgskontrolle durch den zuständigen Förster oder den an der Aufwertung beteiligte Naturschutzverein. Die LFI Daten der vergangenen 20 Jahre (LFI2 – LFI4) zeigen klar, dass das Aufwertungs- und Vernetzungspotential der Waldränder in der Schweiz trotz der eingeleiteten und vielerorts bereits umgesetzten Massnahmen noch bei Weitem nicht ausgeschöpft ist.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ..... **I**

1. Einleitung **2**

2. Material und Methoden **4**

2.1. Untersuchungsgebiet und Stichprobenplan 4
2.1.1. LFI4 Waldränder 4
2.1.2. Top10 (LFI3) Waldränder 4
2.1.3. Erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau 5
2.2. Aufnahmemethoden Krüsi und LFI 5
2.3. Methodenvergleich LFI und Krüsi: Entwicklung einer Umrechnungsformel 7
2.3.1. Ausschluss von Waldrändern 7
2.3.2. Reduzierung und Anpassung von Parametern 8
2.3.3. Umrechnungsformel und neue Bewertungsskala für LFI Waldränder 9
2.4. Repräsentativität der untersuchten Waldränder 9
2.4.1. Vergleich Ökotonwerte LFI3 und LFI4 (Methode LFI) 9
2.4.2. Vergleich 50 m und 100 m (Methode Krüsi) 9
2.5. Ökologische Bewertung der LFI Waldränder 10

3. Resultate **11**

3.1. Methodenvergleich LFI und Krüsi: Entwicklung einer Umrechnungsformel 11
3.1.1. Ausschluss von Waldrändern 11
3.1.2. Umrechnungsformel und neue Bewertungsskala für LFI Waldränder 13
3.2. Repräsentativität der untersuchten Waldränder 16
3.2.1. Vergleich Ökotonwerte LFI3 und LFI4 16
3.2.2. Vergleich von 50 und 100 m langen Waldrandabschnitten 18
3.3. Ökologische Bewertung von Waldrändern 20
3.3.1. In Studie untersuchte LFI Waldränder 20
3.3.2. Vergleich von LFI2, LFI3 und LFI4 Waldrändern 22

4. Diskussion **25**

4.1. Zusammenhang zwischen LFI Ökotonwerten und Krüsi-Punktzahlen 25
4.1.1. Mögliche Fehlerquellen 25
4.1.2. Plausibilität und Praxistauglichkeit der Umrechnungsformel 25
4.1.3. Herausforderungen bei der Entwicklung der Umrechnungsformel 26
4.2. Vergleich der beiden Methoden 26
4.2.1. Waldrandtiefe 26
4.2.2. Anzahl Gehölzarten in Baum- und Strauchschicht 27
4.2.3. 50 m vs. 100 m lange Beurteilungsabschnitte 27
4.2.4. Punkteklassen 27
4.2.5. Folgerungen aus dem Methodenvergleich 28
4.2.6. Weiterführende Untersuchungen 28
4.3. Ökologische Qualität der Waldränder in der Schweiz 28
4.3.1. Aktuelle Situation (LFI3) 28
4.3.2. Entwicklung von 1994 (LFI2) bis 2014 (LFI4) 29

5. Folgerungen für die Praxis **30**

5.1. Umrechnung von LFI Ökotonwerten (50 m) in Krüsi Werte (100 m) 30
5.2. Umrechnung von Krüsi Werten (100 m) in LFI Ökotonwerte (50 m) 30
5.3. Grenzwerte der Qualitätsklassen 31

6. Literatur **32**

1. Einleitung

Die Schweiz ist zu über einem Drittel mit Wald bedeckt (BAFU, 2013). Dementsprechend weit verbreitet sind auch Waldränder. Gemäss Landesforstinventar 3 (LFI3) beträgt die gesamte Waldrandlänge in der Schweiz rund 117‘000 km (Brändli et al., 2010). Diese oft durch künstliche Rodung entstandenen Ökotone (Krüsi et al., 1997) zwischen Wald und anthropogen genutzten Flächen wie Wiesen und Weiden sind unter intakten Bedingungen sowohl faunistisch als auch floristisch besonders artenreich und folglich ökologisch wertvoll (von Büren et al., 1995; Pro Natura, 2013). In vielen Fällen grenzt der Waldrand jedoch direkt an intensiv genutztes Offenland, an Strassen und Wege oder an Siedlungsgebiete, so dass der Waldrand kaum genügend Platz hat um sich optimal zu entwickeln (Krüsi et al., 1997). Ist ein Waldrand zu wenig tief, weist er zu wenige Strukturelemente auf und gibt es keinen fliessenden Übergang vom Wirtschaftswald zum Offenland, kann der Waldrand seine Aufgabe als Vernetzungselement in der Landschaft nicht mehr vollständig erfüllen.

Wie es um die ökologische Qualität der Waldränder in der Schweiz steht, wurde erstmals zwischen 1993 und 1995 im Rahmen des LFI2 untersucht, als in der ganzen Schweiz 1048 Waldränder beurteilt wurden. In dieser Untersuchung wurde jeder Waldrand aufgrund seines Ökotonwerts – ein aus den beiden Grössen Strukturvielfalt und Gehölzartenvielfalt für jeden Waldrand spezifisch berechneter Wert (im Folgenden „Methode LFI“ genannt) – in eine der drei Klassen „gering“ (Ökotonwert bis 55), „mittel“ (56-75) und „hoch“ (über 75) eingeteilt. Diese relative Klasseneinteilung beruhte auf den 25%- und 75%-Percentilen sämtlicher 1048 untersuchten Waldränder. Das heisst, die schlechtesten 25% der Waldränder wurden als gering-, die mittleren 50% als mittel- und die 25% wertvollsten Waldränder als hochwertig taxiert (Brändli & Ulmer, 1999; Brändli, 2001). Deswegen ist die Methode LFI zur Waldrandbewertung vor allem für räumliche und zeitliche Vergleiche geeignet, um zum Beispiel die Entwicklung von Waldrändern zu verfolgen. Im Gegensatz zum Schlüssel für die ökologische Bewertung von Waldrändern (Krüsi & Schütz, 1994) – einer anderen Methode zur Beurteilung von Waldrändern, welche vor allem für Förster und lokale Aufwertungsprojekte geeignet ist – erlaubt die Methode LFI, welche das nationale Monitoring zum Ziel hat, keine absoluten Urteile über den ökologischen Wert einzelner Waldränder (Brändli & Ulmer, 1999; Brändli, 2001).

Im LFI2 wurden rund 30% der untersuchten Waldränder (ohne Subalpinstufe) und 25% (inklusiv Subalpinstufe) als hochwertig taxiert (LFI Ökotonwert über 75). Werden nur Waldränder der kollinen/submontanen Stufe berücksichtigt, waren es 39% (Brändli & Ulmer, 1999). Unter Anwendung des Schlüssels für die ökologische Bewertung von Waldrändern von Krüsi und Schütz (1994) (im Folgenden „Methode Krüsi“ genannt) liegt die Grenze für „gute“ Waldränder ungefähr beim LFI Ökotonwert 100, welcher insgesamt von 2% und in der kollinen/submontanen Stufe von 4% der Waldränder überschritten wurde (Brändli & Ulmer, 1999). In einer anderen gesamtschweizerischen Untersuchung erreichten sogar weniger als 1% aller untersuchten Waldränder das Prädikat „gut“ (Krüsi et al., 1997). Dass die LFI2-Gesamtbeurteilung mit 30% hochwertigen Waldrändern möglicherweise zu hoch ist, lässt sich daran erkennen, dass von sämtlichen im LFI2 untersuchten Waldrändern lediglich 23% (ohne Subalpinstufe) einen Waldmantel, einen Strauchgürtel und einen Krautsaum aufwiesen und nur drei Waldränder den Idealvorstellungen des Naturschutzes entsprachen (Brändli & Ulmer, 1999). Positiv ist hingegen, dass sich zwischen dem LFI2 (Brändli & Ulmer, 1999) und dem LFI3 (Brändli et al., 2010) die Qualität der der Waldränder insgesamt leicht verbessert hat. Sowohl die durchschnittliche Waldrandbreite als auch die durchschnittliche Krautsaumbreite haben zugenommen (Brändli et al., 2010). (Wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen werden, hat die Zahl der „sehr wertvollen“ Waldränder – nach einer leichten Zunahme vom LFI2 zum LFI3 (von 27 auf 33) – vom LFI3 zum LF4 aber stark abgenommen (von 33 auf 18).)

Die vorhandenen Daten und die angestellten Vergleiche zeigen einerseits, dass es in der Schweiz ein hohes ökologisches Aufwertungs- und Vernetzungspotential für Waldränder gibt und andererseits, dass sich die Methoden LFI und Krüsi nicht 1:1 vergleichen lassen und zu unterschiedlichen Resultaten führen. Damit die Waldrandaufwertungen sowie die in den kommenden Jahren unumgänglichen Pflegeeingriffe möglichst wirkungsvoll und zielgerichtet durchgeführt werden können, ist eine vorgängige zuverlässige Beurteilung des Ausgangszustandes, des ökologischen Potentials und des Aufwertungspotentials der Waldränder unabdingbar. Nur auf diese Weise können die wertvollen Objekte ausgeschieden und die knappen finanziellen Mittel und Ressourcen optimal eingesetzt werden. Laut BAFU ist es jedoch vor allem gegenüber den kantonalen Forstdiensten nicht opportun, dass die Waldränder in der Schweiz mit zwei unterschiedlichen Methoden beurteilt werden. Mit diesem Projekt als Auftrag im Rahmen des Landesforstinventars sollen die beiden Bewertungsmethoden LFI (Stierlin et al., 1994; Brändli, 2001; Keller, 2013) und Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) daher miteinander verglichen werden, indem rund 60 Waldränder, welche bereits mit der Methode LFI untersucht und bewertet wurden, zusätzlich mit der Methode Krüsi aufgenommen und beurteilt werden. Dabei sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

- Lassen sich die Waldrandbewertungen von der einen Methode in die andere Methode umrechnen? Falls ja, wie könnte eine solche Umrechnungsformel aussehen?

- Was sind die Gemeinsamkeiten und worin unterscheiden sich die Erhebungsmethoden LFI (Stierlin et al., 1994; Keller, 2013) und Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) voneinander?
- Welchen ökologischen Wert haben die 60 untersuchten Waldränder gemäss Krüsi (2013) und lassen sich die Bewertungen mit jenen aus dem LFI4 vergleichen?

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet und Stichprobenplan

In der Untersuchung wurden Waldränder aus der ganzen Schweiz berücksichtigt (Abb. 1). Bei den für die Untersuchung ausgewählten Waldrändern handelte es sich einerseits um Waldränder, welche im LFI untersucht wurden und andererseits um erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau. Die Gesamtlisten aller untersuchten Waldränder (Tab. 10, Tab. 11 und Tab. 12) sind im Anhang aufgeführt.

2.1.1. LFI4 Waldränder

Das LFI beurteilt seit dem LFI2 (1993-1995) (Brändli & Ulmer, 1999) regelmässig die gleichen Waldränder nach einer von Brändli entwickelten Methode (Stierlin et al., 1994). In der vorliegenden Studie wurden Waldränder untersucht, die im LFI4 zwischen 2009 und 2013 beurteilt wurden (im Folgenden „LFI4 Waldränder“ genannt). Da die entsprechenden Modell-Werte (LFI4 Ökotonwerte) für das LFI4 zum Zeitpunkt der Stichprobenauswahl noch nicht gerechnet vorlagen, musste die Auswahl der zu untersuchenden Waldränder aufgrund der Ökotonwerten aus dem LFI3 (2004-2006) (Brändli et al., 2010) vorgenommen werden. Für den Methodenvergleich wurden hingegen die Resultate aus dem LFI4 verwendet.

Für die definitive Auswahl der zu untersuchenden Waldränder wurde von der WSL eine Liste mit 360 im LFI4 untersuchten Waldrändern vorbereitet. Aus Sicherheits- und Zeitgründen enthielt die Liste lediglich Waldränder, welche maximal 1250 m ü. M. lagen und eine maximale Anmarschzeit von 30 Minuten aufwiesen. Die Waldränder wurden von der WSL entsprechend ihres LFI3 Ökotonwerts codiert. Das bedeutet, dass die Waldränder in die fünf Kategorien A, B, C, D und E eingeteilt wurden, wobei in einer Kategorie Waldränder mit einem ähnlichen LFI3 Ökotonwert gruppiert waren (A = 63-70; B = 84-114, C = 57-61; D = 72-80; E = 36-53). Mit dieser Codierung konnte eine Beeinflussung des Bearbeiters bei den Feldaufnahmen ausgeschlossen werden, da zu keinem Zeitpunkt bekannt war, welcher Buchstabe welcher Waldrandqualität entsprach. Für die Untersuchung wählten die Bearbeiter der ZHAW pro Kategorie je zehn Waldränder plus fünf Ausweichwaldränder aus. Damit konnte eine grösstmögliche Bandbreite bezüglich Waldrandqualität sichergestellt werden. Die Ausweichwaldränder dienten als Ersatz, falls einer der zehn ausgewählten Waldränder aus methodischen (Stichprobenfläche nicht gefunden) oder standortbedingten (Abholzung oder Aufforstung) Gründen im Feld nicht untersucht werden konnte.

Bei der Stichprobenauswahl wurde berücksichtigt, dass die LFI Waldränder unregelmässig auf die fünf geographischen Regionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite verteilt waren. Im Mittelland gab es beispielsweise erheblich mehr LFI4 Waldränder als auf der Alpensüdseite. Die Auswahl der Waldränder erfolgte deshalb proportional zum Vorkommen in einer Region. Ausserdem wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass von der kollinen/submontanen, der unteren montanen und der oberen montanen Höhenstufe etwa gleich viele Waldränder ausgewählt wurden. Erfüllten mehrere Waldränder die erforderlichen Kriterien, wurden diejenigen Waldränder mit der kürzesten Anmarschzeit einer Region ausgewählt (Abb. 1 und Tab. 10).

2.1.2. Top10 (LFI3) Waldränder

Im Anschluss an die Felduntersuchungen wurde festgestellt, dass die für die Untersuchung ausgewählten und beurteilten LFI4 Waldränder insgesamt nur eine durchschnittliche ökologische Qualität aufwiesen. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die zehn Waldränder der kollinen/submontanen, der unteren montanen und der oberen montanen Höhenstufe in die Untersuchung miteinbezogen, welche im LFI3 am besten beurteilt wurden (im Folgenden „Top10 (LFI3) Waldränder“ genannt). Da es sich um die zehn besten LFI3 Waldränder handelte, wurden die geographische Region und die Anmarschzeit nicht berücksichtigt. Die Bezeichnung Top10 (LFI3) Waldränder ist möglicherweise aus zwei Gründen etwas irreführend. Einerseits muss beachtet werden, dass nur die Auswahl auf den LFI3 Ökotonwerten beruhte. Für die Auswertung und den Vergleich wurden hingegen die LFI4 Ökotonwerte verwendet. Andererseits wurden von den Top10 (LFI3) Waldrändern nur deren acht tatsächlich im Feld mit der Methode Krüsi untersucht. Ein Top10 (LFI3) Waldrand wurde zufälligerweise bereits im Rahmen der ausgewählten LFI4 Waldränder untersucht und wurde im Rahmen dieser Arbeit somit nicht als Top10 (LFI3) Waldrand bezeichnet. Ein weiterer Waldrand wurde nicht untersucht, weil das Gelände zu steil und unzugänglich war. Wenn im Folgenden von Top10 (LFI3) Waldrändern die Rede ist, sind daher jeweils nur die acht untersuchten Waldränder gemeint. Durch die Integration dieser zusätzlichen Waldränder konnte die Spanne der Waldrandqualität gegen oben hin vergrössert werden (Abb. 1 und Tab. 11).

2.1.3. Erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau

Zum Zeitpunkt der Feldaufnahmen dieser Untersuchung wurden im Rahmen einer Semesterarbeit an der ZHAW 20 im Kanton Aargau aufgewertete Waldränder mit der Methode Krüsi erfasst und bewertet (Spörri et al., 2014). Einige dieser aufgewerteten Waldränder erzielten einen hervorragenden ökologischen Wert, weil die Aufwertungen erfolgreich waren. Die sieben Waldränder mit dem höchsten erzielten ökologischen Wert wurden ausgewählt und in die vorliegende Untersuchung zum Methodenvergleich LFI und Krüsi integriert. Es wurden sieben Waldränder ausgewählt und untersucht, weil diese Anzahl an einem Tag bearbeitet werden konnte (Abb. 1 und Tab. 12).

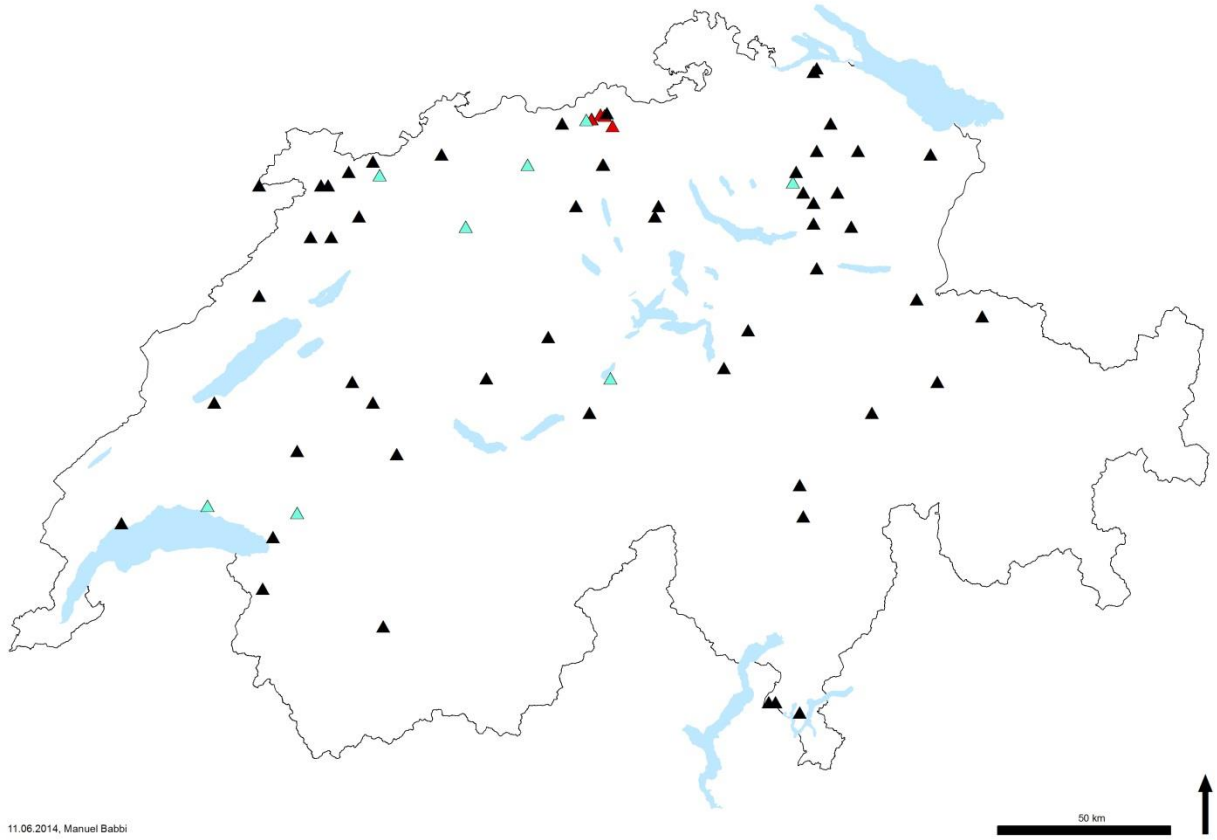

Abb. 1: Karte der in der Untersuchung berücksichtigen Waldränder (schwarz = LFI4 Waldränder; hellblau = Top10 (LFI3) Waldränder; rot = erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau).

2.2. Aufnahmemethoden Krüsi und LFI

Die ausgewählten Waldränder wurden mit der Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) zwischen dem 6.8.2013 und 1.11.2013 von Mitarbeitenden der Forschungsgruppe Vegetationsanalyse der ZHAW und mit Unterstützung durch einen Messgehilfen der WSL untersucht und bewertet (im Folgenden „Krüsi Werte 2013“ genannt). Die Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) wurde ursprünglich für die Bewertung von 100 m langen Waldrandabschnitten entwickelt. Bei der Methode LFI (Stierlin et al., 1994; Keller, 2013) wurden die Waldränder hingegen auf einer Länge von 50 m beurteilt. Um den Unterschied zwischen den unterschiedlich langen Waldrandabschnitten bei der Auswertung zu berücksichtigen, wurden die Waldrandabschnitte mit der Methode Krüsi sowohl auf 50 m als auch auf 100 m bewertet. Das Aufnahmeformular der Methode Krüsi (siehe Anhang) wurde zu diesem Zweck leicht angepasst, so dass mit nur einer Begehung beide Distanzen ohne grösseren zusätzlichen Zeitaufwand beurteilt werden konnten.

Damit sichergestellt werden konnte, dass bei der Untersuchung mit der Methode Krüsi der gleiche Waldrand respektive Waldrandabschnitt wie beim LFI untersucht wurde, mussten die Mitarbeitenden der ZHAW vor der Beurteilung mit der Methode Krüsi zuerst das LFI-Probenflächenzentrum sowie der dazugehörige Knickpunkt des Waldrandes (Mittelpunkt des zu untersuchenden Waldrandabschnitts) gemäss LFI-Feldaufnahme-Anleitung (Keller, 2013) aufsuchen und einmessen (Abb. 2). Für das einfachere Auffinden des Probenflächenzentrums und für die Definierung des Untersuchungsabschnitts am Waldrand wurden zwei Massbänder (Länge 50 m), eine Bussole (400°), ein Fluchtstab

(Jalon) und ein Pickel verwendet. Bei den meisten Probeflächenzentren war zudem ein RECCO-Reflektor vergraben, weswegen zusätzlich ein RECCO-Suchgerät verwendet wurde. Die Angaben zu jedem Probeflächenzentrum und zu jedem Waldrandabschnitt standen jeweils in Form einer Geländeskizze (Kroki) zur Verfügung.

Da das Auffinden des Probeflächenzentrums und das Einmessen des Knickpunkts ein äusserst wichtiger und heikler Schritt ist, wurde ein Mitarbeiter der ZHAW von zwei Mitarbeitenden der WSL vor dem Start des Projekts im Feld während eines halben Tages geschult.

Nachdem der Knickpunkt (entsprach Stichprobenpunkt T1 auf dem Aufnahmeformular der Methode Krüsi) des zu beurteilenden Waldrandabschnitts eingemessen war, wurde er mit einem Fluchtstab markiert (Abb. 2). Anschliessend wurden mit einem Massband die weiteren Stichprobenpunkte T2, T3, T4 und T5 im Abstand von jeweils 25 m eingemessen. Bei den Stichprobenpunkten T2 und T3 handelte es sich um die Aufnahmepunkte rechts des Knickpunkts (T1), mit Blick in den Wald hinein. Die Stichprobenpunkte T4 und T5 lagen links des Knickpunkts (T1), mit Blick in den Wald hinein. Der Waldrandabschnitt zwischen T4 – T1 – T2 war somit derjenige Abschnitt, welcher auch bei den LFI Aufnahmen beurteilt wurde. Die Methode Krüsi wurde sowohl auf dem Abschnitt T4 – T1 – T2 (50 m) als auch auf dem gesamten Abschnitt T5 – T4 – T1 – T2 – T3 (100 m) angewendet (Abb. 2).

Da es sich bei den sieben erfolgreich aufgewerteten Waldrändern im Kanton Aargau, im Gegensatz zu den übrigen ausgewählten Waldrändern nicht um LFI Waldränder handelte, mussten sie nicht mit der Methode Krüsi, sondern mit der Methode LFI (Stierlin et al., 1994; Keller, 2013) bewertet werden. Die Aufnahmen wurden von Martina Beck, einer Mitarbeiterin des LFI, und unter Mithilfe eines Mitarbeiters der ZHAW am 27.10.2013 durchgeführt. Da diese sieben Waldränder mit der Methode Krüsi vom Studierenden nur auf einer Länge von 100 m beurteilt wurden, musste nachträglich zusammen mit dem Studierenden ermittelt werden, wo der Mittelpunkt (T1) und die übrigen Stichprobenpunkte (T2, T3, T4 und T5) bei den Feldaufnahmen lagen. Nur so war es möglich, den relevanten mittleren Abschnitt jedes Waldrandes (50 m) zwischen den Strichprobenpunkten T4 – T1 –T2 ausfindig zu machen und mit der Methode LFI zu untersuchen. Ausserdem mussten die Anzahl Baum-, Strauch- und Dornstraucharten, welche vom Studierenden mit der Methode Krüsi auf 100 m erfasst wurden, vor der statistischen Auswertung auf einen 50 m Abschnitt runtergerechnet werden. Dazu wurde bei sämtlichen untersuchten LFI4 Waldrändern und Top10 (LFI3) Waldrändern der Quotient der Anzahl Baum-, Strauch- und Dornstraucharten zwischen 100 m und 50 m ermittelt. Die auf 100 m ermittelten Artenzahlen wurden schliesslich durch diese Quotienten (Baumschicht: 1.39; Strauchschicht: 1.27 und Dornstraucharten: 1.2) dividiert. Gleich vorgegangen wurde auch bei den Parametern Kleinstrukturen und tote Bäume (Quotient: 1.58) und Anzahl invasive Neophyten (Quotient: 1.2). Die Werte der übrigen Parameter wurden übernommen, da es sich um %-Angaben handelte.

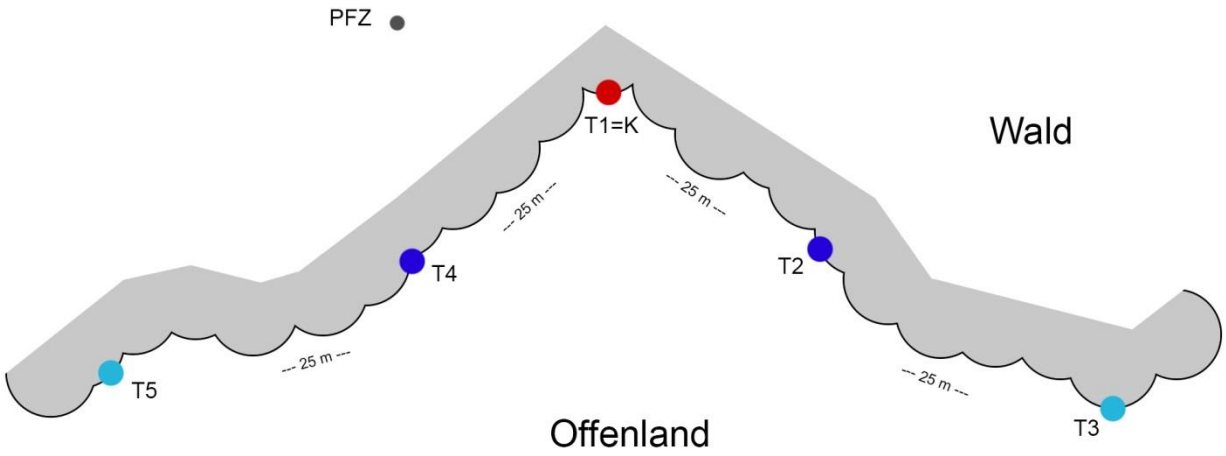

Abb. 2: Eingemessene Stichprobenpunkte T1 (K = Knickpunkt), T2, T3, T4 und T5 eines zu beurteilenden Waldrandabschnitts. Der Abschnitt zwischen den Punkten T4 – T1 – T2 (50 m) wurde bei den LFI Aufnahmen berücksichtigt. Die Methode Krüsi untersuchte sowohl den Abschnitt T4 – T1 – T2 (50 m) als auch den Abschnitt T5 – T4 – T1 – T2 – T3 (100 m). Der Knickpunkt, von welchem aus die Stichprobenpunkte eingemessen wurden, konnte mittels Kroki und Probenflächenzentrum (PFZ) aus dem LFI ermittelt werden (Grafik: M. Babbi).

2.3. Methodenvergleich LFI und Krüsi: Entwicklung einer Umrechnungsformel

Für die Erstellung sämtlicher Diagramme und für die Durchführung der Berechnungen wurde die Statistiksoftware R 3.0.2 (R Core Team, 2014) verwendet. Vor den Berechnungen der Korrelationen wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und dem Kolmogorow-Smirnow-Test überprüft, ob die standardisierten Residuen normalverteilt waren.

Bei der Entwicklung der Umrechnungsformel wurde versucht, die erzielten Waldrandbewertungen der beiden Erhebungsmethoden und die jeweils dazugehörigen Parameter mit mehreren Teilschritten so zu bearbeiten, dass eine möglichst starke Korrelation erreicht werden konnte. Mit dem Akaike Informationskriterium wurde getestet, ob es sich bei den Korrelationen um lineare oder polynomiale Funktionen handelte. Da die Residuen stets normalverteilt waren, wurde für die Berechnung der Korrelation der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet.

Um einen ersten Überblick zu erhalten, wurden die LFI4 Ökotonwerte mit den Krüsi Werten 2013 verglichen und in einem Streudiagramm dargestellt. Es wurden die Ökotonwerte aus dem LFI4 verwendet, weil es sich um die neusten erhobenen LFI Daten handelte. Ein Vergleich dieser LFI4 Ökotonwerte mit den Krüsi Werten 2013 war aussagekräftiger, als wenn die LFI3 Ökotonwerte verwendet worden wären, da diese Untersuchungen bereits vor acht bis zehn Jahren zwischen 2004 und 2006 durchgeführt wurden (Brändli et al., 2010). Für den Vergleich wurden die unveränderten LFI4 Ökotonwerte und Krüsi Werte 2013 für 50 m lange Waldrandabschnitte (T4 – T1 – T2) verwendet.

2.3.1. Ausschluss von Waldrändern

Um die Korrelation zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi Werten 2013 zu verbessern, wurde in einem ersten Schritt Waldrandaufnahmen, welche 2013 mit der Methode Krüsi gemacht wurden und möglicherweise fehlerhaft waren oder aufgrund von standortbedingten Faktoren für einen Vergleich nicht miteinbezogen werden konnten, für die weitere Entwicklung des Umrechnungsschlüssels aus dem Gesamtdatensatz ausgeschlossen. Die Ausreisser wurden mit Hilfe des Streudiagramms, bestehend aus den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi Werten 2013, ermittelt. Punkte, welche nicht zum Trend passten und besonders hervorstachen, wurden genauer betrachtet und unter Umständen als potentielle Ausreisser taxiert. Im Zweifelsfall wurden die Waldränder nicht ausgeschlossen.

Um über den Ausschluss eines Waldrandes zu entscheiden, wurde insbesondere das Erhebungsjahr der LFI4 Aufnahme berücksichtigt. Waren der LFI4 Ökotonwert und der Krüsi Wert 2013, sehr verschieden und lagen zudem mehrere Jahre zwischen den beiden Untersuchungen, war die Wahrscheinlichkeit eines forstlichen Eingriffs hoch. Die Notizen der Felduntersuchung sowie die Fotos, welche während den Untersuchungen mit der Methode Krüsi im Jahr 2013 von jedem Waldrand gemacht wurden, wurden ebenfalls berücksichtigt. Als potentielle Fehlerquellen und Ursachen für grössere Differenzen zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi Werten 2013 kamen einerseits methodische Fehler während den Aufnahmen mit der Methode Krüsi und andererseits spezielle Eigenschaften oder der Zustand des Waldrandes in Frage (Tab. 1).

Tab. 1: Gründe für Ausschluss von Waldrändern aus Gesamtdatensatz.

Methodische Fehler während den Aufnahmen:	Untersuchung leicht unterschiedlicher Waldrandabschnitte infolge eines unabsichtlich falsch oder ungenau eingemessenen Knickpunkts.
	Untersuchung unterschiedlicher Waldrandabschnitte infolge einer Fehlinterpretation beziehungsweise nicht korrekten Festlegung der Bestockungsgrenze (Verlauf des Waldrandes) oder infolge eines komplett falsch eingemessenen Knickpunkts.
	Messfehler bei der Beurteilung der unterschiedlichen Waldrandelemente (Tiefe von Krautsaum, Strauchgürtel, Waldmantel und Waldrand).
Spezielle Eigenschaften des Waldrandes:	Forstlicher Eingriff zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten (z.B. massiver Pflegeeingriff).

2.3.2. Reduzierung und Anpassung von Parametern

In einem zweiten Schritt wurde versucht, die Korrelation zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi Werten 2013 zu stärken, indem einzelne aufgenommene Parameter der Methode LFI und der Methode Krüsi bei der Berechnung der Korrelation weggelassen, leicht angepasst oder miteinander auf unterschiedliche Art kombiniert wurden. Auf diese Weise wurden zahlreiche Streudiagramme erstellt und diverse Regressionsanalysen durchgeführt.

Die stärkste Korrelation zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi Werten 2013 wurde erreicht, wenn bei den LFI4 Daten die Punkte für den Krautsaum und bei den Krüsi Daten die Parameter für den Krautsaum und für die Kleinstrukturen weggelassen wurden. Da bei dieser Korrelation jedoch nicht alle Parameter berücksichtigt wurden, war die ihr zugrunde liegende Funktion für die Umrechnung der LFI Daten in die Daten der Methode Krüsi und umgekehrt nicht geeignet. Aus diesem Grund wurden sowohl die LFI4 Daten als auch die Krüsi Daten mit durchschnittlichen Werten für den Krautsaum und die Kleinstrukturen ergänzt und einander in einem zweiten Streudiagramm erneut gegenüber gestellt. Die durchgeführten Berechnungen und Anpassungen sind nachfolgend detailliert beschrieben.

Anpassung der mit der Methode Krüsi erhobenen Daten
Zuerst wurden die Waldränder gemäss ihrem mit der Methode Krüsi erzielten ökologischen Wert aufsteigend sortiert und in die sechs Qualitätskategorien der neuen Krüsi Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte (vgl. Kapitel 2.4.2, Kapitel 3.2.2 und Tab. 5) eingeteilt. Anschliessend wurden vom erzielten ökologischen Wert jedes einzelnen Waldrandes die Punkte der Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und toten Bäume“ abgezogen. Anhand der Differenzen zwischen dem ökologischen Wert mit und ohne Abzügen wurde für jede der sechs Qualitätskategorien die durchschnittliche Punktzahl für die Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und toten Bäume“ berechnet und dann zum ökologischen Wert mit Abzügen addiert (Tab. 2).

Tab. 2: Durchschnittliche addierte Punkte für die Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und toten Bäume“ für jede der sechs Qualitätskategorien. Die Einteilung basiert auf der berechneten Krüsi Skala für Waldrandabschnitte mit einer Länge von 50 m.

	Waldrand n. vorhanden	Schlecht	Ungenügend	Befriedigend	Wertvoll	Sehr wertvoll
Berechnete Krüsi Skala (für 50 m Abschnitte)	≤ 16	17 - 25	26 - 34	35 - 43	44 - 52	≥ 53
Durchschnittliche Zuschläge für Krautsaumparameter und Kleinstrukturen	1	5	7	11	12	16

Anpassung der mit der Methode LFI erhobenen Daten
Zuerst wurden die LFI4 Waldränder anhand ihres Ökotonwerts aufsteigend sortiert. Anschliessend wurden die Waldränder gemäss der Ökotonbewertungsskala für Waldränder (Brändli & Ulmer, 1999) in die drei Qualitätsklassen „gering“ (Ökotonwerte bis 55), „mittel“ (56 – 75) und „hoch“ (über 75) eingeteilt. Anschliessend wurde die Krautbreiteklasse (KRAUTBRKL) leicht angepasst. Das heisst die durchschnittlichen Krautsaumbreiten wurden in die Punkteklassen eingeteilt, wie sie von Brändli (2001) definiert wurden. Krautsäume mit einer durchschnittlichen Tiefe von 2.1 m bis 5 m erhielten neu 5 statt 4 Punkte und Krautsäume mit einer durchschnittlichen Tiefe von über 5 m erhielten neu 7 statt 5 Punkte. Insgesamt wurden sechs Krautsäume von 4 auf 5 Punkte und ein Krautsaum von 5 auf 7 Punkte abgeändert. Anschliessend wurde der Wert der neu berechneten Krautsaumbreite (KRAUTBRKL_neu) von der Variabel WRSTRUKT abgezogen. Anhand der Differenzen zwischen dem Ökotonwert mit und ohne Abzüge der neu berechneten Krautsaumbreite wurde pro Gruppe die durchschnittliche Punktzahl für die Krautsaumbreite ermittelt und dann zum Ökotonwert ohne Krautsaumbreite addiert. Da sich die Differenzen zwischen den Ökotonwerten mit und ohne Krautsaumbreite innerhalb der drei Bewertungsgruppen „gering“, „mittel“ und „hoch“ kaum voneinander unterschieden, wurden allen Gruppen der gleiche Wert addiert (Tab. 3). Die Formel zur Berechnung des Ökotonwerts (OEKOLFI2) eines Waldrandes wurde nicht abgeändert.

Tab. 3: Durchschnittliche addierte Punkte für die Krautsaumbreite pro Qualitätsklassen. Die Einteilung basiert auf der Skala von Brändli & Ulmer (1999).

	Gering	Mittel	Hoch
LFI Skala	bis 55	56 - 75	über 75
Durchschnittliche Zuschläge für Krautsaumbreite	5	5	5

2.3.3. Umrechnungsformel und neue Bewertungsskala für LFI Waldränder

Mit den neu berechneten LFI4 Ökotonwerten, welche Durchschnittswerte für die Krautsaumbreite beinhalten, und mit den neu berechneten Krüsi Werten 2013 für 50 m lange Waldrandabschnitte, welche Durchschnittswerten für die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen beinhalten, wurde eine zweite Korrelation erstellt. Mit der linearen Funktion dieser neuen Korrelation wurden die Qualitätskategorien, das heisst die Grenzwerte der Krüsi Skala für die Bewertung von Waldrändern (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013), umgerechnet. Das Ergebnis war eine neue Bewertungsskala für LFI Ökotonwerte. Um zusätzliche Informationen über die Regression und die ihr zugrunde liegenden Daten zu erhalten und um die Anwendungsgrenzen der Funktion aufzuzeigen, wurden zusätzlich das Konfidenzintervall und das Vorhersageintervall ($\alpha = 0.05$) berechnet und zusammen mit der Regression in einer Abbildung dargestellt.

2.4. Repräsentativität der untersuchten Waldränder

Um einen Überblick über die untersuchten Waldränder zu erhalten, wurde ihre Verteilung innerhalb sämtlicher 1015 im LFI3 untersuchten Waldränder aufgezeigt. Die Waldränder wurden in einem Beeswarm-Boxplot-Diagramm dargestellt und miteinander verglichen. Als Differenzierungsmerkmal wurde der LFI3 Ökotonwert verwendet. Zusätzlich wurden die aufgewerteten und untersuchten sieben Waldränder aus dem Kanton Aargau hinzugefügt. Das Diagramm wurde mit dem R package beeswarm 0.1.6 (Eklund, 2013) erstellt.

2.4.1. Vergleich Ökotonwerte LFI3 und LFI4 (Methode LFI)

Die Auswahl der Waldränder für die Untersuchung basierte auf den im LFI3 erzielten Ökotonwerten (vgl. Kapitel 2.1.1). Für den in dieser Studie durchgeführten Vergleich mit den ökologischen Waldrandbewertungen, welche von den Mitarbeitenden der ZHAW mit der Methode Krüsi erhoben wurden und für die Entwicklung einer Umrechnungsformel, wurden hingegen die Ökotonwerte und die Erhebungsdaten aus dem LFI4, welche von der WSL bis Ende Herbst 2013 erhoben worden waren, verwendet. Um aufzuzeigen, wie sich die Waldränder zwischen den beiden Untersuchungsperioden LFI3 und LFI4 verändert haben, wurden die erzielten Ökotonwerte aus dem LFI3 und dem LFI4 mit Boxplots und einem Streudiagramm dargestellt.

2.4.2. Vergleich 50 m und 100 m (Methode Krüsi)

Um herauszufinden, ob die Bewertung mit der Methode Krüsi auch auf 50 m langen Waldrandabschnitten funktioniert und stabile Resultate liefert, wurden die 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitte in einem Streudiagramm einander gegenübergestellt und die Stärke der Korrelation ermittelt. Anschliessend wurden die 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitte anhand folgender Parameter miteinander verglichen: Erzielte Punktzahl der ökologischen Waldrandbewertung, Strauchgürteltiefe, Anzahl Baumarten in der Baumschicht, Anzahl verholzte Arten in der Strauch- und Krautschicht sowie Dornstraucharten in der Strauch- und Krautschicht. Der Vergleich zeigte, dass der ökologische Wert der Waldränder auf 100 m langen Abschnitten um den Faktor 1.11 (Median) höher lag. Die ursprünglich von Krüsi (1994) entwickelte Skala zur Beurteilung von 100 m langen Waldrandabschnitten wurde deswegen so angepasst, dass damit auch Waldränder beurteilt werden konnten, welche nur auf einem 50 m langen Abschnitt untersucht wurden. Die Werte der originalen Krüsi Skala wurden zu diesem Zweck durch 1.11 geteilt (Tab. 5).

2.5. Ökologische Bewertung der LFI Waldränder

Nachdem die Umrechnungsformel erstellt worden war, wurden die in dieser Studie untersuchten Waldränder anhand der Krüsi Werte 2013 für 50 m lange Waldrandabschnitte in die neue Krüsi Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte eingeteilt. Die LFI4 Ökotonwerte wurden mit der entwickelten Umrechnungsformel umgerechnet und ebenfalls in die neue Krüsi Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte eingeteilt. Mit dem Exakten Fischer-Test (Fisher-Yates-Test) wurde überprüft, ob sich die beiden Verteilungen signifikant voneinander unterscheiden. Der Exakte Fischer-Test wurde gewählt, weil die Bedingungen für den Chi-Quadrat-Test, nämlich mehr als drei Samples pro Qualitätskategorie, nicht erfüllt waren.

Um zudem einen Überblick über sämtliche im LFI3 untersuchten Waldränder und über die gemeinsam untersuchten Waldränder im LFI2, LFI3 und LFI4 zu erhalten, würden die LFI Ökotonwerte der entsprechenden Untersuchungen mit Hilfe der Umrechnungsformel umgerechnet und in die neue Krüsi Skala für 50 m lange Waldrandabschnitte eingeteilt. Mit dieser Auswertung wurde aufgezeigt, welchen ökologischen Zustand die LFI Waldränder gemäss der absoluten Krüsi Skala tatsächlich haben. Für die Gesamtübersicht wurden die LFI3 Ökotonwerte gewählt, weil es sich um den neusten vollständigen Datensatz handelt. Die LFI4 Ökotonwerte waren zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht vollständig erhoben.

3. Resultate

3.1. Methodenvergleich LFI und Krüsi: Entwicklung einer Umrechnungsformel

Der Vergleich mit den im LFI4 untersuchten Waldrändern und den mit der Methode Krüsi auf den 50 m Abschnitten beurteilten Waldrändern ergab einen mittleren positiven linearen Zusammenhang. Die aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau hoben sich klar von den übrigen LFI Waldrändern und den Top10 (LFI3) Waldrändern ab (Abb. 3).

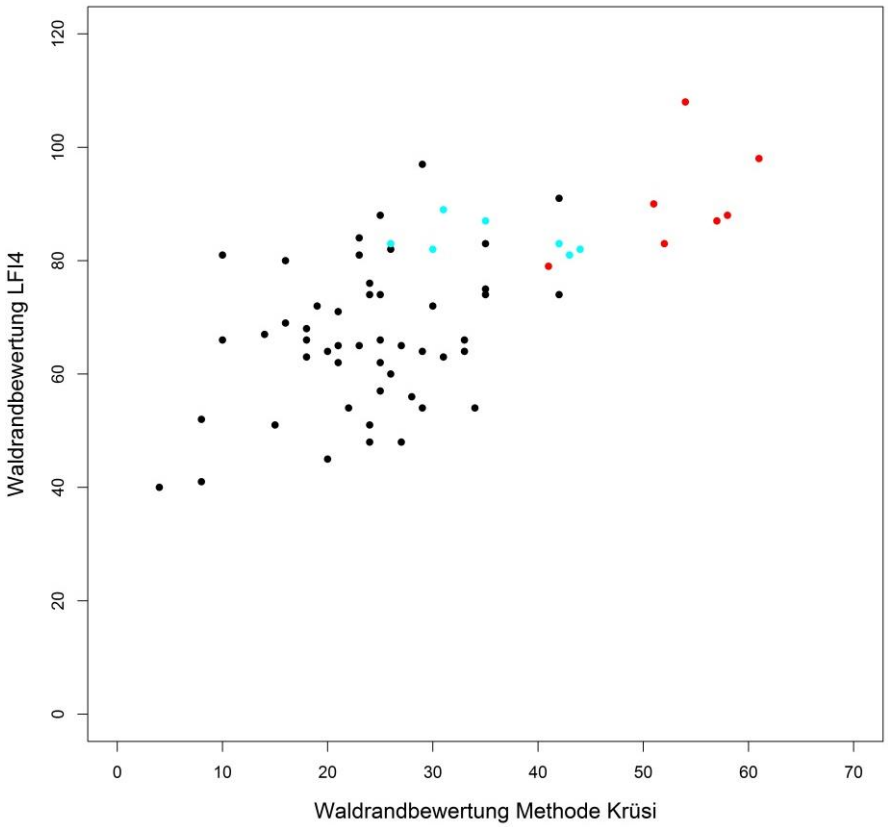

Abb. 3: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung (r^2 = 0.39, r = 0.62, n = 67).

3.1.1. Ausschluss von Waldrändern

Für die Auswertung und die Entwicklung einer Umrechnungsformel wurden insgesamt fünf Waldränder aus der Untersuchung ausgeschlossen (Tab. 4). Der Vergleich mit den im LFI4 untersuchten Waldrändern und den mit der Methode Krüsi auf den 50 m Abschnitten beurteilten Waldrändern (Abb. 3) ergab unter Ausschluss der fünf Ausreisser einen leicht besseren linearen Zusammenhang (Abb. 4)

Tab. 4: Aus der Untersuchung ausgeschlossene Waldränder. Die Spalte CLUSTER-NR. enthält die LFI-Datenbanknummer eines Waldrandes. Die Spalte PRODREG gibt die Region an, in der die Waldränder liegen: 1 = Jura; 3 = Voralpen; 4 = Alpen. Die Spalte HOESTUFW gibt die Höhenstufe an, in der die Waldränder liegen: 2 = kollin/submontan; 3 = untere montane; 4 = obere montane. In der Spalte SPEZIALCODE sind die Waldränder mit einem ähnlichen Ökotonwert gemäss LFI3 zusammengefasst.

CLUSTER-NR.	PRODREG	HOESTUFW	SPEZIALCODE	GRUND FÜR AUSSCHLUSS
142842	4	2	B	Die ökologischen Waldrandbewertungen ergaben mit den Methoden LFI (94 Punkte) und Krüsi (28 Punkte) sehr verschiede Resultate. Dieser Top10 Waldrand wies auf der linken Seite des Knickpunkts einen neu gebauten Sitzplatz auf. Dieser wurde möglicherweise seit der letzten LFI Unterusuchung im Jahr 2011 erstellt und war für das eher schlechte Ergebnis der Bewertung mit der Methode Krüsi verantwortlich.
33107	1	3	A	Der Wald hinter dem Waldrand und der Waldrand selber wurden offensichtlich kurz vor dem Erhebungszeitpunkt mit der Methode Krüsi massiv gerodet resp. durchforstet. Die LFI Aufnahme wurde im Jahr 2010 durchgeführt. Es ist wahrscheinlich, dass der Waldrand damals einen anderen Zustand aufwies.
21487	1	3	D	Die ermittelten ökologischen Bewertungen des Waldrandes ergaben mit den Methoden LFI (78 Punkte) und Krüsi (10 Punkte) sehr verschiede Resultate. Die LFI Resultate (Aufnahme 2010) sind nicht nachvollziehbar. Die Differenz war wahrscheinlich auf einen massiven forstlichen Eingriff oder auf die Untersuchung eines falschen Abschnitts zurückzuführen. Bei den Aufnahmen im Jahr 2013 war kein Waldrand (kein Strauchgürtel, kein Krautsaum) vorhanden und die Artenvielfalt war äusserst gering.
33119	1	3	C	Während den Untersuchungen mit der Methode Krüsi konnte nicht zweifelsfrei bestimmt werden, wie die Waldrandlinie verlief. Eine Reihe grosser Bäume war vermutlich seit der letzten LFI Aufnahme (2010) gefällt worden, wodurch sich die Waldrandlinie möglicherweise entscheidend verändert hat.
23301	3	4	C	Im Vergleich mit der erreichten Punktzahl aus der LFI4 Untersuchung wurde dieser Waldrand mit der Methode Krüsi um einiges besser beurteilt. Möglicherweise wurde zwischen dem Zeitpunkt der LFI4 Untersuchung und der Aufnahme mit der Methode Krüsi ein forstlicher Eingriff durchgeführt. Die zahlreich am Waldrand stehengelassenen Baumstümpfe mit grossem Durchmesser deuten darauf hin. Der mehrere Meter breite Kiesweg, welcher hinter der Waldrandlinie verlief und den Waldrand vom eigentlichen Wald abtrennte, war möglicherweise ebenfalls ein Grund für die unterschiedliche Bewertung.

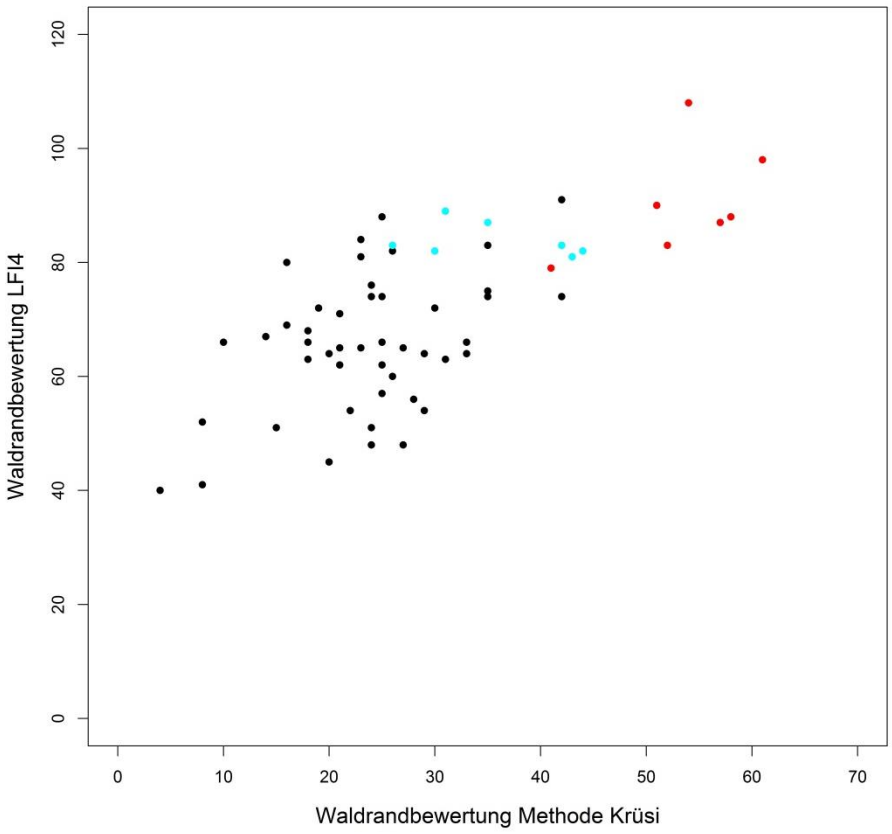

Abb. 4: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt ($r^2 = 0.48$, $r = 0.69$, $n = 62$).

3.1.2. Umrechnungsformel und neue Bewertungsskala für LFI Waldränder

Die stärkste Korrelation wurde erzielt, wenn bei der Methode Krüsi die Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und tote Bäume“ und bei den Ökotonwerten aus der LFI4 Untersuchung die „Krautsaumbreite“ von der Gesamtpunktzahl abgezogen wurden (Abb. 5). Wurden für die „Krautsaumbreite“ (Methode LFI) sowie für die „Krautsaumparameter“ und „Kleinstrukturen“ (Methode Krüsi) Durchschnittswerte berechnet und addiert, war die Korrelation etwas weniger stark (Abb. 6).

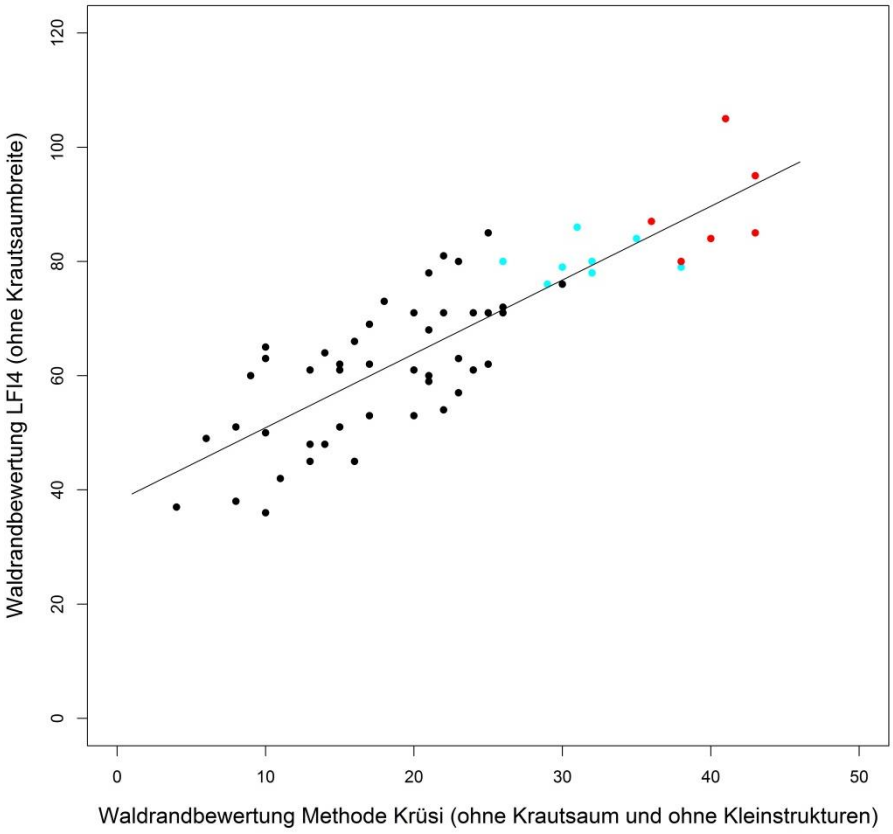

Abb. 5: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt ($r^2 = 0.71$, r = 0.84, n = 62). y = a + bx (a= 37.9923, b = 1.2923).

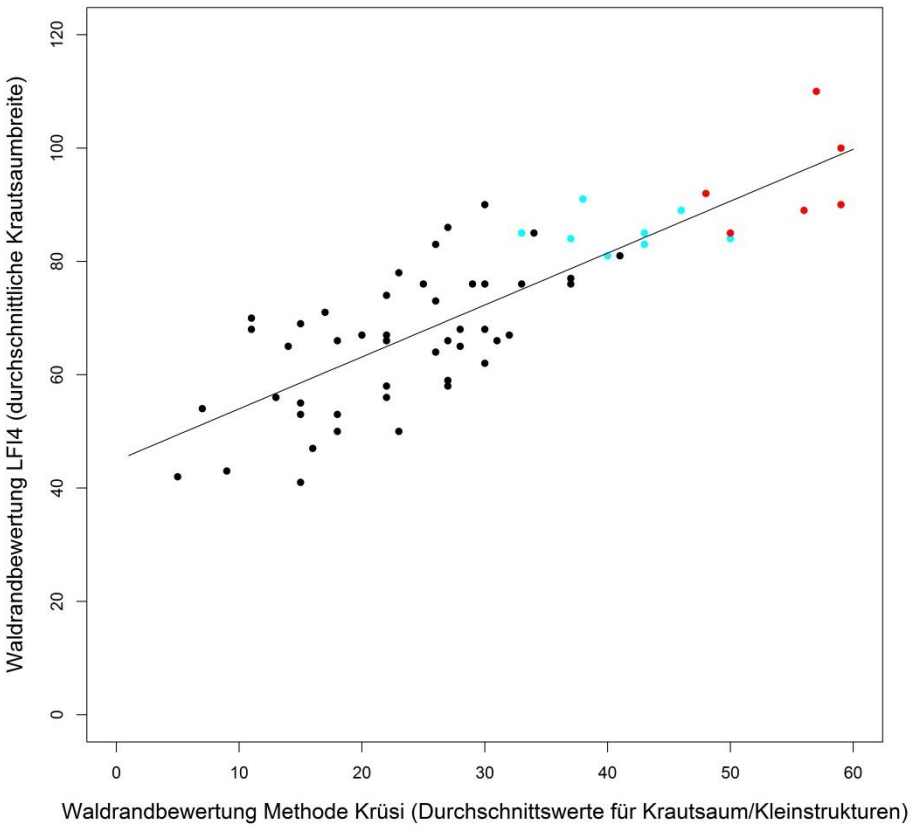

Abb. 6: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt unter Einbezug der durchschnittlichen Krautsaumbreiten bei den LFI Werten und den Durchschnittswerten für die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen bei den Krüsi-Werten. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt ($r^2 = 0.67$, $r = 0.82$, $n = 62$). $y = a + bx$ ($a = 44.8288$, $b = 0.9163$).

Der vom Konfidenzintervall gelieferte Bereich zeigt die Fläche an, in dem die wahre Korrelation mit 95% Wahrscheinlichkeit liegt. Das Konfidenzintervall für die etwas weniger starke Korrelation – unter Berücksichtigung der Durchschnittswerte für die Krautsaumparameter und Kleinstrukturen – war insgesamt schmal. Im mittleren Abschnitt fiel es zudem etwas schmäler aus als an den beiden Enden der Regressionsgeraden. Im Vergleich zum Konfidenzintervall lag das Vorhersageintervall weiter von der Regressionsgeraden entfernt. Es beinhaltet jene Fläche, in welche 95% der Datenpunkte fallen. Mit Hilfe des Vorhersageintervalls kann vorausgesagt werden, in welchen Bereich eine zukünftige Bewertung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu liegen kommt (Abb. 7).

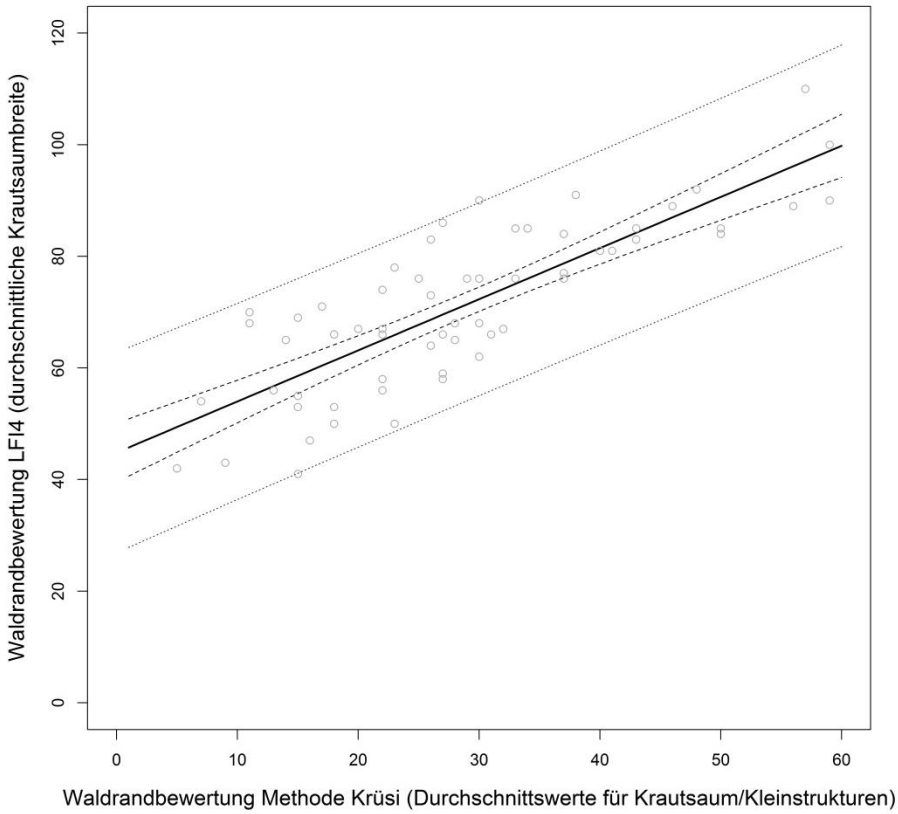

Abb. 7: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt unter Einbezug der durchschnittlichen Krautsaumbreiten bei den LFI Werten und den Durchschnittswerten für die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen bei den Krüsi-Werten. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl, die Top10 (LFI3) Waldränder sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau. Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt. Dargestellt sind das Konfidenzintervall (gestrichelte Linie) und das Vorhersageintervall (gepunktete Linie) ($\alpha = 0.05$) ($r^2 = 0.67$, $r = 0.82$, $n = 62$). $y = a + bx$ ($a = 44.8288$, $b = 0.9163$).

Mit der linearen Funktion (Abb. 6) wurde die Krüsi Skala für die Bewertung von 50 m langen Waldrandabschnitten in die entsprechenden LFI Skala transformiert. Waldränder, die mit der Methode Krüsi auf einem 50 m Abschnitt 53 oder mehr Punkte erreichten, wurden als „sehr wertvoll“ taxiert. Dieser Wert entsprach einem LFI Ökotonwert von 93 oder grösser. Ab 35 Punkten wurde ein Waldrand auf der neuen Krüsi Skala, welche für 50 m Abschnitte galt, als „befriedigend“ beurteilt. Dies entsprach einem LFI Ökotonwert von 77 (Tab. 5).

Tab. 5: Grenzen der Qualitätsklassen bei den Methoden Krüsi (100 m), Krüsi (50 m), und LFI (50 m) *[1]Grenzwerte der original Krüsi Skala / 1.11. *[2]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der Krüsi Skala berechnet (50 m).

		Qualitätskategorien gemäss Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994)					
Abschnitts-länge	**Skala**	**Waldrand n. vorhanden**	**Schlecht**	**Ungenügend**	**Befriedigend**	**Wertvoll**	**Sehr wertvoll**
100 m	**Krüsi original**	≤ 18	19 - 28	29 - 38	39 - 48	49 - 58	≥ 59
50 m	**Krüsi berechnet *[1]**	≤ 16	17 - 25	26 - 34	35 - 43	44 - 52	≥ 53
50 m	**LFI *[2]**	≤ 59	60 - 68	69 - 76	77 - 84	85 - 92	≥ 93

3.2. Repräsentativität der untersuchten Waldränder

Insgesamt wurden aus der Liste mit den 360 LFI4 Waldrändern 52 Waldränder mit der Methode Krüsi bewertet. Neun Waldränder wurden aus untenstehenden Gründen durch Ausweichwaldränder ersetzt. Zur Reserve wurden zusätzlich drei Ausweichwaldränder untersucht.

- Sicherheitsgründe: Gelände zu steil, Begrenzung des Waldrands durch stark befahrene Strasse.
- Unzugänglichkeit: Waldrand war mit Bauten und grossen Holzbeigen zugestellt.
- Offensichtlicher kürzlich durchgeführter forstlicher Eingriff.
- Korrekter Waldrandverlauf konnte nicht sicher eruiert werden.
- Probeflächenzentrum beziehungsweise der Knickpunkt konnte nicht gefunden wurden.

Die untersuchten LFI Waldränder waren gleichmässig auf die fünf verschiedenen Qualitätsklassen A, B, C, D und E aufgeteilt. Aus der Qualitätsklasse A wurden zwölf (inklusive zwei Ausweichwaldränder), aus Qualitätsklasse B zehn (inklusive drei Ausweichwaldränder), aus Qualitätsklasse C zehn (inklusive vier Ausweichwaldränder), aus Qualitätsklasse D zehn (inklusive zwei Ausweichwaldränder) und aus Qualitätsklasse E zehn (inklusive ein Ausweichwaldrand) Waldränder untersucht. Die proportionale Verteilung der Waldränder auf die fünf Regionen ergab, dass im Jura 13, im Mittelland 12, in den Voralpen 13, in den Alpen 10 und auf der Alpensüdseite 5 Waldränder untersucht wurden. 20 Waldränder lagen in der kollinen/submontanen, 16 Waldränder auf der unteren montanen und 17 Waldränder auf der oberen montanen Höhenstufe.

Von den acht untersuchten Top10 (LFI3) Waldrändern lagen drei im Jura, zwei im Mittelland und drei in den Voralpen. Fünf Waldränder lagen auf der kollinen/submontanen und drei auf der unteren montanen Stufe. Die sieben aufgewerteten und untersuchten Waldränder im Kanton Aargau lagen alle auf der kollinen/submontanen Höhenstufe.

Die für die Untersuchung aufgrund des LFI3 Ökotonwerts ausgewählten Waldränder waren im Vergleich mit sämtlichen 1015 im Rahmen der im LFI3 untersuchten Waldränder gleichmässig verteilt. Auffallend war, dass die meisten der 1015 im LFI3 untersuchten Waldränder einen Ökotonwert zwischen etwa 57 und 79 aufwiesen. Während die Top10 (LFI3) Waldränder klar am oberen Ende der Skala lagen, waren die sieben im Kanton Aargau aufgewerteten und untersuchten Waldränder besser als der Durchschnitt, jedoch schlechter als die Top10 (LFI3) Waldränder (Abb. 8).

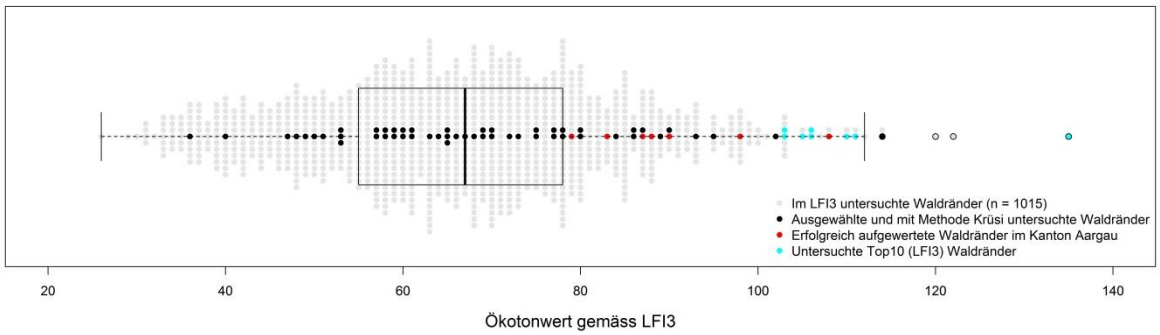

Abb. 8: Verteilung sämtlicher im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015). Die Verteilung basiert auf dem Ökotonwert der LFI3 Untersuchung (graue Punkte). Hervorgehoben sind die für diese Studie ausgewählten und untersuchten LFI4 Waldränder (schwarze Punkte) (n = 52) sowie die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) (n = 8). Zusätzlich integriert sind die erfolgreich aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau (rote Punkte) (n = 7).

3.2.1. Vergleich Ökotonwerte LFI3 und LFI4

Der Vergleich zwischen den LFI3 und den LFI4 Ökotonwerten zeigte, dass die untersuchten Waldränder zwischen der LFI3 (Ökotonwerte zwischen 36 – 135) und der LFI4 Untersuchung (Ökotonwerte zwischen 40 – 97) insgesamt näher zusammenrückten. Auffallend war, dass die für diese Untersuchung aufgrund des LFI3 Ökotonwerts definierten Qualitätsklassen A, B, C, D und E, auf welchen die Waldrandauswahl für die Untersuchung beruhte, im LFI4 stark durcheinandergewirbelt wurden. Die Ökotonwerte haben sich so stark verschoben, dass die Klassen nicht mehr

eindeutig sichtbar waren. Die acht untersuchten Top10 (LFI3) Waldränder gehörten bei der LFI4 Untersuchung immer noch zu den Besten, waren aber nicht mehr top. Während die Top10 (LFI3) Waldränder bei der LFI3 Untersuchung einen Ökotonwert zwischen 103 bis 135 (Mittelwert: 109.88) erreichten, erreichten die gleichen Waldränder bei der LFI4 Untersuchung Ökotonwerte zwischen 79 und 89 (Mittelwert 83.25) (Abb. 9). Dass die Unterschiede der Waldränder zwischen den LFI3 und LFI4 Untersuchungen zum Teil relativ gross waren, zeigte auch das Streudiagramm (Abb. 10).

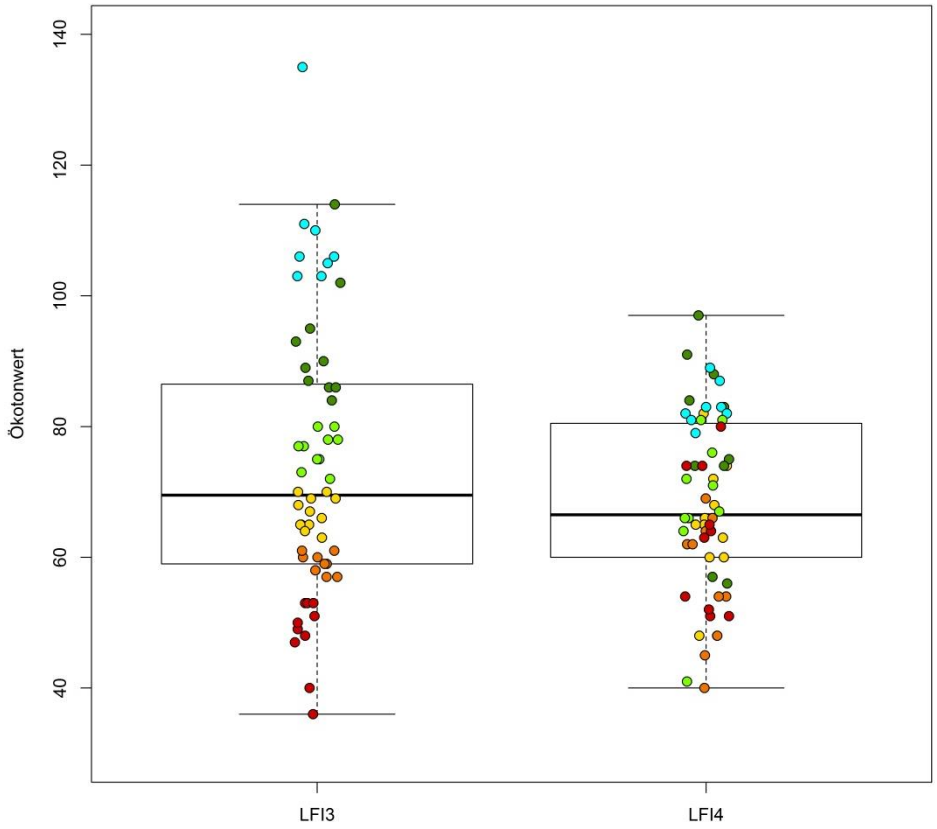

Abb. 9: Vergleich der untersuchten Waldränder anhand des Ökotonwerts aus dem LFI3 (n = 60) und dem LFI4 (n = 60) (rote Punkte = Qualitätsklasse E; orange Punkte = C; gelbe Punkte = A; hellgrüne Punkte = D; dunkelgrüne Punkte = B; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder).

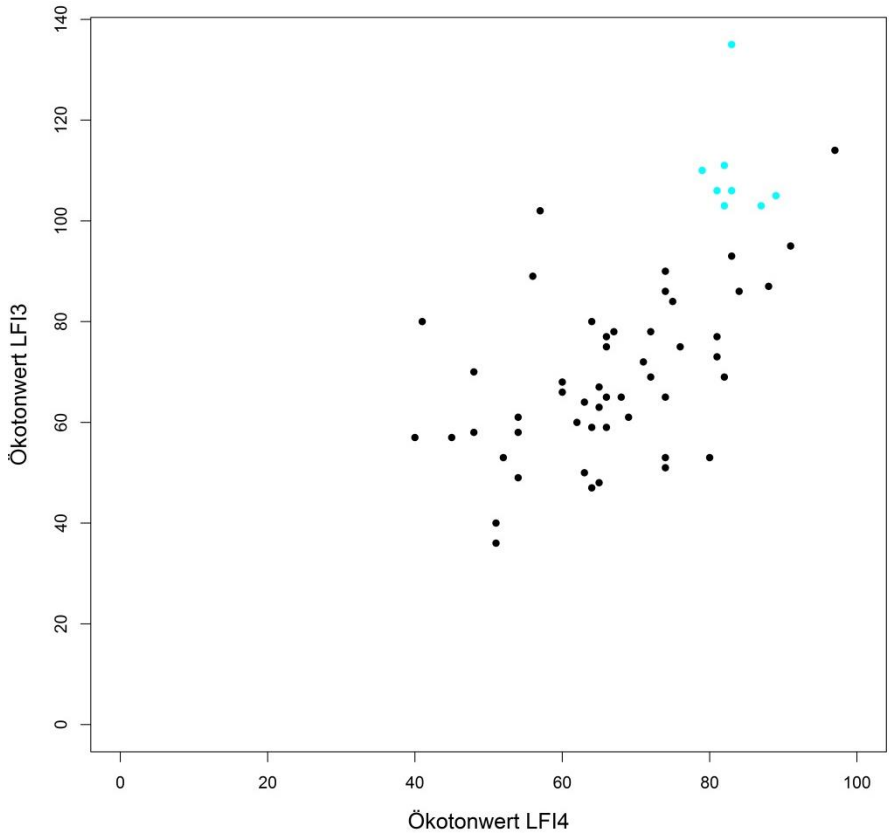

Abb. 10: Zusammenhang der untersuchten Waldränder anhand des LFI3 und LFI4 Ökotonwerts (schwarze Punkte = LFI Waldränder; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder) (r^2 = 0.38, r = 0.62, n = 60). Punktüberlagerungen sind möglich.

3.2.2. Vergleich von 50 und 100 m langen Waldrandabschnitten

Bei den LFI4 Waldrändern lagen die Krüsi Werte 2013 bei einer Waldrandabschnittslänge von 50 m zwischen 4 und 42 Punkten, wobei 12 Waldränder die Bewertung „Waldrand nicht vorhanden“ (< 19 Punkte), 27 Waldränder die Bewertung „schlecht“ (19-28 Punkte), elf Waldränder die Bewertung „ungenügend“ (29-38 Punkte) und zwei Waldränder die Bewertung „befriedigend“ (39-48 Punkte) erhielten. Bei den Top10 (LFI3) Waldrändern wurden Werte zwischen 26 und 44 Punkten erzielt, wobei ein Waldrand als „schlecht“, drei Waldränder als „ungenügend“ und vier Waldränder als „befriedigend“ beurteilt wurden. Die ökologisch erfolgreich aufgewerteten und untersuchten Waldränder im Kanton Aargau erzielten Werte zwischen 41 und 61 Punkten, wobei ein Waldrand als „befriedigend“, fünf Waldränder als „wertvoll“ (49-58 Punkte) und ein Waldrand als „sehr wertvoll“ (> 58 Punkte) beurteilt wurde. Unter Berücksichtigung aller untersuchten Waldränder (n = 67) wurden 17.9 % als „Waldrand nicht vorhanden“, 41.8 % als „schlecht“, 20.9 % als „ungenügend“, 10.4 % als „befriedigend“, 7,5 % als „wertvoll“ und 1.5 % als „sehr wertvoll“ eingestuft.

Der Vergleich zwischen den 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitten, welche mit der Methode Krüsi bewertet wurden, ergab einen starken linearen Zusammenhang (Abb. 11). Der Vergleich der einzelnen ausgewählten Parameter zwischen den 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitten ergab bei den 100 m Abschnitten durchschnittlich eine etwas höhere Punktzahl (Mittelwert: 31.64), was zu einer leicht besseren Gesamtbeurteilung führte, als bei den 50 m Abschnitten (Mittelwert: 28.36). Auf den 100 m langen Waldrandabschnitten wurde ein um den Faktor 1.11 (Median) höherer ökologischer Wert als auf den 50 m langen Waldrandabschnitten erzielt. Auf Waldrandabschnitten von 50 m gab es mehr Waldränder mit der Beurteilung „Waldrand nicht vorhanden“ und „schlecht“ als auf 100 m langen Taxationsstrecken. Dafür gab es weniger „ungenügende“ Waldränder. In den drei oberen Qualitätskategorien „befriedigend“, „wertvoll“ und „sehr wertvoll“ war die Anzahl zwischen den beiden Waldrandabschnittslängen ausgeglichen (Tab. 6). Auf beiden Waldrandabschnittslängen waren sowohl die durchschnittliche Strauchgürteltiefe mit 2.82 m (50 m abschnitt) und 2.78 m (100 m Abschnitt) als auch die Standardabweichung der Strauchgürteltiefe mit 2.34 m (50 m Abschnitt) und 2.21 m (100 m Abschnitt) annähernd gleich gross. Unterschiede gab es hingegen bei den Artenzahlen: Auf den 100 m langen Abschnitten wurde in der Baumschicht mit 4.98 Baumarten pro 100 m durchschnittlich eine Art mehr nachgewiesen als auf den 50 m Abschnitten (3.95 Baumarten pro 50 m). Bei den verholzten Arten in der Strauch- und Krautschicht wurden auf den 100 m langen Abschnitten (12.87 verholzte Arten pro

100 m) durchschnittlich zwei Arten mehr nachgewiesen als auf den 50 m langen Abschnitten (10.5 verholzte Arten pro 50 m) (Tab. 6).

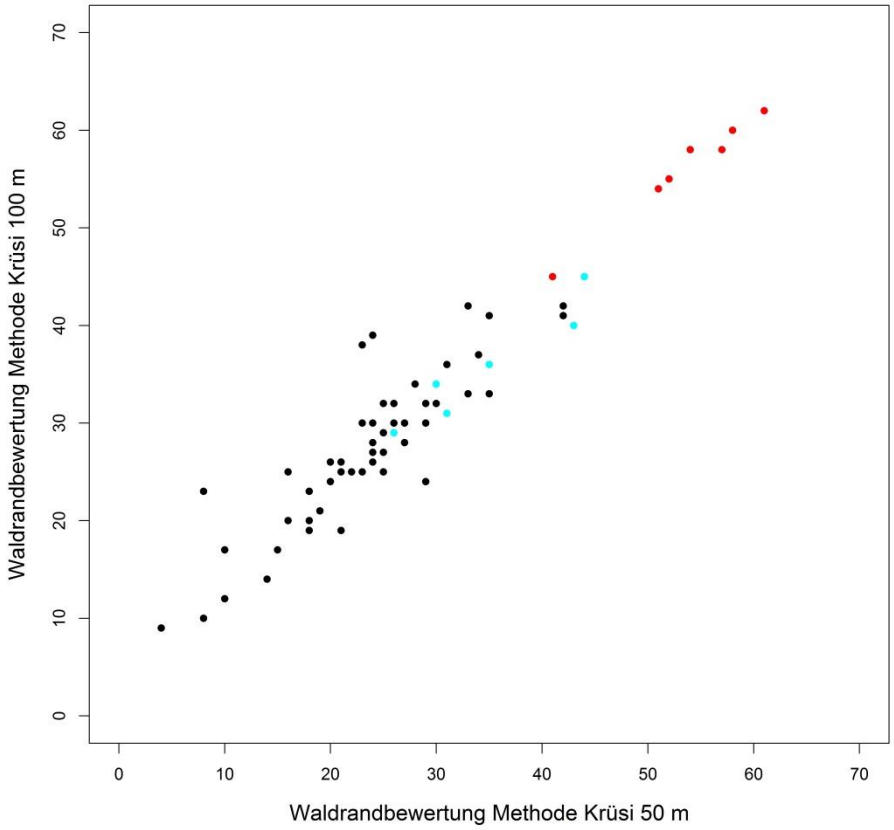

Abb. 11: Zusammenhang zwischen den mit der Methode Krüsi auf 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitten erzielten ökologischen Waldrandbewertungen (schwarze Punkte = Auswahl LFI4 Waldränder; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder; rote Punkte = erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau) (r^2 = 0.91, r = 0.95, n = 67). Punktüberlagerungen sind möglich.

Tab. 6: Vergleich der 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitte, welche mit der Methode Krüsi im Rahmen dieser Untersuchung bewertet wurden (n = 67).

			50 m	100 m
Ökologische Waldrand-bewertung	[Punkte]	Min	4	9
		Max	61	62
		Mittelwert	28.36	31.36
		Median	26	30
		SD	12.26	11.66
Ökologische Waldrand-bewertung in Qualitätsklassen gemäss Gesamtpunktzahl	[#]	Waldrand n.vorhanden	6	12
		Schlecht	23	28
		Ungenügend	22	14
		Befriedigend	10	7
		Wertvoll	4	5
		Sehr wertvoll	2	1
Strauchgürteltiefe	[m]	Min	0	0
		Max	16.7	17.4
		Mittelwert	2.82	2.78
		SD	2.34	2.21
Baumarten in Baumschicht	[#]	Min	0	0
		Max	11	11
		Mittelwert	3.95	4.98
		SD	2.15	2.21
Verholzte Arten in Strauch- und Krautschicht	[#]	Min	4	5
		Max	22	22
		Mittelwert	10.5	12.87
		SD	3.74	3.81
Dornstraucharten in Strauch- und Krautschicht	[#]	Min	0	0
		Max	3	3
		Mittelwert	1.28	1.53
		SD	1.06	1.03

3.3. Ökologische Bewertung von Waldrändern

3.3.1. In Studie untersuchte LFI Waldränder

Von den mit der Methode Krüsi untersuchten 55 LFI4 Waldrändern wiesen gemäss neuer Krüsi Skala für 50 m Abschnitte (Tab. 5) 82% eine ökologisch ungenügende (Qualitätskategorien „Waldrand nicht vorhanden“, „schlecht“ und „ungenügend“) und 18% eine ökologische genügende (Qualitätskategorien „befriedigend“, „wertvoll“ und „sehr wertvoll“) Qualität auf. Gemäss den mit der Umrechnungsformel umgerechneten Ökotonwerten aus dem LFI4 und der Einteilung dieser Ergebnisse in die neue Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte (Tab. 5) wiesen 73% eine ökologisch ungenügende und 27% eine ökologisch genügende Qualität auf. Sowohl mit der Methode Krüsi, als auch mit der Methode LFI wurden keine Waldränder als ökologisch „sehr wertvoll“ eingestuft (Tab. 7 und Abb. 12). Die Überprüfung mit dem exakten Fischer-Test ergab kein signifikantes Resultat (p-Wert = 0.42). Das heisst die beiden Verteilungen unterschieden sich statistisch nicht voneinander. Gemäss LFI Ökotonskala (Brändli & Ulmer, 1999; Brändli, 2001) wiesen von den in der Untersuchung 55 berücksichtigten Waldrädern 18% eine geringe, 53% eine mittlere und 29% eine hohe Qualität auf (Tab. 8 und Abb. 13).

Tab. 7: Einteilung der 55 untersuchten LFI Waldränder in die neue Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte. Die Einteilung basiert auf den im LFI4 erzielten und mit der Umrechnungsformel umgerechneten Ökotonwerten (linke Spalte) und den Krüsi Werten 2013 (50 m) (rechte Spalte).

Bewertungsskala	**In Studie untersuchte LFI4 Waldränder (n = 55)**			
	Umgerechnete LFI4 Ökotonwerte		**Im Feld erhobene Krüsi Werte 2013 (50 m)**	
	Anzahl	**%**	**Anzahl**	**%**
Waldrand nicht vorhanden	12	22	8	15
Schlecht	17	31	23	42
Ungenügend	11	20	14	25
Befriedigend	11	20	9	16
Wertvoll	4	7	1	2
Sehr wertvoll	0	0	0	0

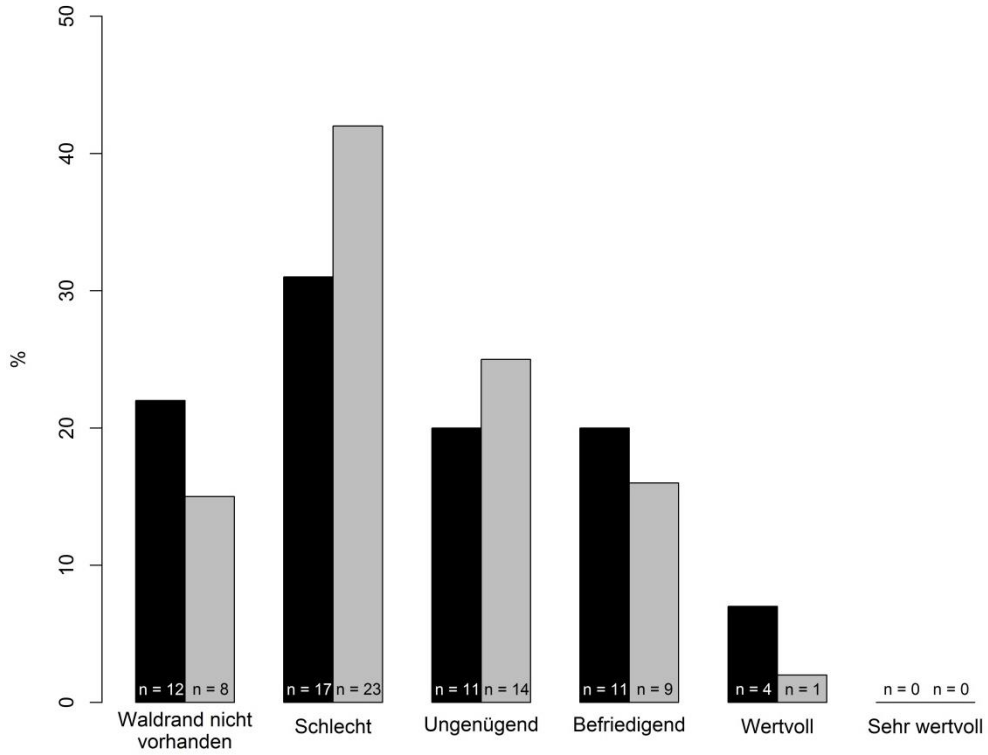

Abb. 12: Einteilung der untersuchten LFI Waldränder in die neue Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte. Die Einteilung basiert auf den im LFI4 erzielten und mit der Umrechnungsformel umgerechneten Ökotonwerten (schwarz) und den Krüsi Werten 2013 (50 m) (grau) (n = 55).

Tab. 8: Einteilung der in dieser Studie untersuchten LFI Waldränder in die LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den erzielten Ökotonwerten im LFI4.

Bewertungsskala	**In Studie untersuchte LFI4 Waldränder (n = 55)**	
	Anzahl	**%**
gering (bis 55)	10	18
mittel (56 - 75)	29	53
hoch (ab 75)	16	29

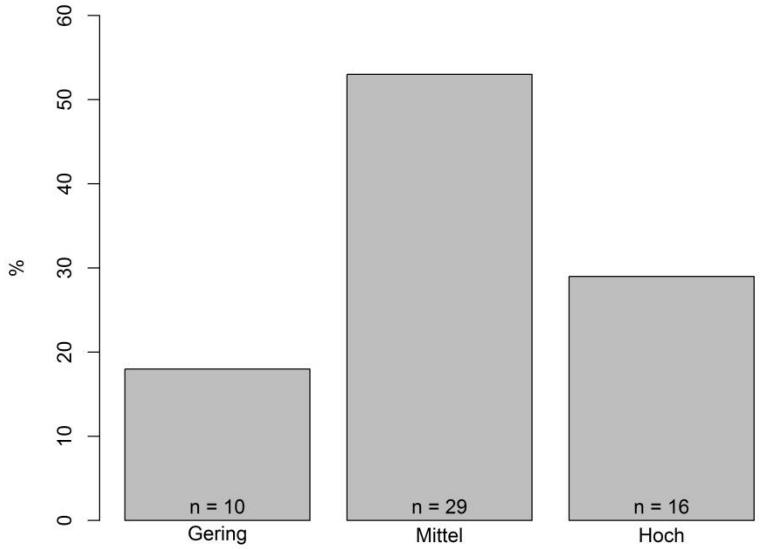

Abb. 13: Einteilung der in dieser Studie untersuchten LFI Waldränder in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den erzielten Ökotonwerten im LFI4 (n = 55).

3.3.2. Vergleich von LFI2, LFI3 und LFI4 Waldrändern

Von sämtlichen 1015 im LFI3 untersuchten Waldrändern wiesen gemäss umgerechnetem Ökotonwerte 72% eine ökologisch ungenügende (Qualitätskategorien „Waldrand nicht vorhanden“, „schlecht“ und „ungenügend) und 28% eine ökologisch genügende (Qualitätskategorien „befriedigend“, „wertvoll“ und „sehr wertvoll“) Qualität auf. 34% wurden der Qualitätskategorie „Waldrand nicht vorhanden“ zugewiesen und lediglich 6% wurden als „sehr wertvoll“ taxiert (Abb. 14). Gemäss der drei teiligen relativen LFI Skala konnten von den 1015 im LFI3 untersuchten Waldrändern 26% einem „geringen“, 44% einem „mittleren“ und 30% einem „hohen“ Ökotonwert zugewiesen werden (Abb. 15).

Von den gemeinsamen 405 im LFI2, LFI3 und LFI4 untersuchten Waldrändern wiesen gemäss umgerechneten Ökotonwerten zwischen 70% (LFI3) bis 76% (LFI4) eine ökologisch ungenügende und zwischen 24% (LFI4) bis 30% (LFI3) eine ökologisch genügende Qualität auf. Zwischen 30% (LFI3) und 38% (LFI4) der Waldränder wurden der Qualitätskategorie „Waldrand nicht vorhanden“ zugewiesen und zwischen 4% (LFI4) bis 8% (LFI3) der Waldränder wurden als „sehr wertvoll“ taxiert. Innerhalb der Qualitätskategorien waren die Verteilungen über die drei LFI Perioden sehr ähnlich. Die grössten Verschiebungen gab es in den Qualitätskategorien „Waldrand nicht vorhanden“ und „sehr wertvoll“. Tendenziell nahm die Anzahl der sehr schlechten Waldränder vom LFI2 zum LFI4 zu. Die Anzahl der sehr wertvollen Waldränder nahm vom LFI2 zum LFI4 hingegen ab (Abb. 16). Ein ähnliches Bild zeigte auch die Einteilung der Ökotonwerte in die drei teilige LFI Skala. Von den 405 gemeinsam untersuchten Waldrändern konnten zwischen 24% (LFI3) bis 29% (LFI4) einem „geringen“ und zwischen 27% (LFI4) bis 31% (LFI3) einem „hohen“ Ökotonwert zugewiesen werden. Auch hier gab es eine ganz leichte Verschiebung innerhalb der drei LFI Ökotonklassen. Tendenziell nahm die Anzahl der schlechten Waldränder vom LFI2 zum LFI4 minim zu und die Anzahl der guten Waldränder nahm entsprechend ab. Bei der Anzahl Waldränder mit einem „mittleren“ Ökotonwert gab es nur kleine Verschiebungen (Abb. 17).

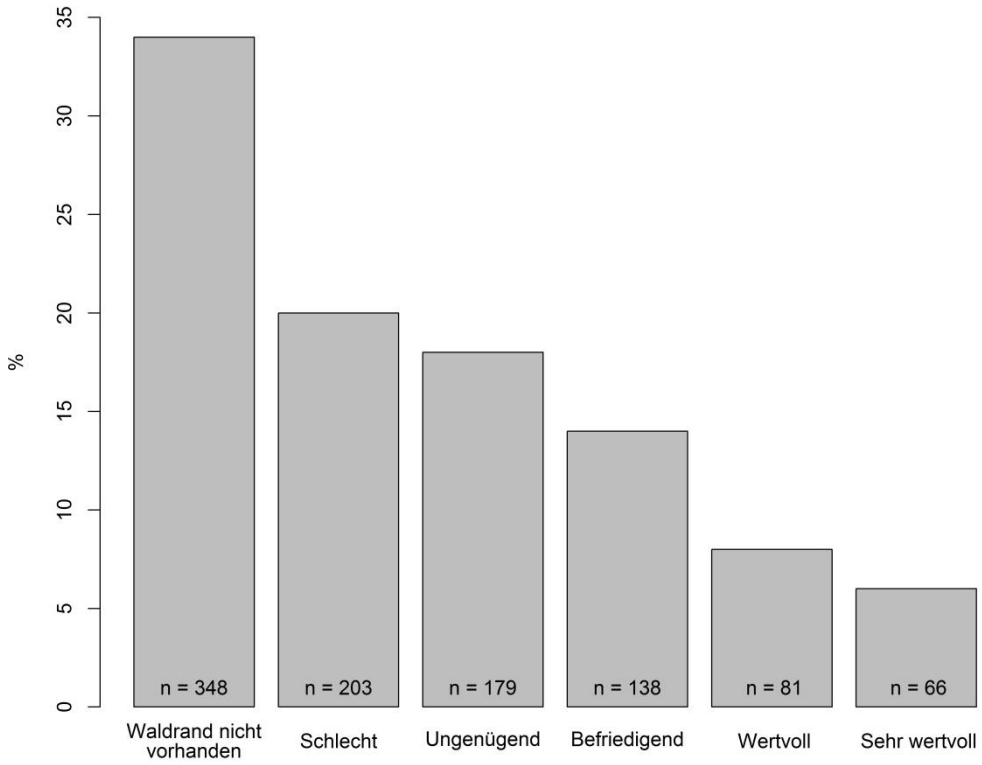

Abb. 14: Einteilung sämtlicher im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015) in die neu berechnete LFI Bewertungsskala (50 m). Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI3.

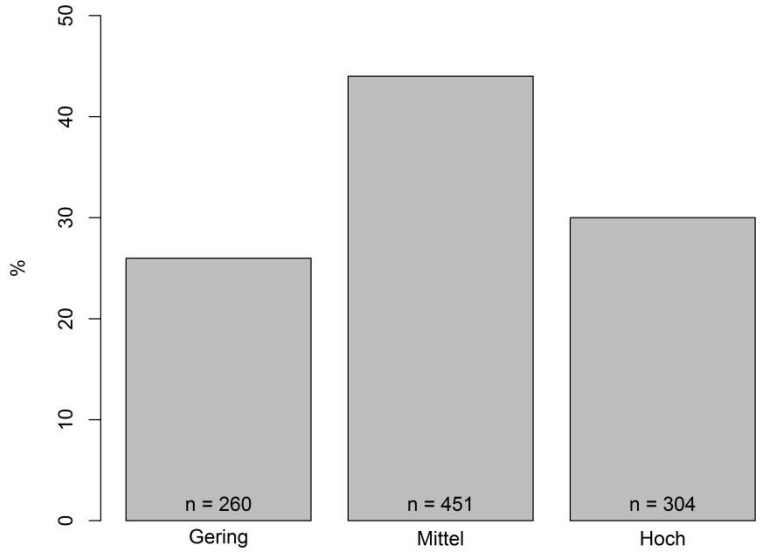

Abb. 15: Einteilung der im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015) in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI3.

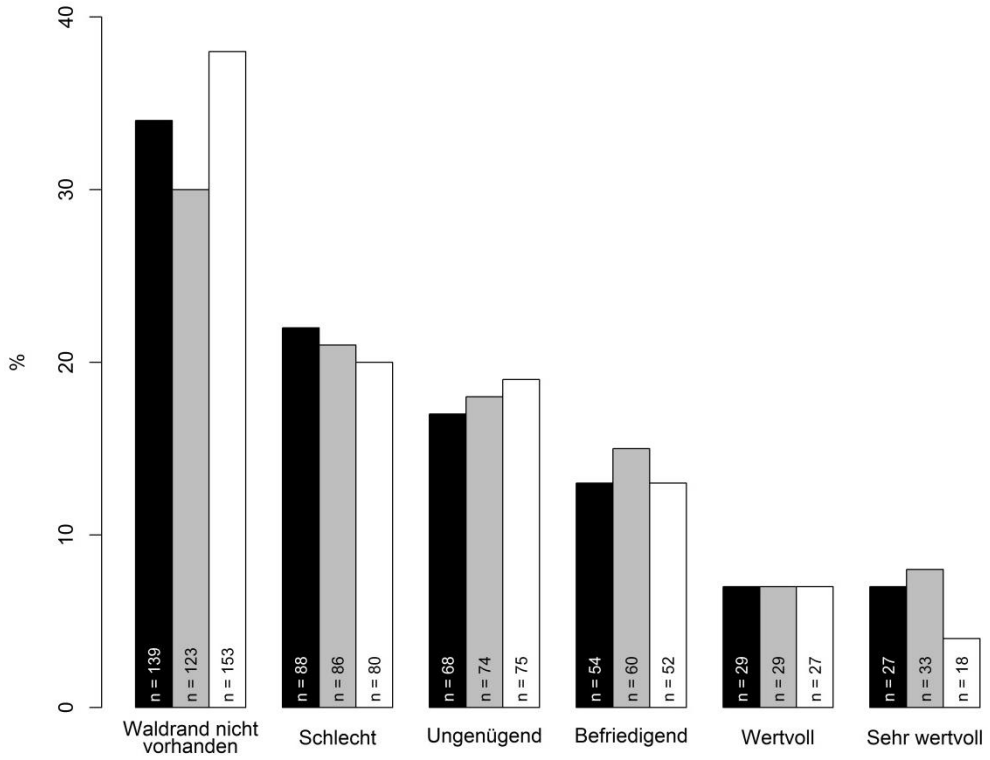

Abb. 16: Einteilung der gemeinsam im LFI2 (schwarz), LFI3 (grau) und LFI4 (weiss) untersuchten Waldränder in die neu berechnete LFI Bewertungsskala (50 m). Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI2 dem LFI3 und dem LFI4 (n = 405).

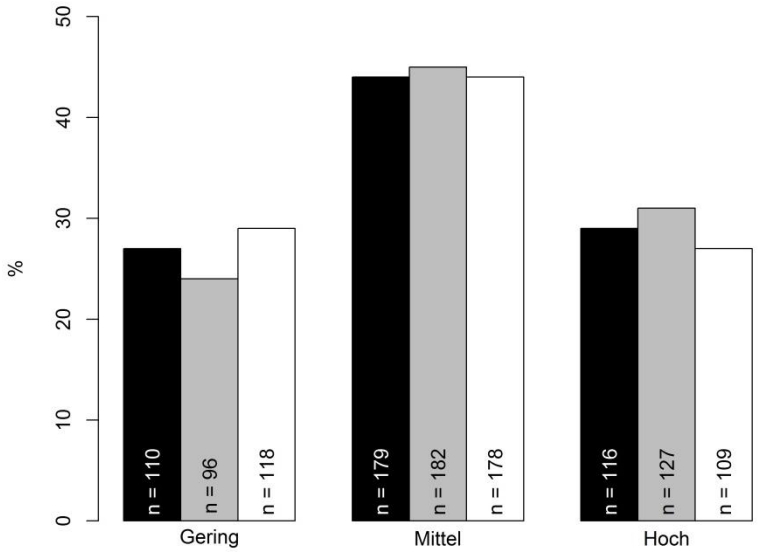

Abb. 17: Einteilung der gemeinsam im LFI2 (schwarz), LFI3 (grau) und LFI4 (weiss) untersuchten Waldränder in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI2, dem LFI3 und dem LFI4 (n = 405).

4. Diskussion

4.1. Zusammenhang zwischen LFI Ökotonwerten und Krüsi-Punktzahlen

Die Untersuchung ergab einen engen linearen Zusammenhang zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den Krüsi-Punktzahlen (r^2 = 0.67). Das heisst eine Umrechnung der Werte zwischen den Methoden LFI und Krüsi ist leicht möglich. Für die erfolgreiche Entwicklung der Umrechnungsformel war es sehr hilfreich und wichtig, dass neben den ursprünglich für die Untersuchung ausgewählten 52 LFI4 Waldrändern auch acht der zehn Top10 (LFI3) Waldränder und sieben erfolgreich aufgewertete Waldränder aus dem Kanton Aargau integriert wurden, da in der ursprünglichen Auswahl der LFI4 Waldränder praktisch keine Waldränder mit einer guten bis sehr guten ökologischen Qualität vorhanden waren. Durch die Integration dieser ökologisch wertvollen bis sehr wertvollen Waldränder wurde die Punkteskala im oberen Bereich entscheidend vergrössert. Der im Rahmen des LFI2 definierte Ökotonwert 75, ab welchem Waldränder gemäss LFI Ökotonskala als „hochwertig“ taxiert werden (Brändli, 2001), ist – wie die vorliegende Untersuchung nun zeigt – zu tief. Die neuen Auswertungen haben gezeigt, dass Waldränder mit einem LFI Ökotonwert 93 gemäss Umrechnungsformel als „sehr wertvoll“ taxiert werden können. Dass der Wert für hochwertige Waldränder eigentlich bei ungefähr 100 liegen müsste, wurde bereits von Brändli & Ulmer (1999) vermutet.

4.1.1. Mögliche Fehlerquellen

Obwohl der Zusammenhang zwischen den LFI4 Ökotonwerten und den mit der Methode Krüsi ermittelten Punktzahlen insgesamt als stark bezeichnet werden kann, verhindern möglicherweise mehrere Ursachen eine noch bessere Korrelation. Dazu gehören insbesondere (1) die genaue Lokalisierung des im Rahmen des LFI4 untersuchten Waldrandabschnitts, (2) die seit der LFI4 Aufnahme verstrichene Zeit sowie (3) Bearbeiter-Effekte, insbesondere bei der Bewertung des Krautsaums.

Möglich ist beispielsweise, dass beim Einmessen des 50 m langen Waldrandabschnitts nicht immer die exakt gleichen 50 m eingemessen wurden wie in der LFI4 Untersuchung. Die verwendete Handbussole sowie die Benutzung des Massbands, im Dickicht vorbei an Bäumen und Sträuchern, könnten zu Abweichungen geführt haben. Bereits eine leichte Verschiebung des eingemessenen Waldrandabschnitts um wenige Meter kann das Resultat spürbar beeinflussen.

Ein wesentlicher Faktor könnte die zwischen den LFI4 Erhebungen und dieser Untersuchung verstrichene Zeit sein. Die LFI4 Daten wurden zwischen 2009 und 2013 erhoben, mit der Methode Krüsi wurden alle Waldränder im Jahr 2013 untersucht. Der Unterschied von bis zu vier Jahren zwischen den beiden Untersuchungen ist möglicherweise relevant. Wie gross der Einfluss der Zeit sein kann illustrieren die acht untersuchten Top10 (LFI3) Waldränder, welche im LF3 die höchsten Ökotonwerte erzielten und die dann im LFI4 allesamt deutlich schlechter bewertet worden sind (Abb. 9). Nebst einer natürlichen Veränderung besteht zudem die Möglichkeit, dass an einem Waldrand forstliche Eingriffe durchgeführt wurden. In einem solchen Fall ist ein Vergleich nicht mehr wirklich sinnvoll. Wurde ein Eingriff erst kürzlich durchgeführt, kann die Situation erkannt und der Waldrand aus den Untersuchungen ausgeschlossen werden, was im Rahmen dieser Untersuchung auch gemacht wurde. Liegen die Eingriffe jedoch schon länger zurück, sind sie oft, insbesondere für Personen welche einen konkreten Waldrand nicht kennen, nur schwer zu erkennen. Und obwohl sich der Waldrand vielleicht massiv verändert hat, wird er nicht als Ausreisser erkannt und fliesst fälschlicherweise in die Untersuchung ein.

Neben dem Zeitfaktor können auch andere Faktoren, zum Beispiel methodische Schwierigkeiten, die Qualität der Schulung der Mitarbeiter und andere Bearbeiter-Effekte nicht vernachlässigt werden. Gemäss Meinung der zuständigen Personen an der WSL ist zum Beispiel die Waldmantelbreite im Feld relativ schwierig zu messen (pers. Mitt. Meinrad Abegg, WSL) (vgl. Kapitel 4.3.2).

4.1.2. Plausibilität und Praxistauglichkeit der Umrechnungsformel

Verschiedene Tests und Datenvergleiche haben gezeigt, dass die mit der Umrechnungsformel erzielten Ergebnisse plausibel sind und die Umrechnungsformel sowie die Bewertungsskala zur Einteilung und Bewertung von LFI Waldrändern praxistauglich ist. Die Überprüfung mit dem exakten Fischer-Test hat gezeigt, dass sich die Verteilung auf die sechs Qualitätskategorien „Waldrand nicht vorhanden“, „schlecht“, „ungenügend“, „befriedigend“, „wertvoll“ und „sehr wertvoll“ von den in dieser Untersuchung mit der Methode Krüsi im Feld beurteilten Waldrändern und den mit der Umrechnungsformel umgerechneten LFI4 Ökotonwerten statistisch nicht unterscheidet (Tab. 7). Natürlich kann

man sich auch fragen, wie aussagekräftig die ermittelten Grenzwerte für die sechs Qualitätskategorien sind, da es einige Unsicherheiten bei der Ermittlung der Umrechnungsformel gab. Aufgrund der anspruchsvollen und fehleranfälligen Ansprache des Krautsaums (vgl. Kapitel 4.1.3) und weil die Korrelation mit den LFI4 Ökotonwerten schlechter war, wurden die Werte für die „Krautsaumtiefe“, die „Krautsaumlänge“, den „Krautsaumtyp“ sowie für die „Kleinstrukturen und die toten Bäume“ abgezogen und durch Durchschnittswerte ersetzt. Dieser Schritt ist möglicherweise etwas kritisch, denn aufgrund der Durchschnittswerte werden in jeder Qualitätskategorie die Minimal- und die Maximalwerte geglättet, was die Maximalpunktzahl gegen oben hin etwas einschränkt.

Das sehr schmale Konfidenzintervall zeigt ebenfalls, dass die mit Hilfe der Regressionsanalyse ermittelte Funktion für die Umrechnung von Werten von der einen in die andere Methode zuverlässig und praxistauglich ist (Abb. 7). Das schmale Vertrauensband bedeutet, dass die Korrelation in Wirklichkeit leicht steiler oder leicht flacher ausfallen kann, was aber nur einen kleinen Einfluss auf die Umrechnung der LFI Ökotonwerte in Krüsi-Punktzahlen und umgekehrt hat. Das Konfidenzintervall zeigt insbesondere, dass Werte, welche in der Mitte der Regressionsgeraden angesiedelt sind, besonders zuverlässig umgerechnet werden können. Das heisst, die Umrechnung für ökologisch besonders wertvolle Waldränder und für ökologisch besonders schlechte Waldränder ist tendenziell etwas unsicherer, als für Waldränder mit einem mittleren ökologischen Wert.

4.1.3. Herausforderungen bei der Entwicklung der Umrechnungsformel

Als besonders anspruchsvoll und fehlerträchtig hat sich bei beiden Methoden die Abgrenzung und Bewertung des Krautsaums im Feld herauskristallisiert. Bei den Auswertungen wurde festgestellt, dass die „Krautsaumbreite bzw. -tiefe“ die Korrelation entscheidend beeinflusst. Der kritische Entscheid, ob ein Krautsaum vorhanden ist oder nicht, ist sehr stark personenabhängig. Das hat sich insbesondere bei der Aufnahme der sieben erfolgreich aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau gezeigt: Während der Studierende, welcher die Waldränder mit der Methode Krüsi bewertet hat, bei sämtlichen Waldrändern einen Krautsaum notiert hat, wurde von der Fachpersonen der WSL mit der Methode LFI bei den gleichen Waldrändern und im gleichen Herbstmonat kein einziger Krautsaum erfasst. Auch bei den 60 untersuchten LFI Waldrändern, welche von den Bearbeitern der ZHAW mit der Methode Krüsi untersucht wurden, war oft unklar, ob ein Krautsaum vorhanden war oder nicht, wie tief er war oder um was für einen Typ es sich handelte. Da in der Methode Krüsi zusätzlich zur „Krautsaumtiefe“ auch die Parameter „Krautsaumlänge“ und „Krautsaumtyp“ erfasst werden (Krüsi, 2013), kann eine unterschiedliche Beurteilung des Krautsaums die Gesamtbewertung der Waldrandqualität stark beeinflussen. Gründe für die unterschiedliche Einschätzung können Jahreszeit-, Methoden- oder Personenbedingt sein. Der Krautsaum ist im Gegensatz zu den Sträuchern und Bäumen während des Jahres nicht immer gleich deutlich ausgeprägt und daher nicht immer gleich gut erkennbar, zum Beispiel, wenn er vor kurzem gemäht worden ist. Sicherlich ist auch die relativ ungenaue Definition im Methodenbeschrieb relevant, welche von verschiedenen Personen unterschiedlich interpretiert werden kann. Weitere Untersuchungen, die zu einer robusteren Beurteilung des Krautsaums führen, wären daher sicher sinnvoll.

4.2. Vergleich der beiden Methoden

Ein grosser Unterschied ist, dass bei der Methode Krüsi gegenüber der Methode LFI mehr Parameter erfasst werden, wobei diese zusätzlichen Parameter den Zeitaufwand für die Beurteilung eines Waldrandes nicht wesentlich erhöhen. Bei den zusätzlichen Parametern handelt es sich um die „Strauchgürtellänge“, die „Krautsaumlänge“, der „Krautsaumtyp“, die „Botanische Vielfalt der Waldbodenvegetation“, die „Kleinstrukturen und tote Bäume“ sowie die „Tiefe des externen Strauchgürtels“. Minuspunkte, welche in der Methode Krüsi für Problempflanzen wie Adlerfarn oder Ackerkratzdistel sowie für Invasive Neophyten vergeben werden, gibt es bei der Methode LFI ebenfalls nicht.

Bei der Methode LFI werden hingegen die Parameter „Waldrandzustand“, „Waldrandbegrenzung“ und „Waldrandumgebung“ zusätzlich aufgenommen. Die Parameter „Belaubungsdichte“ und „Verzahnungsgrad“ der Methode Krüsi, sind mit den Parametern „Waldranddichte“ und „Waldrandverlauf“ der Methode LFI vergleichbar. Nebst der unterschiedlichen Anzahl und Art von Parametern, unterschieden sich auch die vermeintlich identischen Parameter zur Beurteilung der Waldrandtiefe.

4.2.1. Waldrandtiefe

Sowohl in der Methode Krüsi, als auch in der Methode LFI wird die Tiefe des Waldrandes anhand von drei Parametern beurteilt. Vergleichbar sind die Parameter „Strauchgürtel-Breite“ (Methode LFI) und „Strauchgürtel-Tiefe“ (Methode Krüsi). Obwohl beide Parameter die Dimensionen des Strauchgürtels erfassen, unterscheiden sie sich ein

wenig. Während die „Strauchgürtel-Breite“ gemäss LFI Methode alle Gehölzpflanzen mit einem BHD < 12 cm und einer Höhe ab 0.5 m umfasst (Stierlin et al., 1994; Keller, 2013), berücksichtigt die „Strauchgürtel-Tiefe“ gemäss Methode Krüsi die Sträucher und Bäume, welche zwischen 1 und 4 m hoch sind und einen BHD < 16 cm aufweisen (Krüsi & Schütz, 1994). Während in der Methode LFI mit dem Parameter „Waldmantel-Breite“ der Waldmantel separat erfasst wird, lässt sich mit der Methode Krüsi die Tiefe eines gegeben falls vorhandenen Waldmantels nur aus der Differenz zwischen der „Waldrandtiefe“ und der „Strauchgürte-Tiefe“ ableiten. Die „Krautsaumtiefe“ wird hingegen in beiden Methoden auf ähnliche Art erfasst und sollte daher eigentlich gut vergleichbar sein, zumal dieser Parameter auf den ersten Blick wenig Spielraum beim Messen lässt. Wie jedoch bereits Kap. 4.1.3 erwähnt, wird vor allem dieser Parameter von verschiedenen Personen sehr unterschiedlich erfasst und bewertet.

4.2.2. Anzahl Gehölzarten in Baum- und Strauchschicht

Die vorkommenden Baum- und Straucharten werden in den beiden Methoden unterschiedlich erfasst und bewertet. Während in der Methode Krüsi zwischen den vorkommenden Arten in der Baum- und solchen in der Strauch- und Krautschicht unterschieden wird, macht die Methode LFI diesbezüglich keinen Unterschied. Die ökologisch wertvollen Dornstraucharten werden bei beiden Methoden gesondert bewertet. Zusätzlich gibt es bei der Methode LFI eine Auswahl von Baum- und Straucharten, welche als ökologisch besonders wertvoll gelten und wie die Dornstraucharten separat Punkte erhalten. Nadelgehölze werden bei der Methode Krüsi erfasst, fliessen aber nicht in die Bewertung ein. Die Häufigkeiten der Arten werden bei beiden Methoden nicht berücksichtigt, obschon beim LFI die Arthäufigkeit pro Gehölzart erhoben wird (Stierlin et al., 1994; Keller, 2013; Krüsi, 2013).

4.2.3. 50 m vs. 100 m lange Beurteilungsabschnitte

Bei der Methode LFI werden drei Transekte auf einem 50 m langen Waldrandabschnitt aufgenommen, mit der Methode Krüsi fünf Transekte auf einem 100 m langen Abschnitt. Für einen sauberen Vergleich der beiden Methoden mussten natürlich jeweils genau die gleichen Waldrandabschnitte bewertet werden. Die Methode Krüsi wurde daher jeweils sowohl auf den 50 m langen „LFI Waldrand“ als auch auf den auf 100 m erweiterten „Krüsi-Waldrand“ angewendet. Es war daher möglich, die Frage zu untersuchen, ob bei der Methode Krüsi, die auf 100 m langen Abschnitten mit fünf Transekten ermittelten Ergebnisse zuverlässiger sind als die auf 50 m langen Abschnitten mit drei Transekten.

Die praktisch identischen Werte der durchschnittlichen Strauchgürteltiefe, inklusive Standardabweichung, sowie die ähnlichen durchschnittlichen Gesamtpunktezahlen deuten darauf hin, dass sich der ursprünglich für Waldrandabschnitte von 100 m mit fünf Transekten entwickelte Bewertungsschlüssel, auch für 50 m lange Abschnitte mit drei Transekten eignet. Da auf einem längeren Abschnitt jedoch auch mehr Pflanzenarten und Kleinstrukturen vorkommen und deshalb die Gesamtpunktezahl bei der Bewertung eines 100 m langen Abschnitts höher ausfällt, muss die Bewertungsskala für 50 m lange Abschnitte angepasst werden, was jedoch leicht möglich ist. In Zukunft könnte die Länge der mit der Methode Krüsi bewerteten Waldrandabschnitte leicht von 100 m auf die im LFI verwendeten 50 m reduziert werden. Die Bewertung eines Waldrandes würde damit etwas weniger Zeit beanspruchen, da die Waldrandtiefe, die Strauchgürteltiefe sowie die Krautsaumtiefe statt auf fünf nur noch auf drei Transekten gemessen und die Artenzahlen statt auf einem 100 m langen Abschnitt nur noch auf einem 50 m langen Abschnitt erhoben werden müssen.

Klar ist aber auch, dass die ermittelten Ergebnisse durch die geringere Anzahl Transekte und die um die Hälfte verkürzte Beurteilungsstrecke weniger zuverlässig sind. Eine Verkürzung der Abschnitte von 100 m auf 50 m und die damit verbundene Zeitersparnis könnte vor allem dann interessant sein, wenn es darum geht, die ökologische Qualität der Waldränder in einem grösseren Gebiet – das heisst mit vielen Aufnahmen – zu beurteilen. Die real zu erzielende Zeitersparnis dürfte allerdings deutlich unter den rechnerisch zu erwartenden 40% liegen, da die meist erhebliche Reisezeit für das Aufsuchen der einzelnen Waldränder unverändert bleibt. Wenn es um die Aufnahme des Ausgangszustandes bzw. um die spätere Erfolgskontrolle bei einzelnen oder einigen wenigen Waldrandaufwertungen geht, die meist Abschnitte betreffen, welche länger als 50 m sind, bringt die Beurteilung von fünf auf einen 100 m langen Abschnitt verteilten Transekten sicher zuverlässigere Resultate.

4.2.4. Punkteklassen

Wie bei der Methode Krüsi, werden auch bei der Methode LFI die durch Messen bzw. Zählen ermittelten Werte in Punkte umgerechnet und dann aufsummiert. Die Wertebereiche der unterschiedenen Klassen und die jeweils dafür vergebenen Punkte sind bei beiden Methoden sehr ähnlich. Unterschiede gibt es aber, wenn Strukturelemente be-

sonders gut ausgebildet, das heisst besonders breit bzw. tief sind, und wenn besonders viele Gehölzarten vorhanden sind. Während bei der Methode LFI für eine „Waldmantel-Breite“ ab 8 m, für eine „Strauchgürtel-Breite“ ab 5 m und für eine „Krautsaumbreite“ ab 5 m die Maximalpunktzahlen 5 respektive 7 vergeben werden (Brändli, 2001), gibt es bei der Methode Krüsi weitere Stufen. Erst ab einer „Waldrandtiefe“ von 20 m, einer „Strauchgürteltiefe“ von 10 m und einer „Krautsaumtiefe“ von 10 m werden die Maximalpunktzahlen 8 respektive 7 vergeben (Krüsi, 2013). Aufgrund dieser etwas feineren Abstufungen ist es mit der Methode Krüsi eher möglich, besonders gute Waldränder entsprechend zu bewerten und sie von den zwar guten, aber nicht absolut besten Waldrändern, wie sie gemäss von Büren et al. (1995) sein müssten, zu unterscheiden. Unterstützt wird dies durch Parameter wie „Krautsaumtyp“, „Botanische Vielfalt der Waldbodenvegetation“ sowie „Kleinstrukturen und tote Bäume“, welche vor allem bei sehr gut ausgebildeten Waldrändern zu Zusatzpunkten führen und nur bei der Methode Krüsi berücksichtigt werden.

4.2.5. Folgerungen aus dem Methodenvergleich

Mit der Methode LFI können die absoluten Top Waldränder wahrscheinlich nicht von den sehr guten Waldrändern unterschieden werden. Mit feineren Abstufungen bei den Tiefenausdehnungen von „Waldmantel-Breite“, „Strauchgürtel-Breite“ und „Krautsaumbreite“ inklusive höheren Maximaltiefen und einer Erweiterung der Punkteklassen gegen oben, könnten die Waldränder deutlicher voneinander unterschieden werden. Mit der Integration von zusätzlichen Parametern wie bei der Methode Krüsi – zum Beispiel „Kleinstrukturen und tote Bäume“ oder „Problemarten“ – könnten besonders gute Waldränder noch stärker abgegrenzt werden. Der zusätzliche Aufwand bei der Bewertung von Waldrändern im Feld wäre gering, der Nutzen hingegen gross.

Der Vergleich zeigt, dass sich die Methode LFI und die Methode Krüsi in wesentlichen Punkten erheblich unterscheiden. Nach Ansicht der Autoren lassen sich die beiden Methoden daher leider nicht durch kleine Modifikationen zu einer einzigen Methode für die ökologische Bewertung von Waldrändern in der Schweiz verschmelzen.

4.2.6. Weiterführende Untersuchungen

Nebst den bereits erwähnten Untersuchungen zur robusteren Beurteilung von Krautsäumen und zur Anpassung der Methode Krüsi, damit Waldränder auch auf 50 statt auf 100 m langen Abschnitten beurteilt werden können, wäre auch eine breitere wissenschaftliche Abstützung für die in der Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994) definierten Qualitätskategorien sinnvoll. Diesbezüglich unbefriedigend ist, dass die sechs Qualitätskategorien „Waldrand nicht vorhanden“, „schlecht“, „ungenügend“, „befriedigend“, „wertvoll“ und „sehr wertvoll“ bisher nicht wirklich breit abgestützt sind. Die sechs Qualitätskategorien wurden bei der Entwicklung der Methode aufgrund von gutachtlichen Urteilen von Förstern, aufgrund von Expertenwissen und aufgrund der Resultate einer Diplomarbeit (Bernhard, 1996) gebildet. Untersuchungen haben ausserdem aber gezeigt, dass es einen klaren positiven Zusammenhang zwischen der Punktzahl gemäss Methode Krüsi und der Anzahl Gefässpflanzenarten im Krautsaum und Strauchgürtel gibt (Meier, 1996; Krüsi et al., 1997). In einer anderen – jedoch sehr kleinen – Untersuchung wurde zudem festgestellt, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Punktzahl gemäss Methode Krüsi und der Anzahl Arthropodenarten an Waldrändern gibt (Krüsi et al., 1997). Andere Vergleiche mit zoologischen Daten existieren unseres Wissens bisher nicht.

4.3. Ökologische Qualität der Waldränder in der Schweiz

4.3.1. Aktuelle Situation (LFI3)

Im Rahmen des für die ganze Schweiz repräsentativen LFI2 wurden 1993-95 – inkl. Subalpinstufe – insgesamt 1048 Waldränder untersucht. Die 25% der Waldränder mit den höchsten Ökotonwerten wurden willkürlich der Qualitätsklasse „hoch“ zugeteilt, die mittleren 50% der Klasse „mittel“ und die untersten 25% der Klasse „gering“. In einer fast zur gleichen Zeit erstellten Studie, in welcher die ökologische Qualität von 410 Waldrändern in verschiedenen Regionen der Schweiz nach dem Schlüssel von Krüsi & Schütz (1994) beurteilt wurden, fanden Krüsi et al. (1997) – gemäss den in der Methode Krüsi definierten Qualitätskategorien – keine „sehr wertvollen“ und weniger als 1% „wertvolle“ Waldränder. Wenn man bei einer Wanderung im Schweizer Mittelland auf die ökologische Qualität der Waldränder achtet, scheinen die Erkenntnisse der – gesamtschweizerisch zugegebenermassen nicht repräsentativen – Studie von Krüsi et al. (1997) die Realität deutlich besser zu widerspiegeln als die Ergebnisse aus dem LFI2.

Im Rahmen des LFI3 wurde zwischen 2004 und 2006 die Ökotonqualität von insgesamt 1015 Waldrändern erfasst (Brändli et al. 2010). Die Einteilung der LFI3 Waldränder in die im LFI2 definierten drei Qualitätsklassen ergab ge-

genüber dem LFI2 eine leichte Verschiebung zugunsten der Qualitätsklasse „hoch“. Das heisst eine leichte Verschärfung der Unterschiede zur Untersuchung von Krüsi et al. (1997).

Dank der Umrechnungsformel, die in dieser Untersuchung entwickelt worden ist, lassen sich die beiden Datensätze heute besser vergleichen. Verwendet wurde der neueste vollständige LFI Datensatz, das heisst jener vom LFI3. Dazu wurden die LFI3 Ökotonwerte in Krüsi-Punktzahlen umgerechnet und die Waldränder dann den sechs in der Methode Krüsi verwendeten Qualitätskategorien zugeteilt (Abb. 14). Die resultierende Verteilung der LFI3 Waldränder auf die verschiedenen Qualitätskategorien passte nun deutlich besser zu den – gesamtschweizerisch klar nicht repräsentativen – Ergebnissen von Krüsi et al. (1997). Mit 8% „wertvollen“ und 6% „sehr wertvollen“ Waldrändern waren die Anteile der beiden besten Qualitätskategorien jedoch erheblich grösser als bei Krüsi et al. (1997). Auffallend beim Vergleich der Resultate aus der Studie von Krüsi et al. (1997) mit den umgerechneten LFI3 Ökotonwerten ist auch, dass im LFI3 34% der Waldränder die Bewertung „Waldrand nicht vorhanden“ erhielten, während es bei Krüsi et al. (1997) lediglich 20% waren. Während bei Krüsi et al. (1997) hingegen rund 40% als „unbefriedigend„ eingestuft wurden, waren es bei den umgerechneten LFI3 Ökotonwerten nur 18%.

Subjektiv betrachtet entspricht die Verteilung der umgerechneten LFI3 Ökotonwerten – mit einer geringen Anzahl „wertvoller“ und „sehr wertvoller“ sowie der grossen Anzahl sehr schlechter Waldränder – eher der Realität. Die Unterschiede zur Bewertung mit der drei stufigen LFI Skala sind methodisch bedingt und logisch. Die Unterschiede zu den Resultaten aus der Studie von Krüsi et al. (1997) sind wahrscheinlich ebenfalls methodisch bedingt. Im Gegensatz zum LFI3 handelt es sich bei der Studie von Krüsi et al. (1997) nicht um eine für die gesamte Schweiz repräsentative Untersuchung. In dieser Fallstudie wurden mehrere – für jeweils eine spezifische Region der Schweiz – repräsentative Erhebungen zusammenfasst und analysiert. Zudem wurden in dieser Studie keine subalpinen Waldränder untersucht, im LFI3 hingegen schon. Für einen Gesamtüberblick über die Schweiz, ist die Verteilung mit den 1015 LFI3 Waldrändern (Abb. 14) und den in Krüsi-Punktzahlen umgerechneten LFI3 Ökotonwerten daher sicher aussagekräftiger als die in Krüsi et al. (1997) präsentierten Daten.

4.3.2. Entwicklung von 1994 (LFI2) bis 2014 (LFI4)

Für die Beschreibung der Entwicklung der Waldrandqualität in der Schweiz wurden jene 405 Waldränder berücksichtigt, die sowohl im LFI2 (1993-95) als auch im LFI3 (2004-2006) und – im noch nicht abgeschlossenen – LFI4 (2009-) untersucht worden sind. Die LFI Ökotonwerte wurden wiederum in Krüsi-Punktzahlen umgerechnet und die Waldränder dann den sechs in die in der Methode Krüsi verwendeten Qualitätskategorien zugeteilt. Im Laufe der vergangenen 20 Jahre hat vor allem die Anzahl der Waldränder mit der Bewertung „Waldrand nicht vorhanden“ zu- und jener mit der Bewertung „sehr wertvoll“ – insbesondere vom LFI3 zum LFI4 – abgenommen. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass bis heute (November 2014) erst ein Teil der LFI4 Waldränder untersucht worden sind. Dass sich die Strukturvielfalt der Waldränder in den vergangenen Jahren zwischen dem LFI3 und dem LFI4 insgesamt jedoch etwas verschlechtert haben könnte, hat auch der wissenschaftliche Dienst der WSL festgestellt (pers. Mitt. Urs-Beat Brändli, WSL). Die Strukturvielfalt setzt sich aus den sechs Waldrandparametern „Waldrandaufbau“, „Mantelbreite“, Strauchgürtelbreite“, „Krautsaumbreite“, „Waldrandverlauf“ und „Waldranddichte“ zusammen (Brändli, 2001). Gemäss den vorliegenden Daten haben Waldmantel- und Krautsaumbreite seit den 2004-2006 durchgeführten Erhebungen zum LFI3 abgenommen, was angesichts der in zahlreichen Kantonen durchgeführten ökologischen Waldrandaufwertungen (zum Beispiel Spörri et al. 2014) auf den ersten Blick nicht unbedingt plausibel ist, zumal sich der ökologische Zustand der Waldränder vom LFI2 zum LFI3 leicht verbessert hat (Brändli et al., 2010) (Abb. 16 und Abb. 17). Auch wenn die beobachtete Verschlechterung zum Teil mit einer gegenüber dem LFI3 verbesserten Schulung der LFI4 BearbeiterInnen zusammenhängen sollte (pers. Mitt. Urs-Beat Brändli, WSL), zeigen die Daten klar, dass das Aufwertungs- und Vernetzungspotential der Waldränder in der Schweiz noch bei Weitem nicht ausgeschöpft ist.

5. Folgerungen für die Praxis

Mit der Umrechnungsformel lassen sich Waldrandbewertungen einfach und zuverlässig von der einen in die andere Methode umrechnen. Dabei werden Waldränder mit einem mittleren ökologischen Wert tendenziell etwas zuverlässiger umgerechnet als ökologisch besonders wertvolle beziehungsweise besonders schlechte Waldränder. Übersetzt auf die LFI Skala liegt die Grenz der Qualitätskategorie „sehr wertvoll“ bei einem LFI Ökotonwert 93. Waldränder mit einem LFI Ökotonwert 76 oder kleiner, weisen einen ungenügenden ökologischen Zustand auf (Tab. 9).

Die beiden untersuchten Methoden lassen sich leider nicht durch einige kleine Modifikationen zu einer einzigen Methode für die ökologische Bewertung von Waldrändern in der Schweiz verschmelzen. Aus Gründen der langfristigen Vergleichbarkeit der im Rahmen des LFI seit 1993 schweizweit erhobenen Daten zur Qualität der Waldränder soll die Methode LFI für nationale Erhebungen unbedingt unverändert beibehalten werden. Die Bewertung auf einem 100 m langen Abschnitt nach der Methode Krüsi scheint vor allem für kleinräumige Erhebungen durch weniger geübte Personen sinnvoll, zum Beispiel für die Erfassung des Ausgangszustandes und für die anschliessende Erfolgskontrolle durch den zuständigen Förster oder den an der Aufwertung beteiligte Naturschutzverein.

Sowohl bei Waldrandbewertungen mit der Methode Krüsi als auch mit der Methode LFI muss die Ansprache des Krautsaums besonders sorgfältig und möglichst objektiv durchgeführt werden. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass dieser Parameter von verschiedenen Personen sehr unterschiedlich wahrgenommen und beurteilt wird. Ob ein Krautsaum vorhanden ist oder nicht, wie tief er ist und um was für einen Typ es sich handelt, ist je nach Zustand des Krautsaums und Untersuchungszeitpunkt einfacher oder schwerer zu beurteilen. Ein gemähter Krautsaum lässt sich nur von geübten Personen zufriedenstellend charakterisieren. Da der Krautsaum jedoch ein relevanter Bestandteil eines Waldrandes ist und entsprechend viele Punkte zur Gesamtbeurteilung beiträgt, ist eine korrekte Erfassung entscheidend. Als Alternative zu dieser Umrechnungsformel wurde eine zweite Umrechnungsformel entwickelt, bei der die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen nicht berücksichtigt werden (siehe Anhang).

5.1. Umrechnung von LFI Ökotonwerten (50 m) in Krüsi Werte (100 m)

Wurde ein 50 m langer Waldrandabschnitt nach der Methode LFI (Keller, 2013) beurteilt, kann der ermittelte LFI Ökotonwert mit folgendem Vorgehen in die Punktzahl gemäss Krüsi Bewertungsskala (100 m) umgerechnet werden:

1. Den LFI Ökotonwert (50 m) mit der Umrechnungsformel in den Krüsi Wert (50 m) umrechnen:
   Krüsi Wert (50 m) = (LFI Ökotonwert – 44.8288) / 0.9163
2. Den berechneten Krüsi Wert (50 m) aus Schritt 1 auf eine ganze Zahl runden.
3. Den Krüsi Wert (50 m) mit dem Faktor für 100 m lange Waldrandabschnitte multiplizieren:
   Krüsi Wert (100 m) = Gerundeter Krüsi Wert (50 m) * 1.11
4. Den berechneten Krüsi Wert (100 m) aus Schritt 3 auf eine ganze Zahl runden.

5.2. Umrechnung von Krüsi Werten (100 m) in LFI Ökotonwerte (50 m)

Wurde ein 100 m langer Waldrandabschnitt nach der Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) beurteilt, kann die ermittelte Punktzahl mit folgendem Vorgehen in den entsprechenden LFI Ökotonwert (50 m) umgerechnet werden:

1. Den Krüsi Wert (100 m) mit dem Divisor für 50 m lange Waldrandabschnitte dividieren:
   Krüsi Wert (50 m) = Krüsi Wert (100 m) / 1.11
2. Den berechneten Krüsi Wert (50 m) aus Schritt 1 auf eine ganze Zahl runden.
3. Den Krüsi Wert (50 m) mit der Umrechnungsformel in den LFI Ökotonwert (50 m) umrechnen:
   LFI Ökotonwert (50 m) = 44.8288 + 0.9163 * Gerundeter Krüsi Wert (50 m)
4. Den berechneten LFI Ökotonwert (50 m) aus Schritt 3 auf eine ganze Zahl runden.

5.3. Grenzwerte der Qualitätsklassen

Die mit der Methode LFI oder Krüsi ermittelten Werte können auch ohne Umrechnung einer entsprechenden Qualitätskategorie gemäss Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) zugeordnet werden. Je nachdem ob ein Waldrand auf 50 m oder 100 m beurteilt wurde und je nach verwendeter Methode, muss die entsprechende Skala für die Zuordnung ausgewählt werden. Mit der LFI Skala (100 m) können die mit der Methode Krüsi auf 100 m langen Waldrandabschnitten ermittelten Werte direkt den entsprechenden theoretischen LFI Ökotonwerten für 100 m lange Abschnitte zugeteilt werden. Dieser Vergleich ist dann interessant, wenn in Erfahrung gebracht werden soll, wie hoch ein LFI Ökotonwert auf einem 100 m langen Abschnitt wäre (Tab. 9).

Tab. 9: Grenzen der Qualitätsklassen bei den Methoden Krüsi (100 m), Krüsi (50 m), LFI (50 m) und LFI 100 m. Im Normalfall kommen die grau hinterlegten Zeilen zur Anwendung. *[1]Grenzwerte der original Krüsi Skala / 1.11. *[2]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der Krüsi Skala berechnet (50 m). *[3]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der original Krüsi Skala (100 m).

		Qualitätskategorien gemäss Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994)					
Abschnittslänge	**Skala**	**Waldrand n. vorhanden**	**Schlecht**	**Ungenügend**	**Befriedigend**	**Wertvoll**	**Sehr wertvoll**
100 m	**Krüsi original**	≤ 18	19 - 28	29 - 38	39 - 48	49 - 58	≥ 59
50 m	**Krüsi berechnet *[1]**	≤ 16	17 - 25	26 - 34	35 - 43	44 - 52	≥ 53
50 m	**LFI *[2]**	≤ 59	60 - 68	69 - 76	77 - 84	85 - 92	≥ 93
100 m	**LFI *[3]**	≤ 61	62 - 70	71 - 80	81 - 89	90 - 98	≥ 99

6. Literatur

BAFU (Hrsg.) 2013. Waldpolitik 2020. Visionen, Ziele und Massnahmen für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Schweizer Waldes. Bundesamt für Umwelt, Bern. 66 S.

Bernhard, S. (1996): Wie gut sind die guten Waldränder in der Schweiz? Ökologische Bewertung und Entstehungsgeschichte von 21 guten Waldrändern; neuer Bewertungsschlüssel und Handlungsempfehlungen. Diplomarbeit ETH, Abteilung für Umweltnaturwissenschaften ETH, ausgeführt an der Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. Unveröffentlicht. 149 S.

Brändli, U.-B. & Ulmer, U. (1999): Naturschutz und Erholung. In: Brassel, P. & Brändli, U.-B. (Red.): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 279-329.

Brändli, U.-B. (2001): Nature Protection Function. In Brassel, P. & Lischke, H. (eds): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. WSL Swiss Federal Research Institute, Birmensdorf. 265-282.

Brändli, U.-B., Abegg, M., Duc, P. & Ginzler C. (2010): Biologische Vielfalt. In: Brändli, U.-B. (Red.): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004-2006. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Brimensdorf. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern. 187-228.

Eklund, A. (2013): beeswarm: The bee swarm plot, an alternative to stripchart. R package version 0.1.6. http://cran.r-project.org/package=beeswarm (15.04.2014).

Spörri, K., Babbi, M. & Krüsi B. O. (2014): 20 Jahre ökologische Aufwertung von Waldrändern im Kanton Aargau: erste Erfolgskontrolle. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 165 (10): 313-320.

Keller, M. (Red.) (2013): Schweizerisches Landesforstinventar. Feldaufnahme-Anleitung 2013. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 223 S.

Krüsi, B.O. & Schütz, M. (1994): Schlüssel zur ökologischen Bewertung von Waldrändern. Beilage Informationsblatt des Forschungsbereiches Landschaft WSL 20: 4 S.

Krüsi, B.O., Schütz, M. & Tidow, S. (1997): Waldränder in der Schweiz – Ökologischer Zustand, botanische Vielfalt und Aufwertungspotential. Schweizer Wald 4: 5-19.

Krüsi, B.O. (2013): Waldrandschlüssel. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil. http://www.project.zhaw.ch/fileadmin/user_upload/N/waldrand/Dateien/Waldrandschl.pdf

Meier, D.M. (1996): Ökologische Bewertung von Waldrändern. Zusammenhang zwischen Punktzahl gemäss ökologischem Bewertungsschlüssel und Artenzahl. Diplomarbeit ETH, Abteilung für Umweltnaturwissenschaften ETH, ausgeführt an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. Unveröffentlicht. 64 S.

Pro Natura (2013): Waldränder ökologisch aufwerten – Leitfaden für die Praxis. Beiträge zum Naturschutz in der Schweiz 33: 43 S.

R Core Team (2014): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. www.r-project.org/ (15.04.2014).

Stierlin, H.-R., Brändli, U.-B., Herold, A. & Zinggeler, J. (1994): Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 1993-1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf. 204 S.

von Büren, D., Diez, C., Bader, L., Budde, A. & Kaufmann, G. (1995): Waldrand – artenreiches Grenzland. Schweizerischer Bund für Naturschutz, Basel. SBN-Merkblatt 14: 39 S.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Karte der in der Untersuchung berücksichtigen Waldränder (schwarz = LFI4 Waldränder; hellblau = Top10 (LFI3) Waldränder; rot = erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau).

Abb. 2: Eingemessene Stichprobenpunkte T1 (K = Knickpunkt), T2, T3, T4 und T5 eines zu beurteilenden Waldrandabschnitts. Der Abschnitt zwischen den Punkten T4 – T1 – T2 (50 m) wurde bei den LFI Aufnahmen berücksichtigt. Die Methode Krüsi untersuchte sowohl den Abschnitt T4 – T1 – T2 (50 m) als auch den Abschnitt T5 – T4 – T1 – T2 – T3 (100 m). Der Knickpunkt, von welchem aus die Stichprobenpunkte eingemessen wurden, konnte mittels Kroki und Probenflächenzentrum (PFZ) aus dem LFI ermittelt werden (Grafik: M. Babbi).

Abb. 3: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung (r^2 = 0.39, r = 0.62, n = 67).

Abb. 4: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.48, r = 0.69, n = 62).

Abb. 5: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.71, r = 0.84, n = 62). y = a + bx (a= 37.9923, b = 1.2923).

Abb. 6: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt unter Einbezug der durchschnittlichen Krautsaumbreiten bei den LFI Werten und den Durchschnittswerten für die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen bei den Krüsi-Werten. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.67, r = 0.82, n = 62). y = a + bx (a = 44.8288, b = 0.9163).

Abb. 7: Zusammenhang der mit der Methode LFI und Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 50 m Abschnitt unter Einbezug der durchschnittlichen Krautsaumbreiten bei den LFI Werten und den Durchschnittswerten für die Krautsaumparameter und die Kleinstrukturen bei den Krüsi-Werten. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl, die Top10 (LFI3) Waldränder sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau. Punktüberlagerungen sind möglich. Bei der ökologischen Waldrandbewertung gemäss LFI handelt es sich um die Ergebnisse aus der LFI4 Untersuchung. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt. Dargestellt sind das Konfidenzintervall (gestrichelte Linie) und das Vorhersageintervall (gepunktete Linie) (α = 0.05) (r^2 = 0.67, r = 0.82, n = 62). y = a + bx (a = 44.8288, b = 0.9163).

Abb. 8: Verteilung sämtlicher im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015). Die Verteilung basiert auf dem Ökotonwert der LFI3 Untersuchung (graue Punkte). Hervorgehoben sind die für diese Studie ausgewählten und untersuchten LFI4 Waldränder (schwarze Punkte) (n = 52) sowie die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) (n = 8). Zusätzlich integriert sind die erfolgreich aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau (rote Punkte) (n = 7).

Abb. 9: Vergleich der untersuchten Waldränder anhand des Ökotonwerts aus dem LFI3 (n = 60) und dem LFI4 (n = 60) (rote Punkte = Qualitätsklasse E; orange Punkte = C; gelbe Punkte = A; hellgrüne Punkte = D; dunkelgrüne Punkte = B; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder).

Abb. 10: Zusammenhang der untersuchten Waldränder anhand des LFI3 und LFI4 Ökotonwerts (schwarze Punkte = LFI Waldränder; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder) (r^2 = 0.38, r = 0.62, n = 60). Punktüberlagerungen sind möglich.

Abb. 11: Zusammenhang zwischen den mit der Methode Krüsi auf 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitten erzielten ökologischen Waldrandbewertungen (schwarze Punkte = Auswahl LFI4 Waldränder; hellblaue Punkte = Top10 (LFI3) Waldränder; rote Punkte = erfolgreich aufgewertete Waldränder im Kanton Aargau) (r^2 = 0.91, r = 0.95, n = 67). Punktüberlagerungen sind möglich.

Abb. 12: Einteilung der untersuchten LFI Waldränder in die neue Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte. Die Einteilung basiert auf den im LFI4 erzielten und mit der Umrechnungsformel umgerechneten Ökotonwerten (schwarz) und den Krüsi Werten 2013 (50 m) (grau) (n = 55).

Abb. 13: Einteilung der in dieser Studie untersuchten LFI Waldränder in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den erzielten Ökotonwerten im LFI4 (n = 55).

Abb. 14: Einteilung sämtlicher im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015) in die neu berechnete LFI Bewertungsskala (50 m). Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI3.

Abb. 15: Einteilung der im LFI3 untersuchten Waldränder (n = 1015) in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI3.

Abb. 16: Einteilung der gemeinsam im LFI2 (schwarz), LFI3 (grau) und LFI4 (weiss) untersuchten Waldränder in die neu berechnete LFI Bewertungsskala (50 m). Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI2 dem LFI3 und dem LFI4 (n = 405).

Abb. 17: Einteilung der gemeinsam im LFI2 (schwarz), LFI3 (grau) und LFI4 (weiss) untersuchten Waldränder in die drei teilige LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den Ökotonwerten aus dem LFI2, dem LFI3 und dem LFI4 (n = 405).

Abb. 18: Zusammenhang der mit der Methode Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 100 m Abschnitt und auf einem 100 m Abschnitt ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.83, r = 0.91, n = 62). y = a + bx (a = 3.36419, b = 1.16771).

Abb. 19: Zusammenhang zwischen den Ökotonwerten LFI4 und den Ökotonwerten LFI4 ohne Krautsaumbreite. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.92, r = 0.96, n = 62). y = a + bx (a = 9.02502, b = 0.93237).

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gründe für Ausschluss von Waldrändern aus Gesamtdatensatz.

Tab. 2: Durchschnittliche addierte Punkte für die Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und toten Bäume“ für jede der sechs Qualitätskategorien. Die Einteilung basiert auf der berechneten Krüsi Skala für Waldrandabschnitte mit einer Länge von 50 m.

Tab. 3: Durchschnittliche addierte Punkte für die Krautsaumbreite pro Qualitätsklassen. Die Einteilung basiert auf der Skala von Brändli & Ulmer (1999).

Tab. 4: Aus der Untersuchung ausgeschlossene Waldränder. Die Spalte CLUSTER-NR. enthält die LFI-Datenbanknummer eines Waldrandes. Die Spalte PRODREG gibt die Region an, in der die Waldränder liegen: 1 = Jura; 3 = Voralpen; 4 = Alpen. Die Spalte HOESTUFW gibt die Höhenstufe an, in der die Waldränder liegen: 2 = kollin/submontan; 3 = untere montane; 4 = obere montane. In der Spalte SPEZIALCODE sind die Waldränder mit einem ähnlichen Ökotonwert gemäss LFI3 zusammengefasst.

Tab. 5: Grenzen der Qualitätsklassen bei den Methoden Krüsi (100 m), Krüsi (50 m), und LFI (50 m) *[1]Grenzwerte der original Krüsi Skala / 1.11. *[2]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der Krüsi Skala berechnet (50 m).

Tab. 6: Vergleich der 50 m und 100 m langen Waldrandabschnitte, welche mit der Methode Krüsi im Rahmen dieser Untersuchung bewertet wurden (n = 67).

Tab. 7: Einteilung der 55 untersuchten LFI Waldränder in die neue Bewertungsskala für 50 m lange Waldrandabschnitte. Die Einteilung basiert auf den im LFI4 erzielten und mit der Umrechnungsformel umgerechneten Ökotonwerten (linke Spalte) und den Krüsi Werten 2013 (50 m) (rechte Spalte).

Tab. 8: Einteilung der in dieser Studie untersuchten LFI Waldränder in die LFI Ökotonskala. Die Einteilung basiert auf den erzielten Ökotonwerten im LFI4.

Tab. 9: Grenzen der Qualitätsklassen bei den Methoden Krüsi (100 m), Krüsi (50 m), LFI (50 m) und LFI 100 m. Im Normalfall kommen die grau hinterlegten Zeilen zur Anwendung. *[1]Grenzwerte der original Krüsi Skala / 1.11. *[2]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der Krüsi Skala berechnet (50 m). *[3]Mit Umrechnungsformel umgerechnete Grenzwerte der original Krüsi Skala (100 m).

Tab. 10: Stichprobenauswahl der Waldränder aus der LFI3 Gesamtliste. Aufgeführt sind die definitiven sowie die Ausweichwaldränder (Spalte TYP STANDORT). In der Spalte UNTERSUCHT ist festgehalten, welche Waldränder tatsächlich untersucht wurden. Die Spalte PRODREG gibt die Region an, in der die Waldränder liegen: 1 = Jura; 2 = Mittelland; 3 = Voralpen; 4 = Alpen, 5 = Alpensüdseite. Die Spalte HOESTUFW gibt die Höhenstufe an, in der die Waldränder liegen: 2 = kollin/submontan; 3 = untere montane; 4 = obere montane. Die Anmarschzeit ist in Minuten angegeben. In der Spalte SPEZIALCODE sind die Waldränder mit einem ähnlichen Ökotonwert gemäss LFI3 zusammengefasst. Die Spalte CLNR (Clusternummer) enthält die LFI-Datenbanknummer eines Waldrandes.

Tab. 11: Die untersuchten Top10 (LFI3) Waldränder mit Angabe der Platzierung im Vergleich mit sämtlichen im LFI 3 untersuchten Waldrändern (Spalte RANKING). Die Spalte PRODREG gibt die Region an, in der die Waldränder liegen: 1 = Jura; 2 = Mittelland; 3 = Voralpen; 4 = Alpen. Die Spalte HOESTUFW gibt die Höhenstufe an, in der die Waldränder liegen: 2 = kollin/submontan; 3 = untere montane. Die Anmarschzeit ist in Minuten angegeben. Die Spalte CLNR (Clusternummer) enthält die LFI-Datenbanknummer eines Waldrandes.

Tab. 12: Die im Kanton Aargau ökologisch erfolgreich aufgewerteten und im Rahmen der Untersuchung berücksichtigten Waldränder.

Tab. 13: Liste der untersuchten Waldränder mit den erzielten ökologischen Bewertungen der LFI4-Untersuchung (Wert LFI4) und der Krüsi-Methode (Wert Krüsi). Bei den Krüsi-Werten handelt es sich um die 50 m Waldrandabschnitte (T4 – T1 – T2). Das Aufnahmejahr gibt an, wann die LFI4-Untersuchung durchgeführt wurde. Die Spalte CLNR (Clusternummer) enthält die LFI-Datenbanknummer eines Waldrandes. Bei den mit einem * gekennzeichneten Nummern handelt es sich um fortlaufende Nummern für die Kennzeichnung der aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau.

Anhang

- Umrechnung von LFI- und Krüsi-Bewertungen ohne Berücksichtigung der Krautsaumparametern und Kleinstrukturen
- Liste der untersuchten LFI4 Waldränder
- Liste der untersuchten Top10 (LFI3) Waldränder
- Liste der untersuchten und erfolgreich aufgewerteten Waldränder im Kanton Aargau
- Liste der untersuchten Waldränder mit den erzielten ökologischen Bewertungen aus der LFI4- und der Krüsi-Untersuchung
- Für Studie angepasster und verwendeter Waldrandschlüssel (Krüsi, 2013)
- Überarbeiteter Waldrandschlüssel (v. 2014.01)

Umrechnung von LFI- und Krüsi-Bewertungen ohne Berücksichtigung der Krautsaumparametern und Kleinstrukturen

Mit der Umrechnungsformel lassen sich Waldrandbewertungen einfach und zuverlässig von der einen in die andere Methode umrechnen (vgl. Kapitel 5). Wie die Auswertungen jedoch auch gezeigt haben, wurde die stärkste Korrelation zwischen den Methoden LFI und Krüsi erzielt, wenn die Parameter „Krautsaumbreite“ (Methode LFI) und die die Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und tote Bäume“ (im Folgenden „Krautsaumparameter und Kleinstrukturen“ genannt) (Methode Krüsi) aus den Berechnungen ausgeschlossen wurden. Von Seiten der WSL wurde daher der Wunsch geäussert, eine alternative Umrechnungsformel zu entwickeln, bei welcher diese Parameter nicht berücksichtigt werden. Weil der Krautsaum nicht direkt zum Waldrand gehört und somit vom Förster nicht direkt bewirtschaftet wird und sich der Krautsaum zudem als eher kritischer Parameter herausgestellt hat, ist eine alternative Umrechnungsformel sinnvoll.

In dieser alternativen Umrechnung werden die Ökotonwerte respektive die Werte der Methode Krüsi unter anderem von der Abschnittslänge 100 m auf die Abschnittslänge 50 m umgerechnet und umgekehrt. Der für die reguläre Umrechnungsformel ermittelte Faktor von 1.11 für die Umrechnung der Abschnittslängen beruhte auf den Krüsi Werten inklusive Krautsaumparameter und Kleinstrukturen (vgl. 3.2.2). Aus diesem Grund musste für die alternative Umrechnung ein neuer Faktor berechnet werden, welcher auf den Krüsi Werten ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen beruhte. Das Vorgehen zur Ermittlung dieses Faktors war identisch mit demjenigen aus Kapitel 3.2.2, wobei die Krüsi Werte für 100 m und 50 m lange Abschnitte exklusiv Krautsaumparameter und Kleinstrukturen verwendet wurden. Der Vergleich zeigte, dass die mit der Methode Krüsi bewerteten Waldränder auf 100 m langen Abschnitten ohne Berücksichtigung der Krautsaumparameter und Kleinstrukturen um den Faktor 1.12 besser abschneiden.

Mit dem nachfolgend aufgeführten Vorgehen können Waldrandbewertungen ohne Berücksichtigung der Krautsaumparameter und Kleinstrukturen umgerechnet werden.

Umrechnung von LFI Ökotonwerten (50 m) ohne Berücksichtigung der „Krautsaumbreite“ in Krüsi Werte (100 m)

Da mehrere Parameter nicht in die Bewertung einfliessen, sind die Gesamtpunktzahlen tendenziell tiefer, als wenn sämtliche Parameter berücksichtigt werden. Dadurch lassen sich die Waldränder nicht in eine Qualitätskategorie der originalen Krüsi Skala einteilen und ein direkter Vergleich mit älteren Bewertungen ist nicht möglich. Damit eine solche Einteilung und Vergleiche trotzdem möglich sind, müssen die unter Ausschluss der Krautsaumparameter und Kleinstrukturen entstandenen Werte mit einer zweiten Formel umgerechnet werden. Diese Formel wurde abgeleitet aus der Korrelation zwischen den Werten der Methode „Krüsi 100 m“ und „Krüsi 100 m ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen“ (Abb. 18).

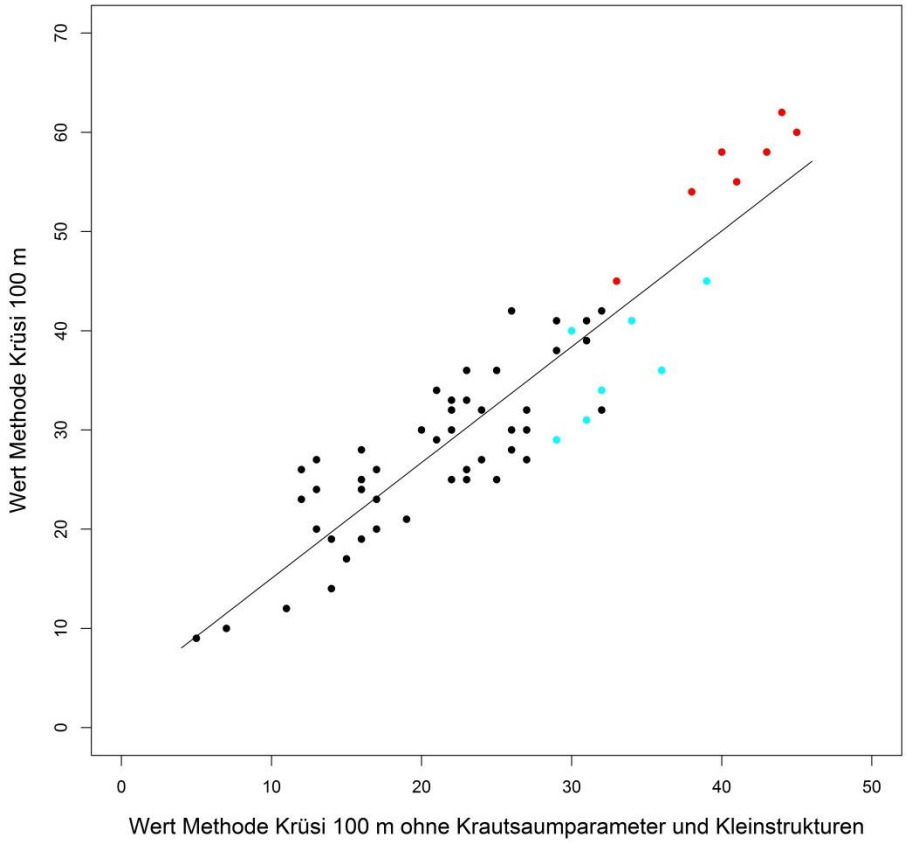

Abb. 18: Zusammenhang der mit der Methode Krüsi ökologisch bewerteten Waldränder auf einem 100 m Abschnitt und auf einem 100 m Abschnitt ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.83, r = 0.91, n = 62). y = a + bx (a = 3.36419, b = 1.16771).

Wurde ein 50 m langer Waldrandabschnitt nach der Methode LFI (Keller, 2013) beurteilt, kann der ermittelte LFI Ökotonwert mit folgendem Vorgehen in die Punktzahl gemäss Krüsi Bewertungsskala (100 m) umgerechnet werden:

1. Die Punktzahl des Parameters „Krautsaumbreite“ von der Gesamtpunktzahl des LFI Ökotonwerts (50 m) subtrahieren.
2. Den neu berechneten LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite aus Schritt 1 mit der Umrechnungsformel (Abb. 5) in den Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen umrechnen:
   Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen = (LFI Ökotonwert ohne Krautsaumbreite – 37.9923) / 1.1923
3. Den berechneten Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 2 auf eine ganze Zahl runden.
4. Den Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen mit dem Faktor für 100 m lange Waldrandabschnitte multiplizieren:
   Krüsi Wert (100 m) = Gerundeter Krüsi Wert (50 m) * 1.12
5. Den berechneten Krüsi Wert (100 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 4 auf eine ganze Zahl runden.

Damit der berechnete Krüsi Wert ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 5 in eine Qualitätskategorie der originalen Krüsi Skala (Tab. 9) eingeteilt werden kann, ist ein weiterer Schritt notwendig:

6. Den gerundeten Wert aus Schritt 5 mit der Umrechnungsformel (Abb. 18) in den Krüsi Wert (100 m) umrechnen:
   Krüsi Wert (100 m) = 3.36419 + 1.16771 * Krüsi Wert (100 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen

7. Den berechneten Krüsi Wert (100 m) aus Schritt 6 auf eine ganze Zahl runden und in die originale Krüsi Skala (Tab. 9) einteilen.

Umrechnung von Krüsi Werten (100 m) ohne Berücksichtigung von „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ und „Kleinstrukturen und toten Bäumen“ in LFI Ökotonwerte (50 m)

Da beim LFI Ökotonwert die Krautsaumbreite abgezogen wurde, waren diese Werte tendenziell ebenfalls tiefer als diejenigen LFI Ökotonwerte ohne Abzüge. Damit die beiden LFI Ökotonwerte trotzdem miteinander verglichen werden können, müssen die berechneten LFI Ökotonwerte ohne Krautsaumbreite mit einer zweiten Formel umgerechnet werden. Diese Formel wurde abgeleitet aus der Korrelation zwischen den „Ökotonwerten LFI4“ und den „Ökotonwerten LFI4 ohne Krautsaumbreite“ (Abb. 19).

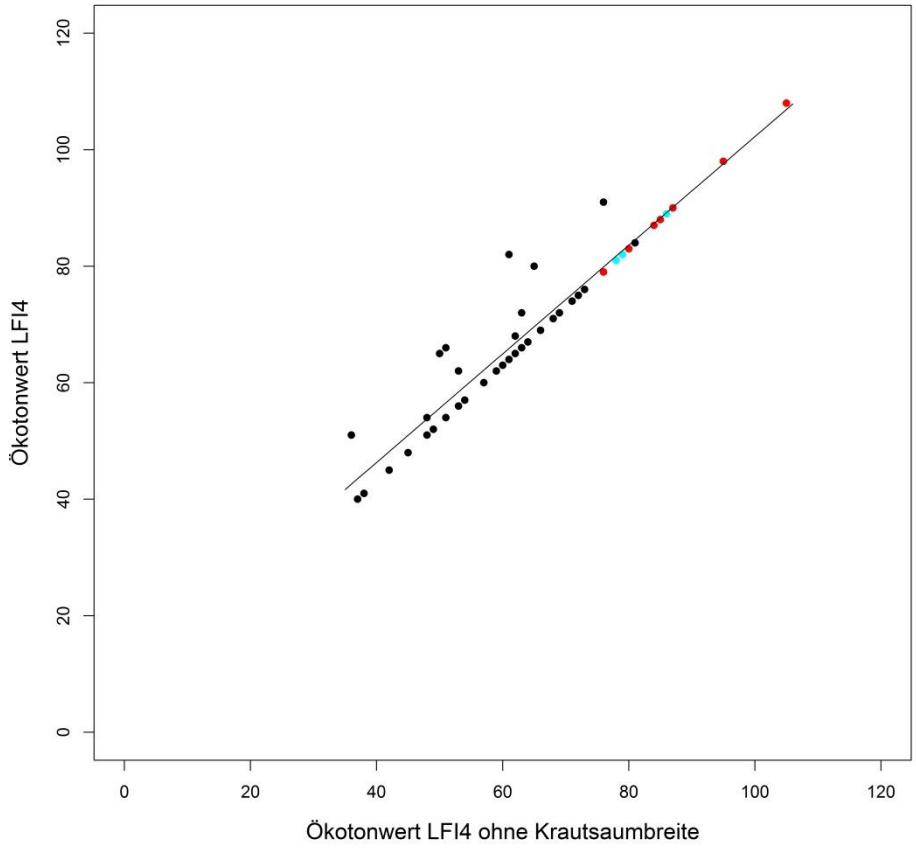

Abb. 19: Zusammenhang zwischen den Ökotonwerten LFI4 und den Ökotonwerten LFI4 ohne Krautsaumbreite. Dargestellt sind die Waldränder aus der LFI4 Auswahl (schwarze Punkte), die Top10 (LFI3) Waldränder (hellblaue Punkte) sowie die ökologisch erfolgreich aufgewerteten Waldränder aus dem Kanton Aargau (rote Punkte). Punktüberlagerungen sind möglich. Fünf als Ausreisser definierte Waldränder wurden nicht berücksichtigt (r^2 = 0.92, r = 0.96, n = 62). y = a + bx (a = 9.02502, b = 0.93237).

Wurde ein 100 m langer Waldrandabschnitt nach der Methode Krüsi (Krüsi & Schütz, 1994; Krüsi, 2013) beurteilt, kann die ermittelte Punktzahl mit folgendem Vorgehen in den entsprechenden LFI Ökotonwert (50 m) umgerechnet werden:

1. Die Punktzahlen der Parameter „Krautsaumtiefe“, „Krautsaumlänge“, „Krautsaumtyp“ sowie „Kleinstrukturen und tote Bäume“ von der Gesamtpunktzahl des Krüsi Werts (100 m) subtrahieren.
2. Den neu berechneten Krüsi Wert (100 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 1 mit dem Divisor für 50 m lange Waldrandabschnitte (vgl. Kapitel 3.2.2) dividieren:
   Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen = Krüsi Wert (100 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen / 1.12

3. Den berechneten Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 2 auf eine ganze Zahl runden.
4. Den Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen aus Schritt 3 mit der Umrechnungsformel in den LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite umrechnen:
   LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite = 37.9923 + 1.1923 * Gerundeter Krüsi Wert (50 m) ohne Krautsaumparameter und Kleinstrukturen
5. Den berechneten LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite aus Schritt 4 auf eine ganze Zahl runden.

Damit der berechnete LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite aus Schritt 5 mit anderen LFI Ökotonwerten ohne Abzüge verglichen werden kann, ist ein weiterer Schritt notwendig;

6. Den gerundeten Wert aus Schritt 5 (LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite) mit der Umrechnungsformel (Abb. 19) in den LFI Ökotonwert (50 m) umrechnen:
   LFI Ökotonwert (50 m) = 9.02502 + 0.93237 * LFI Ökotonwert (50 m) ohne Krautsaumbreite