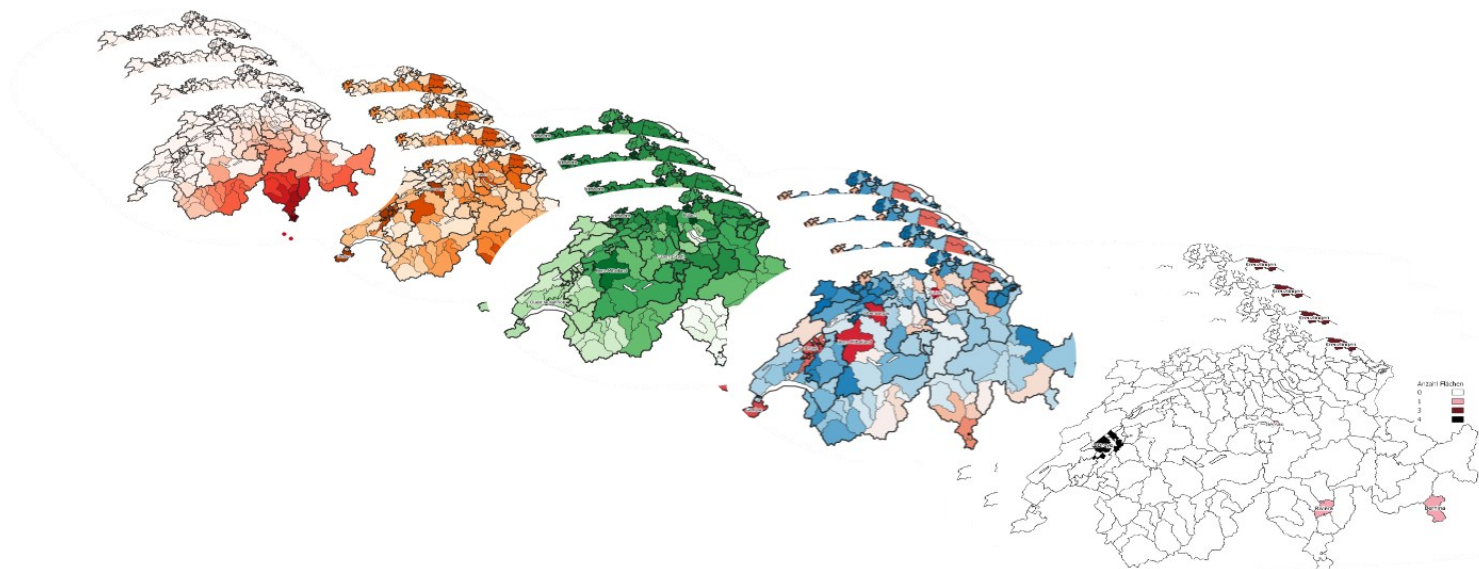


Modellierungen für die Gebietsüberwachung der Schweiz



Birmensdorf, 25/11/2022

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Waldschutz und Waldgesundheit, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Autoren: Benno A. Augustinus, Rebecca Epanchin-Niell, Valentin Queloz, Eckehard G. Brockerhoff

Begleitung BAFU: Aline Knoblauch

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Übersicht über das Modell	6
3. Parametrisierung des Modells	6
2.1 Etablierungswahrscheinlichkeit	6
3.1.1 Einführungswahrscheinlichkeit	7
3.1.2 Ökologische Eignung	8
3.1.3 Etablierungsrate* pro Jahr	9
3.2 Natürliche Verbreitung	10
3.3 Zufallsfunde	11
3.3.1 Zeit von Einschleppung bis zur Entdeckung	11
3.3.2 Berechnung Entdeckungswahrscheinlichkeit ohne Gebietsüberwachung	12
3.4 Wahrscheinlichkeit der Detektion mit Gebietsüberwachung	12
3.4.1 Effizienz der Flächen / Entdeckungswahrscheinlichkeit der Gebietsüberwachung	13
3.4.2 Siedlungsfläche pro Bezirk	13
3.5 Überwachungskosten	14
3.6 Tilgungskosten	14
3.7 Grenzwerte für das Modell	15
4. Resultate	15
4.1 Optimale Anzahl Flächen insgesamt	15
4.2 Verteilung der Investitionen über die Kantone und Organismen	15
4.3 Geografische Verteilung der Flächen pro Organismus	17
5. Diskussion	20
5.1 Flächen für BPK	20
5.2 Flächen für EPK	20
5.3 Flächen für ALB und CLB	21
5.4 Flächen für KHN	21
5.5 Flächen für SSS	21
5.6 Flächen für FPK	22
5.7 Flächen für PET	22
5.8 Optimale Anzahl Flächen insgesamt	22
6. Glossar	23
7. Literaturverzeichnis	23
Anhang	25

1. Einleitung

Durch den anhaltenden globalen Warenhandel werden zunehmend gebietsfremde Schadorganismen weltweit verschleppt. Um die Verbreitung von besonders gefährlichen Schadorganismen und Schäden durch diese im Wald in Grenzen zu halten, beteiligt sich die Schweiz an internationalen Pflanzengesundheitsmassnahmen im Rahmen eines bilateralen Abkommens mit der EU. Durch die Pflanzengesundheitsverordnung (PGesV), die Verordnung des WBF und des UVEK zur Pflanzengesundheitsverordnung (PGesV-WBF-UVEK) und der Verordnung des BAFU über phytosanitäre Massnahmen für den Wald (VpM-BAFU) wird der Umgang mit besonders gefährlichen Schadorganismen geregelt.

Seit 2020 ist eine aktive Gebietsüberwachung von prioritären Quarantäneorganismen sowie einigen weiteren Quarantäneorganismen für die Kantone obligatorisch (PGesV). Um die Methoden zu entwickeln, zu prüfen und zu optimieren, wurde ein dreijähriges Pilotprojekt mit sechs Kantonen, der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) durchgeführt. Als Teil der schweizweiten Gebietsüberwachung werden nun sechs prioritäre Quarantäneorganismen (prioQO) und zwei weitere Quarantäneorganismen überwacht. Im Einzelnen handelt sich es um die folgenden Arten:

PrioQOs:

- Birkenprachtkäfer (*Agrilus anxius*, 'BPK')
- Asiatischer Eschenprachtkäfer (*Agrilus planipennis*, 'EPK')
- Citrusbockkäfer (*Anoplophora chinensis*, 'CLB')
- Asiatischer Laubholzbockkäfer (*Anoplophora glabripennis*, 'ALB')
- Kiefernholznematode (*Bursaphelenchus xylophilus*, 'KHN')
- Sibirischer Seidenspinner (*Dendrolimus sibiricus*, 'SSS')

Weitere QOs:

- Pechkrebs der Föhre (*Fusarium circinatum*, 'PKF'), ein Pilz, und
- Plötzlicher Eichtod (*Phytophthora ramorum*, 'PET'), ein Oomycet.

In der Gebietsüberwachung wird ein Monitoring durch Flächen mit wiederholter Symptomaufnahme sowie Sporen- und Insektenfallen durchgeführt. Da es begrenzte Ressourcen für dieses Monitoring gibt, ist es von hoher Bedeutung, dies so effizient wie möglich durchzuführen. Um eine risikobasierte, ökonomisch und wissenschaftlich sinnvolle Verteilung von Flächen zu ermöglichen, benutzen wir ein bio-ökonomisches mathematisches Modell. In diesem Bericht erklären wir die Vorgehensweise und Parametrisierung des Modells, sowie die Resultate. Diese ökonomische und risikobasierte Analyse zeigt, wie die Flächenverteilung ökonomisch optimiert werden kann, um die höchstmögliche Effektivität der frühzeitigen Entdeckung der Zielarten zu ermöglichen. Die Ergebnisse der Analyse zeigen also an, in welchen Bezirken für die jeweiligen Quarantäneorganismen (QOs) eine optimale Überwachung durchgeführt werden kann, um damit die grösstmögliche Wahrscheinlichkeit zu erreichen, Populationen der Zielorganismen frühzeitig zu entdecken.

Die Analysen sollen konkret die drei nachfolgenden Hauptfragen beantworten:

1. Wie kann die Gebietsüberwachung geplant werden, so dass die verfügbaren Investitionen optimal und insgesamt am effektivsten verteilt sind (wie viele Flächen und Fallen)?
2. In welche Organismen sollte mehr investiert werden (und in welche weniger) um über alle Zielarten hinweg optimal in die Gebietsüberwachung zu investieren?
3. An welchen Standorten sollte das Monitoring für welche Organismen bevorzugt stattfinden?

2. Übersicht über das Modell

Für die Analysen wurde das für das United States Department of Agriculture (USDA) entwickelte Modell CESAT ('Cost-Efficient Surveillance Allocation Tool') an die Schweizer Bedingungen und Bedürfnisse angepasst (Abb.1). Dieses Modell kann benutzt werden, um die Kosten und Nutzen einer Überwachung mehrerer Organismen gegeneinander abzuwägen. Das Modell ermöglicht, optimale Investitionen zu identifizieren, um mit der höchstmöglichen Wahrscheinlichkeit die Zielarten frühzeitig und mit einer ökonomisch sinnvollen Priorisierung entdecken zu können (Epanchin-Niell et al., 2014).

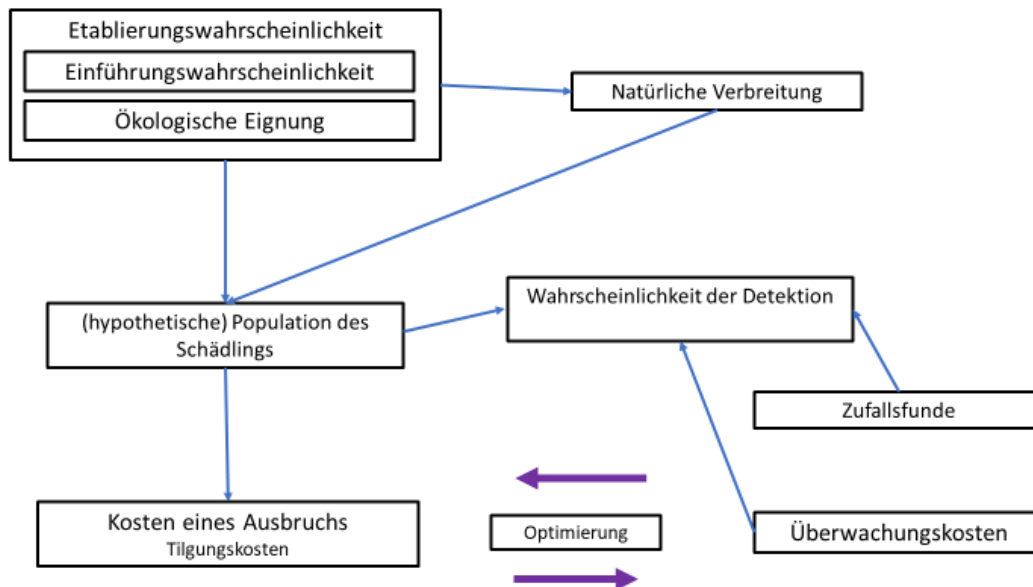
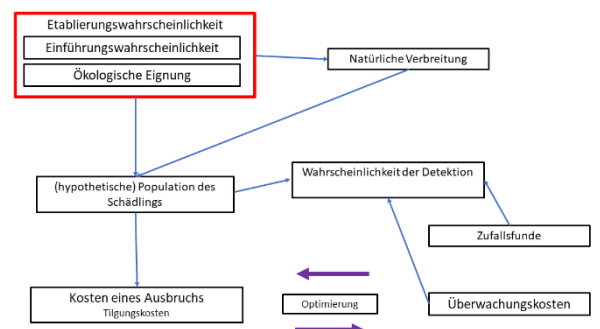


Abb. 1: Schematische Übersicht über das benutzte Modell.

3. Parametrisierung des Modells

2.1 Etablierungswahrscheinlichkeit

Die Etablierungswahrscheinlichkeit eines Organismus setzt sich aus der Einführungswahrscheinlichkeit (siehe 3.1.1) und der ökologischen Eignung der Region (siehe 3.1.2) zusammen. Die Etablierungswahrscheinlichkeit wurde zunächst als relativer Wert berechnet. Um die Kosten und Nutzen für die Überwachung der verschiedenen Organismen gegeneinander abzuwägen, wurde den Organismen eine Etablierungsrate (siehe 3.1.3) zugewiesen. Da mehrere Kantone geographisch heterogene Gebiete beinhalten, haben wir die Kantone wo möglich in Bezirke aufgeteilt und die Analysen auf Bezirksniveau durchgeführt. Diese Bezirke sind verwaltungstechnisch die Ebene zwischen Gemeinden und Kantonen, können also Bezirke, aber auch Wahlkreise sein, oder französischsprachige und rätoromanische 'districts' sowie 'distretti' im Tessin.



3.1.1 Einführungswahrscheinlichkeit

Wir berechnen die Etablierungswahrscheinlichkeit, indem wir erst die Einführungswahrscheinlichkeit (*InProb*) berechnen:

$$InProb = (Einwohnerzahl + Importe von relevanten Waren)$$

Wobei 'Importe von relevanten Waren' sich auf Waren beziehen, die als Vektoren für die jeweiligen Organismen gesehen werden, aus Ländern wo die Organismen vorkommen. Diese Daten (von 2015-2021) wurden über den Schweizer Zoll bezogen und pro Bezirk zusammengefasst. Die Einwohnerzahl und die Importe von relevanten Waren für den jeweiligen Organismus wurden pro Bezirk jeweils durch den Maximalwert der Parameter geteilt, so dass der Bezirk mit dem Maximalwert den Wert '1' zugeteilt bekommt.

Im Falle von ALB und CLB kam noch ein anderer Parameter hinzu, nämlich die Entfernung zu aktiven Ausbrüchen. Diese wurde berechnet, indem wir die Entfernung in Strassenkilometer von jedem Ausbruch bis zur Hauptstadt (oder, falls nicht vorhanden, bis zur grössten Stadt) der jeweiligen Bezirke berechnet haben. Alle Entfernungen grösser als 300 km wurden auf 300 km gesetzt, da dies der Definition von Eurostat* für die maximale Entfernung von täglicher Kurzstrecken-Mobilität entspricht (weniger als 300 km).

Dieser Wert wurde dann entsprechend der folgenden Formel transformiert:

$$Invlog_lowlim = \frac{1}{\ln(\text{Abstand in km})} - \ln(300)$$

Dadurch erreichen wir, dass alle Entfernungen von 300 oder mehr km als '0' berechnet werden. Hiernach wurde dieser Wert durch den log von 10 geteilt, sodass alle Abstände von 10 km oder mehr als '1' berechnet wurden, und der Zusammenhang zwischen Entfernung und Einführungswahrscheinlichkeit wie folgt eingeschätzt wird:

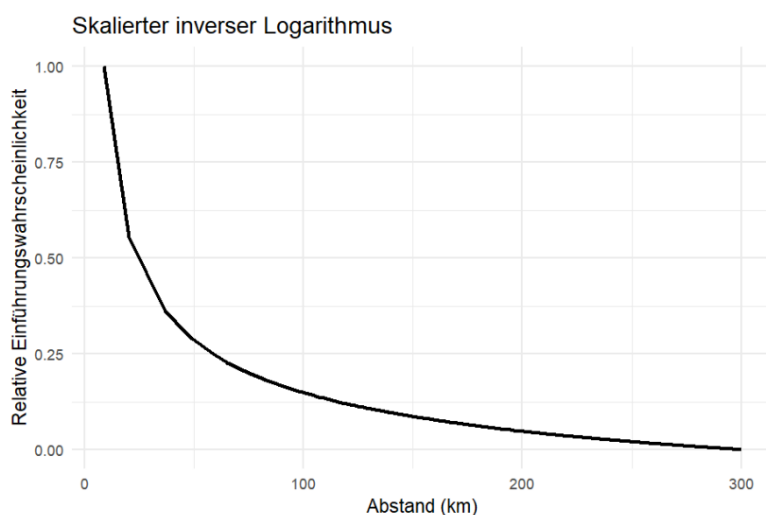


Abb. 2: Das angenommene Verhältnis zwischen Entfernung von bestehenden aktiven Ausbrüchen in km und relativer Einführungswahrscheinlichkeit durch Einführung mittels Kurzstrecken-Mobilität.

Danach wurden alle Werte pro aktiven Ausbruch addiert und durch den Maximalwert geteilt. Dadurch bekam der Bezirk mit der höchsten Gesamtwahrscheinlichkeit den Wert '1'. Für ALB und CLB wurde somit die relative Einführungswahrscheinlichkeit (*Inprob*) wie folgt berechnet:

$$InProb = (Einwohnerzahl + Importe von relevanten Waren + Entfernung zu Ausbrüchen)$$

3.1.2 Ökologische Eignung

Nach der Einführungswahrscheinlichkeit berechneten wir die ökologische Eignung basierend auf dem Vorhandensein von Wirtsbäumen unter den Bäumen im städtischen Bereich und im Wald. Da die grosse Mehrheit der Erstfunde (etwa 90%) von invasiven Waldschädlingen im städtischen Bereich geschehen (M. Branco et al., 2019), wurden die städtischen Wirtsbäume mit höherer Gewichtung als die Wirtsbäume im Wald berücksichtigt. Dadurch ergibt sich die folgende Formel für die Ökologische Eignung:

$$\text{Eignung} = (0.9 * \text{Fraktion von Wirtsbäumen im städtischen Bereich} + 0.1 * \text{Fraktion von Wirtsbäumen im Wald})$$

Um die Fraktion von Wirtsbäumen im städtischen Bereich abzuschätzen, haben wir Baumkataster von 26 Gemeinden zusammengetragen und analysiert (Abb. 3). In jedem Baumkataster waren für jeden überwachten Organismus Wirtsarten vorhanden, allerdings mit unterschiedlicher relativer Häufigkeit. Wir fanden auch, dass es keine räumliche Korrelation zwischen den Zusammensetzungen der Baumarten der verschiedenen Gemeinden gibt (Mantel Test). Dahingegen hat die Sprachregion, in welcher die Gemeinden liegen, einen Einfluss auf die Artenzusammensetzung der Bäume (gemäss einer Multivariaten Permutationsanalyse der Varianz). Dementsprechend wurde davon ausgegangen, dass die Gemeinden, für die wir keine Baumkataster bekommen konnten, eine Zusammensetzung der Baumarten haben, die der für jede Sprachregion typischen entspricht. Die Baumartenzusammensetzung im Wald pro Bezirk wurde dem Landesforstinventar LFI 4 entnommen (Brändli et al., 2020). Die Baumartenzusammensetzung in den umliegenden (10 km Abstand zum Gemeindemittelpunkt) Wäldern ist statistisch signifikant verschieden von derjenigen der städtischen Bäume (gemäss einer Rarefaction-Analyse).

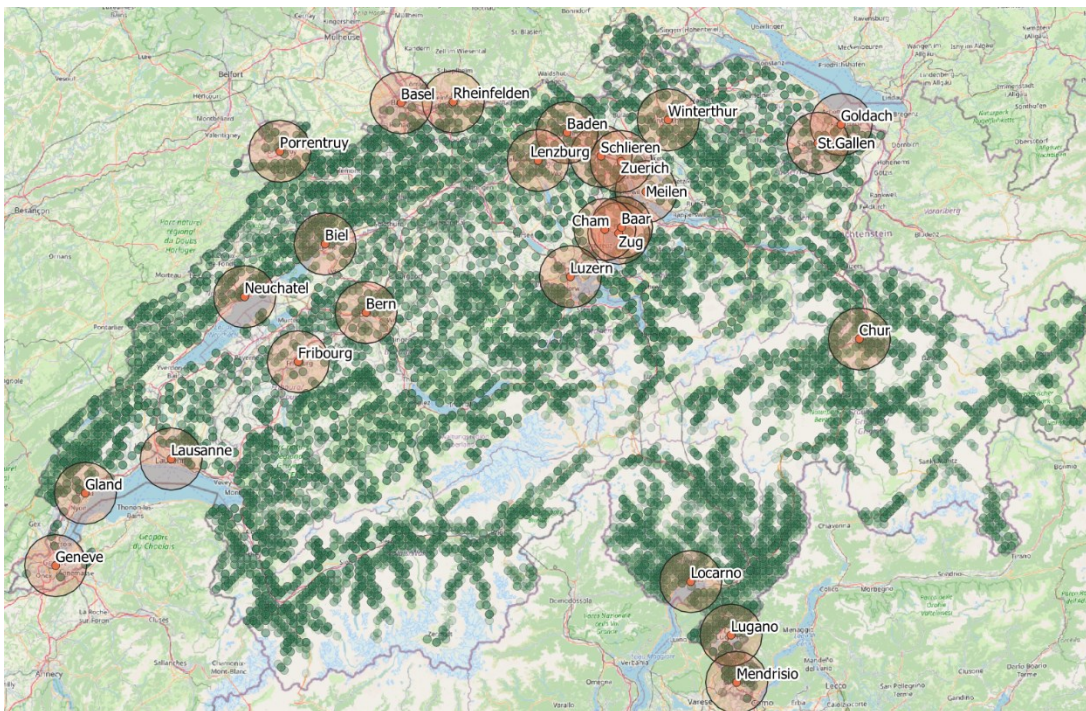


Abb. 3: Die Verteilung der Gemeinden, die Baumkataster zur Verfügung stellten (orange Punkte mit Namen), und die Stichprobenflächen des Landesforstinventars (LFI-Plots, grüne Punkte). Um das Zentrum jeder Gemeinde mit Baumkataster wurden alle LFI-Plots in einem Umkreis von 10km ausgewählt (orange schattierte Kreise).

3.1.3 Etablierungsrate* pro Jahr

Für jeden Zielorganismus war es notwendig, eine Etablierungsrate (pro Jahr) anzusetzen. Als Grundlage für diese Annahmen haben wir die 'Pest Reports' der European Food Safety Authority (EFSA) zu den PrioQOs (EFSA, Schans, et al., 2020; EFSA, Schenk, et al., 2020; EFSA, Schrader, Hoppe, et al., 2019; EFSA, Schrader, Kinkar, et al., 2019) und 'Pest Risk Assessments' zu *F. circinatum* (EFSA, Kinkar, et al., 2020) und *P. ramorum* (EFSA, 2011), sowie die Artenpriorisierung für die Schweiz (Priorisierung von waldrelevanten Schadorganismen BAFU und KOK, 2020) benutzt.

Für die meisten Organismen sind keine wissenschaftlich belegten Etablierungsraten für die Schweiz vorhanden, da es nur wenige (oder gar keine) Etablierungen der Zielorganismen gab. Es gibt zwar Daten zu Funden in Warenlieferungen, aber hier ist die Dunkelziffer wahrscheinlich hoch und die tatsächliche Ankunftsrate ist ohnehin unbekannt. Ausserdem ist das Verhältnis von Funden in Warenlieferungen und Befällen unbekannt. So wurde in der Schweiz in den letzten 20 Jahren 17-mal ALB in Warenlieferungen aus dem Ausland gefunden, aber es sind nur fünf Freilandbefälle bekannt (S. Branco et al., 2021; Queloz et al., 2018; Zahner, 2022).

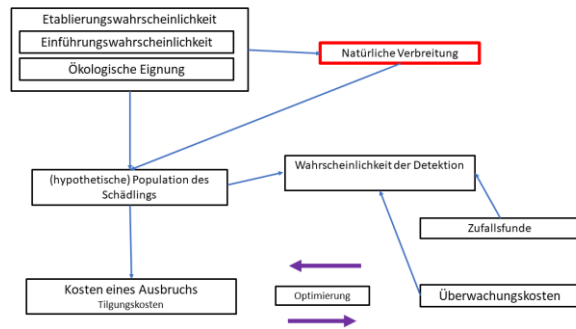
Dementsprechend haben wir einen theoretischen Höchstwert der Etablierungsrate von einer Etablierung pro fünf Jahren angesetzt, basierend auf dem Maximalwert von 4 Etablierungen pro 20 Jahre (die Parametrisierung wurde vor dem nun bekannten fünften Freilandbefall von ALB in Zell durchgeführt). Für mittlere Etablierungsraten entschieden wir uns für eine Rate von einer Etablierung in 10 Jahren, und für geringe Etablierungsraten auf eine Etablierung pro 25 Jahren. Bei diesen Abschätzungen haben wir uns bevorzugt auf die Einschätzung in der Artenpriorisierung von BAFU und KOK (2020) verlassen, und sind weniger den Einschätzungen der EFSA gefolgt, da sich die Werte des BAFU und der KOK speziell auf die Schweiz beziehen. Diese Abschätzung ergibt für die verschiedenen QO die Werte, die in Tabelle 1 gezeigt sind.

Tabelle 1: Die Etablierungswahrscheinlichkeit pro Organismus geschätzt, entsprechend der Artenpriorisierung (BAFU und KOK, 2020) und EFSA, und der Etablierungsrate pro Jahr, wie sie im Modell benutzt wurde.

Schädling	Einschätzung Artenpriorisierung (BAFU, KOK)	Einschätzung EFSA	Etablierungsrate/Jahr
BPK	gering	gering-mittel	0.04
EPK	gross	mittel	0.2
CLB	gross	gross	0.2
ALB	gross	gross	0.2
KHN	mittel	gross	0.1
SSS	gering	gross	0.04
FPK	mittel	sehr gross	0.1
PET	NA	gross	0.2

3.2 Natürliche Verbreitung

Die potentielle Verbreitung der Organismen pro Jahr wurde von 'Pest Reports' der EFSA entnommen (EFSA, Schans, et al., 2020; EFSA, Schenk, et al., 2020; EFSA, Schrader, Hoppe, et al., 2019; EFSA, Schrader, Kinkar, et al., 2019). Dafür nahmen wir die dort geschätzte potenzielle maximale Verbreitung pro Jahr. Dies dürfte die Verbreitung einer kürzlichen Etablierung überschätzen, da Populationen in neuen Umgebungen zunächst langsam wachsen



und eine sogenannte 'Lag Phase' ('Verzögerungsphase') durchmachen (Abb. 4). Die EFSA 'Pest Reports' gehen aber davon aus, dass wenn sich eine Population etabliert hat und hohe Populationsdichten entwickelt hat, es keine 'Lag-Phase' in dessen Ausbreitung gibt. Das ist insofern potenziell problematisch, weil eine Etablierung in der Regel mit einer sehr kleinen Gründer-Population beginnt, und nicht mit einer Population, die sich bereits gut etabliert hat und mit maximaler Geschwindigkeit ausbreitet. Das bedeutet demnach, dass diese EFSA-Werte die Verbreitung nach der ersten Ansiedlung wahrscheinlich überschätzen.

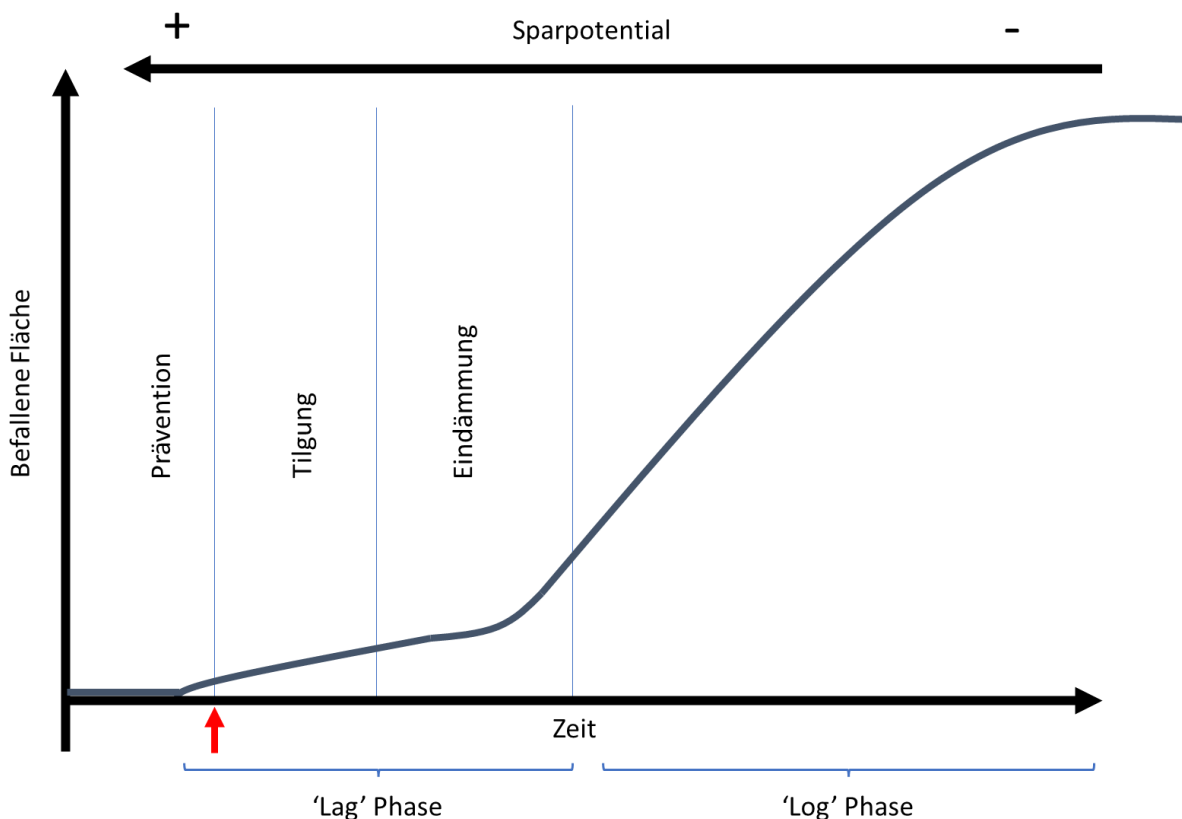


Abb. 4: Illustration der 'Lag Phase', der anfänglichen, langsamen Ausbreitung von invasiven Organismen und der 'Log Phase', der späteren, logarithmisch wachsenden Ausbreitung von Invasiven Organismen (Fleming et al., 2017), mit den besten Managements-Optionen. Idealerweise werden Populationen so nahe möglich am mit dem roten Pfeil markierten Zeitpunkt der Einführung gefunden, um eine Tilgung mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erreichen.

Die Dauer der 'Lag-Phase' ist sehr schwierig zu beurteilen oder gar vorher zu sagen, weil sie von Art zu Art variiert und auch von zufälligen Faktoren mitbestimmt wird. Deshalb übernehmen wir die Werte, die von der EFSA vorgeschlagen werden, obwohl es sich dabei wahrscheinlich um eine Überschätzung der anfänglichen Ausbreitungsgeschwindigkeit handelt. Die Berücksichtigung dieser langsameren anfänglichen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Modell würde den Nachdruck noch mehr auf früherer Erkennung legen, und daraus würden dann höhere empfohlene Investitionen in Früherkennung erfolgen. Da FPK und PET keine prioQOs sind, gibt es für diese Organismen bisher keine ausführlichen EFSA Pest Reports, wohl aber andere Quellen. Die potentielle Verbreitung für FPK wurde von Møykkynen et al. (2015) entnommen, und für PET von der Pest Survey Card der EFSA (EFSA, 2011).

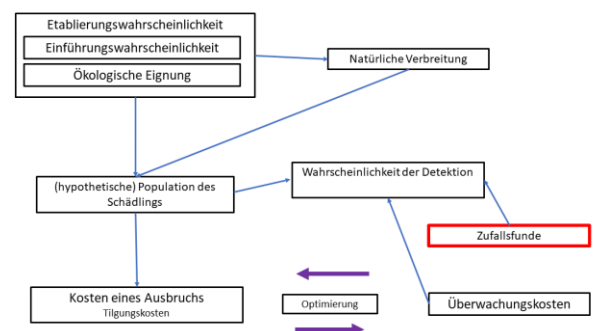
Die Schätzungen der EFSA geben einen Maximalwert der potenziellen Verbreitung mit einem Konfidenzintervall von 95% an. Wir übernehmen hier den erwarteten Maximalwert für unsere Parameter. Für die Zielorganismen der Gebietsüberwachung ergeben sich demnach die Werte für die potenzielle Verbreitung, die in Tabelle 2 gezeigt sind.

Tabelle 2: Potenzielle Verbreitungsgeschwindigkeit pro Jahr

Schädling	m/Jahr
BPK	1300
EPK	1600
CLB	194
ALB	150
KHN	5000
SSS	9500
FPK	1300
PET	1000

3.3 Zufallsfunde

Um die Entdeckungswahrscheinlichkeit ohne Gebietsüberwachung ('Background Detection Rate' oder 'Zufallsfunde') (siehe 3.3.2) zu berechnen, wurde ein Produkt der potenziellen Ausbreitung pro Jahr (siehe 3.2) und der Zeit von Einschleppung* bis zur Entdeckung (siehe 3.3.1) berechnet.



3.3.1 Zeit von Einschleppung bis zur Entdeckung

Für die Zielorganismen der Gebietsüberwachung gibt es eine Expertenabschätzung der EFSA, welche die Zeitspanne zwischen der Einschleppung eines Organismus und der Erstentdeckung angibt. Diese Abschätzung geht von der heutigen Situation in Europa aus. Wie auch bei der potenziellen Ausbreitung pro Jahr werden maximale und minimale Szenarien abgeschätzt, und eine passende Verteilung an diese Werte angepasst. Der Medianwert gibt dann die Erwartung für die Zeit von der Einschleppung bis zur Erstentdeckung an. Wir haben diesen Medianwert für unsere Organismen von den EFSA-Schätzungen übernommen. Für manche Organismen (ALB und CLB) wurden verschiedene Werte für städtische Gebiete und den Wald angegeben. Für diese haben wir die Werte für die städtischen Gebiete übernommen, da wir annehmen, dass die ersten Ausbrüche der Organismen wahrscheinlich

in diesen Gebieten stattfinden werden. Damit ergeben sich die Werte der Zeit von Einschleppung bis zur Erstentdeckung, wie sie in Tabelle 3 gezeigt sind.

Tabelle 3: Zeit von Einschleppung bis Erstentdeckung in Jahren

Schädling	Zeitspanne zwischen Einschleppung und Entdeckung
BPK	10
EPK	10
CLB	4.9
ALB	7
KHN	10
SSS	16.5
FPK	16.5
PET	16.5

3.3.2 Berechnung Entdeckungswahrscheinlichkeit ohne Gebietsüberwachung

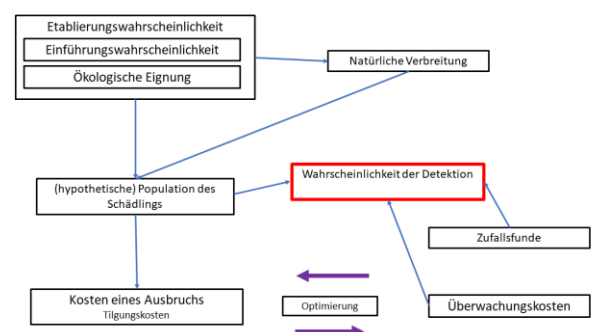
Um die Entdeckungswahrscheinlichkeit ohne Gebietsüberwachung ('Background Detection Rate') zu berechnen, haben wir die Ausbreitungsgeschwindigkeit (Tabelle 2) und die Zeit von der Einschleppung bis zur Erstentdeckung (Tabelle 3) benutzt. Wir berechneten die potenzielle Fläche einer Ausbreitung des jeweiligen Organismus zur Zeit einer Entdeckung. Damit berechnen wir die Wahrscheinlichkeit pro Quadratkilometer, dass ein Organismus entdeckt wird, wenn er dort vorkommt (Tabelle 4):

Tabelle 4: Wahrscheinlichkeit (als Fraktion) auf Entdeckung pro km² ohne optimierte Gebietsüberwachung

Schädling	Wahrscheinlichkeit von Entdeckung pro km ²
BPK	0.00035
EPK	0.00022
CLB	0.1
ALB	0.068
KHN	0.000024
SSS	0.0000016
FPK	0.00009
PET	0.00014

3.4 Wahrscheinlichkeit der Detektion mit Gebietsüberwachung

Die Wahrscheinlichkeit der Detektion hängt von der Effizienz der Gebietsüberwachung pro Fläche (und damit die Entdeckungswahrscheinlichkeit der Gebietsüberwachung) (siehe 3.4.1) und der Grösse der zu überwachenden Fläche (die Siedlungsfläche pro Bezirk) (siehe 3.4.2) ab.



3.4.1 Effizienz der Flächen / Entdeckungswahrscheinlichkeit der Gebietsüberwachung

Die Entdeckungswahrscheinlichkeit der überwachten Flächen wird im CESAT-Modell definiert als 'die Wahrscheinlichkeit, dass eine Population entdeckt wird, wenn der Zielorganismus auf einer überwachten Fläche vorkommt'. Die Zeitspanne für diesen Parameter ist ein Jahr. Auch wenn es kombinierte Flächenüberwachung mit Fallen und Symptomaufnahmen gibt, bedeutet das nicht, dass es eine 100% Wahrscheinlichkeit gibt, dass der Organismus gefunden wird, da nicht jeder Baum im Verbreitungsgebiet des Organismus befallen sein sollte (Tabelle 5).

Tabelle 5: Wahrscheinlichkeit pro Jahr (als Fraktion), dass ein Organismus nachgewiesen wird, falls die Fläche die Ausbreitung der Population überschneidet

Schädling	Wahrscheinlichkeit Nachweis auf Fläche	Kommentare/ Begründung
BPK	0.45	Gemässigte Effektivität der Fallen, aber Europäische Birken sterben schnell ab, zeigen starke Symptome (Ausflugslöcher, erhöhte Frassgänge, Läsionen) und sind somit bei einer Sichtkontrolle schnell entdeckt.
EPK	0.4	Effektivität der Fallen ähnlich wie bei BPK, aber Symptome werden wohl weniger schnell wahrgenommen da Eschen wegen des Eschentriebsterbens ohnehin schon kränkeln.
CLB	0.3	Fallen eher weniger effektiv, da kein motivierter Flieger und weil die erhältlichen Lockstoffe nicht hoch-attraktiv sind. Lange Generationszeit (mindestens 1 Jahr, aber meistens 2 Jahre), Bäume sterben erst nach mehreren Jahren des Befalls ab.
ALB	0.3	Wie CLB
KHN	0.5	Effektive Fallen und Lockstoffe für <i>Monochamus</i> spp. (Vektoren) vorhanden; gut sichtbarer Schaden an Bäumen.
SSS	0.7	Sehr effektive Fallen und Lockstoffe, Raupen und Eier in niedrigen Dichten nicht auffällig.
FPK	0.4	Es gibt eine klare Verzögerung zwischen Etablierung* und ersten Symptomen an kranken Bäumen. Sporen werden nicht gerichtet gefangen (wie bei Insekten mit Lockstoffen), sondern Verbreiten sich mit Wind und Vektoren.
PET	0.5	Zwar längere Verzögerung als FPK, und weniger Verbreitung durch die Luft. Dafür muss aber mit grösseren Mengen von Sporen gerechnet werden, falls <i>P. ramorum</i> sporuliert, was bei Lärchen der Fall ist (Gebietsüberwachung konzentriert sich auf Lärchenflächen)

3.4.2 Siedlungsfläche pro Bezirk

Da Bezirke keine gleichmässige Verteilung haben, sondern administrative Einheiten sind, ist es wichtig, die Unterschiede in Siedlungsflächen zu berücksichtigen. Wir nehmen an, dass erste Befälle in Siedlungsflächen und nicht auf unproduktiven Flächen (wie Gewässer oder Gletscher), landwirtschaftlichen Gebieten oder im Forstbereich vorkommen. Dies beeinflusst auch wo und wie

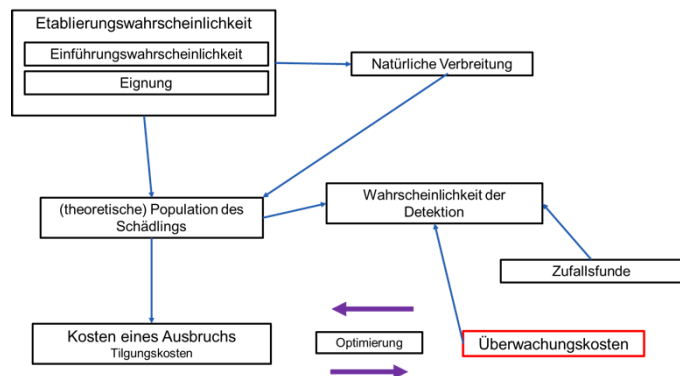
viele Flächen in welcher Dichte überwacht werden können. Wir haben hierzu die Anteile der Siedlungsfläche pro Bezirk von der Arealstatistik Schweiz von 2018 entnommen (<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/boden-nutzung-bedeckung-eignung/arealstatistik-schweiz.html>).

3.5 Überwachungskosten

Die Kosten für die Gebietsüberwachung setzen sich aus mehreren fixen Kosten sowie variablen Kosten zusammen, die von der Anzahl der zu überwachenden Flächen abhängen. Die Fixkosten der WSL für die Gebietsüberwachung bestehen zum grössten Teil aus Personalkosten und variieren je nach Anzahl der Flächen entsprechend der Daten in Tabelle 6.

Tabelle 6: Fixkosten für die Gebietsüberwachung an der WSL (Stand 01.2022)

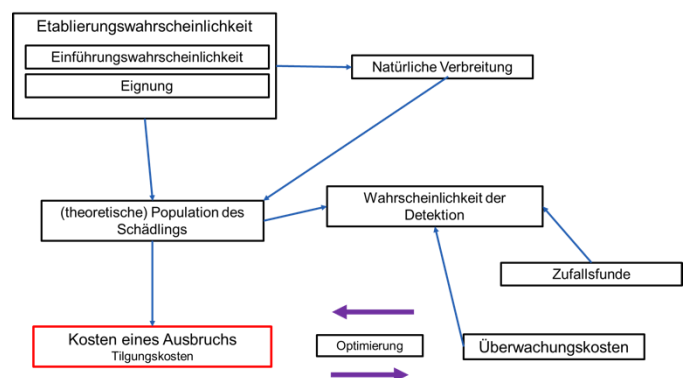
# Flächen	Fixkosten (CHF pro Jahr)
100	405260
200	454860
300	504460



Kosten pro Fläche, inklusive Zeit und Material pro Waldschutzbeauftragte/n und WSL MitarbeiterIn, wurden auf 8000 CHF pro Jahr angesetzt.

3.6 Tilgungskosten

Die Tilgungskosten pro Fläche wurden aus dem Artikel Tobin et al. (2014) entnommen (Abb. 5). Zwar gibt es Daten zu Ausbrüchen in der Schweiz für die Tilgungen von ALB in Berikon, Brünisried, Marly und Winterthur, aber Interpolieren von fünf Datenpunkten ist nicht empfehlenswert. Die Kosten pro Oberfläche wurden in CHF umgerechnet und für Inflation korrigiert.



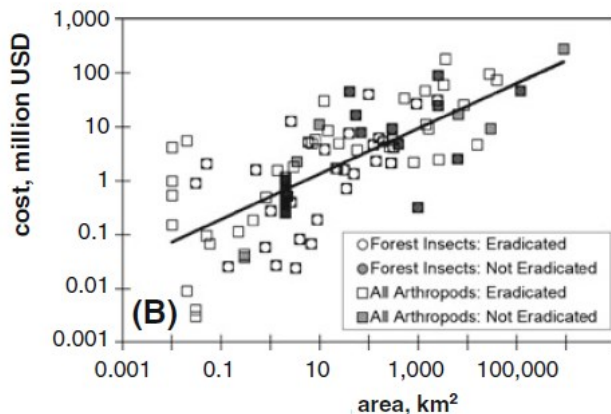


Abb. 5: Zusammenhang zwischen Tilgungskosten und befallener Oberfläche, entnommen von Tobin et al. (2014).

3.7 Grenzwerte für das Modell

Um die Gebietsüberwachung finanziell tragbar für die Kantone zu entwickeln, wurde in Rücksprache mit dem BAFU und mit den Pilotkantonen entschieden, dass die Gebietsüberwachung pro Kanton nicht mehr als 30 Arbeitstage pro Jahr in Anspruch nehmen darf. Dies entspricht pro Kanton maximal 14 Flächen. Weiterhin sollte es schweizweit ein Minimum von 10 Flächen pro Flächentyp geben, um den Vorgaben der PGesV zu entsprechen. Ausserdem wurde nach Rücksprache mit kantonalen Behörden ein Maximum von 33 Flächen (ein Drittel aller Flächen) pro Flächentyp festgelegt.

4. Resultate

4.1 Optimale Anzahl Flächen insgesamt

Das berechnete Optimum für die totale Anzahl an Flächen für alle Organismen zusammen, bei dem die Kosten für die Gebietsüberwachung optimiert sind, beträgt 90 Flächen. Allerdings berücksichtigt dieser Wert nicht die ersparten Kosten der Schädlingsbekämpfung und anderer Kosten, die vermieden werden können, wenn QOs frühzeitig entdeckt werden. Daher liegt das wirkliche Optimum bei einer grösseren Anzahl von Flächen. In Absprache mit dem BAFU wurde beschlossen, die weitere Flächenverteilung für 100 Flächen insgesamt für die Gebietsüberwachung zu berechnen, da dieser Wert nahe am empfohlenen Optimum liegt und finanziell realistisch ist.

4.2 Verteilung der Investitionen über die Kantone und Organismen

Im Gegensatz zum Ergebnis des theoretischen Optimums für die Höhe der Investition in die Gebietsüberwachung, die eine Unterschätzung darstellt, sind die Angaben der Verteilung der Flächen verlässlicher.

Wenn 100 Flächen verteilt werden, aber weiter keine Grenzwerte festgelegt werden (keine Mindestanzahl von Flächen, keine Maximalzahl von Flächen pro Kanton) empfiehlt das Modell keine Flächen für ALB und CLB, und BPK. Das bedeutet, dass es laut Modell effizienter ist, in die Überwachung der anderen Organismen zu investieren. Deshalb teilen wir die 10 Flächen für ALB und CLB nach der höchsten Etablierungswahrscheinlichkeit zu, anstelle der Empfehlung des Modells zu folgen, wie bei den anderen Flächentypen.

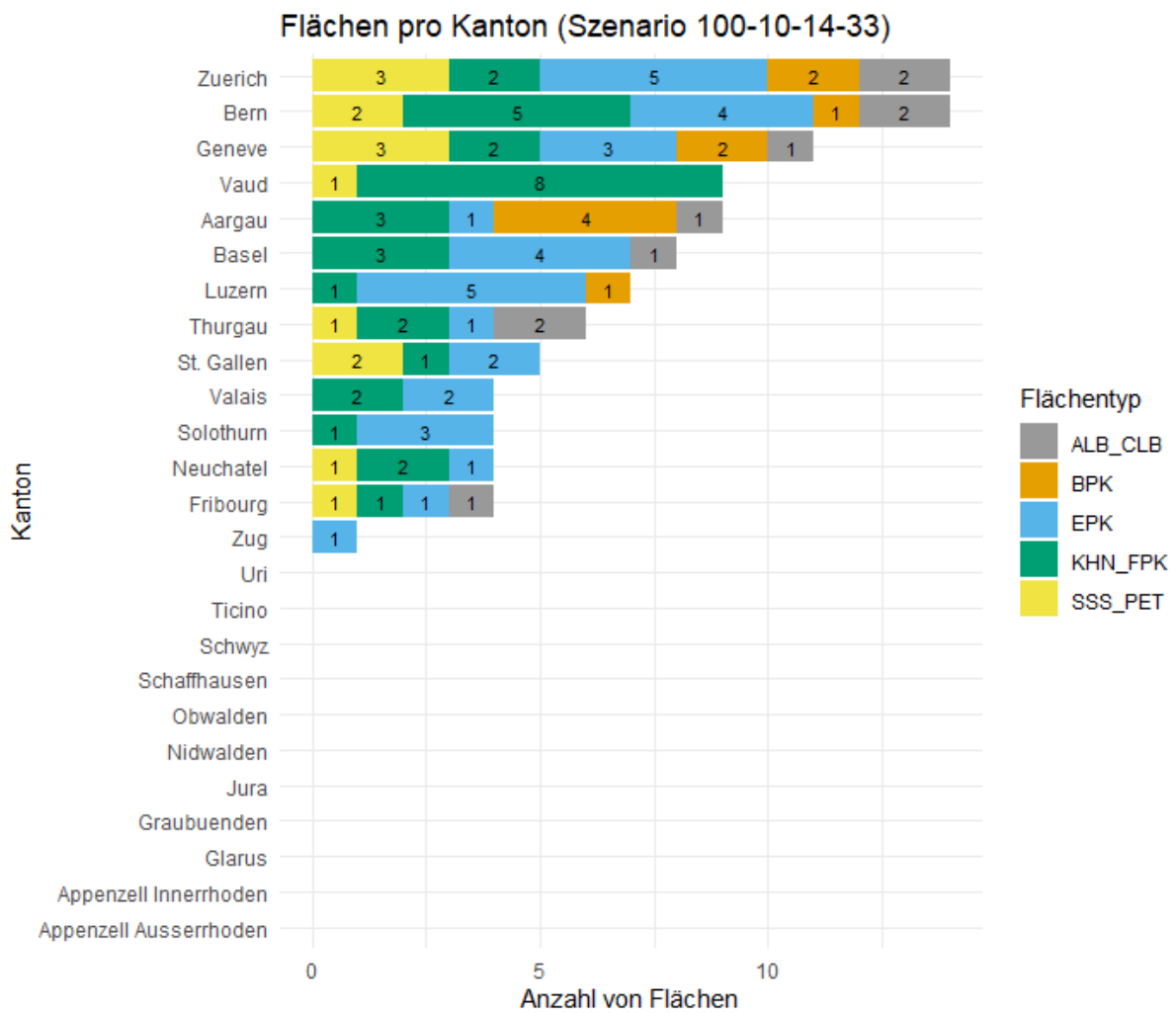


Abb. 6: Verteilung von jährlichen Investitionen pro Flächentyp und Kanton, wenn es 100 Flächen insgesamt gibt, mindestens 10 und höchstens 33 pro Flächentyp, und höchstens 14 pro Kanton. ‘BPK’ Flächen überwachen den Birkenprachtkäfer, ‘SSS_PET’ Flächen überwachen den Sibirischen Seidenspinner und den plötzlichen Eichtod, ‘EPK’ Flächen den Eschenprachtkäfer, ‘ALB_CLB’ Flächen den Citrusbockkäfer und den Asiatischen Laubholzbock, ‘KHN_FPK’ Flächen den Kiefernholznmatothen und den Föhrenpechkrebs.

Tabelle 7: Empfehlung für die Verteilung von Flächen für die Gebietsüberwachung. Auf 'BPK' Flächen wird der Birkenprachtkäfer überwacht, auf 'SSS_PET' Flächen der Sibirischen Seidenspinner und der plötzliche Eichentod, auf 'EPK' Flächen der Eschenprachtkäfer, auf 'ALB_CLB' Flächen der Asiatische Laubholzbock und der Citrusbockkäfer und auf 'KHN_FPK' Flächen der Kiefernholznematode und der Föhrenpechkrebs.

Kanton	ALB_CLB	BPK	EPK	KHN_FPK	SSS_PET	Total
Aargau	1	4	1	3	0	9
Appenzell Ausserrhoden	0	0	0	0	0	0
Appenzell Innerrhoden	0	0	0	0	0	0
Basel	1	0	4	3	0	8
Bern	2	1	4	5	2	14
Fribourg	1	0	1	1	1	4
Genf	1	2	3	2	3	11
Glarus	0	0	0	0	0	0
Graubünden	0	0	0	0	0	0
Jura	0	0	0	0	0	0
Luzern	0	1	5	1	0	7
Neuchâtel	0	0	1	2	1	4
Nidwalden	0	0	0	0	0	0
Obwalden	0	0	0	0	0	0
Schaffhausen	0	0	0	0	0	0
Schwyz	0	0	0	0	0	0
Solothurn	0	0	3	1	0	4
St. Gallen	0	0	2	1	2	5
Thurgau	2	0	1	2	1	6
Ticino	0	0	0	0	0	0
Uri	0	0	0	0	0	0
Valais	0	0	2	2	0	4
Vaud	0	0	0	8	1	9
Zürich	2	2	5	2	3	14
Zug	0	0	1	0	0	1
Total	10	10	33	33	14	100

4.3 Geografische Verteilung der Flächen pro Organismus

Die Empfehlung für die geografische Verteilung der Flächen wird in den Abbildungen 7 bis 11 beschrieben. Die relative Etablierungswahrscheinlichkeiten der verschiedenen Organismen werden im Anhang gezeigt.

BPK Flächen

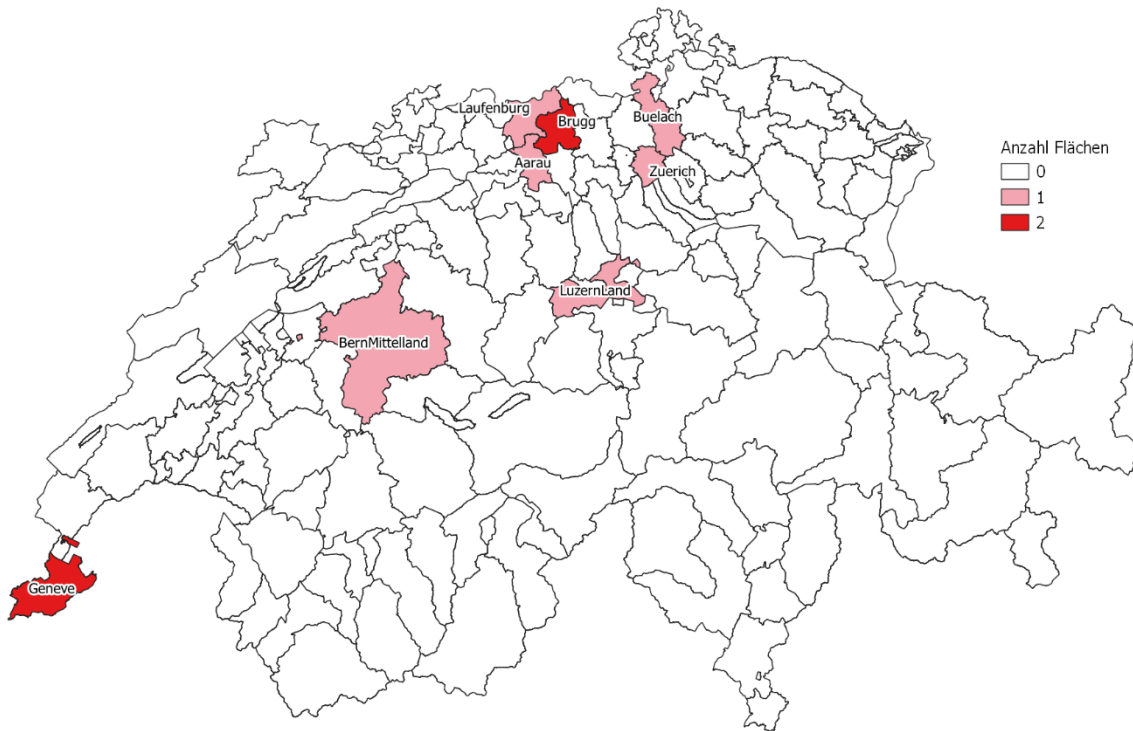


Abb. 7: Flächenverteilung für BPK (Birkenprachtkäfer). Erläuterung zu der Flächenverteilung im Abschnitt 5.1.

EPK Flächen

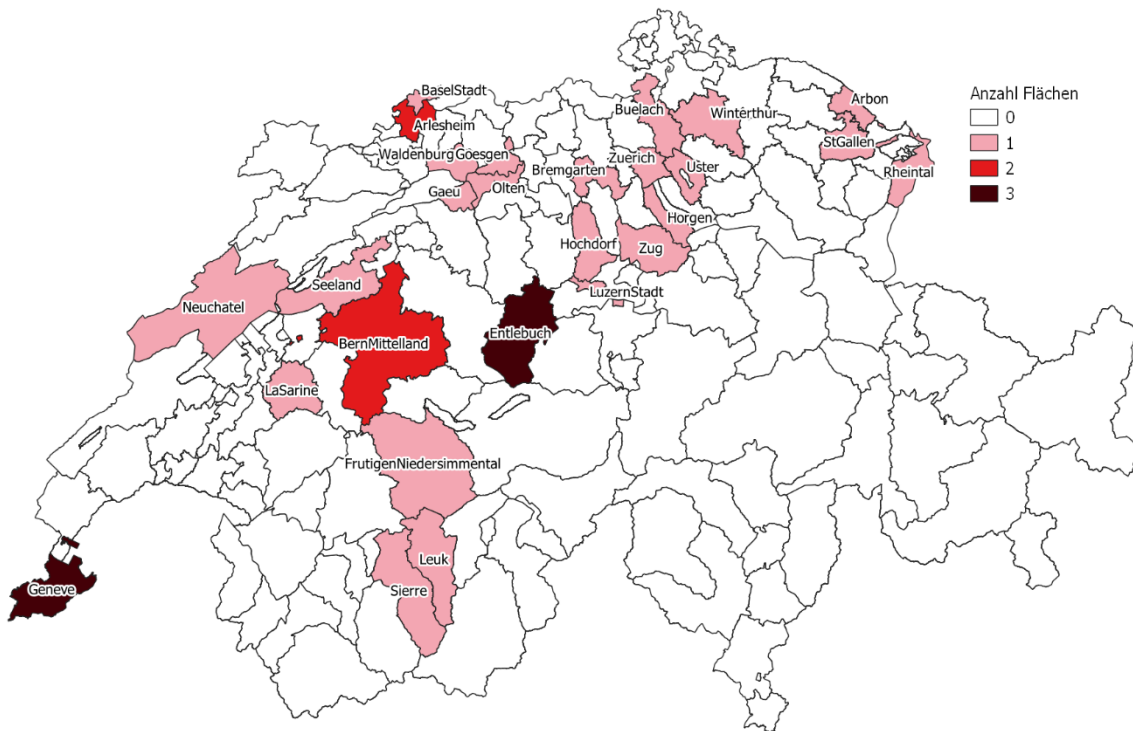


Abb. 8: Flächenverteilung für EPK (Eschenprachtkäfer). Erläuterung zu der Flächenverteilung in Abschnitt 5.2.

ALB_CLB Flächen

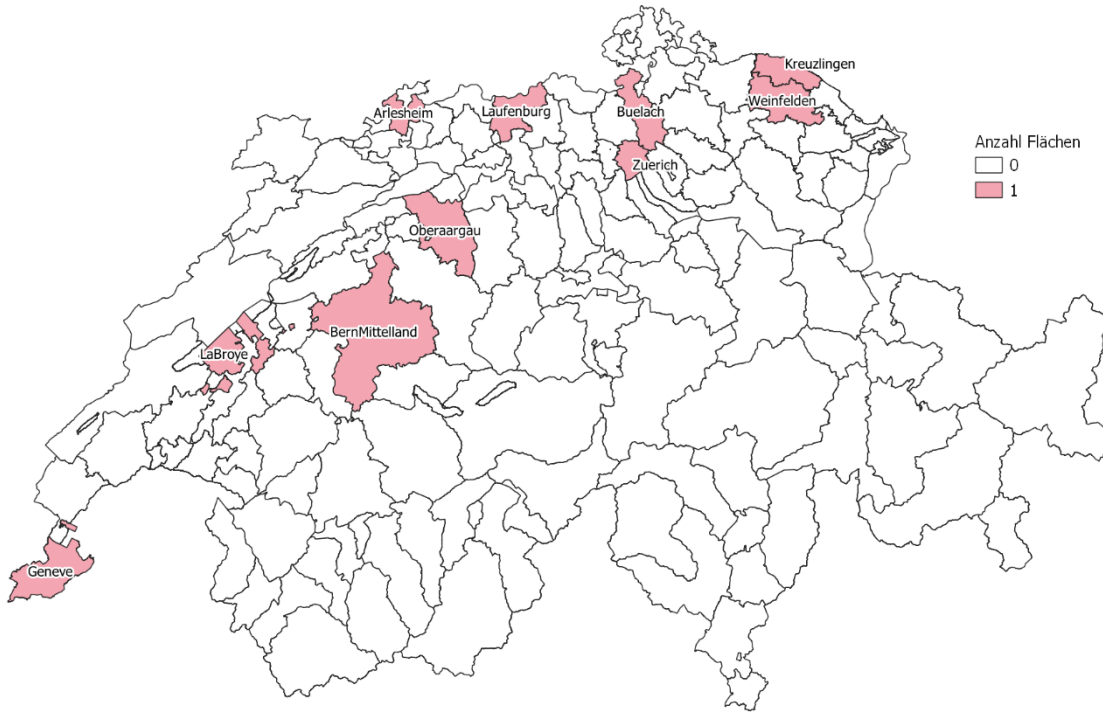


Abb. 9: Flächenverteilung für den ALB (Asiatischer Laubholzbock) und CLB (Citrusbockkäfer).
Erläuterung zu der Flächenverteilung in Abschnitt 5.3.

SSS_PET Flächen

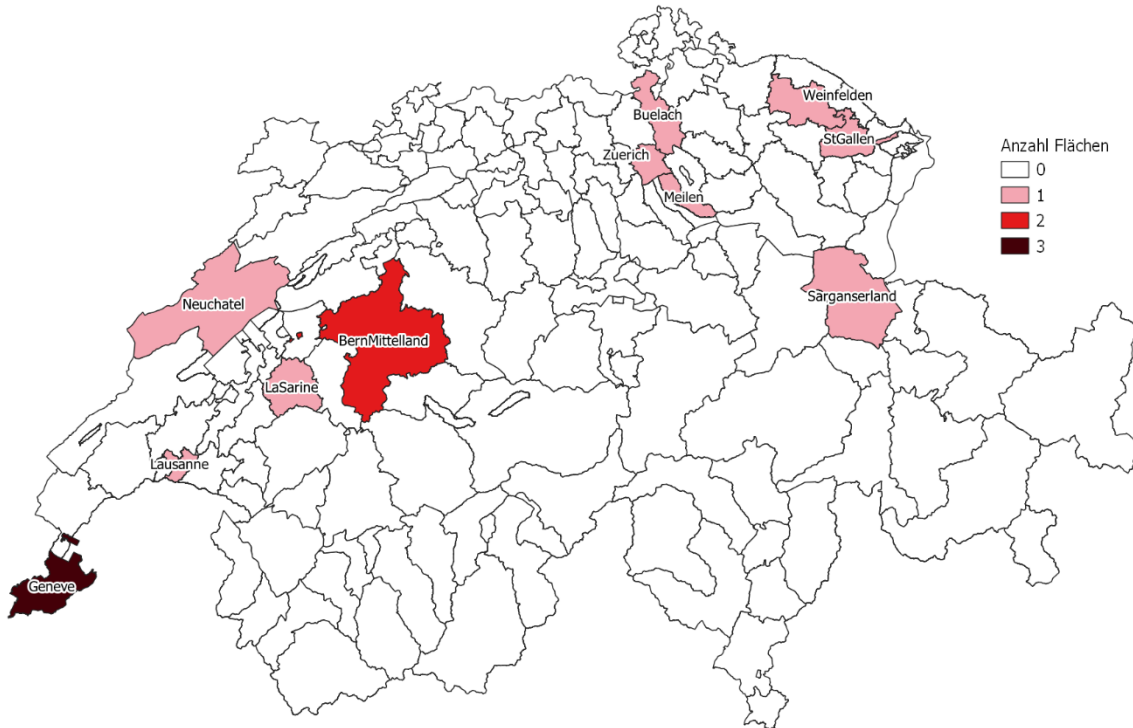


Abb. 10: Flächenverteilung für SSS (Sibirischer Seidenspinner) und PET (plötzlicher Eichentod).
Erläuterung zu der Flächenverteilung in den Abschnitten 5.5 und 5.7.

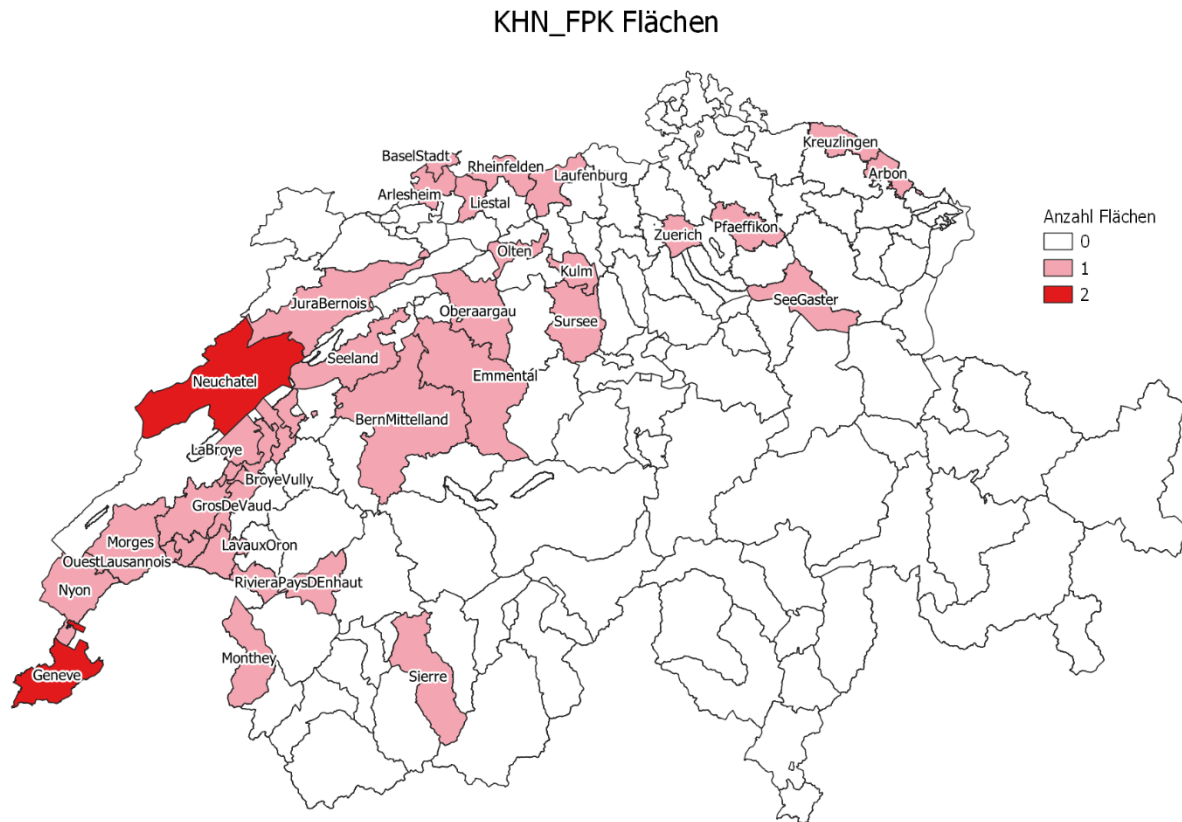


Abb. 11: Verteilung von Flächen für KHN (Kiefernholznermatode) und FPK (Föhrenpeckkrebs).
Erläuterung zu der Flächenverteilung in den Abschnitten 5.4 und 5.6.

5. Diskussion

Das CESAT-Modell wurde erfolgreich für die Optimierung der Gebietsüberwachung der Schweiz angepasst. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, in welchen Bereichen mehr Fallen und Flächen ausgewiesen werden sollten, und wo es nur wenige oder gar keine Fallen und Flächen braucht, um wirtschaftlich und ökologisch optimal nach den QOs zu suchen. Die Bezirke mit der höchsten Ansiedlungswahrscheinlichkeit variieren je nach Zielorganismus. Tendenziell erhöhen eine hohe ökonomische Aktivität und eine hohe Einwohnerzahl die Etablierungswahrscheinlichkeit von invasiven Organismen. Von da her wird die Etablierungswahrscheinlichkeit für die meisten Organismen im Mittelland, und speziell in Genf, als hoch eingeschätzt.

5.1 Flächen für BPK

Dem BPK (Birkenprachtkäfer) werden vom Modell her nur wenig Fallen zugeteilt. Dies kann damit erklärt werden, dass dieser Käfer noch nicht ausserhalb seines Ursprungsgebiets vorkommt (EFSA et al., 2020), und dass deshalb die Einführungswahrscheinlichkeit relativ niedrig ist, verglichen mit anderen Zielorganismen in der Gebietsüberwachung. Die vorgeschlagenen Fallen sind vor allem im Mittelland und in Genf zu finden, wo das höchste Risiko berechnet wurde (Abb. 7).

5.2 Flächen für EPK

Die Modellierungen geben der Überwachung von EPK (Eschenprachtkäfer) nach den Flächen für KHN und FPK hohe Priorität. Mit aktiven Befällen im Europäischen Russland und der Ost-Ukraine (EFSA,

Schans, et al., 2020) ist mit einer höheren Einführungswahrscheinlichkeit als zum Beispiel dem BPK zu rechnen.

Weiter fällt auf, dass das Modell empfiehlt, Bezirke mit wenig ökonomischer Aktivität sowie geringerer Bevölkerungsdichte zu überwachen (zum Beispiel Entlebuch im Kanton Luzern) (Abb. 8). Im Entlebuch ist das teilweise durch Holzimporte aus Ländern mit vorkommenden Eschenprachtkäfern zu erklären, die eine erhöhte Einführungswahrscheinlichkeit zur Folge haben (Anhang, Abb. A2). Ausserdem hat Entlebuch eine kleine Siedlungsfläche, was dazu führt, dass die Einführungen von EPK über Handelswaren auf ein kleines Gebiet konzentriert sind. Dieses kleinere Gebiet kann verglichen mit anderen Bezirken durch Flächen zur Überwachung effizienter überwacht werden.

5.3 Flächen für ALB und CLB

Das Modell teilt den Flächen zur Überwachung von den beiden Laubholzbock-Arten keine Investitionen zu, sogar bei insgesamt hohen jährlichen Investitionen in die Gebietsüberwachung. Das ist damit zu erklären, dass sich diese Käfer im Allgemeinen eher langsam ausbreiten und sie recht auffällig sind (und deshalb leicht von der allgemeinen Bevölkerung entdeckt werden können). Die langsame Ausbreitung der Käfer führt dazu, dass man am Anfang der Ausbreitung sehr viele Flächen bräuchte, um die Käfer mit hoher Wahrscheinlichkeit zu finden. Für diese grossen auffälligen Käfer ist die Wahrscheinlichkeit gleichzeitig recht hoch, dass sie durch Zufallsfunde entdeckt werden.

Man sollte beachten, dass die Parameter von Expertenabschätzungen stammen und einige Unsicherheit in den Modellierungen verursachen. Ausserdem könnte aufgrund der zahlreichen Etablierungen den beiden Laubholzbock-Arten eine grössere Bedeutung zugeteilt werden, so dass es trotz der Ergebnisse der Modellierung doch ratsam sein könnte, diese aktiv zu überwachen. Ausserhalb der Schweiz wurden auch schon grössere Befallsgebiete nachgewiesen, bei denen von einer höheren Ausbreitungsgeschwindigkeit ausgegangen werden kann. Zum Beispiel ist bei der Etablierung von ALB in Chicago, die 1998 entdeckt wurde, eine Befallsfläche von fast 15'800 ha festgestellt worden (siehe GERDA database <http://b3.net.nz/gerda/view.php?tb=ir&id=109>), was auf eine eher höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit schliessen lässt, als sie hier angenommen wurde. Dementsprechend wäre es sinnvoll, die Mindestanzahl von 10 ALB und CLB Flächen für die Schweiz insgesamt auszuweisen. Möchte man die Wahrscheinlichkeit auf Zufallsfunde durch die Öffentlichkeit erhöhen, könnte man zusätzlich in Öffentlichkeitskampagnen investieren.

Das Modell empfiehlt nur Flächen für ALB und CLB, wenn es ohne andere Organismen laufen gelassen wird und es weiter modifiziert wird. Deshalb macht es Sinn, die Flächenverteilung auf die Etablierungswahrscheinlichkeit zu basieren. Die Bezirke mit der höchsten Etablierungswahrscheinlichkeit haben oft hohe Einwohnerdichten (zum Beispiel Genf und Zürich) und/oder empfangen viele Importe mit Verpackungsholz, das als Vektor dienen kann (zum Beispiel Arlesheim, Laufenburg, oder Kreuzlingen).

5.4 Flächen für KHN

Für KHN (der Kiefernholz-nematode) werden weitaus die meisten Fallen empfohlen. Dies kann einerseits durch die hohe Einführungswahrscheinlichkeit erklärt werden (dieser Nematode kommt bereits in Portugal, Spanien und der Ukraine vor) (EFSA, Schenk, et al., 2020). Andererseits können mit Flächen für KHN gleichzeitig der FPK (Föhrenpechkrebs) überwacht werden, weswegen diese Flächen eine noch höhere Priorität erhalten.

5.5 Flächen für SSS

Die Einführungswahrscheinlichkeit für den SSS (Sibirischen Seidenspinner) ist vergleichsweise niedrig, da es für dieses Insekt noch keinen Bericht über einen Befall ausserhalb des Ursprungsgebiets gibt. Eine erhöhte Überwachung nach diesem Insekt ist aber vertretbar, da die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Art als sehr hoch eingeschätzt wird (Tabelle 2). Ein grossflächiger Ausbruch wäre wahrscheinlich

nur schwierig einzudämmen, weshalb eine frühe Entdeckung wichtig ist, um eine realistische Chance für eine Tilgung zu haben.

5.6 Flächen für FPK

Für den FPK (Föhrenpechkrebs) sind Befälle in Spanien und Portugal bekannt (EFSA, Kinkar, et al., 2020). Ausserdem können mit Flächen für FPK gleichzeitig der KHN überwacht werden; deshalb bekommen diese Flächen vom Modell eine höhere Priorität.

5.7 Flächen für PET

PET (Plötzlicher Eichtod) wird zusammen mit SSS auf denselben Flächen überwacht. Die Verteilung von Flächen scheint eher durch die relative Etablierungswahrscheinlichkeit von SSS (Anhang Abb. A6) als durch die relative Etablierungswahrscheinlichkeit von PET (Anhang Abb. A8) beeinflusst zu werden, auch wenn die Bezirke mit der höchsten Etablierungswahrscheinlichkeit von PET dennoch zur Überwachung empfohlen werden.

5.8 Optimale Anzahl Flächen insgesamt

Das Modell hat einen theoretischen Wert für die Investition in die Gebietsüberwachung berechnet, der allerdings mit Vorsicht zu geniessen ist. Dieser Wert liegt bei 90 Flächen, eine realistisch machbare Anzahl für die Schweiz. Man muss aber davon ausgehen, dass das reale Optimum tatsächlich weitaus höher liegt. Dies hat mehrere Gründe. Es liegt aber vor allem daran, dass die einzigen Kosten einer Etablierung in unserem Modell die Tilgungskosten sind, während der wahrscheinliche Schaden, der von den Arten verursacht würde, wenn eine Tilgung nicht erfolgreich sein sollte, nicht berücksichtigt werden konnten. Dies ist ein Resultat der Datenlage, denn es bräuchte umfangreiche ökonomische Analysen, um die potenziellen Schäden der Schadorganismen zuverlässig abzuschätzen. Für eine komplette Analyse bräuchte man die zu erwartenden Kosten durch Ertragsverlust, aber auch solche, die durch die Verringerung der Schutzwaldfunktion, des menschlichen Wohlbefindens, sowie Biodiversitätsverluste und geringere Ökosystemdienstleistungen berücksichtigen. Ausserdem gehen wir in unserem Modell davon aus, dass Tilgungen letztlich immer erfolgreich sind, solange sie früh genug entdeckt werden. Der Erfolg von Tilgungen ist aber klar abhängig von der Grösse des befallenen

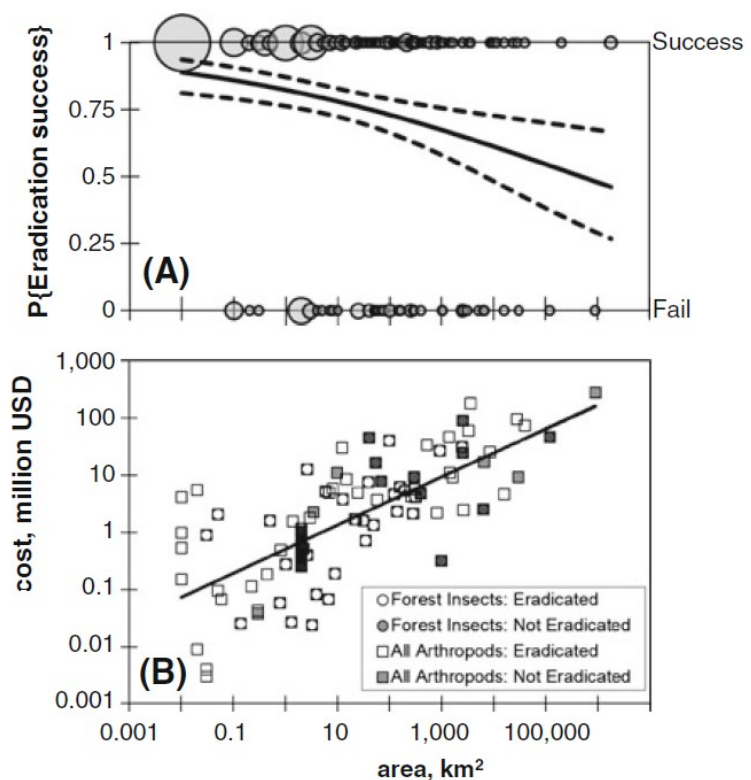


Abb. 12: Verhältnis zwischen befallener Fläche und Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Tilgung (A) und Tilgungskosten (B). Angepasste Abbildung entnommen von Tobin et al. (2014).

Gebietes (siehe Abb. 12). Falls eine Tilgung erfolglos bleiben sollte, hat das nicht nur Einflüsse auf das befallene Gebiet, sondern kann im Laufe der Zeit das gesamte Land betreffen. Ausserdem sorgt eine erfolglose Tilgung für höhere laufende Kosten, und die Wahrscheinlichkeit auf natürliche und unbeabsichtigte Einschleppung in benachbarte Gebiete ist erhöht.

Man kann also davon ausgehen, dass die Modellschätzung für das Optimum eine Unterschätzung ist, und dass man mit mehr Flächen eine höhere Chance hat, den Schweizer Wald ökologisch und ökonomisch zu schützen. Die Entscheidung, die Anzahl der Gebietsüberwachungsflächen, welche von den Kantonen betreut werden, auf 100 zu setzen, sorgt dafür, dass ein wissenschaftlich erarbeitetes und ökonomisch realistisches Minimum an Flächen überwacht werden kann.

6. Glossar

Einschleppung	Das Eindringen eines Schädling, das zu seiner Etablierung führt (FAO, 2016)
Etablierung	Auf voraussehbare Zeit andauerndes Vorkommen eines Schädling in einem Gebiet nach dessen Eindringen (FAO, 2016)
Etablierungsrate	Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Organismus etabliert pro Jahr
Eurostat	Das statistische Amt der Europäischen Union

7. Literaturverzeichnis

- (EFSA), E. F. S. A., Schrader, G., Kinkar, M., & Vos, S. (2020). Pest survey card on *Agrilus anxius*. *EFSA Supporting Publications*, 17(1). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.en-1777>
- Branco, M., Nunes, P., Roques, A., Fernandes, M. R., Orazio, C., & Jactel, H. (2019). Urban trees facilitate the establishment of non-native forest insects. *NeoBiota*, 52, 25–46. <https://doi.org/10.3897/neobiota.52.36358>
- Branco, S., Faccoli, M., Brockerhoff, E. G., Roux, G., Jactel, H., Desneux, N., Gachet, E., Mouttet, R., Streito, J. C., & Branco, M. (2021). Preventing invasions of Asian longhorn beetle and citrus longhorn beetle: are we on the right track? *Journal of Pest Science*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01431-x>
- Brändli, U.-B., Abegg, M., & Allgaier Leuch, B. (2020). *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017*.
- EFSA. (2011). Scientific Opinion on the Pest Risk Analysis on *Phytophthora ramorum* prepared by the FP6 project RAPRA. *EFSA Journal*, 9(6), 1–108. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2186>
- EFSA, Kinkar, M., & Vos, S. (2020). Pest survey card on *Fusarium circinatum*. *EFSA Supporting Publications*, 17(5), EN-1842. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.en-1842>
- EFSA, Schans, J., Schrader, G., Delbianco, A., Graziosi, I., & Vos, S. (2020). Pest survey card on *Agrilus planipennis*. *EFSA Supporting Publications*, 17(11). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.en-1945>
- EFSA, Schenk, M., Loomans, A., den Nijs, L., Hoppe, B., Kinkar, M., & Vos, S. (2020). Pest survey card on *Bursaphelenchus xylophilus*. *EFSA Supporting Publications*, 17(2). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.en-1782>
- EFSA, Schrader, G., Hoppe, B., Kinkar, M., & Vos, S. (2019). *Pest survey card on Anoplophora glabripennis*. 16(12)(November). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.EN-1750>
- EFSA, Schrader, G., Kinkar, M., & Vos, S. (2019). *Pest survey card on Anoplophora chinensis*. November. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2019.EN-1749>

- Epanchin-Niell, R. S., Brockerhoff, E. G., Kean, J. M., & Turner, J. A. (2014). Designing cost-efficient surveillance for early detection and control of multiple biological invaders. *Ecological Applications*, 24(6), 1258–1274. <https://doi.org/10.1890/13-1331.1>
- Fleming, P. J. S., Ballard, G., Reid, N. C. H., & Tracey, J. P. (2017). Invasive species and their impacts on agri-ecosystems: Issues and solutions for restoring ecosystem processes. *Rangeland Journal*, 39(5–6), 523–535. <https://doi.org/10.1071/RJ17046>
- Möykkynen, T., Capretti, P., & Pukkala, T. (2015). Modelling the potential spread of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pitch canker in Europe. *Annals of Forest Science*, 72(2), 169–181. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0412-2>
- Queloz, V., Forster, B., Beenken, L., Stroheker, S., Odermatt, O., Hölling, D., Meyer, J. B., & Dubach, V. (2018). WSL Berichte Waldschutzüberblick 2018. *WSL Berichte*, 79, 33. <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:20194>
- Tobin, P. C., Kean, J. M., Suckling, D. M., McCullough, D. G., Herms, D. A., & Stringer, L. D. (2014). Determinants of successful arthropod eradication programs. *Biological Invasions*, 16(2), 401–414. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0529-5>
- Zahner, M. (2022). *Fund des Asiatischen Laubholzbockkäfers (ALB) in Zell*. https://lawa.lu.ch/wald/waldschutz/Asiatischer_Laubholzbockkaefer_Zell

Anhang

BPK - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

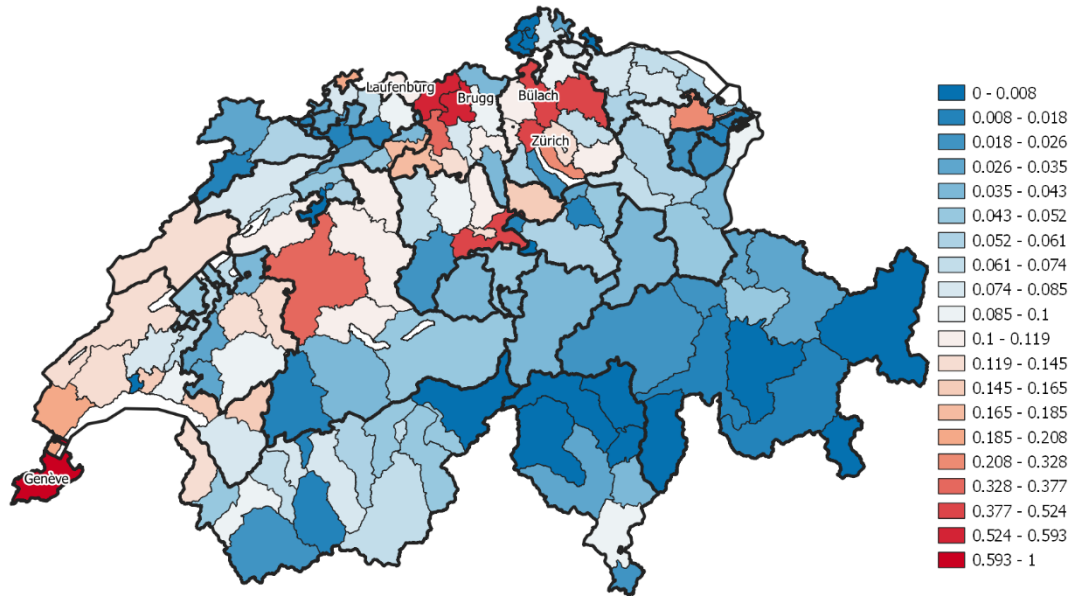


Abb. A1.: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit für BPK (Birkenprachtkäfer)

EPK - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

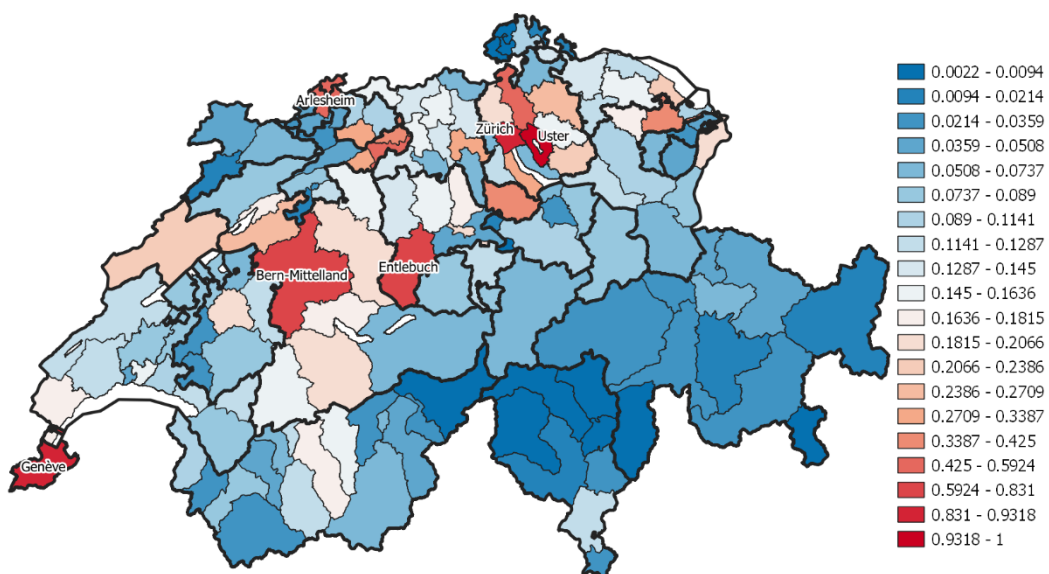


Abb. A2: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von EPK (Eschenprachtkäfer)

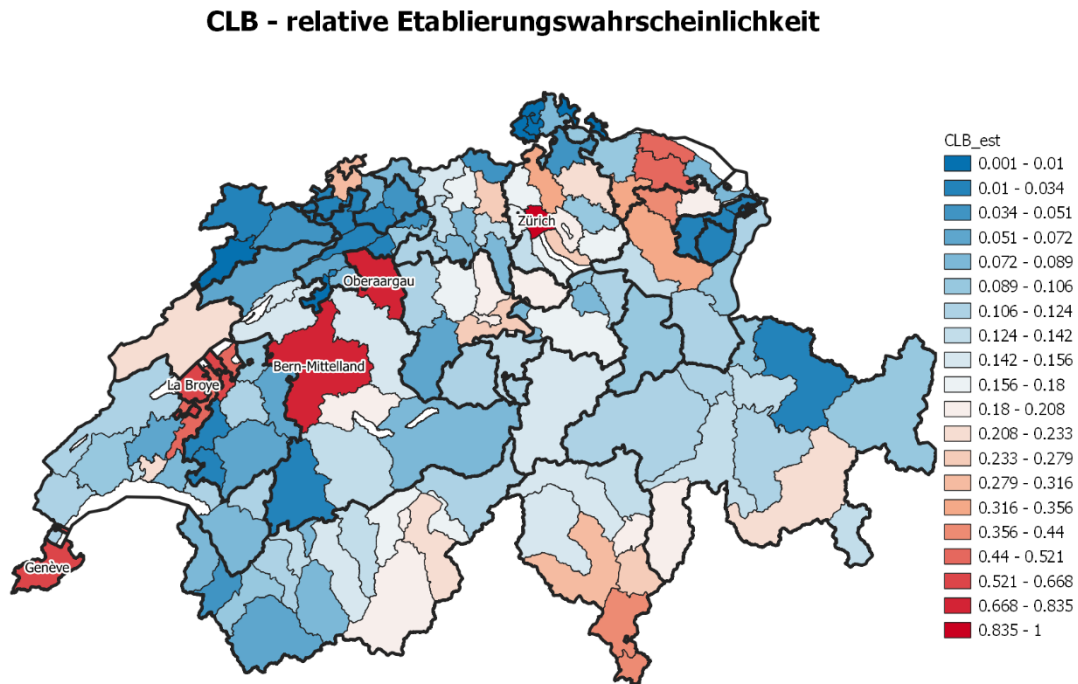


Abb. A3: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von ALB (Asiatischer Laubholzbock)

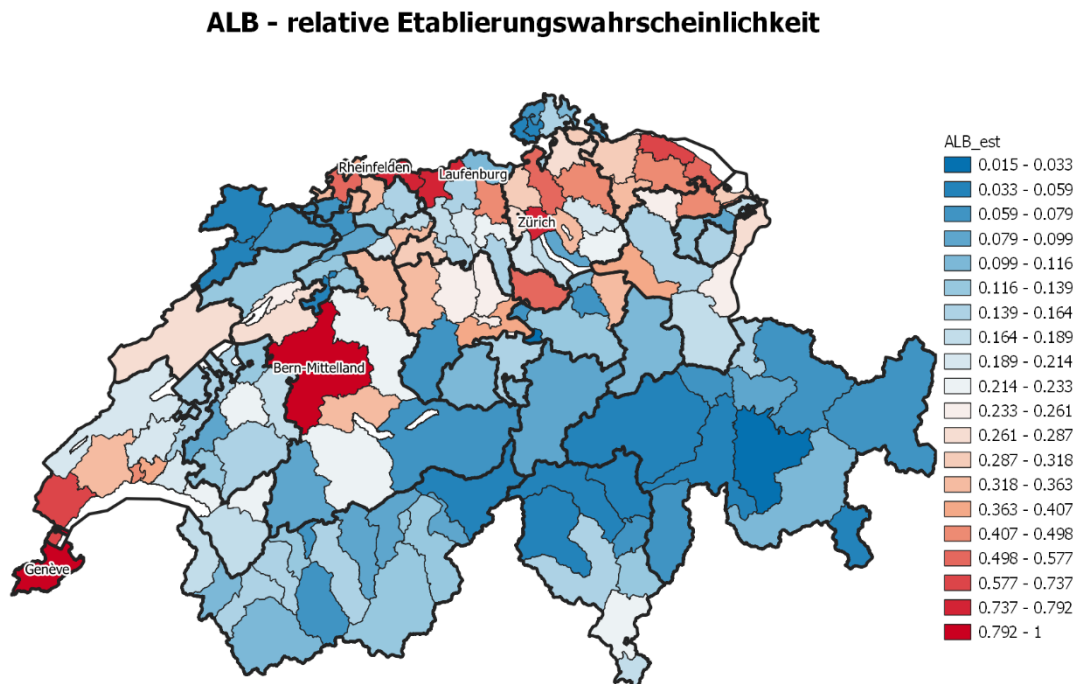


Abb. A4: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von ALB (Asiatischer Laubholzbock)

KHN - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

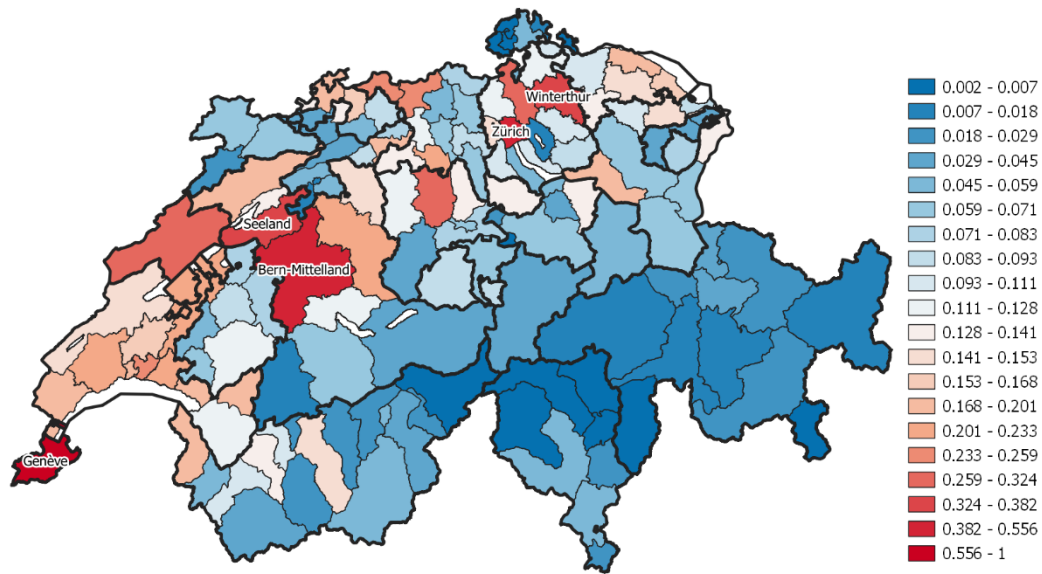


Abb. A5: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von KHN (Kiefernholznematode)

SSS - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

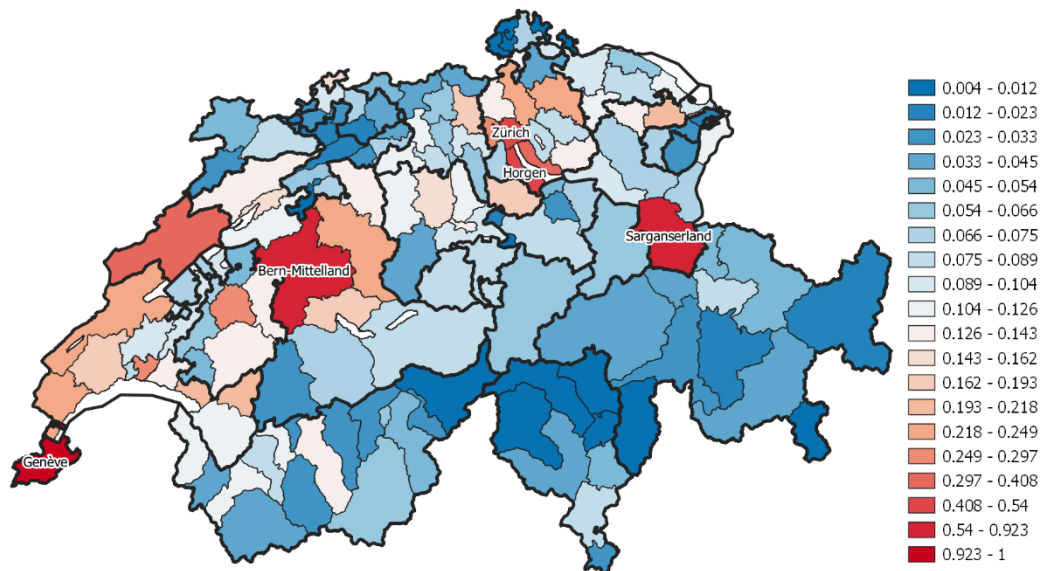


Abb. A6: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von SSS (Sibirischer Seidenspinner)

FPK - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

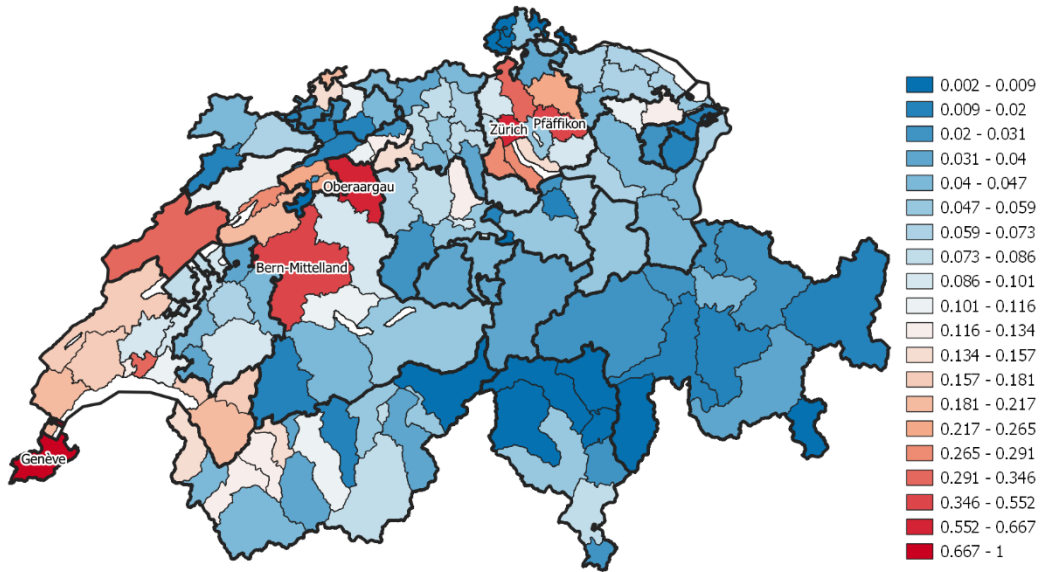


Abb. A7: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von FPK (Föhrenpechkrebs)

PET - Relative Etablierungswahrscheinlichkeit

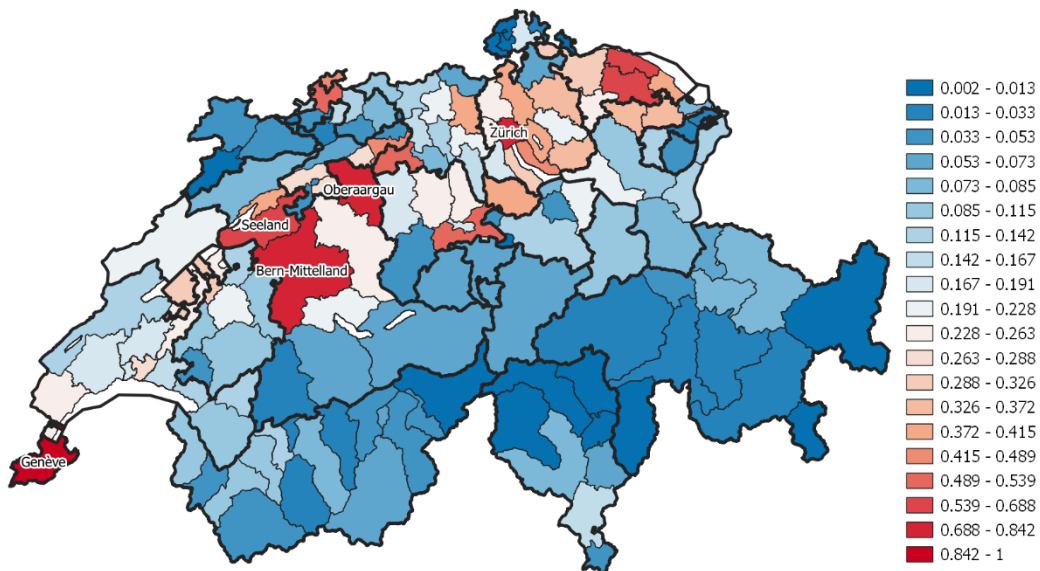


Abb. A8: Relative Etablierungswahrscheinlichkeit von PET (Plötzlicher Eichentod)