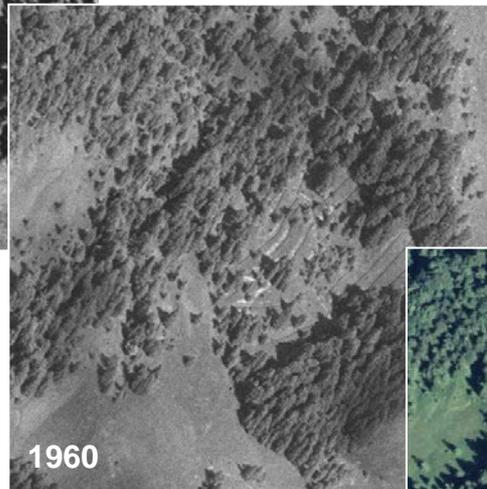
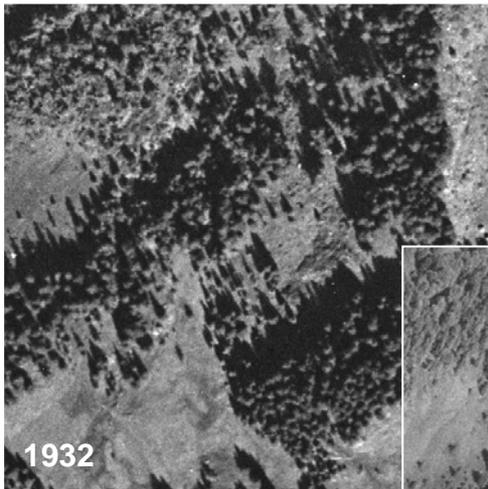


Die Entwicklung der Wälder auf der Schwägalp im 20. Jahrhundert und ihre Bedeutung für den Lebensraum des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*)



Diplomarbeit

Beat Fritsche
März 2004

Erarbeitet an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für
Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf

Vorgelegt an der Professur Gebirgswaldökologie,
Studiengang Forstwissenschaften, D-UWIS, ETH Zürich

Die Entwicklung der Wälder auf der Schwägalp im 20. Jahrhundert und ihre Bedeutung für den Lebensraum des Auerhuhns (*Tetrao urogallus*)

Diplomand:

Beat Fritsche

Schlossstrasse 42

9100 Herisau

beat_fritsche@bluewin.ch

Leitung:

Prof. Dr. Harald Bugmann

Gebirgswaldökologie

Departement Umweltwissenschaften

Eidgenössische Technische Hochschule

ETH-Zentrum HG G21

8092 Zürich

bugmann@fowi.ethz.ch

Betreuung:

Roland Graf & Dr. Kurt Bollmann

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Zürcherstrasse 111

8903 Birmensdorf

roland.graf@wsl.ch; kurt.bollmann@wsl.ch

Zusammenfassung

Der Bestand des Auerhuhns in der Schweiz hat im Laufe des 20. Jahrhunderts stark abgenommen. Als wichtigste Ursache für diesen Rückgang gilt der Verlust geeigneter Lebensräume. Die negative Entwicklung des Auerhuhnbestandes ist auch auf der Schwägalp, der Landschaft nördlich des Säntis zu beobachten. Mit der Analyse von drei Luftbildserien – 1932/35, 1960 und 1999 – und der Auswertung forstlicher Wirtschaftspläne habe ich das Gebiet der Schwägalp auf Veränderungen des Auerhuhnlebensraumes untersucht. Erfasst wurde die Entwicklung der Waldfläche und auerhuhnrelevanter Waldstrukturparameter. Dazu gehören die Entwicklungsstufe, der Deckungsgrad und das vertikale Gefüge der Bestände. Die grössten Veränderungen traten bei den Entwicklungsstufen auf: 1930 dominierten mittlere, 1999 starke Entwicklungsstufen die Wälder im Untersuchungsgebiet. Beim Deckungsgrad konnte eine leichte Abnahme der lückigen Klassen (20-50%) beobachtet werden. Das vertikale Gefüge hat sich nicht wesentlich verändert: Die Anteile einschichtiger, mehrschichtiger und stufiger Bestände waren 1932/35 ungefähr gleich gross wie 1960 und 1999.

Als entscheidende Faktoren für die aktuelle Verbreitung des Auerhuhns im Untersuchungsgebiet erwiesen sich im logistischen Regressionsmodell der Deckungsgrad, die Variabilität des Lebensraumes und die Hangneigung. Die Anwendung des Modells auf die Daten der beiden historischen Zeitpunkte ergibt eine tendenzielle Abnahme der geeigneten Habitatfläche. Diese Abnahme kann die negative Entwicklung des Auerhuhnbestandes im Untersuchungsgebiet nicht vollständig erklären. Andere Faktoren, wie Populationsdynamik, Störungen und Prädation, welche in dieser Arbeit nicht detailliert berücksichtigt werden konnten, haben beim Rückgang der Auerhuhnpopulation auf der Schwägalp vermutlich eine grosse Rolle gespielt.

Keywords: Auerhuhn, *Tetrao urogallus*, Habitateignung, Habitatveränderung, Schwägalp, logistische Regression.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Das Auerhuhn als Bewohner reich strukturierter Bergwälder.....	1
1.2	Die Entwicklung des Auerhuhnbestandes in der Ostschweiz.....	5
1.3	Die Schwägalp als ideales Testgebiet.....	7
2	Fragestellung	8
3	Material und Methoden	9
3.1	Untersuchungsgebiet	9
3.2	Luftbildanalyse.....	12
3.3	Wirtschaftsplananalyse	16
3.4	Statistische Auswertung	17
4	Resultate.....	20
4.1	Luftbildanalyse.....	20
4.2	Wirtschaftsplananalyse	31
5	Diskussion.....	37
5.1	Luftbildanalyse.....	37
5.2	Wirtschaftsplananalyse	41
5.3	Das Auerhuhn auf der Schwägalp: Gestern, heute und morgen.....	43
6	Dank	44
7	Literatur	45
8	Materialien	48
8.1	Luftbilder.....	48
8.2	Landeskarten.....	49
8.3	Wirtschaftspläne	49
9	Anhang.....	50
9.1	Ergänzende Resultate der Wirtschaftsplananalyse	50
9.2	Beispiele von Luftbildabfolgen	53
9.3	Testgebiet Kanton Schwyz.....	59

1 Einleitung

1.1 Das Auerhuhn als Bewohner reich strukturierter Bergwälder

Das Auerhuhn, die grösste von vier einheimischen Raufusshuhnarten, bewohnt grundsätzlich ausgedehnte, lichte und reich strukturierte Bergwälder. Es gilt als Indikatorart für intakte, naturnahe Lebensräume (BUWAL 2001). Studien haben gezeigt, dass das Auerhuhn eine Schirmart sein kann: Vom Auerhuhn besiedelte Gebiete weisen eine signifikant höhere Anzahl Bergvogelarten auf als solche, in welchen das Auerhuhn nicht mehr vorkommt (SUTER et al. 2001). Das Auerhuhn gehört zu den stark gefährdeten Brutvogelarten der Schweiz (KELLER et al. 2001) und wurde von Bollmann et al. (2002) als primäre Vogelart für Artenförderungsprogramme klassiert.

Das Auerhuhn hat seinen Verbreitungsschwerpunkt im Norden Europas von Skandinavien ostwärts bis nach Sibirien. Kleinere Vorkommen gibt es in Schottland, in mehreren zentraleuropäischen Mittelgebirgen, in den Alpen, den Karpaten, auf dem Balkan, in den Pyrenäen und im kantabrischen Gebirge Nordwestspaniens (GLUTZ VON BLOTZHEIM et al. 1973, KLAUS et al. 1989). In fast allen diesen Regionen haben die Bestände des Auerhuhns im 20. Jahrhundert abgenommen (MOLLET et al. 2003). In der Schweiz lebt das Auerhuhn im Jura, in den nördlichen Voralpen und im Kanton Graubünden mit Ausnahme der Mesolcina und des Val Poschiavo (SCHMID et al. 1998). Die Bestände sind seit vielen Jahren rückläufig: Die erste Schätzung für die Schweiz von 1914 bezifferte den Bestand auf „zirka 4000 Hähne“ (GÖLDI 1914). Während den Jahren 1968 bis 1971 wurde ein gesamtschweizerischer Bestand von mindestens 1100 territorialen Hähnen ermittelt (GLUTZ VON BLOTZHEIM et al. 1973). In einem zweiten, landesweit koordinierten Inventar im Jahr 1985 wurde der Bestand auf 550 bis 650 balzende Hähne geschätzt (MARTI 1986). Diese Bestandesabnahme hat sich fortgesetzt: Nach der Gesamterhebung des Jahres 2001 ist in der Schweiz noch mit 450 bis 500 territorialen Hähnen zu rechnen (MOLLET et al. 2003).

Für den Rückgang der Auerhuhnpopulation in der Schweiz sind verschiedene Faktoren verantwortlich: Der Verlust an geeignetem Lebensraum, die Zunahme von Störungen und Prädation sowie die Veränderung des Klimas (MOLLET et al. 2003). Als wichtigster der erwähnten Faktoren gilt der Verlust an geeignetem Lebensraum. Optimale Habitate ermöglichen eine ausreichende Kompensation negativer Einflüsse wie Störungen oder Prädation (WEISS et al. 1990). Vor allem eine Veränderung der Bestockungsdichte der Wälder hat grossen Einfluss auf die Habitatqualität für das Auerhuhn: Während dem 18. und 19. Jahrhundert wurden die Wälder in den nördlichen Voralpen und im Jura intensiv bewirtschaftet: Sie wurden beweidet und zur Gewinnung von Bauholz, Brennholz und Laubstreue für Viehställe genutzt. Die intensive Nutzung liess vorratsarme und lichte Wälder

entstehen, die als Lebensraum für das Auerhuhn hervorragend geeignet waren (MOLLET et al. 2003). Der Holzvorrat in den Schweizer Wäldern hat im 20. Jahrhundert zugenommen. Allein zwischen 1985 und 1995 ist er durchschnittlich um 6%, in den für das Auerhuhn wichtigen Regionen, dem Jura und den Voralpen, sogar um 9% angestiegen (BRASSEL & BRÄNDLI 1999). Die Zunahme des Holzvorrats hat meist eine Verdichtung und Verdunkelung des Bestandes zur Folge. Man vermutet, dass dem Auerhuhn durch diese Entwicklung der Sommerlebensraum entzogen wird, welcher vor allem für die Aufzucht der Küken wichtig ist (DÄNDLIKER et al. 1996).

Die Erschliessung der Bergwälder für den motorisierten Verkehr hat seit 1950 laufend zugenommen (BRASSEL & BRÄNDLI 1999). Waldstrassen ermöglichen eine Intensivierung der Bewirtschaftung und das Eindringen von Störungen in bisher kaum begangene Wälder (BUWAL 2001). Besonders bei hohem Besucherdruck und dichtem Erschliessungsnetz bleiben zu wenig Ausweichmöglichkeiten zwischen den Verkehrslinien übrig, so dass das Auerhuhn häufig trotz günstiger Habitatssituation aus zu stark frequentierten Wäldern völlig verschwindet (LABIGAND & MUNIER 1989).

Der Einfluss der Prädation ist nicht gesichert. Steinadler (*Aquila chrysaetos*) und Fuchs (*Vulpes vulpes*) erbeuten manchmal Auerhühner. Aufgrund der Tatsache, dass die Bestände dieser Prädatoren in den vergangenen Jahren angestiegen sind (SCHMID et al. 1998, MOLLET et al. 2003), könnte die Prädation in einigen Regionen der Schweiz zu einem zusätzlichen Problem für das Auerhuhn geworden sein. Vor allem in stark von Menschen beeinflussten Landschaften mit geringem Waldanteil sind bodenbrütende Vogelarten wie das Auerhuhn einem hohen Prädationsdruck ausgesetzt (MOLLET et al. 2003).

Niedrige Temperaturen und viele Niederschläge in den ersten Lebenstagen der Küken können zu einer hohen Sterblichkeit führen. Warmes und trockenes Wetter dagegen kann zu überdurchschnittlichem Aufzuchtserfolg führen. Die Auerhuhnpopulationen sind dadurch starken Bestandesschwankungen unterworfen (GLUTZ VON BLOTZHEIM et al. 1973). Für die langfristige Dynamik des Auerhuhns in der Schweiz spielt die Witterung im Vergleich mit anderen Faktoren eine untergeordnete Rolle (MOLLET et al. 2003).

Schlüsselfaktor für das Vorkommen des Auerhuhns ist die Habitatqualität. Diese Untersuchung befasst sich daher in erster Linie mit diesem Faktor. Für die Habitatqualität sind drei Raumskalen relevant: Auf der grossen Ebene die Verteilung der Wälder in der Landschaft, auf der mittleren Ebene das Mosaik von verschiedenen Beständen in Waldgebieten und auf der kleinsten Betrachtungsebene die Vegetationsstruktur in Waldbeständen. Auf jeder dieser drei Ebenen haben andere Faktoren Einfluss auf die Verteilung, Dichte und Dynamik einer Auerhuhnpopulation (STORCH 1997).

Auf der Ebene der Landschaft ist entscheidend, wie sich Wald und Offenland verteilen. Je höher der Waldanteil am Landschaftsmosaik ist, und je besser die Waldflächen miteinander vernetzt sind, desto günstiger sind die Bedingungen für das Auerhuhn. Distanzen von ein paar Kilometern Offenland zwischen Waldgebieten müssen nicht eine unüberwindbare Barriere darstellen, bewirken aber die Entstehung einer Metapopulation, deren Teilpopulationen nur beschränkt in Austausch miteinander stehen (STORCH 1997). Bei kleinen Populationsgrößen und vollständiger Isolation steigt das Risiko an, dass Populationen verschwinden (GRIMM & STORCH 2000).

Das Mosaik von verschiedenen Waldbeständen bestimmt die Raumwahl der Auerhühner im Jahresverlauf. In Teisenberg (Bayerische Alpen, D) wurde in Untersuchungen mit besenderten Hühnern nachgewiesen, dass sowohl Hahn als auch Henne im Laufe des Jahres Flächen zwischen 100 und 1000, durchschnittlich 550 ha nutzen (STORCH 1995). Die Bedürfnisse während den verschiedenen Jahreszeiten müssen auf möglichst kleinem Raum befriedigt werden können. So fand Storch (1993a, 1993b) eine negative Korrelation zwischen dem Anteil Althölzer und dem Winterstreifgebiet sowie zwischen dem Heidelbeerdeckungsgrad und dem Sommerstreifgebiet. Je grösser, näher beieinander und besser vernetzt die Waldbestände hoher Habitatqualität sind, desto kleiner ist das jährliche Streifgebiet der Auerhühner. Sind die geeigneten Gebiete klein und weit verstreut, müssen die Hühner grössere Distanzen zwischen verschiedenen Einständen zurücklegen. Damit steigt das Risiko der Prädation an (GJERDE & WEGGE 1989 in STORCH 1993b).

Der Waldbestand beeinflusst die tägliche Habitatnutzung und Raumwahl von Individuen. Auf dieser Ebene ist die Vegetationsstruktur von entscheidender Bedeutung. Insgesamt müssen die Grundbedürfnisse des Auerhuhns nach Nahrung, Sicherheit und Komfortverhalten befriedigt werden (SCHROTH 1994).

Die Waldstruktur beeinflusst die Qualität des Auerhuhnhabitats. Dabei ist der Deckungsgrad von entscheidender Bedeutung. In verschiedenen Untersuchungen wurde ein Idealwert von 40-60% nachgewiesen (SCHROTH 1994, STORCH 1993a & 1993b). Gjerde (1991) wies für das Winterhabitat in Südostnorwegen Werte zwischen 40% und 70-80% nach, was einer Stammzahl von 500-1000 Bäumen pro ha entspricht. In den östlichen Italienischen Alpen werden Deckungsgrade von 70-90% präferiert (DE FRANCESCHI & BOTTAZZO 1991), was deutlich von den oben erwähnten Werten abweicht. Die kleineren Hennen sind besser an dichte Bestandestypen angepasst als die Hähne und halten sich zum Teil in solchen auf, wenn Lichtungen darin vorhanden sind (GJERDE 1991). In lichten und lückigen Beständen finden Auerhühner ausreichend Flugraum, was ihre Sicherheit vor Prädatoren erhöht. Dank dem einfallenden Licht kann sich eine Bodenvegetation entwickeln, die dem Auerhuhn Nahrung und Deckung bietet, was für den Sommer sehr wichtig ist (SCHROTH 1994).

In verschiedenen Untersuchungen konnte eine Präferenz für stufige Bestände und Altholzbestände nachgewiesen werden (EIBERLE 1976, STORCH 1997). Bei den Altholzbeständen scheint ausschlaggebend zu sein, dass Althölzer im Mittel häufig stärker aufgelichtet sind als jüngere Bestände. Storch (1993b) zeigte in Teisenberg, dass im Winter vor allem Hähne Althölzer anderen Habitattypen vorziehen, währenddem die Hennen keine signifikante Präferenz zeigen. Ähnlich verhält es sich mit der Stufigkeit: Nach Schroth (1994) scheint die Stufigkeit keine notwendige Voraussetzung für ein geeignetes Auerhuhnhabitat zu sein, häufig sind aber Bestände mit tiefem Deckungsgrad und üppig entwickelter Bodenvegetation stufig aufgebaut. In seinem Untersuchungsgebiet im Nordschwarzwald wurden im Sommer zweischichtige Bestände frequentiert, stufige jedoch nur zufällig genutzt. Für das Winterhalbjahr konnte eine Präferenz für stufige Bestände bestätigt werden. Einschichtigkeit dagegen war weder im Sommer noch im Winter vorteilhaft.

Im Winter besteht die Nahrung der Auerhühner fast ausschliesslich aus Koniferennadeln (GLUTZ VON BLOTZHEIM et al 1973). Die Baumartenzusammensetzung ist darum ein weiterer wichtiger Faktor auf der Ebene des Waldbestandes. Bestände mit Weisstanne (*Abies alba*) und Föhre (*Pinus sylvestris*) werden dabei reinen Fichtenbeständen (*Picea abies*) vorgezogen (GJERDE 1991, STORCH 1993b). Auerhühner können aber auch dort vorkommen, wo die Fichte die Hauptbaumart darstellt. Bestände mit einem grossen Laubholzanteil werden vom Auerhuhn nur in Ausnahmefällen besiedelt (KLAUS et al. 1989).

Die Krautschicht muss dem Auerhuhn während der schneefreien Zeit Nahrung und Deckung bieten. Je üppiger die Krautschicht entwickelt ist, desto stärker werden solche Bestände durch Auerhühner im Sommer präferiert (SCHROTH 1994). Eine übergeordnete Rolle spielt die Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) (SCHROTH 1994, STORCH 1993a): Sie bietet dem Auerhuhn während der schneefreien Zeit gleichzeitig energiereiche Nahrung und Deckung. Für die Küken bergen Heidelbeersträucher zusätzlich ein reichhaltiges Angebot an Insekten.

Grenzlinien spielen im Lebensraum des Auerhuhns eine wichtige Rolle. Dort treffen unterschiedliche Lebensräume mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung auf kleinem Raum zusammen. In den Randzonen können die vielfältigen Ansprüche des Auerhuhns darum auf engstem Raum befriedigt werden (KLAUS et al. 1989, STEIN 1974). Schroth (1994) wies im Nordschwarzwald nach, dass das Auerhuhn im Sommer grenzliniennahe Bereiche bis zu einer Entfernung von 25 m präferiert und weiter entfernte Waldteile meidet, was auf das grössere Vorkommen der Heidelbeere in Grenzliniennähe zurückgeführt wird. Müller (1974) und Von Hessberg & Beierkuhnlein (2000) geben für günstige Biotope sehr unterschiedliche minimale Grenzliniendichten an: 200 m/ha bzw. 1000 m/ha. Dabei ist die Definition von Grenzlinien und die Raumskala bei der Grenzlinienaufnahme entscheidend.

Eine Beweidung der Wälder kann sich förderlich auf die Qualität des Auerhuhnlebensraumes auswirken. Ist der Weidedruck dem Standort angepasst, fördert die Beweidung die Ausbildung von lichten Waldstrukturen, ohne dass die Verjüngung gefährdet ist (SCHERZINGER 1996). Im Schweizer Jura wurden in der Vergangenheit weite Teile der Wälder in unterschiedlichem Mass beweidet. Dort, wo die Beweidung die Entwicklung einer Krautschicht bzw. Heidelbeerschicht zuließ, wirkte sie sich förderlich auf die Qualität des Auerhuhnhabitats aus (DÄNDLIKER et al. 1996).

1.2 Die Entwicklung des Auerhuhnbestandes in der Ostschweiz

Eine Verkleinerung des Auerhuhnbestandes und des besiedelten Gebietes ist auch in der Ostschweiz, auf dem Gebiet der Kantone Appenzell Innerrhoden und Ausserrhoden sowie St.Gallen zu beobachten. Heute besiedelt das Auerhuhn in diesem Gebiet nur noch wenige, zusammenhängende Waldflächen. Schriftlichen Quellen zufolge war das Auerhuhn in der Ostschweiz zu Beginn des 20. Jahrhunderts weiter verbreitet als heute:

Im Jahre 1868 beschrieb Friedrich von Tschudi in „Thierleben der Alpenwelt“ dass das Auerhuhn „ziemlich zahlreich“ in den Grabseralpen, an den Churfürsten, und am West- und Südfuss des Säntisgebietes beobachtet werden konnte. Emil Bächler nennt im Jahre 1915 in „Die Tierwelt St.Gallens“ den Hirschberg, den Kronberg, die Wälder bei Gonten und Urnäsch sowie das Gebiet von Stockberg bis Wildhaus im Toggenburg als Auerwildlebensraum (Abbildung 1). Diese Beschreibungen zeigen, dass das Auerhuhn bis ins 20. Jahrhundert weite Teile der St. Galler und Appenzeller Voralpen besiedelte.

Die Verkleinerung des Bestandes hat schon früh begonnen: Schwendener (1905) beobachtete bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf dem Berggebiet in der Region Buchs, dass sich das Auerwild seit einigen Jahren verminderte. Im Jahr 1925 bestätigte von Burg in „Vögel der Schweiz“ diese Abnahme des Auerhuhnbestandes für weite Teile der Schweiz, namentlich auch für das Säntisgebiet. Eine Untersuchung, bei der die bekannten Beobachtungen von Raufusshühnern im Kanton Appenzell Ausserrhoden und angrenzenden Gebieten zusammengestellt wurden, liefert ähnliche Resultate (RUDMANN et al. 2001): Bis zum zweiten Weltkrieg reichte die durchgehende Verbreitung des Auerhuhns an den Berghängen im Rheintal noch bis Marbach/Rebstein. Es besiedelte die Wälder rund um den Alpstein und die Churfürsten, im Appenzellerland bis Schwende/Weissbad, Gonten, Hundwilder Höhi, Hochhamm, im Toggenburg bis Wilket, Neutoggenburg, auf der linken Thurseite bis zur Storchenegg, Iddaburg und an das angrenzende stark bewaldete Einzugsgebiet der Töss. Rudmann (2001b) schätzt den Bestand im Kanton St.Gallen, und beiden Appenzell zu diesem Zeitpunkt auf 200 Hähne.

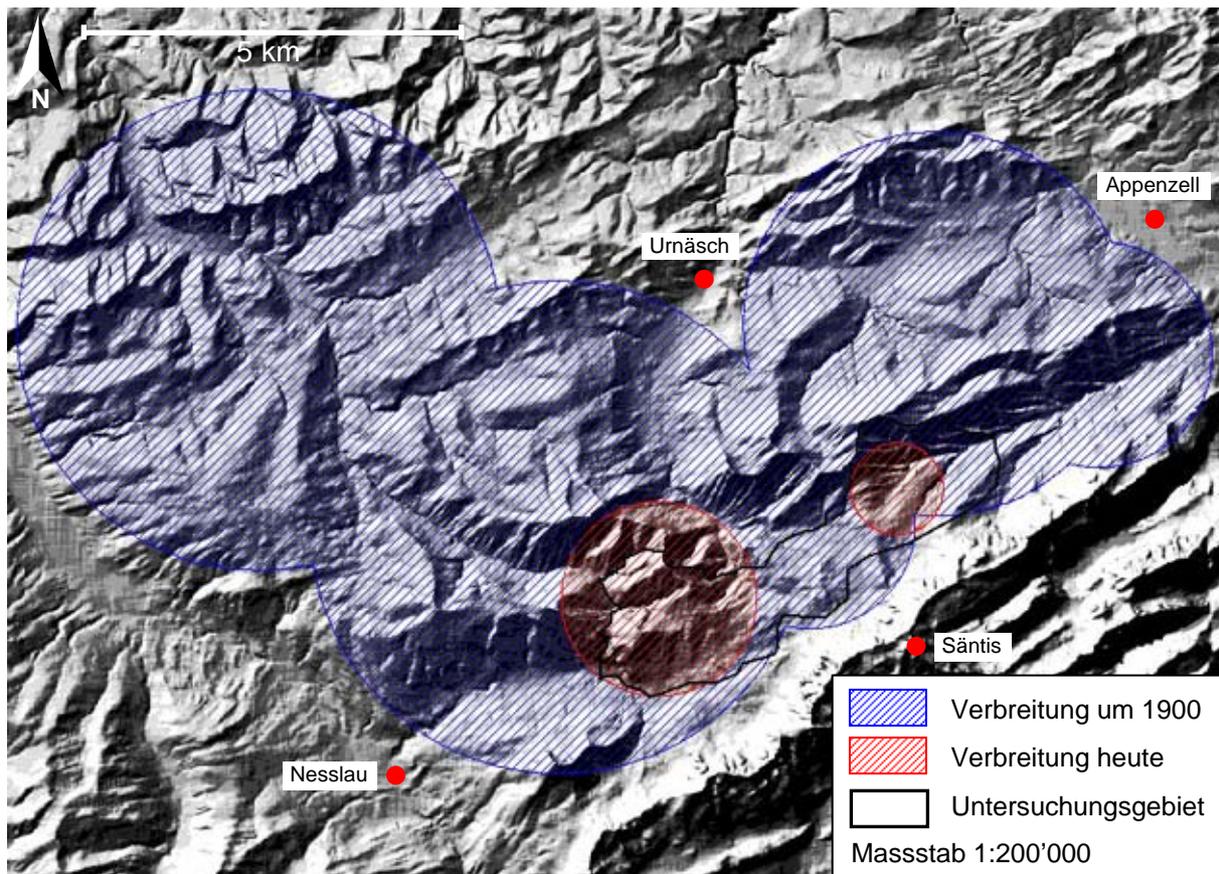


Abbildung 1: Entwicklung der Auerhuhnverbreitung in der Nordostschweiz (nördlich des Alpsteins und nordöstlich des Toggenburgs): Maximale Verbreitung um 1900 und heutige Verbreitung. Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: © swisstopo.

Heute bestehen regelmässig nachgewiesene Lokalvorkommen nur noch auf dem Gebiet der Schwägalp, in den Gemeinden Grabs/Wildhaus, im Hügelzug Churfirsten-Speer bis Regelstein (Abbildung 1). Die Beobachtungen weisen auf einen Arealverlust und auf eine Verinselung hin. Die Anzahl der beobachteten Hähne ist dabei stark rückläufig. Auerhuhnzählungen auf dem Gebiet der Kreisalpenkorporation, einem sich auf St.Gallischem Boden befindenden Teil der Schwägalp, zeigen einen massiven Rückgang des Bestandes in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts: Im Jahr 1955 wurden im Gebiet noch 20 Hähne beobachtet, 1996 nur noch vier. Seither ist der Bestand auf diesem niedrigen Niveau mehr oder weniger konstant (RUDMANN 2003). Ähnlich entwickelte sich der Bestand auf dem Gebiet der beiden Appenzell: 1978 wurden noch 18 besetzte Balzplätze nachgewiesen. Im Jahr 1996 waren es nur noch drei, 1998 nur noch zwei Balzplätze, die vom Auerhahn während der Frühlingsbalz benutzt wurden. Einzeln umherziehende Auerhähne, die keinem Jahreseinstand zugeschrieben werden können, sind, oft im Abstand von mehreren Jahren, immer wieder zu beobachten (NEF 2002).

Bis 1970 gehörte das Auerhuhn zu den jagdbaren Wildarten in der Schweiz, 1971 wurde es unter Schutz gestellt. Die Jagdstatistik zeigt, dass in den beiden Appenzell und St.Gallen zwischen 1933 und 1961 jährlich bis zu 14 Auerhühner erlegt wurden (Abbildung 2). Dazu

kommen vermutlich viele Tiere, die illegal geschossen wurden. Ab 1940 nahmen die Abschüsse tendenziell ab, und von 1962 an wurden keine Tiere mehr erlegt. Diese Abnahme der Abschüsse ist sicher auch darauf zurückzuführen, dass der Bestand bis zu diesem Zeitpunkt ein sehr tiefes Niveau erreicht hatte.

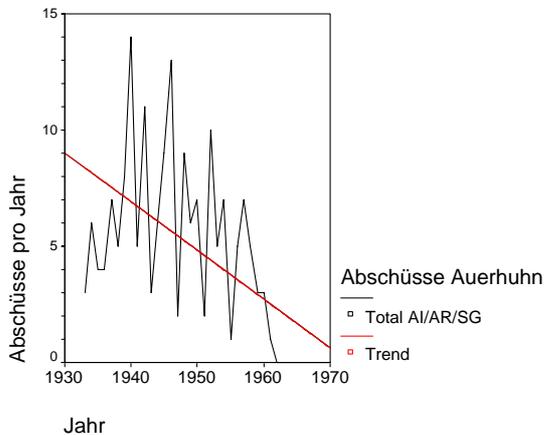


Abbildung 2: Auerhuhnabschüsse in den Kantonen Appenzell A.Rh., I.Rh. und St.Gallen von 1933 bis 1961. (Quelle: www.stat.admin.ch)

1.3 Die Schwägalp als ideales Testgebiet

Die negative Entwicklung der Auerhuhnbestände hat schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts begonnen. Eine gezielte Betrachtung der Lebensraumveränderungen über das gesamte vergangene Jahrhundert ist darum von grossem Interesse. Um diese langfristigen Veränderungen zu untersuchen, kommen zwei Methoden in Frage: Mit der Analyse von Luftbildern kann die Entwicklung der Waldfläche und der Waldstruktur gut verfolgt werden. Forstliche Wirtschaftspläne können detaillierte Angaben über die Entwicklung des Holzvorrats liefern. Die Kombination dieser beiden Methoden verspricht eine detaillierte Beschreibung der Landschaftsveränderungen auf auerhuhnrelevanter Ebene.

Die Schwägalp, die Landschaft nördlich des Alpsteins, ist ein ideales Gebiet, um den Einfluss der Lebensraumveränderungen auf die Entwicklung der Auerhuhnpopulation zu untersuchen: Der Bestandesrückgang, der seit Mitte des 20. Jahrhunderts gut dokumentiert ist, war hier besonders stark. Die Lebensraumveränderungen müssen, wenn sie für die negative Entwicklung verantwortlich sind, darum deutlich ausgeprägt sein. Der Anteil öffentlicher Wälder im Gebiet ist mit rund 75% der Fläche sehr hoch. Für diese Wälder liegen Wirtschaftspläne seit Beginn des 20. Jahrhunderts vor, was erlaubt, die Veränderungen über einen grossen Zeitraum zu untersuchen.

Diese Diplomarbeit hat das Ziel, die Schwägalp auf Veränderungen von auerhuhnrelevanten Landschaftsfaktoren im 20. Jahrhundert zu untersuchen und damit Erklärungen für den Rückgang der Auerhuhnpopulation zu liefern.

2 Fragestellung

Die Auerhuhnbestände sind in den meisten Gebieten Europas spätestens seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts im Rückgang. Die Schweiz ist von dieser Entwicklung schon seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts betroffen. Ein Rückgang der Auerhuhnbestände ist auch in der Ostschweiz zu verzeichnen, kleine Restpopulationen blieben aber bis heute erhalten. Veränderungen im Lebensraum und damit verbunden der Verlust an geeignetem Habitat, gelten als wichtigste Ursache für diesen Rückgang. Das Ausmass der Lebensraumveränderungen über das ganze 20. Jahrhundert wurde bislang noch nicht untersucht. Im Rahmen dieser Fallstudie wird das Gebiet der Schwägalp, welches einen starken Rückgang der Auerhuhnpopulation erlebte, aber heute noch teilweise besiedelt ist, auf Veränderungen von auerhuhnrelevanten Landschaftsfaktoren untersucht. Die Entwicklung der Auerhuhnpopulation wird danach im Lichte dieser Veränderungen diskutiert.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Waldstruktur: Wie haben sich ausgewählte, für die Qualität des Auerhuhnlebensraumes relevante Parameter verändert?
- Landschaftsmosaik: Wie haben sich die Flächenanteile von Wald und Offenland verändert?
- Grenzlinien: Wie haben sich Quantität und Qualität der Grenzlinien verändert?
- Störungen: Wie haben sich die Stärke und die Häufigkeit von menschlichen Störungen im Auerhuhnlebensraum entwickelt?

Die Veränderung des Lebensraumes wird danach in Relation zur Auerhuhnpopulation gesetzt:

- Besteht eine Beziehung zwischen den Lebensraumveränderungen und der Entwicklung der Auerhuhnpopulation? Wenn ja, wie sieht diese Beziehung aus?

Zum Beantworten dieser Fragen werden zwei Methoden eingesetzt:

- Analyse von drei Luftbildserien ab 1930
- Auswertung von forstlichen Wirtschaftsplänen

Die Auswertung von Wirtschaftsplänen ist eine neue Methode zur Bewertung der Qualität des Auerhuhnhabitats. Ich wollte deshalb herausfinden, ob diese Methode dafür geeignet ist:

- Können mit der Auswertung von forstlichen Wirtschaftsplänen Resultate gewonnen werden, die für die Entwicklung der Auerhuhnbestände relevant sind?

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet umfasst die Geländekammer zwischen Sântismassiv und Hochalp bzw. Kronbergkamm und erstreckt sich in West-Ost-Richtung von der Seebensäge auf St.Galler Gebiet über den Appenzell Ausserrhoder Teil der Schwägalp bis zum Ahorn auf Innerrhoder Boden (Abbildung 3). Es wurde so abgegrenzt, dass darin aktuell und ehemals vom Auerhuhn besiedelte Gebiete enthalten sind und dass ein möglichst grosser Anteil der Waldfläche durch Wirtschaftspläne der Korporationen abgedeckt ist. Die Fläche des Untersuchungsgebietes beträgt rund 18 km². Der tiefste Punkt liegt mit 940 m ü. M. bei der Seebensäge, der höchste mit 1650 m ü. M. beim Kronberg. Die Landschaft auf der Schwägalp weist mit Terrassen, Hängen, steilen Felspartien und Moränen eine grosse Vielfalt an geomorphologischen Elementen auf.

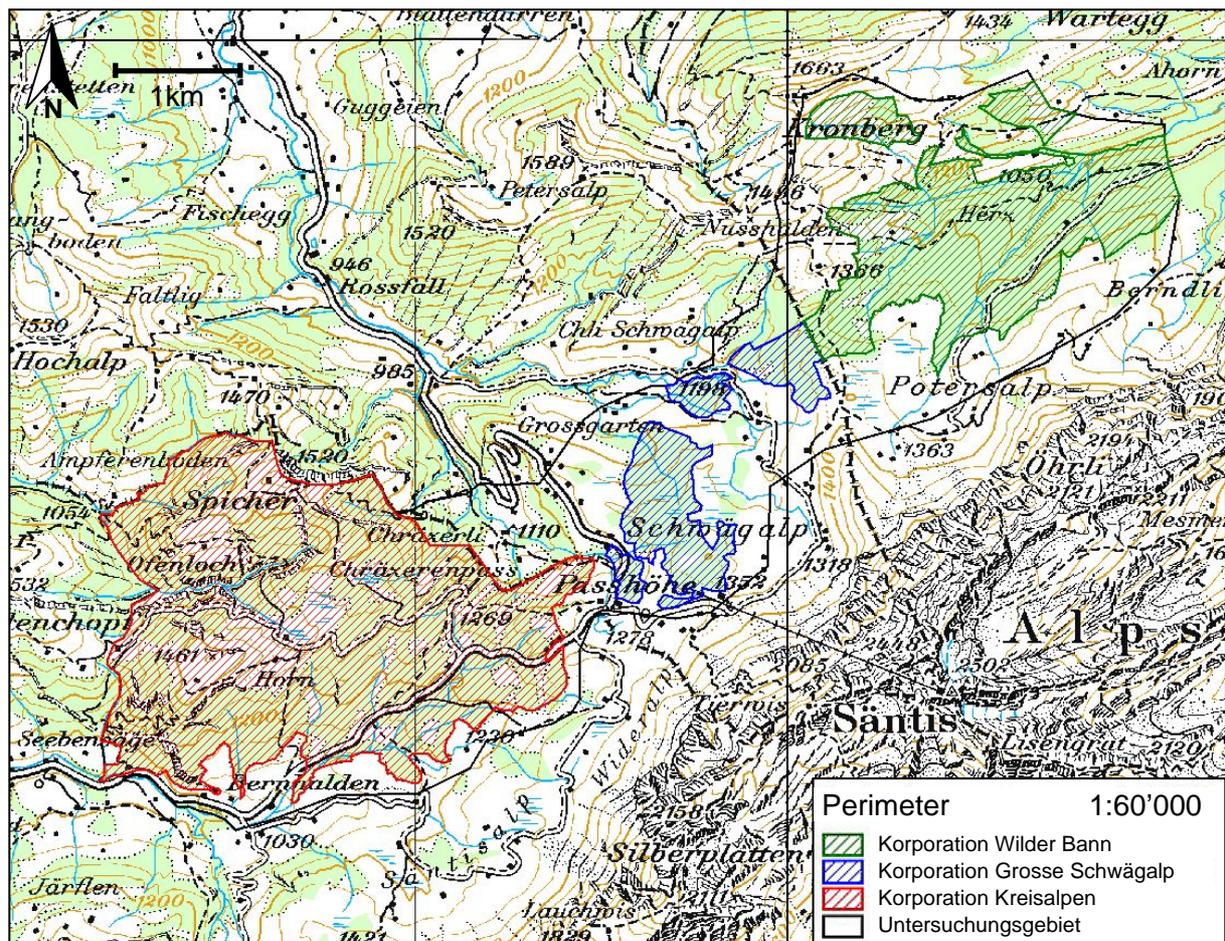


Abbildung 3: Topographische Karte des Untersuchungsgebietes mit den drei Waldkorporationen im Gebiet. Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: © swisstopo.

Geologie und Boden

Der geologische Untergrund gehört grösstenteils zur subalpinen Molasse. Die Nagelfluh ist in diesem Bereich das vorherrschende Gestein. Sie wird im Untersuchungsgebiet zu einem grossen Teil durch quartäres Lockermaterial wie Bergschutt und Moränen überlagert. Im Süden schliesst sich die Säntisteildecke an, welche durch Kalksteine dominiert wird (HEIERLI 2001). Die Böden des Untersuchungsgebietes können zum grössten Teil der mullreichen Braunerde zugeordnet werden (MEIER 1996).

Klima

Das Klima der Nordostschweiz weist sowohl ozeanische als auch kontinentale Züge auf. Die Klimaunterschiede werden vor allem durch die Höhe über Meer und die Exposition zu den regenbringenden Winden verursacht. Im Untersuchungsgebiet fallen im Durchschnitt zwischen 2000 und 2400 mm Niederschlag im Jahr. Diese verhältnismässig hohe Niederschlagsmenge ist auf die Stauwirkung der Gebirgsfront gegenüber den feuchten Luftmassen aus westlicher Richtung zurückzuführen. Die Durchschnittstemperaturen liegen im Januar zwischen -5° und -2° C, im Juli zwischen 10° und 15° C. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt auf der Schwägalp ca. 5° C. Im Mittel liegt zwischen Mitte November und Ende Mai eine geschlossene Schneedecke (MEIER 1996).

Vegetation

Dem Höhengradienten entsprechend liegt das Gebiet in der montanen und der subalpinen Stufe. Der subalpine Bereich macht aber nur einen kleinen Bereich aus an den Südhängen des Kronbergs. Die natürliche Baumgrenze liegt im Säntisgebiet zwischen 1700 und 1750 m ü. M. (MEIER 1996). Die Wald- und Offenlandflächen sind eng verzahnt, in den offenen Flächen befinden sich häufig Flach- oder Hochmoore. Weite Teile des Untersuchungsgebietes wurden ins Inventar der Moorlandschaften von nationaler Bedeutung aufgenommen (BUWAL 1991). Die Wälder werden durch Tannen-Buchenwälder dominiert. Nach pflanzensoziologischen Kartierungen auf dem Gebiet der Korporation Kreisalpen im Kanton St.Gallen machen solche Waldgesellschaften rund 80% der Waldfläche aus. Den Rest bilden Fichten-Tannenwälder mit 15% und reine Laub- und Fichtenwälder (RUDMANN 2001a). Natürlich vorherrschende wichtigste Baumarten sind die Buche (*Fagus sylvatica*) und die Tanne (*Abies alba*) in den unteren und mittleren Höhenlagen, die Fichte (*Picea abies*) und die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) in den höheren Lagen. Beigemischte Arten sind der Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und die Esche (*Fraxinus excelsior*) (MEIER et al. 2001). Für die Wälder der Kantone Appenzell Innerrhoden und Ausserrhoden liegen keine pflanzensoziologischen Kartierungen vor. Die vorkommenden Waldgesellschaften sind in

diesen Teilen des Untersuchungsgebietes aufgrund ähnlicher geologischer Verhältnisse, Expositionen und Höhenlagen vermutlich die selben wie im Gebiet der Kreisalpen.

Nutzung

Das Gebiet der Schwägalp wird vom Mensch intensiv genutzt. Neben der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und der Jagd, welche schon seit Jahrhunderten betrieben werden, sind im 20. Jahrhundert die touristische, die militärische und die verkehrstechnische Nutzung dazu gekommen.

Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt vor allem durch die Sömmerung von Rindvieh und Schafen. Die Weidezeiten und die Bestossung sind durch Vorschriften in Alpreglementen beschränkt. Die Nutzung der Alpen gilt als wenig intensiv und traditionell, die Bestossung hat sich in der langjährigen Nutzungsgeschichte nur wenig verändert (MEIER et al. 2001).

Auch die forstwirtschaftliche Nutzung hat auf der Schwägalp eine lange Tradition. Während bis weit ins 20. Jahrhundert kleinere und grössere Saum- und Kahlschläge durchgeführt wurden, trägt die Nutzung heute vermehrt den Anliegen des Naturschutzes Rechnung. Die Waldbewirtschaftung erfolgt grösstenteils nach dem Plenterprinzip, und die Verjüngung erfolgt heute ohne Pflanzungen. Ebenso wird die Beimischung der standortgerechten Laubhölzer in den Nadelwaldbeständen gefördert, damit die Nachhaltigkeit und Stabilität erhalten bleibt (MEIER 1996). Gut 75% der Waldfläche im Untersuchungsgebiet befinden sich im Eigentum der drei Waldkorporationen Kreisalpen (SG), Grosse Schwägalp (AR) und Wilder Bann (AI).

Der Alpstein ist ein beliebtes Ausflugsziel. Die Talstation der Säntisbahn auf der Schwägalp ist Ausgangspunkt für kleinere und grössere Wanderungen. Die Zahl der Erholungssuchenden, die an Sonntagen mit schönem Wetter die Schwägalp besuchen, kann im Oktober annähernd 9000 erreichen (MEIER 1996). Dabei entfernt sich nur gerade ein Fünftel der Touristen mehr als fünfhundert Meter von der Talstation. Die nähere Umgebung der Talstation wird dafür umso intensiver genutzt (MEIER et al. 2001).

Seit dem ersten Weltkrieg gehört der Schiessplatz Säntisalpen, der südlich der Passstrasse auf St.Galler Boden liegt, zu den Hauptschiessplätzen der Armee. Dieser Schiessplatz hat einen hohen Stellenwert als Übungs- und Schulungsgebiet für Infanterie, Panzertruppen und mechanisierte Artillerie. Während 12 Wochen im Jahr, von April bis Mai sowie von September bis November, sind die Schiessplätze belegt (MEIER 1996). Der Schiessplatz Säntisalpen schneidet das Untersuchungsgebiet nur auf einer sehr kleinen Fläche und wird in dieser Untersuchung nicht weiter berücksichtigt.

Auerhuhn

Seit 1975 wurden alle Auerhuhnbeobachtungen im Raum Toggenburg-Appenzell von Theo Nef, St.Gallen, und Franz Rudmann, Wattwil, erfasst. Diese Daten wurden ins Auerhuhninventar der WSL aufgenommen und stehen dieser Untersuchung zur Verfügung. Damit ist die Bestandesentwicklung im Untersuchungsgebiet gut dokumentiert: Noch 1975 bildete das Auerhuhn nördlich des Alpsteinmassivs ein locker zusammenhängendes Verbreitungsband (RUDMANN et al. 2001). Heute sind im Untersuchungsgebiet nur noch Waldflächen der Korporation Kreisalpen dauerhaft besiedelt. Die Wälder im Chräzeregebiet (Abbildung 3, S. 9) stellen gegenwärtig den Kernlebensraum des Auerhuhns dar. Der Choldwald nordöstlich der Passhöhe, der Bruggerenwald an der Kantonsgrenze zwischen den beiden Appenzell und der Herzwald auf Innerrhoder Boden gehören nur noch zum jährlichen Streifgebiet der Auerhühner. Dies zeigt sich daran, dass nur 7 der 163 Nachweise zwischen 1990 und 2003 in diesen Gebieten erbracht wurden. Die restlichen Nachweise fielen alle auf das Chräzeregebiet.

3.2 Luftbildanalyse

Seit den 1930er Jahren werden vom Bundesamt für Landestopographie in regelmässigen Abständen flächendeckend Luftbilder für die Schweiz aufgenommen. Dies ermöglicht es, die Entwicklung des Auerhuhnlebensraumes über eine Zeitspanne von rund 70 Jahren zu beobachten. Neben dem frühest möglichen Zeitpunkt, um 1930, wählte ich die Zeitpunkte 1960 und 1999, so dass die Resultate dieser Arbeit mit denen der im Entstehen begriffenen Dissertation von Roland Graf – „Analysis of Capercaillie Habitat Using Aerial Photographs and GIS“ - verglichen werden können, denn dort wurden die Jahrgänge 1960 und 1999 bearbeitet. Aufgrund des technischen Fortschritts in der Luftbildfotographie während des 20. Jahrhunderts wurden für die drei Luftbildserien unterschiedliche Aufnahmeverfahren verwendet (Tabelle 1). Alle Luftbilder präsentieren sich in einwandfreier Qualität.

Tabelle 1: Informationen über die verwendeten Luftbilder des Untersuchungsgebiets

Jahrgang	Anzahl Luftbilder	Aufnahme	Bemerkungen
1932/35	16	schwarz-weiss	Für eine vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebietes mussten zwei Luftbildjahrgänge verwendet werden (1932 & 1935)
1960	4	schwarz-weiss	
1999	3	farbig	

Die Luftbilder mussten zuerst entzerrt und georeferenziert werden (Monoplotting). Diese Arbeiten führte ich mit dem Programm Erdas Imagine Orthobase 8.6 durch. Für das Entzerren verwendete ich das Höhenmodell DHM 25 des Bundesamtes für Landestopographie. Beim Setzen der benötigten Passpunkte - Punkte, die auf dem zu

entzerrenden Bild und auf einem Referenzbild genau identifiziert werden können - wurden die aktuellen Orthobilder von 1999 als Referenzbilder eingesetzt.

3.2.1 Auerhuhnrelevante Parameter

Die Analyse von Luftbildern kann detailliert Auskunft über die Struktur des Auerhuhnhabitats geben. Die Parameter, welche ich aus den Luftbildern interpretiert habe (Tabelle 2), wurden schon in zahlreichen Arbeiten als auerhuhnrelevant bewertet. Die gesamte Fläche des Untersuchungsgebietes habe ich für die drei Zeitpunkte 1932/35, 1960 und 1999 anhand dieser Parameter beurteilt:

Der Parameter Landschaftselement gibt an, ob eine Fläche mit Wald bestockt ist oder ob sie eine Lücke bildet. Mit der daraus abzuleitenden Waldfläche zeigt dieser Parameter, wie viel potentieller Lebensraum für das Auerhuhn im Untersuchungsgebiet vorhanden ist (STORCH 1997). Für Gebiete, welche nicht bewaldet sind, gibt die Art der Lücke an, welcher Art die unbewaldete Fläche ist. Je nach Typ zeigt dieser Parameter auch, auf welchem Weg die menschliche Nutzung erfolgt. Die Beschreibung der Entwicklungsstufen (EIBERLE 1976, GJERDE 1991, STORCH 1993b) beschränkt sich auf vier verschiedene Klassen, da eine feinere Einteilung anhand des Luftbilds nicht möglich ist. Die beiden Parameter Schlussgrad und Deckungsgrad geben Aufschluss über die Bestockungsdichte (EIBERLE 1976, GJERDE 1991, DE FRANCESCHI & BOTTAZZO 1991, STORCH 1993b). Beim Deckungsgrad wird neben dem totalen Deckungsgrad derjenige der Verjüngung und der Baumschicht aufgenommen. Diese Unterscheidung ist bei zweischichtigen Beständen nötig, so dass beide sichtbaren Schichten bewertet werden können. Der Parameter Rottenstruktur ist vor allem in subalpinen Gebieten von Interesse, weil dort natürlich Rotten entstehen. Mit dem Parameter Struktur (WEISS et al. 1990, STORCH 1997) wird festgehalten, ob ein Waldbestand einschichtig ist, oder Mehrschichtigkeit bzw. Stufigkeit aufweist. Die Mehrschichtigkeit wird im Luftbild nur erkannt, wenn die Oberschicht so lückig ist, dass genügend Licht die Unterschicht erreicht und diese für die Fotografie sichtbar wird. Die Stufigkeit, welche auf dem Luftbild ausgeschieden wird, muss klar von der Stufigkeit unterschieden werden, welche im Feld aufgenommen wird. Sie beurteilt nicht die ganze vertikale Struktur, sondern zeigt nur, ob die im Luftbild sichtbare Oberschicht eine Stufigkeit aufweist.

Aus den aufgenommenen Parametern konnten weitere auerhuhnrelevante Daten abgeleitet werden. Von Interesse sind die Längen verschiedener Grenzlinien: Grenzlinien zwischen Lücken und Wald sowie zwischen verschiedenen Bestandestypen (VON HESSBERG & BEIERKUHNLEIN 2000, MÜLLER 1974). Die Vielfalt des Lebensraumes und die mittlere Bestockungsdichte eines grösseren Gebietes sind auf der Ebene des Bestandesmosaiks auerhuhnrelevant. Die Hangneigung hat ebenfalls Einfluss auf die Verbreitung des

Auerhuhns (EIBERLE 1974, STORCH 1993, SCHROTH 1994). Sie wurde in dieser Untersuchung darum auch berücksichtigt.

Tabelle 2: Liste der bei der Luftbildauswertung berücksichtigten Parameter und deren Ausprägung.

Parameter	Abkürzung	Datentyp	Ausprägung
Landschaftselement	LAE	kategorial	1 Wald 2 Lücke mit Einzelbäumen 3 Lücke ohne Einzelbäume
Art der Lücke	ALUE	kategorial	1 Sturmfläche, Bestandeslücke 2 Weide, Wiese, Moor 3 Fels, unproduktive Fläche 4 Parkplatz, Strasse, etc. 5 Seen, Gewässer
Entwicklungsstufe	ES	kategorial	1 Jungwuchs-Stangenholz I (Ø: 1-20cm) 2 Stangenholz II-Baumholz I (Ø: 20-40cm) 3 Baumholz II-Baumholz III (Ø: >40cm) 4 Gemischt (mehrschichtig / stufig)
Schlussgrad	SG	kategorial	1 gedrängt-normal 2 locker 3 räumig 4 aufgelöst
Deckungsgrad total	DT	metrisch	In 1/10 der Gesamtdeckung (1-10)
Deckungsgrad Baumschicht	DB	metrisch	In 1/10 der Gesamtdeckung (1-10)
Deckungsgrad sichtbare Verjüngung	DV	metrisch	In 1/10 der Gesamtdeckung (1-10)
Rottenstruktur	RS	kategorial	1 Keine Gruppen 2 Gruppiert normal 3 Gruppiert gedrängt
Struktur	STR	kategorial	1 Einschichtig 2 Mehrschichtig 3 Stufig

Mit der Luftbildanalyse können nicht alle entscheidenden Faktoren im Auerhuhnhabitat aufgenommen werden: Die kleinste räumliche Ebene kann nicht analysiert werden. Insbesondere die Bodenvegetation musste in dieser Untersuchung darum vernachlässigt werden.

3.2.2 Datenerhebung

Zur Standardisierung der Methode habe ich zuerst zwei Gebiete von je rund 30 ha anhand der Luftbilder von 1999 wie nachfolgend beschrieben interpretiert. Die Datenaufnahme wurde darauf mit Feldkartierungen wiederholt und verifiziert. Aus dem Vergleich dieser zwei Datensätze konnten wichtige Anhaltspunkte für die Bearbeitung der Luftbilder gewonnen werden.

Aufnahme der Parameter:

Die Datenerhebung erfolgte digital mit dem Programm ArcViewGIS 3.3. Die Luftbilder wurden im Massstab 1:3'500 bearbeitet, was eine detaillierte Beurteilung der Waldstruktur ermöglichte.

Schritt 1: Unterteilung des Untersuchungsgebietes in Teilflächen

Pro Luftbildserie – 1932/35, 1960 und 1999 – habe ich das Untersuchungsgebiet im Geographischen Informationssystem in Polygone aufgeteilt. In jeder Polygonfläche mussten die aufzunehmenden Parameter (Tabelle 2) einheitlich bewertet werden können. Unterschiedlich eine Waldfläche von benachbarten Waldflächen in einem der Parameter, wurde sie als separates Polygon ausgeschieden.

Schritt 2: Bestimmen der Parameter für die Teilflächen

Für jedes ausgeschiedene Polygon habe ich die auerhuhnrelevanten Parameter (Tabelle 2) in eine Tabelle aufgenommen.

Schritt 3: Berechnungen

Damit quantitative Aussagen über die Entwicklung der Habitatqualität gemacht werden können, wurden die Flächen der ausgeschiedenen Polygone und die Längen der Grenzlinien berechnet. Bei den Grenzlinien unterschied ich verschiedene Typen: Grenzlinien zwischen Wald und Lücke, zwischen Stark- und Schwachhölzern, zwischen stufigen und nicht stufigen sowie zwischen lückigen und dichten Beständen. Als Mass für die Vielfalt des Auerhuhnlebensraumes habe ich die Variabilität des Deckungsgrades und der Entwicklungsstufe ermittelt. Dabei wurde für jede Fläche in einem 10 x 10 m Flächenraster berechnet, wie viele verschiedene Deckungsgradklassen bzw. Entwicklungsstufen in einem Kreis mit dem Radius 150 m um die Fläche vorkommen. Dieser Umkreis deckt eine Fläche von rund 7 ha ab. Die Betrachtung dieser Fläche ermöglicht eine einfache Habitatbewertung auf der Raumskala des Bestandesmosaiks. Für die gleiche Fläche habe ich auch den mittleren Deckungsgrad ermittelt. Die Hangneigung konnte mit dem digitalen Höhenmodell DHM 25 des Bundesamtes für Landestopographie bestimmt werden. Alle aufgezählten Berechnungen habe ich mit ArcViewGis 3.3 und ArcInfo 8.3 durchgeführt.

3.2.3 Bestimmung der Erschliessungsdichte

Um die Entwicklung der Erschliessungsdichte erfassen zu können, habe ich die Luftbildanalyse mit der Auswertung von topographischen Karten ergänzt. Dazu wurden Siegfriedkarten bzw. Landeskarten im Massstab 1:25'000 von 1933, 1956/60 und 1999 eingescannt und georeferenziert. Die Strassen und Wege habe ich in ArViewGis 3.3 digitalisiert und in befahrbare und nicht befahrbare Verkehrswege eingeteilt. Die befahrbaren Verkehrswege entsprechen den Klassen 1 bis 4, die nicht befahrbaren den Klassen 5 und 6 der Signaturliste 1:25'000. Von beiden Typen habe ich die Länge und die Dichte im Untersuchungsgebiet berechnet.

3.3 Wirtschaftsplananalyse

Forstliche Wirtschaftspläne liegen für alle drei Korporationen im Untersuchungsgebiet vor: Für die Kreisalpenkorporation, die Korporation Grosse Schwägalp und die Korporation Wilder Bann. Insbesondere Inventurdaten sind von grossem Interesse. Angaben über die Stammzahl und den Vorrat pro Hektare, den Mittelstamm und die Durchmesserverteilung geben Aufschluss über den Zustand der Wälder und können dank der regelmässigen Erneuerung der Wirtschaftspläne über einen Zeitraum von bis zu 60 Jahren verglichen werden. Die beobachteten Veränderungen habe ich unter dem Gesichtspunkt der Habitatqualität für das Auerhuhn interpretiert. Insgesamt standen 14 Wirtschaftspläne zur Verfügung, aus denen verschiedene forstliche Kenngrössen (Tabelle 3) abgeleitet werden konnten.

Neben den Inventurdaten in Tabellenform enthalten die Wirtschaftspläne in der Regel einen Textteil, der über Zustand und geplante Entwicklung der Wälder informiert. Eine systematische Auswertung dieses Textteiles der Wirtschaftspläne sollte zeigen, ob weitere, durch die forstlichen Kenngrössen nicht wiedergegebene, auerhuhnrelevante Veränderungen zwischen 1930 und 1999 aufgetreten sind. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Entwicklung der Waldweide sowie der Entwässerung und Aufforstung von Mooren.

Tabelle 3: Liste der verfügbaren Wirtschaftspläne im Untersuchungsgebiet und relevanter Kenngrössen: N/ha: Stammzahl pro Hektare; V/ha: Holzvorrat pro Hektare [m^3/ha]; Ms: Mittelstamm [m^3]; N/Sk: Stammzahl pro Stärkeklasse; V/Sk: Holzvorrat pro Stärkeklasse [m^3/sk]; Var. Vorrat: Variabilität des Holzvorrats [$\text{ha}/\text{Vorratsstufe}$]; Ks: Kluppschwelle [cm].
Erklärung: ✓ Ermittlung möglich; ✗ Ermittlung nicht möglich.

Korporation	Periode	N/ha, V/ha, Ms	N/Sk	V/Sk	Var. Vorrat	Aufnahmeverfahren	Ks
Kreisalpen (Kanton St. Gallen)	1922-31	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	18
	1931-40	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1947-62	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1966-81	✓	✗	✗	✓	Stichprobeninventur	8/16
	1995-04	✗	✗	✗	✗	Keine Inventur	-
Grosse Schwägalp (Kanton Appenzell Ausserrhoden)	1933-43	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1948-57	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1958-68	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1977-92	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
Wilder Bann (Kanton Appenzell Innerrhoden)	1932-41	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1942-51	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1952-61	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1962-71	✓	✓	✓	✓	Vollkluppierung	16
	1978-93	✓	✗	✗	✗	Stichprobeninventur	8

3.4 Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen habe ich mit dem Statistikprogramm SPSS 11.5 durchgeführt. Die Veränderungen der aufgenommenen auerhuhnrelevanten Variablen wurden in einem ersten Schritt mit deskriptiven Statistiken dargestellt. Bei den Daten der Wirtschaftspläne beschränkte sich die Auswertung auf dieses Vorgehen. Mit den Daten, welche aus den Luftbildern gewonnen wurden, entwickelte ich zwei verschiedene Modelle:

Literaturgestütztes Expertenmodell

Anhand der wichtigsten in der Literatur erwähnten Parameter, welche mit dem Luftbild aufgenommen werden können, habe ich ein Expertenmodell abgeleitet, das von jedem ausgeschiedenen Waldpolygon die Habitataignung für das Auerhuhn beurteilt. Dieses Modell soll, angewendet auf die Erhebungsjahre 1932/35, 1960 und 1999, die Veränderung der Habitatqualität im 20. Jahrhundert aufzeigen.

Logistisches Regressionsmodell

Die logistische Regression untersucht die Beziehung zwischen unabhängigen Variablen, welche ein beliebiges Skalenniveau aufweisen können, und einer dichotomen abhängigen Variable (STAHEL 2002). In der vorliegenden Untersuchung wurde das Vorkommen des Auerhuhns (abhängige Variable) in Beziehung zu den aufgenommenen Habitatfaktoren (unabhängige Variablen) gesetzt, und ein Modell berechnet, das Präsenz bzw. Absenz des Auerhuhns für einen bestimmten Punkt vorhersagt. Diese Beziehung wird in der Regressionsgleichung ausgedrückt, welche die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Auerhuhns berechnet (BÜHL & ZÖFEL 2000):

$$p(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_n \cdot x_n)}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

mit:

$p(y=1)$	Wahrscheinlichkeit, dass abhängige Variable 1 ist (Wahrscheinlichkeit des Vorkommens)
β_0	Konstante
x_n	Unabhängige Variable
β_n	Koeffizient der unabhängigen Variablen

Aus β lässt sich ableiten, in welche Richtung der Einfluss einer Variablen geht. Ist β positiv, so bedeuten höhere x-Werte eine höhere Vorkommenswahrscheinlichkeit, ein negatives β lässt die Vorkommenswahrscheinlichkeit mit steigendem x sinken. Für eine einzelne Variable beschreibt diese Gleichung eine sigmoide Kurve mit den Extremwerten 0 (0% Vorkommenswahrscheinlichkeit) und 1 (100% Vorkommenswahrscheinlichkeit). Als Schwellenwert für Präsenz/Absenz verwendete ich eine Vorkommenswahrscheinlichkeit p von 0.5. Flächen mit $p > 0.5$ gelten als geeignete, solche mit $p < 0.5$ als ungeeignete

Habitate. Je deutlicher sich die unabhängigen Variablen zwischen Präsenz- und Absenzpunkten unterscheiden, desto häufiger ordnet das Modell das Vorkommen richtig zu (MENARD 2002). Das Modell habe ich im Programm SPSS 11.5 mit dem rückwärts schrittweisen Verfahren berechnet. Dabei wurden zuerst alle Variablen in das Modell eingebunden und dann schrittweise entfernt. Als Signifikanzniveau für den Ausschluss verwendete ich einen Wert von 0.10 (SCHRÖDER 2000, HOSMER & LEMESHOW 1989).

Für die Berechnung des logistischen Regressionsmodells wurden nur die Daten der Korporation Kreisalpen verwendet, weil dieses Gebiet, besonders der Chräzerenwald, den Kernlebensraum des Auerhuhns im Untersuchungsgebiet darstellt. Die Auerhuhnnachweise von 1990 bis 2003, welche im Auerhuhninventar der WSL erfasst sind, flossen als Präsenzpunkte in das Modell ein. Die Absenzpunkte liegen auf einem 100 x 100 m Raster und sind mindestens 250 m von Präsenzpunkten entfernt. Damit berücksichtigte ich einerseits eine gewisse Ungenauigkeit der Lokalisation und andererseits vermied ich damit falsche Absenzpunkte. Die Wahrscheinlichkeit, dass die nähere Umgebung von Präsenzpunkten ebenfalls vom Auerhuhn genutzt wurde, ist gross.

Neben 74 Präsenzpunkten, welche einen Abstand von mindestens 50 m aufweisen, wurden 148 zufällig aus dem Punktraster ausgewählte Absenzpunkte in die Modellberechnung miteinbezogen. Den 222 Punkten ordnete ich die abhängige Variable und 7 unabhängige Variablen zu (Tabelle 4). Die unabhängigen Variablen wurden direkt aus dem Luftbild bestimmt oder aus den aufgenommenen Parametern abgeleitet.

Tabelle 4: Variablen, welche in die Modellberechnung einfließen

Variable		Beschreibung	Messniveau
ES	Entwicklungsstufe	Gemäss Parameteraufnahme	kategorial
DT	Deckungsgrad total	Gemäss Parameteraufnahme	metrisch
VAR_DG	Variation Deckungsgrad	Anzahl verschiedene Deckungsgrade im Umkreis von 150 m	metrisch
VAR_ES	Variation Entwicklungsstufe	Anzahl verschiedene Entwicklungsstufen im Umkreis von 150 m	metrisch
DG_MEAN	Mittlerer Deckungsgrad	Mittlerer Deckungsgrad im Umkreis von 150 m	metrisch
SLOPE	Hangneigung	Hangneigung in Grad	metrisch
DWR	Distanz Waldrand	Distanz zum nächsten Waldrand	metrisch

Das im Kreisalpengebiet kalibrierte Modell habe ich an einem Gebiet im Kanton Schwyz mit ähnlichen topographischen Eigenschaften in vergleichbarer Höhenlage validiert. Dieses Gebiet liegt östlich von Alpthal und umfasst eine Fläche von 4 km². Mit diesem Vorgehen kann die Modellgüte objektiv bewertet werden (GUISAN & ZIMMERMANN 2000). Für die Bewertung können verschiedene Gütekriterien verwendet werden (Tabelle 5).

Tabelle 5: Modellbewertung: Gütekriterien und ihre Bedeutung

Gütekriterium	Werte	Bedeutung
Klassifikation: % korrekt	(0,100)	Je grösser desto besser. Anteil korrekter Prognosen.
R_N^2 : R^2 nach Nagelkerke (BACKAUS et al. 2000, SCHRÖDER 2000)	(0,1)	Je grösser desto besser. Mass für die durch das Modell erklärte Varianz.
AUC: Area under Curve (FIEDLING & BELL 1997, HOSMER & LEMESHOW 1989)	(0,1)	Je grösser desto besser. Werte bis 0.5 sind nicht besser als eine zufällige Zuordnung von Präsenz bzw. Absenz: > 0.7 akzeptabel > 0.8 gut > 0.9 sehr gut
κ : Cohen's Kappa (BOYCE et al. 2002, SACHS 1999)	(-1,1)	Je grösser desto besser. Mass für die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Prognose: > 0.1 schwache > 0.4 deutliche > 0.6 starke > 0.8 fast vollständige

Das berechnete und getestete Modell wurde anschliessend auf das ganze Untersuchungsgebiet an den drei Luftbilddauswertungen von 1932/35, 1960 und 1999 angewendet. So konnte berechnet werden, wie sich die Habitatqualität über die Zeitspanne von rund 70 Jahren räumlich entwickelt hat.

4 Resultate

4.1 Luftbildanalyse

4.1.1 Entwicklung einzelner Parameter

Ausgeschiedene Polygone

Anzahl, Grösse und Variabilität der ausgeschiedenen Waldpolygone sind in allen drei Erhebungen ungefähr gleich (Abbildung 4): Die Anzahl der Polygone liegt bei allen drei Luftbildjahrgängen bei ca. 600. Der Median der ausgeschiedenen Waldflächen beträgt jeweils knapp eine Hektare, der Mittelwert ca. 1.5 ha. Für eine repräsentative Beurteilung der Waldstruktur ist eine minimale Waldfläche von 500 m² nötig (Dr. P. Duc pers. Mitt. in WEIBEL 2003). Die sehr kleinen Flächen sind grösstenteils separat stehende, aus wenigen Bäumen bestehende Baumgruppen im kleinräumigen Wald-Lücken-Mosaik. Solche Baumgruppen wurden als einzelne Bestände aufgenommen, weil sie dem Auerhuhn, trotz ihrer kleinen Fläche und unabhängig von der Waldstruktur, Nahrung und Deckung bieten können. Eine Klassierung solcher Flächen als Lücke mit Einzelbäumen wäre diesem Umstand weniger gerecht geworden.

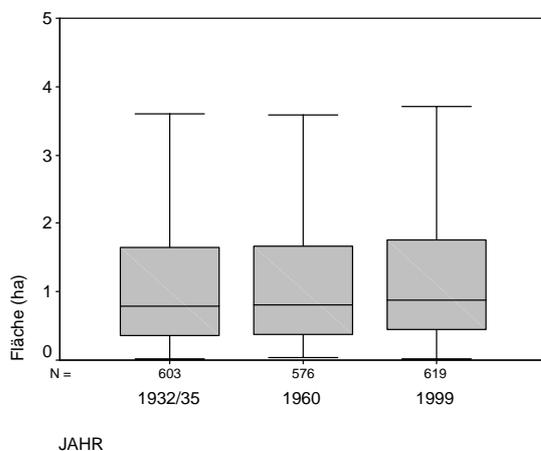


Abbildung 4: Box-Plot der Fläche der ausgeschiedenen Waldpolygone: Median, 1. + 3. Quartil, 1. + 9. Dezil
N: Anzahl der ausgeschiedenen Polygone.

Die Polygone der Lücken mit und ohne Einzelbäume wurden nicht in diese Analyse einbezogen, weil für die Klassierung dieser Flächen keine Mindestgrösse nötig ist. In allen drei Erhebungen wurden rund 300 Lücken ausgeschieden. Der Median der Grösse dieser Flächen beträgt ungefähr 0.5 ha, der Mittelwert knapp 3 ha. Die Streuung der Fläche ist grösser als bei den Waldpolygonen, da kleinste Waldlichtungen als auch grosse, bis mehrere hundert ha umfassende, zusammenhängende Weidegebiete in diese Klasse fallen.

Wald

Die Waldfläche im Untersuchungsgebiet hat von 1932/35 bis 1999 um 7% zugenommen (Abbildung 5a): 1932/35 waren rund 820 ha bewaldet, 1999 rund 950 ha. Die Zunahme der Waldfläche erfolgte vor allem auf Kosten von Lücken mit Einzelbäumen: Die Fläche dieser Ausprägung der Lücke hat um 110 ha abgenommen, während die Fläche der Lücke ohne Einzelbäume ungefähr gleich geblieben ist.

Die Flächenanteile der verschiedenen Entwicklungsstufen haben sich im Untersuchungsgebiet während den vergangenen 70 Jahren stark verändert (Abbildung 5b). Im Jahr 1932/35 wurde der Wald durch mittelstarke Hölzer (43%, BHD 20 bis 40cm) dominiert, 1999 dominieren die starken Hölzer (48%, BHD über 40cm). Die Jungwaldfläche hat sich in diesem Zeitraum auf einen Viertel der Fläche von 1932/35 reduziert. Der Anteil gemischter Bestände hat sich nicht entscheidend verändert und macht heute rund einen Viertel der Waldfläche aus. Über 90% der ausgeschiedenen gemischten Entwicklungsstufen fallen dabei in die Kategorie stufiger Bestände, mehrschichtige Bestände machen nur einen geringen Teil aus.

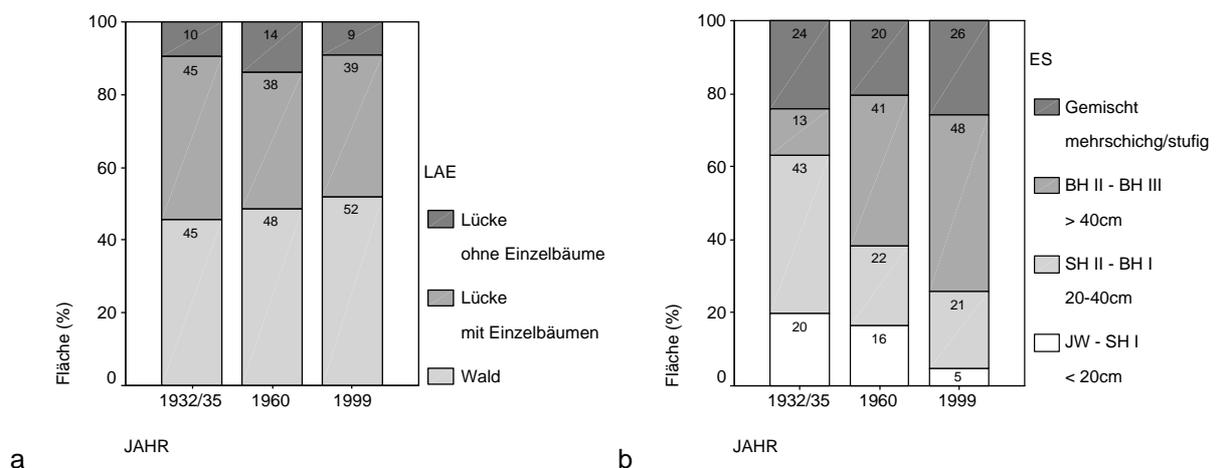


Abbildung 5: Entwicklung der Landschaftselemente und der Entwicklungsstufen im Untersuchungsgebiet:

- Parameter Landschaftselement (LAE): Entwicklung der Waldfläche und der Lücken mit bzw. ohne Einzelbäume in % der Fläche.
- Parameter Entwicklungsstufe (ES): Entwicklung der Flächenanteile der Entwicklungsstufen in % der Fläche.

Beim Deckungsgrad lassen sich nur leichte Veränderungen erkennen (Abbildung 6a und 6b): Die Fläche sehr lückiger Bestände der Deckungsgradstufen 2-5 hat sich von 1932/35 bis 1999 verkleinert. Im Gegensatz dazu sind Deckungsgrade ab der Stufe 6 im Jahr 1999 häufiger als in den Untersuchungsjahrgängen zuvor. Eine Ausnahme bildet die Deckungsgradklasse 9, die 1960 am häufigsten war. Insgesamt machen die dichten Deckungsgradklassen von 8-10 bei allen drei untersuchten Luftbildjahrgängen knapp die Hälfte der Fläche aus.

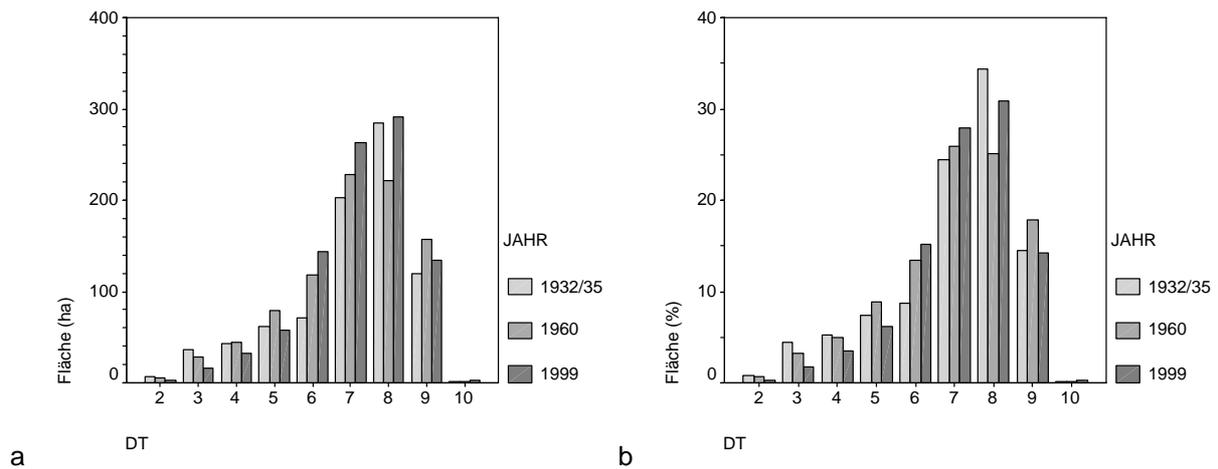


Abbildung 6: Parameter Deckungsgrad total (DT): Entwicklung der Flächenanteile je Deckungsgradklasse im Untersuchungsgebiet:
a) Flächen je Deckungsgradklasse, absolut (in ha)
b) Flächen je Deckungsgradklasse, prozentual (in Prozent der gesamten Waldfläche).

Grenzlinien

Die summierte Dichte aller ausgeschiedenen Grenzlinientypen pro Hektare, bezogen auf die Waldfläche, hat von 1932/35 bis 1999 um 18% abgenommen (Abbildung 7d). Dabei ist die Abnahme der Dichte der Grenzlinie zwischen Wald und Lücken (Abbildung 7a) zu einem grossen Teil für diese Entwicklung verantwortlich. Die Dichte dieses Grenzlinientyps verkleinerte sich um 20% von durchschnittlich 299 auf 237 m/ha. Die durchschnittliche Dichte der Grenzlinie zwischen Starkholz (BHD > 40 cm) und Schwachholz (BHD < 20 cm) ist 1999, nach einer Verdoppelung von 1932/35 bis 1960, mit durchschnittlich 9 m/ha wieder auf den Wert von 1932/35 zurückgegangen. Bei der mittleren Grenzlinienlänge zwischen stufigen und nichtstufigen Beständen ist, über die ganze Untersuchungsperiode betrachtet, keine wesentliche Änderung erkennbar (Abbildung 7b). Die durchschnittliche Dichte von Grenzlinien zwischen Beständen mit einem Unterschied im Deckungsgrad von mindestens 2 bzw. 4 Klassen, hat sich im Beobachtungszeitraum halbiert. Dabei hat sich die Dichte der Grenzlinien zwischen Beständen mit einem Unterschied von 2-3 Deckungsgradklassen auf einen Drittel der ursprünglichen Dichte reduziert (Abbildung 7c).

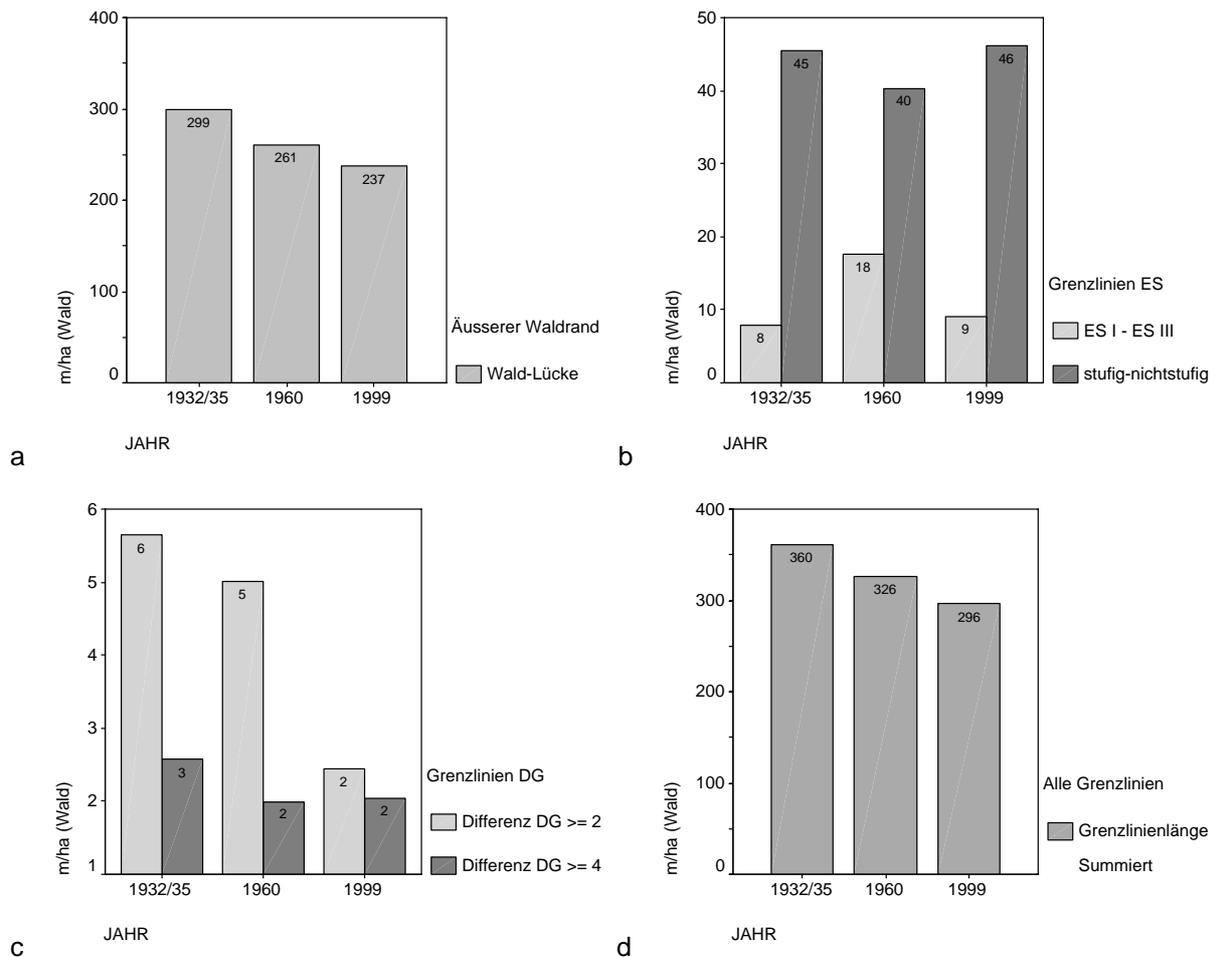


Abbildung 7: Entwicklung der Dichte der ausgeschiedenen Grenzlinien im Untersuchungsgebiet, bezogen auf die Waldfläche:
a) Äusserer Waldrand: Grenzlinie Wald-Lücke;
b) Grenzlinien Entwicklungsstufen (ES): Grenzlinien Schwachholz-Starkholz und stufig-nichtstufig;
c) Grenzlinien Deckungsgrad (DG): Grenzlinien dicht-lückig ($\Delta DG \geq 2$ und $\Delta DG \geq 4$);
d) Summierte Grenzlinienlänge a) bis c)

Erschliessung

Die mittlere Erschliessungsdichte hat sich im Untersuchungsgebiet von 1932/35 bis 1999 fast verdreifacht (Abbildung 8). Zu Beginn der Untersuchungsperiode war die Schwägalpassstrasse die einzige befahrbare Strasse im Gebiet. Seit diesem Zeitpunkt wurden zahlreiche Strassen zu landwirtschaftlichen und forstlichen Zwecken im Gebiet erstellt. Auch das Netz der nicht befahrbaren Wege hat sich, über den ganzen Beobachtungszeitraum betrachtet, verdichtet. Der Rückgang dieser Klasse zwischen 1960 und 1999 dürfte darauf zurückzuführen sein, dass nicht befahrbare Wege zu befahrbaren Strassen ausgebaut wurden und nicht mehr benötigte Bewirtschaftungswege keinen Unterhalt mehr erfuhren.

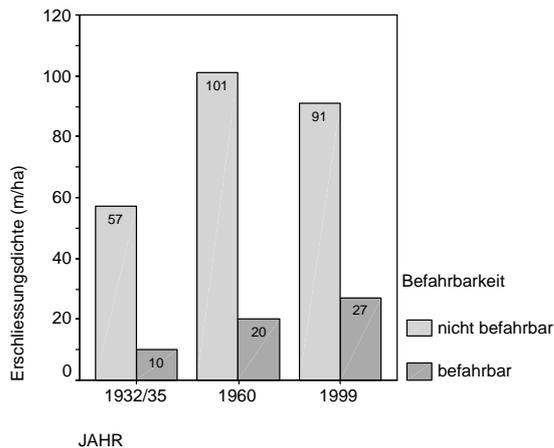


Abbildung 8: Erschliessungsdichte: Entwicklung der Dichte nicht befahrbarer Wege (Signaturklassen 5-6) und befahrbarer Strassen (Signaturklassen 1-4) in m/ha, bezogen auf die gesamte Perimeterfläche.

Tourismus

Als Indikator für die Entwicklung des Tourismus wurden die Frequenzen der Luftseilbahnen auf den Säntis und den Kronberg untersucht. Die Talstation der Säntisbahn liegt mitten im Untersuchungsgebiet, die Bergstation der Kronbergbahn liegt in unmittelbarer Nähe davon im Nordosten. Beide sind Ausgangspunkte für Wanderungen im Untersuchungsgebiet und ziehen zahlreiche Erholungssuchende an. Besonders häufig begangen ist die Strecke von der Schwägalp auf den Kronberg, welche mitten durch den Bruggerenwald führt. Die Transportfrequenzen haben sich im Falle der Säntisbahn seit der Eröffnung im Jahr 1935 von knapp 100'000 auf gut 500'000 erhöht (Abbildung 9). Die Anzahl Beförderungen der Kronbergbahn hat sich seit 1964 nicht wesentlich verändert und liegt bei 100'000 bis 150'000 pro Jahr (Abbildung 9). Insgesamt hat die touristische Nutzung im Untersuchungsgebiet, nach diesem Indikator, stark zugenommen.

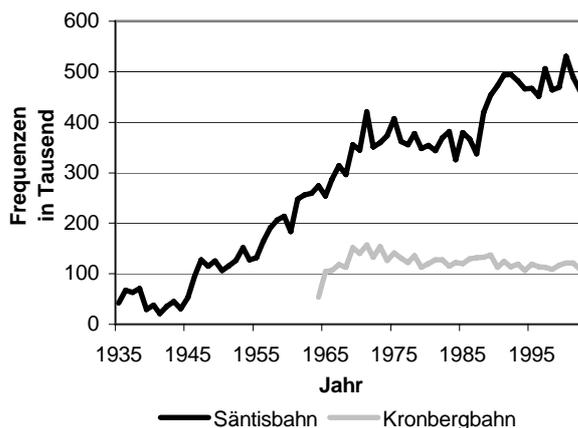


Abbildung 9: Passagierfrequenzen der Luftseilbahnen auf den Kronberg und den Säntis: Frequenzen pro Jahr seit Erstellung der Bahn.

4.1.2 Veränderung der Habitatqualität

Literaturgestütztes Expertenmodell

In der Literatur wird die grosse Bedeutung von Althölzern und stufigen Beständen betont. Vor allem während dem Winter sollen solche Waldtypen vom Auerhuhn bevorzugt werden. Der Deckungsgrad nimmt ebenfalls eine Schlüsselrolle ein. Sein idealer Bereich erstreckt sich von 40-70%. Das literaturgestützte Expertenmodell klassifiziert alle ausgeschiedenen Waldpolygone anhand dieser Präferenzen als geeignet oder nicht geeignet. Damit ein Polygon als geeignet klassifiziert wird, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein (Tabelle 6). Wird eine der beiden Bedingungen nicht erfüllt, gilt das Polygon als nicht geeignetes Habitat.

Tabelle 6: Bedingungen für Habitateignung im literaturgestützten Expertenmodell. (Beschreibung der Parameter: Tabelle 2, S. 14)

Bedingung	Parameter	Bedingung für Habitateignung
1	ES / Entwicklungsstufe	= 3 (Baumholz II – III) oder 4 (gemischt: stufig / mehrschichtig)
2	DT / Deckungsgrad	≥ 40% und ≤ 70%

Mit diesem Modell wird in erster Linie die Qualität der Wälder als Winterlebensraum bewertet. Der Sommerlebensraum, in welchem vor allem eine deckende Krautschicht wichtig ist, kann nicht direkt bewertet werden. Man kann jedoch annehmen, dass Bestände mit einem tiefen Deckungsgrad, in welchen viel Licht den Boden erreicht, eine üppigere Krautschicht aufweisen. Lückige Bestände sind nach dieser Annahme auch als Sommerlebensraum geeignet. Die Qualität der Bodenvegetation kann aber auch so nicht abschliessend bewertet werden.

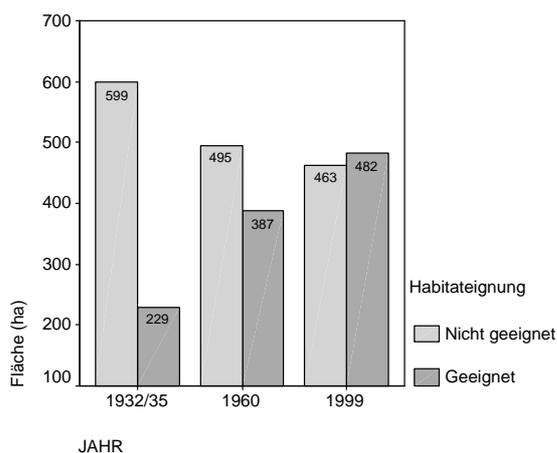


Abbildung 10: Entwicklung der Habitateignung mit dem literaturgestützten Expertenmodell: Flächensumme geeigneter und nicht geeigneter Habitate pro Luftbildserie in ha.

Die Anwendung des literaturgestützten Expertenmodells liefert eine Entwicklung bei der sich die für das Auerhuhn geeignete Habitatfläche von 1932/35 bis 1999 mehr als verdoppelt hat (Abbildung 10). Dafür ist in erster Linie der gestiegene Starkholzanteil verantwortlich. Die Resultate dieses Modells stehen im Widerspruch zur Entwicklung des Auerhuhnbestandes, der im untersuchten Zeitraum auf einen Bruchteil zusammenschrumpfte.

Logistisches Regressionsmodell

Mit der Methode Rückwärts schrittweise (Likelihood-Quotient) in SPSS 11.5 verbleiben nach 5 Schritten noch 3 der 7 Variablen im Modell (Tabelle 7). Dieses Modell ordnet 83.8% der Absenz- und 59.5% der Präsenzflächen im Untersuchungsgebiet richtig zu. Insgesamt werden 75.7% der Beobachtungen korrekt zugeordnet. Die drei Variablen und die Konstante im Modell leisten alle einen signifikanten Beitrag zum Modell. Das R^2 nach Nagelkerke (R_N^2) beträgt 0.395. Durch das Modell wird 39.5% der Varianz erklärt.

Tabelle 7: Variablen, welche das berechnete logistische Regressionsmodell definieren.

Parameter	β	Standardfehler	Wald	Df	Sig	Exp(β)
VAR_DG	1.130	0.210	29.035	1	0.000	3.095
DG_MEAN	-1.198	0.229	27.273	1	0.000	0.302
SLOPE	-0.051	0.018	8.381	1	0.004	0.950
Konstante	4.586	1.562	8.619	1	0.003	98.148

Die Vorkommenswahrscheinlichkeit p des Auerhuhns an einem beliebigen Punkt im Untersuchungsgebiet lässt sich mit den β -Werten aus Tabelle 7 und den aufgenommenen Parametern wie folgt berechnen:

$$p(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{-(4.586 + 1.130 \cdot \text{VAR_DG} - 1.198 \cdot \text{DG_MEAN} - 0.051 \cdot \text{SLOPE})}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Dieses, anhand der Daten im Untersuchungsgebiet evaluierte Modell wurde an einem unabhängigen Datensatz aus einem räumlich getrennten Auerhuhnggebiet im Kanton Schwyz validiert. Die Übereinstimmung von Beobachtung und Prognose bei diesem Modelltest ist in der Klassifikationsmatrix (Tabelle 8) festgehalten.

Tabelle 8: Klassifikationsmatrix der Validierung am unabhängigen Datensatz.

		Beobachtung		
		Absenz	Präsenz	Σ
Prognose	Absenz	42	4	46
	Präsenz	28	30	58
	Σ	70	34	104

Der Anteil der falschpositiven Prognosen – Punkte, für welche im Modell fälschlicherweise Präsenz prognostiziert wurde – an den beobachteten Absenzpunkten macht 40% aus. Das Modell klassifiziert damit relativ grosse aktuelle Absenzflächen als Präsenzgebiete. Dagegen ist der Anteil der falschnegativen Prognosen – Punkte, für welche im Modell fälschlicherweise Absenz prognostiziert wurde – mit 12% der beobachteten Präsenzpunkte sehr klein. Nur wenige aktuelle Präsenzflächen wurden im Modell als Absenzflächen klassiert (Siehe Anhang: 9.3. Testgebiet Kanton Schwyz).

Für die Bewertung des Modells sind vor allem die Gütekriterien der Modellvalidierung im Testgebiet interessant (Tabelle 9). Der AUC-Wert zeigt mit 0.858 eine gute Modelldiskriminierung an. Das Kappa κ nimmt einen Wert von 0.408 an, was einer deutlichen Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Prognose entspricht. Insgesamt kann das logistische Regressionsmodell anhand dieser Kennwerte als gut bezeichnet werden.

Tabelle 9: Bewertung des Regressionsmodells anhand verschiedener Gütekriterien. (Interpretation der Gütemasse: Tabelle 5, S. 19)

Kriterium	Werte	Modell Untersuchungsgebiet		Validierung Testgebiet (SZ)	
		Wert	Bedeutung	Wert	Bedeutung
R_2^N	(0,1)	0.395	Mässig	-	-
AUC	(0,1)	0.826	Gut	0.858	Gut
κ	(-1,1)	0.441	Deutlich	0.408	Deutlich

Anhand des Vorzeichens von β lässt sich abschätzen, welchen Einfluss die Variablen im logistischen Regressionsmodell auf die Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns ausüben (Abbildung 11).

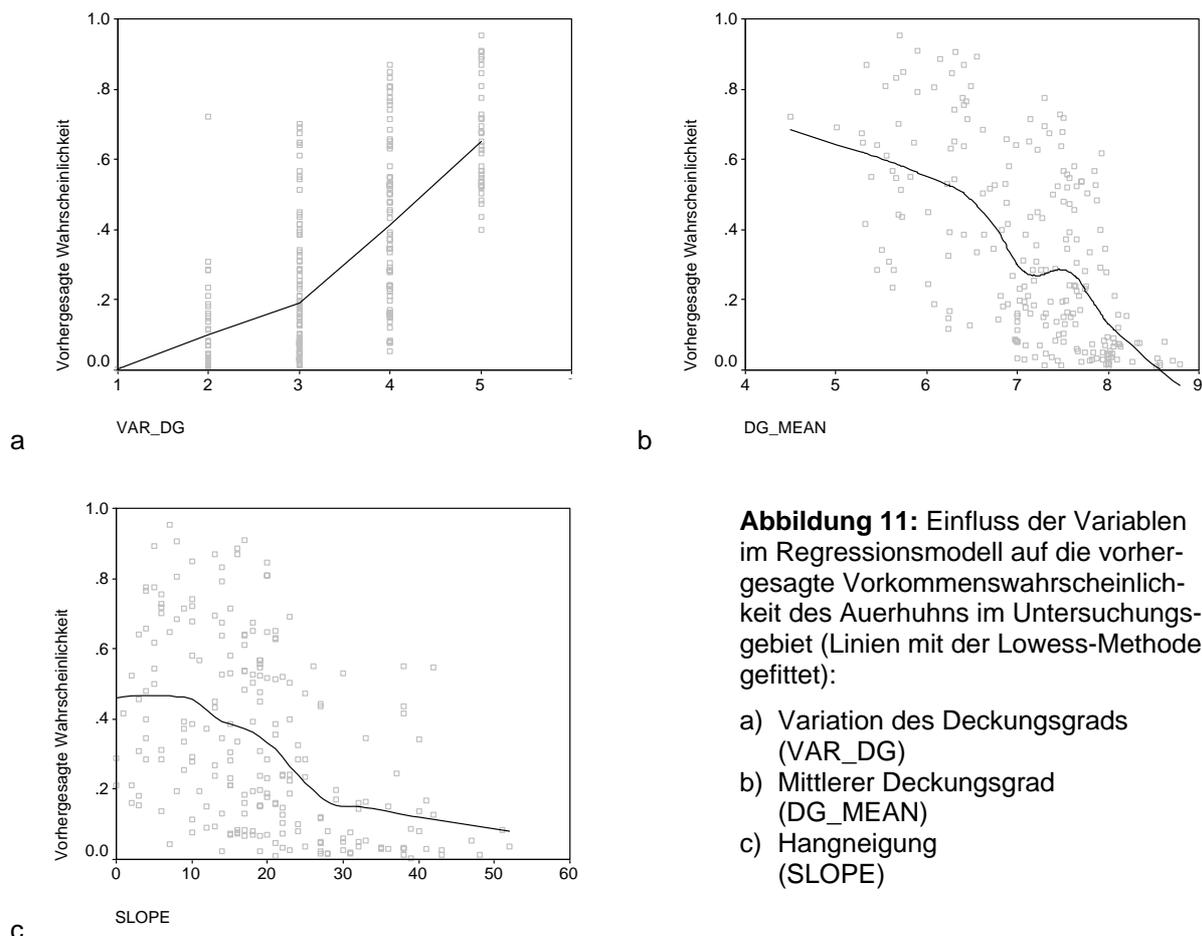


Abbildung 11: Einfluss der Variablen im Regressionsmodell auf die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns im Untersuchungsgebiet (Linien mit der Lowess-Methode gefittet):

- a) Variation des Deckungsgrades (VAR_DG)
- b) Mittlerer Deckungsgrad (DG_MEAN)
- c) Hangneigung (SLOPE)

Die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns an einem bestimmten Punkt steigt mit grösser werdender Variation des Deckungsgrades (VAR_DG) in der

Umgebung des Punktes stark an (Abbildung 11a). Umgekehrt verhält es sich mit dem mittleren Deckungsgrad (DG_MEAN) der Umgebung eines Punktes: Je höhere Werte der mittlere Deckungsgrad erreicht, desto kleiner wird die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns (Abbildung 11b). Der Einfluss der Hangneigung (SLOPE) geht in die selbe Richtung: Je grösser die Hangneigung, desto kleiner wird die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit (Abbildung 11c).

Bei der Bestimmung der Habitatqualität gelten Flächen mit einer vorhergesagten Vorkommenswahrscheinlichkeit p von mindestens 0.5 als geeignete Habitate, Flächen mit Werten unter 0.5 als ungeeignete Habitate. Die Anwendung des Modells an den drei Luftbildjahrgängen liefert folgende Entwicklung der Habitateignung (Abbildung 12): Von 1932/35 bis 1960 hat sich die geeignete Habitatfläche um 18 Prozent bzw. 55 ha vergrößert. Zwischen 1960 und 1999 hat die geeignete Habitatfläche um rund 20% bzw. 70 ha abgenommen.

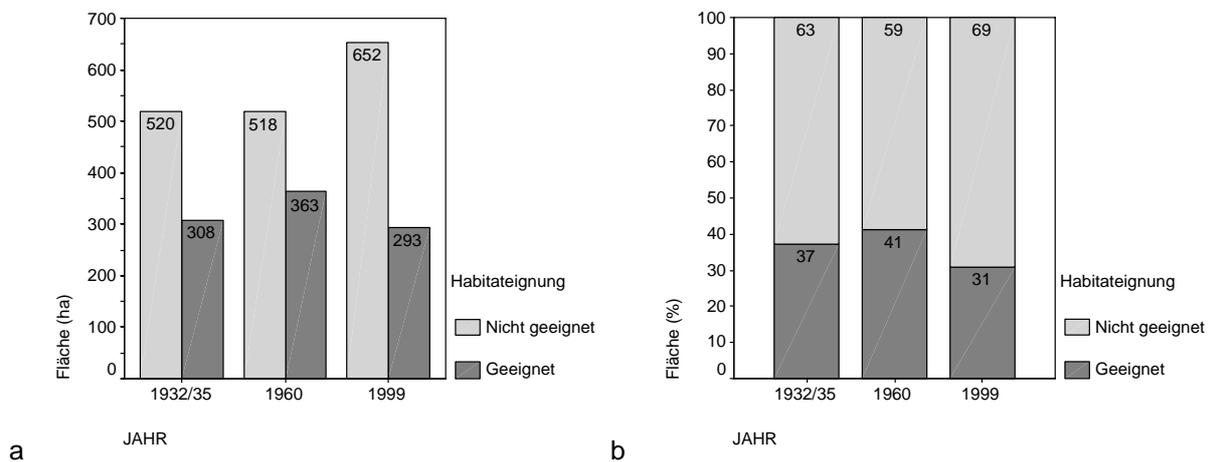
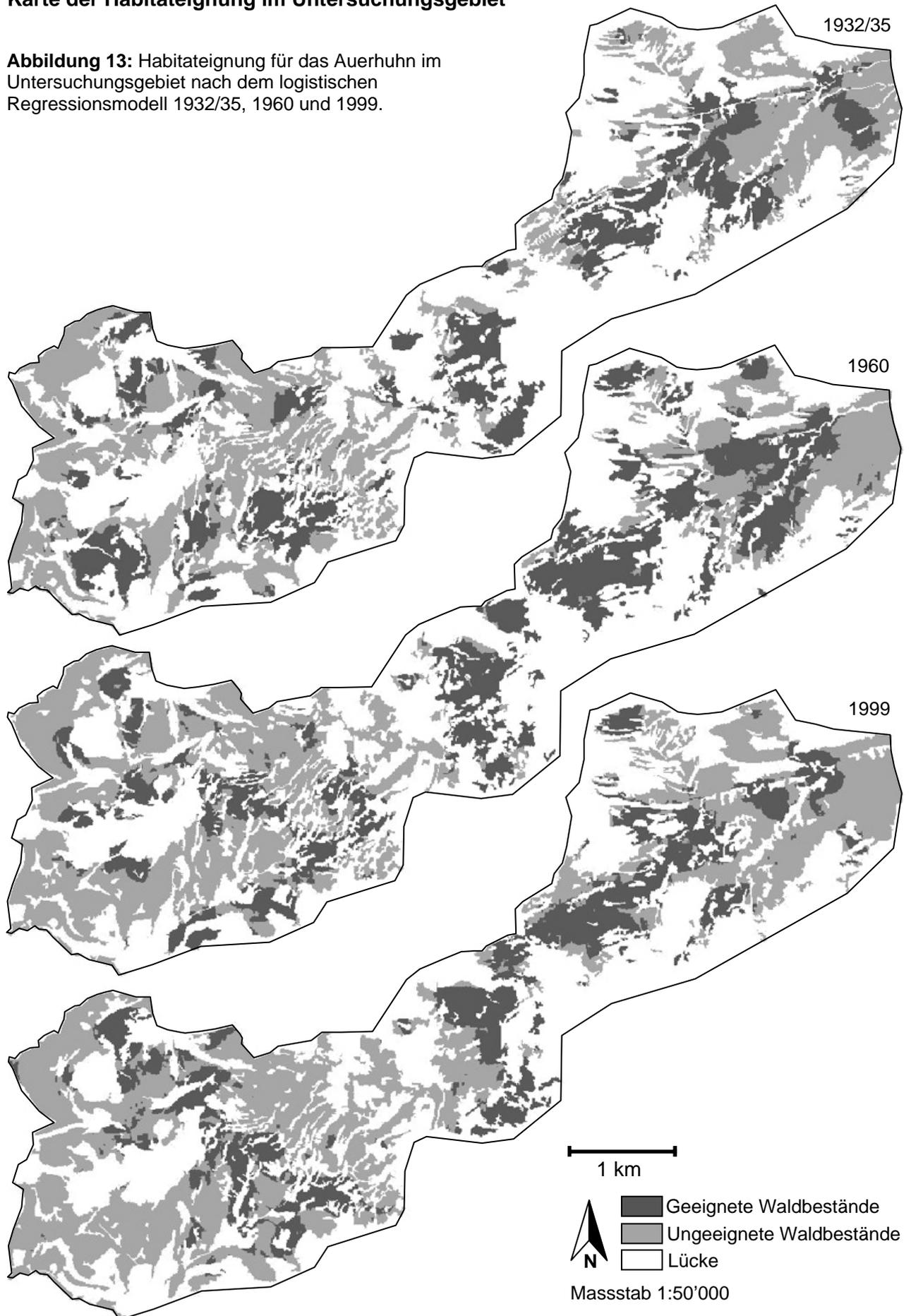


Abbildung 12: Entwicklung der geeigneten und ungeeigneten Habitatfläche im Untersuchungsgebiet nach dem logistischen Regressionsmodell:
a) absolute Fläche (ha)
b) prozentuale Fläche

Die räumliche Entwicklung der Habitateignung im Untersuchungsgebiet (Abbildung 13 und Anhang 9.2) zeigt, dass sowohl zwischen 1932/35 und 1960 als auch zwischen 1960 und 1999 viele Waldflächen ihre Habitateignung für das Auerhuhn verloren haben. Zwischen 1932/35 und 1960 sind aber umfangreiche, neue geeignete Habitatflächen entstanden, von 1960 bis 1999 nur noch wenige kleine.

Karte der Habitateignung im Untersuchungsgebiet

Abbildung 13: Habitateignung für das Auerhuhn im Untersuchungsgebiet nach dem logistischen Regressionsmodell 1932/35, 1960 und 1999.



Vergleich der zwei Modelle

Die Anwendung der beiden Modelle führt zu unterschiedlichen Resultaten (Abbildung 14): Das literaturgestützte Expertenmodell zeigt eine Entwicklung, bei der die Fläche an geeignetem Auerhuhnlebensraum seit 1932/35 zugenommen hat. Danach gehört 1999 mit 482 ha eine mehr als doppelt so grosse Fläche in die Kategorie „geeignet“ als 1932/35 mit 229 ha. Aus der Anwendung des logistischen Regressionsmodells am Untersuchungsgebiet resultiert, über den ganzen Untersuchungszeitraum betrachtet, eine leichte Abnahme der geeigneten Habitatfläche: Die grösste Fläche an geeignetem Gebiet lag dabei 1960 mit 363 ha vor.

Für 1932/35 berechnet das Expertenmodell eine um 26% kleinere, für 1960 eine um 7% grössere und für 1999 eine um 65% grössere geeignete Habitatfläche für das Auerhuhn als das Regressionsmodell.

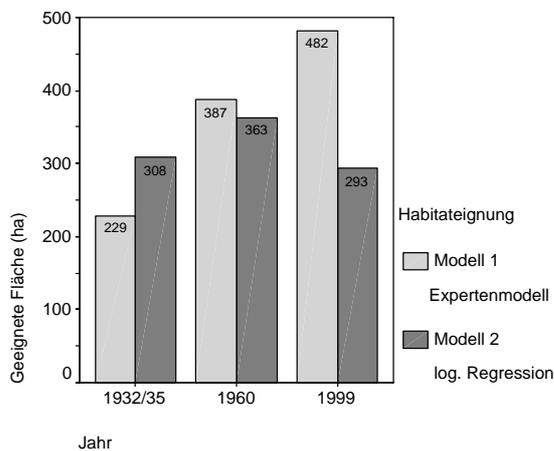


Abbildung 14: Vergleich der beiden Modelle: Geeignete Habitatfläche pro Luftbildserie in ha.

4.2 Wirtschaftsplananalyse

Bei der Auswertung der Wirtschaftsplandaten traten zahlreiche Schwierigkeiten auf. Eine zusammenfassende Darstellung der Daten aller drei Korporationen war aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte und der teilweise unterschiedlichen Kluppschwellen bei den Inventuren nicht möglich. Die Abteilungsgrenzen innerhalb der Korporationswälder wurden zum Teil mehrmals geändert, diese Änderungen sind nicht mehr nachvollziehbar. Es ist darum nicht möglich, die Inventurdaten auf eine bestimmte Fläche zu beziehen. Die ausgeschiedenen Abteilungen sind zudem in der Regel so gross, dass sie viele unterschiedliche Bestandestypen beinhalten. Die Inventurdaten geben darum keine detaillierte Auskunft über den bestandesweisen Aufbau der Abteilung, sondern nur zusammengefasste Werte für die gesamte Abteilung. Auf eine abteilungsweise Betrachtung der Inventurdaten wird aus diesem Grund verzichtet.

Die Werte in den älteren Wirtschaftsplänen beziehen sich zum Teil auf geschätzte Flächen. In allen drei Korporationen wurden in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts genauere Vermessungen durchgeführt. Daten, welche einen Flächenbezug aufweisen, beziehen sich alle auf diese genaueren Flächenangaben. Die in dieser Untersuchung präsentierten Vorräte und Stammzahlen pro Hektare weisen daher teilweise andere Werte auf als in den jeweiligen Wirtschaftsplänen. Die Genauigkeit der Werte, die sich auf eine Fläche beziehen, ist durch die Verwendung der Flächenangaben aus der Vermessung angestiegen.

Die wichtigsten Ergebnisse der Wirtschaftsplananalyse werden nachfolgend für jede Korporation präsentiert: Dies ist die Entwicklung des Vorrats pro Hektare, der Stammzahl pro Hektare, des Mittelstamms und des Vorrates pro Stärkeklasse. Weitere Ergebnisse sind im Anhang zu finden (Anhang 9.1).

4.2.1 Korporation Kreisalpen

Die ersten drei untersuchten Inventuren im Gebiet der Korporation Kreisalpen – 1922, 1932 und 1947 – erfolgten mit Vollkluppierungen. Die Kluppschwelle lag 1922 bei 18 cm, ab 1932 bei 16 cm. 1966 wurde eine Stichprobeninventur durchgeführt, 1995 verzichtete der Forstdienst auf eine Inventur.

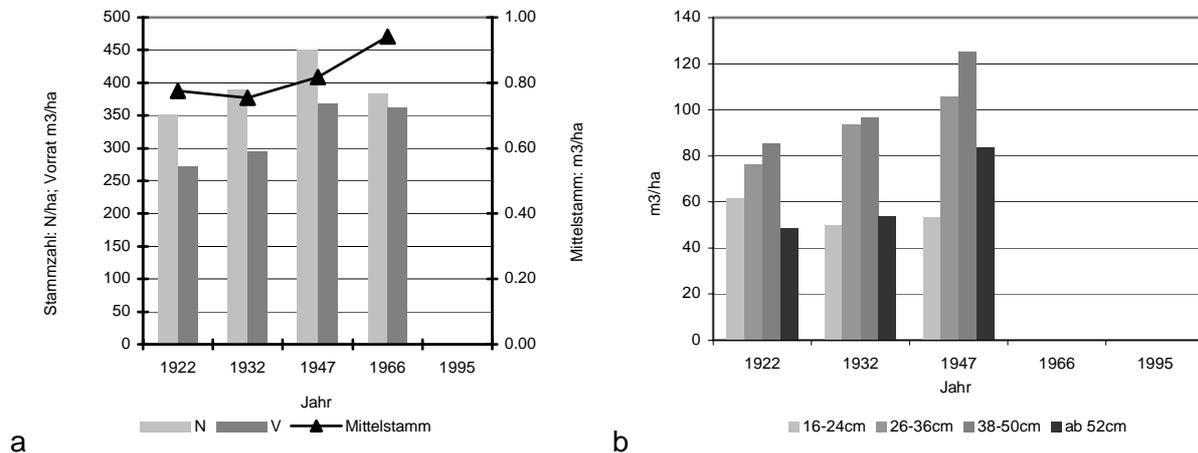


Abbildung 15: Entwicklung wichtiger Inventurwerte im Gebiet der Korporation Kreisalpen:
a) N: Stammzahl pro ha (N/ha), V: Holzvorrat pro ha (m^3/ha) & Mittelstamm;
b) Holzvorrat pro Stärkeklasse (m^3/ha).

Der durchschnittliche Vorrat pro Hektare hat im Gebiet der Korporation Kreisalpen von 1922 bis 1947 um rund $100 m^3/ha$ zugenommen und $370 m^3/ha$ erreicht (Abbildung 15a). Für die ausgeprägte Zunahme zwischen 1932 und 1947 ist vermutlich der grosse Einwuchs in die kluppierten Stärkeklassen, welcher durch die sprunghaft angestiegene Stammzahl aufgezeigt wird, verantwortlich. Von 1947 bis 1966 ist eine Verkleinerung des Vorrats zu beobachten. Der Grund dieser Trendwende liegt wahrscheinlich in der Änderung des Aufnahmeverfahrens. Der reale Vorrat hat sich wahrscheinlich auch in dieser Periode weiter vergrößert. Nach Meinung des Wirtschaftsplanverfassers dürfte der Vorrat auch zwischen 1966 und 1995 weiter gestiegen sein (WP KREISALPEN, 1995). Der Mittelstamm hat sich, während der Periode mit gleichem Aufnahmeverfahren, von 1922 bis 1947, trotz höherer Stammzahl leicht vergrößert und lag 1947 bei $0.8 m^3$.

Der Vorrat der beiden stärksten Stärkeklassen ist allein zwischen 1922 und 1947 stark angestiegen (Abbildung 15b): 1922 machten die zwei schwachen und die zwei starken Stärkeklassen noch je ungefähr die Hälfte des Vorrats aus. Bis 1947 hat sich dieses Verhältnis zugunsten der starken Klassen verschoben.

4.2.2 Korporation Grosse Schwägalp

Die Inventuren auf dem Gebiet der Grossen Schwägalp erfolgten zu allen vier untersuchten Zeitpunkten – 1933, 1948, 1958 und 1977 – mit Vollkluppierungen. Nach 1977 wurde keine Inventur mehr durchgeführt. Die Kluppschwelle lag bei allen Aufnahmen bei 16 cm. Die Inventurdaten liegen somit über mehr als 40 Jahre komplett vor und sind gut vergleichbar.

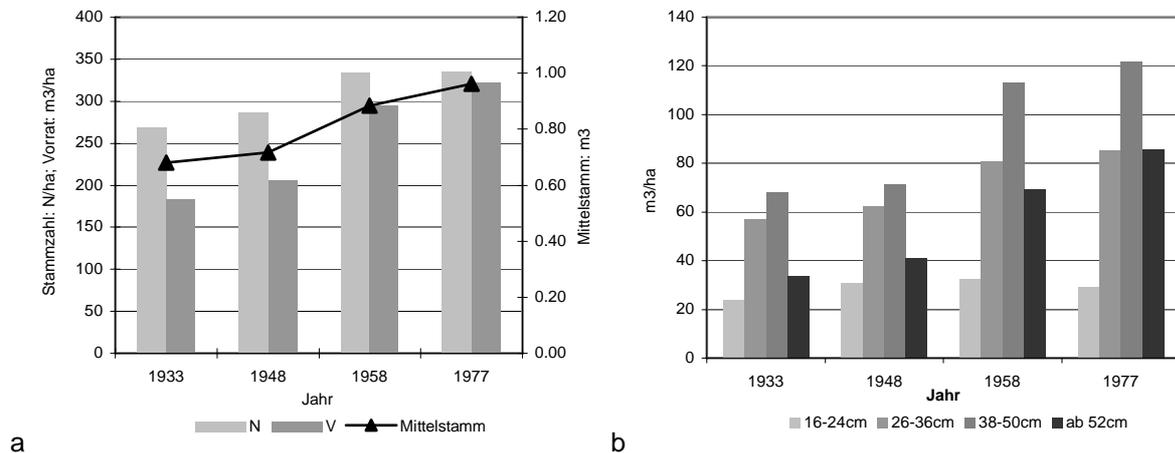


Abbildung 16: Entwicklung wichtiger Inventurwerte im Gebiet der Korporation grosse Schwägalp: a) N: Stammzahl pro ha (N/ha), V: Holzvorrat pro ha (m^3/ha) & Mittelstamm; b) Holzvorrat pro Stärkeklasse (m^3/ha).

Auf dem Gebiet der Korporation Grosse Schwägalp hat der Vorrat von 1933 bis 1977 um rund $140 m^3/ha$ zugenommen und $330 m^3/ha$ erreicht (Abbildung 16a). Auffallend ist die grosse Zunahme zwischen 1948 und 1958, welche den Vorrat um $90 m^3/ha$ ansteigen liess. Dieser Sprung ist durch den grossen Einwuchs in die kluppierten Stärkeklassen zu erklären, denn die Stammzahl hat sich im gleichen Zeitraum von 290 auf 340 pro Hektare erhöht. Auch der Mittelstamm hat sich von 1933 bis 1977 laufend erhöht und erreichte 1977 knapp einen Festmeter.

1933 machten die schwachen und die starken Stärkeklassen ungefähr den selben Anteil am Vorrat aus (Abbildung 16b). 1977 sind rund $210 m^3/ha$ den starken und $110 m^3/ha$ den schwachen Stärkeklassen zuzuordnen. Der Anteil der Starkhölzer ist damit stark angestiegen.

Die Steigerung des Vorrats pro Hektare auf dem Gebiet der Korporation Grosse Schwägalp hat sich vermutlich bis heute fortgesetzt (P. Ettlinger pers. Mitt.). Der Anteil der starken Stärkeklassen dürfte sich bis in die Gegenwart weiter vergrössert haben.

4.2.3 Korporation Wilder Bann

Die ersten vier Inventuren im Gebiet der Korporation Wilder Bann – 1932, 1942, 1952 und 1962 – erfolgten mit Vollkluppierungen. Die Kluppschwelle lag bei allen Aufnahmen bei 16 cm. 1978 wurde eine Stichprobeninventur durchgeführt, danach erfolgte keine Wirtschaftsplanrevision mehr.

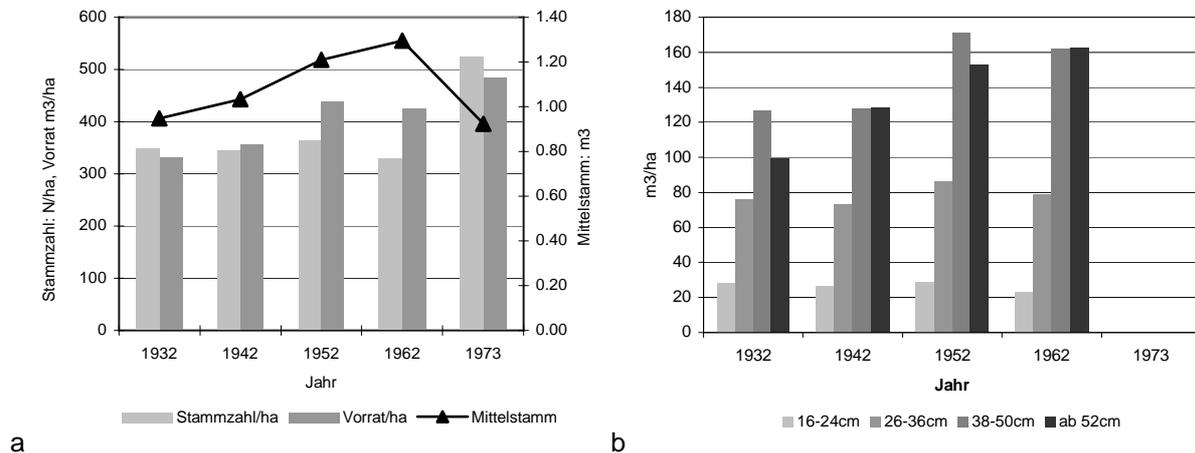


Abbildung 17: Entwicklung wichtiger Inventurwerte im Gebiet der Korporation Wilder Bann:
a) N: Stammzahl pro ha (N/ha), V: Holzvorrat pro ha (m³/ha) & Mittelstamm;
b) Holzvorrat pro Stärkeklasse (m³/ha).

Auf dem Gebiet der Korporation Wilder Bann hat sich der durchschnittliche Vorrat pro Hektare erhöht (Abbildung 17a). Von 1932 bis 1962 stieg dieser von 330 m³/ha auf rund 430 m³/ha an. Der starke Anstieg von 1962 bis 1973 dürfte durch den Wechsel des Aufnahmeverfahrens begründet sein. Die Zunahme des durchschnittlichen Vorrats pro Hektare ist in diesem Fall nicht mit dem Einwuchs zu erklären, denn die Stammzahl pro Hektare hat sich nicht so stark verändert. Die forstliche Nutzung erreichte den in den Wirtschaftsplänen vorgesehenen Hiebsatz in diesem Gebiet während dem gesamten Untersuchungszeitraum nicht (WP WILDER BANN, 1962). Die Zunahme von ca. 80 m³/ha innerhalb 10 Jahre muss durch die ausgebliebene Nutzung bedingt sein. Der Mittelstamm hat sich von 1932 bis 1962 um ca. 25% erhöht und knapp 1.3 m³ erreicht.

Der Vorrat der beiden stärksten Stärkeklassen war in diesem Gebiet schon zu Beginn des Untersuchungszeitraumes relativ hoch, ist aber von 1932 bis 1962 weiter angestiegen (Abbildung 17b). 1962 machten die beiden stärksten Stärkeklassen rund drei Viertel des Vorrats pro Hektare aus.

Die Steigerung des Vorrats dürfte sich nach der Meinung des Verfassers, in kleinerem Masse, bis in die Gegenwart fortgesetzt haben.

4.2.4 Vergleich der drei Korporationsgebiete

Beim Vergleich der drei Korporationsgebiete fällt auf, dass die durchschnittlichen Holzvorräte pro Hektare zu Beginn des Untersuchungszeitraumes um 1930 sehr unterschiedliche Werte aufwiesen. Der Vorrat im Gebiet der Korporation Grosse Schwägalp lag dabei mit rund 180 m³/ha weit unter den Werten der Korporationen Kreisalpen mit rund 300 m³/ha und Wilder Bann mit 330 m³/ha. Dieser Zustand lässt sich mit der Luftbildanalyse bestätigen, denn grosse Teile des Cholwaldes auf dem Gebiet der Korporation Grosse Schwägalp waren zu diesem Zeitpunkt mit Jungwald bestockt, währenddem in den anderen Korporationsgebieten stärkere Entwicklungsstufen dominierten. Die heutigen Vorräte können nur schlecht miteinander verglichen werden, da unterschiedliche Aufnahmeverfahren verwendet wurden und die Zeitpunkte der letzten Aufnahme je Korporation weit auseinanderliegen. Alle drei Korporationen dürften heute mittlere Vorräte von 350 bis 500 m³/ha aufweisen.

Der Vorrat der beiden stärksten Stärkeklassen (ab 38 cm) ist in allen drei Korporationsgebieten stark angestiegen. Die Wälder weisen heute einen viel grösseren Anteil an Starkhölzern auf, als dies um 1930 der Fall war. Dieses Resultat bestätigt die Luftbildanalyse bei der ebenfalls eine starke Zunahme der Starkhölzer beobachtet werden konnte.

4.2.5 Resultate der Textauswertung

Entwicklung der Waldweide

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden noch grosse Teile des Waldes im Untersuchungsgebiet durch Vieh beweidet. Die Wälder der Korporation Grosse Schwägalp blieben fast vollständig beweidet, bis in den 1970er Jahren eine Wald-Weide-Ausscheidung durchgeführt wurde. Gegenwärtig sind nur noch kleine Partien des Cholwaldes beweidet. Die Wald-Weide-Ausscheidung erfolgte in der Korporation Wilder Bann bereits in den 1930er-Jahren. Ab diesem Zeitpunkt waren nur noch wenige, an die Alpen grenzende Bestände dem Vieh zugänglich. Auf dem Gebiet der Korporation Kreisalpen wurden schon in den 1920er Jahren umfangreiche Wald-Weide-Ausscheidungen durchgeführt. Bis heute wurden immer wieder Waldflächen der Nutzung durch das Vieh entzogen, und nur noch wenige Bestände südlich der Passstrasse werden gegenwärtig beweidet.

Entwässerungen und Aufforstungen

Bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts wurden auf dem Gebiet der drei Korporationen umfangreiche Entwässerungen von Rietflächen mit anschliessender Aufforstung durchgeführt (Tabelle 10). Das genaue Ausmass dieser Bestrebungen ist aus den Wirtschaftsplänen nicht abzuleiten. Die aufgelisteten Angaben können aber den Zeitgeist der Forstwirtschaft in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vermitteln. Insgesamt wurden im Untersuchungsgebiet vermutlich über 30 ha Moore entwässert und aufgeforstet. Die erstellten Entwässerungsgräben sind teilweise auch auf den Luftbildern erkennbar.

Tabelle 10: Übersicht über die durchgeführten Entwässerungen und Aufforstungen auf Korporationsgebiet. Zusammenzug der Daten aus den Wirtschaftsplänen:

Korporation	Entwässerungen	Aufforstungen
Kreisalpen	Ca. 3 km Entwässerungsgräben	Ca. 40'000 Pflanzen
Grosse Schwägalp	Total, mit Korporation kleine Schwägalp: Auf 10 ha ca. 10 km Entwässerungsgräben	Ca. 80'000 Pflanzen, v.a. Fichte
Wilder Bann	Keine genauen Angaben in den Wirtschaftsplänen. Entwässerungsgräben sind im Luftbild z.T. sichtbar.	Keine Angaben

5 Diskussion

5.1 Luftbildanalyse

5.1.1 Ein einzelner Parameter kann den Rückgang des Auerhuhnbestandes nicht erklären

Die Waldfläche im Untersuchungsgebiet ist von 1932/35 bis 1999 um 7% bzw. 125 ha angestiegen. Damit steht dem Auerhuhn gegenwärtig mehr potentieller Lebensraum zur Verfügung. Die Flächenzunahme erfolgte teilweise auf Kosten von Moorflächen welche entwässert und aufgeforstet wurden. In solchen Fällen hat die Waldzunahme negativen Einfluss auf die Habitatqualität, denn lückig bestockte Moorflächen können die Ansprüche des Auerhuhns sehr gut erfüllen. Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass insbesondere im Sommer Waldmoore und Moorränder für Hennen und Gesperre aufgrund der grossen Nahrungsverfügbarkeit – Pflanzen und Insekten – von hoher Bedeutung sind (SCHROTH 1994, KLAUS et. al 1989). Die lückige Struktur und damit auch das gute Nahrungsangebot, geht durch Entwässerung und flächige Aufforstung verloren. Das Auerhuhn hat im Untersuchungsgebiet damit an Sommerlebensraum verloren, dieser Verlust lässt sich aber nicht genau quantifizieren.

Die Zunahme der Waldfläche äussert sich auch in der Entwicklung der Grenzlinien. Die durchschnittliche Grenzlinienlänge pro Hektare hat von 1932/35 bis 1999 um 17%, von 360 auf 296 m/ha abgenommen, wobei die grösste Änderung bei der Grenze Wald-Lücke zu verzeichnen ist. Die Grenzliniendichte wurde im Rahmen dieser Untersuchung relativ grob analysiert. Kleinräumige Grenzen, wie sie Von Hessberg und Beierkuhnlein (2000) im Feld aufnahmen, konnten nicht erfasst werden. In einer älteren Arbeit, bei welcher die Grenzlinien mit einer ähnlichen Auflösung wie in dieser Untersuchung aufgenommen wurden, wiesen geeignete Gebiete Dichten von mehr als 200 m/ha auf (MÜLLER 1974). Dieser Wert wird auf der Schwägalp zu allen drei Untersuchungszeitpunkten überschritten. Die Grenzlinien weisen nach diesem Vergleich auch heute eine Dichte auf, die den Ansprüchen des Auerhuhns genügen sollte. Die beobachtete Abnahme der Grenzliniendichte ist aber in Fällen, wo Moorrändlinien wegen Aufforstungen verschwanden, als negativ zu betrachten.

Der Bau von Erschliessungsanlagen bringt menschliche Störungen in bisher unberührte Gebiete. Im Untersuchungsgebiet hat sich die Dichte der befahrbaren Wege von 1932/35 bis 1999 verdreifacht. Strassen, welche für landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Zwecke erstellt wurden, werden im Schwägalpgebiet zunehmend auch touristisch genutzt. Dadurch sind viele Wälder über das ganze Jahr durch Erholungstätigkeiten tangiert. Vor allem Waldgebiete, die in unmittelbarer Nähe zur Tatstation der Säntisbahn liegen, werden

touristisch intensiv genutzt. Dies trifft in erster Linie für den Cholwald zu. Hier haben Störungen beim Verschwinden des Auerhuhns vermutlich eine entscheidende Rolle gespielt. Der Einfluss der Störung nimmt mit wachsender Entfernung von der Talstation ab, ist aber auch in anderen Waldflächen des Untersuchungsgebietes als gross einzustufen.

5.1.2 Die Bedeutung von Althölzern im Untersuchungsgebiet ist unklar

In verschiedenen Untersuchungen wurde die besondere Bedeutung von lückigen Althölzern und stufigen Beständen als Auerhuhnhabitate nachgewiesen (EIBERLE 1976, STORCH 1993, SCHROTH 1994). Mit dem Modell nach Literaturkennwerten habe ich versucht, die Entwicklung dieses Habitattyps aufzuzeigen. Der Anteil an Altbeständen und stufigen Beständen mit einem tiefen Deckungsgrad (40-70%) hat von 1932/35 bis 1999 zugenommen. Geeigneter Lebensraum ist damit, gemessen an der Fläche solcher Bestände, häufiger geworden. In der gleichen Zeitspanne ist die Auerhuhnpopulation jedoch zusammengebrochen. Mit dem logistischen Regressionsmodell konnte keine Präferenz für diese Bestandestypen nachgewiesen werden. Die Auerhühner nutzen die verschiedenen Entwicklungsstufen im Modellgebiet Chräzeren zufällig.

Die beiden Modelle stehen im Widerspruch zueinander. Entweder kommen Althölzern und stufigen Beständen im Untersuchungsgebiet wirklich eine kleinere Bedeutung zu als in der Literatur beschrieben oder ein anderer, nicht bekannter Faktor überlagert diese Beziehung. Die Bestimmung der Entwicklungsstufe aus dem Luftbild stellte sich teilweise als schwierig heraus. Mit der Verifikation von zwei Testgebieten im Feld habe ich versucht, den Erhebungsfehler möglichst gering zu halten. Das logistische Regressionsmodell sollte darum zuverlässige Resultate liefern.

Baum- und Althölzer sind im Mittel häufig stärker aufgelichtet als jüngere Bestände (EIBERLE 1976, STORCH 1993b). Das heisst, dass mit der Präferenz für diese Bestände eine Präferenz für tiefe Deckungsgrade nachgewiesen wurde. Dieser Zusammenhang zwischen Deckungsgrad eines einzelnen Bestandes und Entwicklungsstufe konnte bestätigt werden (Korrelation nach Pearson: $p < 0.01$). Als wichtigste Grösse für die Erklärung der aktuellen Verbreitung des Auerhuhns erwies sich aber nicht der Deckungsgrad eines einzelnen Bestandes, sondern der mittlere Deckungsgrad der näheren Umgebung eines Bestandes (Umkreis 150 m, 7 ha). Ein hoher Altholzanteil in der Umgebung kann zu einem tiefen mittleren Deckungsgrad beigetragen haben. Ein direkter Zusammenhang zwischen Auerhuhnverbreitung und der Entwicklungsstufe konnte aber nicht abgeleitet werden.

5.1.3 Gute Prognose der Präsenzflächen mit dem Regressionsmodell

Bei der Validierung des Modells am Testgebiet im Kanton Schwyz hat sich gezeigt, dass die Präsenzflächen durch das logistische Regressionsmodell sehr gut vorhergesagt werden. Nur 12% der aktuellen Präsenzpunkte wurden im Modell als Absenzzpunkte klassiert. Dagegen ist der Anteil an aktuellen Absenzzpunkten, welche als Präsenzzpunkte klassiert wurden mit 40% relativ gross. Das im Modell vorhergesagte geeignete Gebiet umfasst darum eine grössere Fläche als laut Spurentaxationen vom Auerhuhn besiedelt ist. Für den hohen Anteil falschpositiver Punkte sind vermutlich Faktoren, welche in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, verantwortlich. Dazu gehören neben der Zusammensetzung und Üppigkeit der Bodenvegetation, Störungen, populationsdynamische Faktoren und der Umstand, dass die Spurentaxationen im Winter durchgeführt werden, wenn die Auerhühner das saisonal kleinste Streifgebiet nutzen. Die Tatsache, dass nur wenige Nachweise ausserhalb des als geeignet klassierten Gebietes erbracht wurden zeigt, dass das Modell die wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Habitateignung von Voralpenwäldern beinhaltet.

5.1.4 Der Deckungsgrad als Schlüsselfaktor

Im logistischen Regressionsmodell ist der Deckungsgrad der Schlüsselfaktor für die aktuelle Verbreitung des Auerhuhns. Dabei ist nicht der Deckungsgrad am Präsenz- oder Absenzzpunkt entscheidend, sondern der mittlere Wert der unmittelbaren Umgebung. Der Deckungsgrad eines Bestandes beeinflusst den Lichteinfall und damit auch die Struktur des Waldes und die Bodenvegetation (OTT et al. 1997). In Beständen mit tiefem Deckungsgrad entwickeln sich Einzelbäume mit tiefen Kronenansätzen, welche den Auerhühnern im Winter Nahrung und Deckung bieten (WEIBEL 2003). Im Sommer erreicht viel Sonnenlicht den Boden, was die Entwicklung einer durchgehenden, üppigen Bodenvegetation fördert (OTT et al. 1997). Diese muss dem Auerhuhn während der Vegetationsperiode Nahrung und Deckung liefern. Ist der mittlere Deckungsgrad der unmittelbaren Umgebung tief, so ist eine relativ grosse Fläche mit hoher Habitatqualität vorhanden und die Ansprüche des Auerhuhns können auf kleiner Fläche erfüllt werden (STORCH 1993b).

Der zweite signifikante Parameter im Regressionsmodell ist die Variabilität des Deckungsgrads. Diese gibt an, wie viele verschiedene Deckungsgradstufen in der unmittelbaren Umgebung eines Punktes vorhanden sind. Ist die Variabilität des Deckungsgrads hoch, so wurden bei der Luftbildkartierung relativ viele und entsprechend kleine Polygone ausgeschieden. Diese hohe Anzahl an verschiedenen Flächen hat eine hohe Grenzliniendichte zur Folge, welche einen positiven Einfluss auf die Qualität des Auerhuhnhabitats hat (MÜLLER 1974, VON HESSBERG & BEIERKUHNLEIN 2000). Bei hoher Variabilität des Deckungsgrades wechseln die Lichtverhältnisse am Boden

kleinräumig. Je nach Lichteinfall sind es andere Pflanzen, welche den Aspekt der Bodenvegetation bestimmen. Das einfallende Licht hat auch Einfluss auf die Verjüngung der Baumarten: Je nach Lichteinfall und Standort kann die Verjüngung, aufgrund der unterschiedlichen Ansprüche der Baumarten, verschieden zusammengesetzt und ausgeprägt sein. Die Variabilität des Deckungsgrades kann so als Indikator für die Strukturvielfalt der Fläche interpretiert werden. Je grösser dieser Wert ist, desto struktureicher ist die untersuchte Fläche. Bei Untersuchungen in Südostnorwegen und Teisenberg wurde beobachtet, dass Hennen Präferenzen für dichtere Bestände zeigten (GJERDE 1991, STORCH 1993b). Ein Gebiet mit einer hohen Variabilität des Deckungsgrades kann solche geschlechtsspezifische Ansprüche erfüllen.

Die dritte signifikante Variable im Modell ist die Hangneigung. Bei Hangneigungen ab ca. 15° wird die vorhergesagte Vorkommenswahrscheinlichkeit des Auerhuhns kleiner. Dieses Resultat steht im Einklang mit anderen Untersuchungen: Eiberle (1974) beobachtete in seinem Untersuchungsgebiet in den Zuger Voralpen, dass Hangneigungen ab 20° eher gemieden werden. Als Grund für die Präferenz schwach geneigter Gelände gibt Eiberle an, dass die Begehbarkeit steiler Lagen für Auerhühner erschwert sei. Storch (1993) wies in Teisenberg mit besenderten Hühnern nach, dass schwache Neigungen bis 20°, unabhängig von der Habitatstruktur, gegenüber steileren bevorzugt werden. Im Nordschwarzwald sind Hangwälder deutlich heidelbeerärmer als Bestände auf Bergrücken, Plateaus und an Hangkanten (SCHROTH 1994). Falls dies auch für die Schweizer Voralpen zutrifft, könnte das eine weitere Begründung für die Präferenz schwach geneigter Flächen im Untersuchungsgebiet sein.

5.1.5 Das Modell erklärt den Rückgang der Auerhuhnpopulation nur teilweise

Der hohe AUC-Wert (> 0.8) und das Kappa (> 0.4) bei der Validierung am Testgebiet im Kanton Schwyz unterstreichen die gute Vorhersage von Präsenz/Absenz mit dem logistischen Regressionsmodell. Die Anwendung des Modells auf die drei Luftbildanalysen 1932/35, 1960 und 1999 zeigt, dass die geeignete Habitatfläche sich nur schwach verändert hat. Sie hat über den gesamten Untersuchungszeitraum abgenommen, diese Abnahme kann den sehr starken Rückgang der Auerhuhnpopulation aber nur beschränkt erklären. Ich vermute, dass der Anteil der falschpositiven Fläche heute viel grösser ist als zu den beiden früheren Zeitpunkten, da andere Faktoren, welche in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden und heute stärker ausgeprägt sind, in vielen prognostizierten Präsenzgebieten die aktuelle Absenz bewirken. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren, zu denen vermutlich Störungen und populationsdynamische Faktoren gehören, wäre der Anteil geeigneter Habitatfläche 1999 kleiner und die Unterschiede zwischen 1999 und den früheren Aufnahmen würden sich vergrössern.

5.2 Wirtschaftsplananalyse

5.2.1 Der empfohlene mittlere Vorrat wird heute überschritten

Nach den allgemeinen Empfehlungen des Bundesamtes für Wald und Landschaft (BUWAL 2001) sollte ein Holzvorrat von 300-400 m³/ha in Auerhuhnlebensräumen nicht überschritten werden, es sei denn, die betreffenden Bestände befänden sich in einer Alters- oder Zerfallsphase und der grosse Teil des Holzvorrats konzentrierte sich auf wenige starke Bäume. Dieser anzustrebende mittlere Vorrat wird heute, wenn davon ausgegangen wird, dass sich der Trend zur Vorratssteigerung bis in die Gegenwart fortgesetzt hat, in den Waldflächen der Korporationen Kreisalpen und Wilder Bann mit Sicherheit überschritten. In den Wäldern der Korporation Grosse Schwägälpe dürfte der Wert die obere Grenze von ca. 400 m³/ha erreicht haben. Die hohen Vorräte sind, wie die Vorräte pro Stärkeklassen zeigen, grösstenteils durch hohe Anteile an Althölzern bedingt. Erreicht durch die Lücken im Kronendach genügend Licht die Bodenoberfläche, das die Entwicklung der Krautschicht fördert, können solche Bestände trotz grossem Holzvorrat eine hohe Habitatqualität aufweisen. Der Holzvorrat allein darf darum nicht als Kriterium für die Habitatqualität verwendet werden. Entscheidender als der durchschnittliche Vorrat erscheint darum der Deckungsgrad, der im vorangehenden Kapitel eingehend diskutiert wurde. Dennoch kann ein hoher Vorrat ein Indiz dafür sein, dass sich die Qualität des Auerhuhnlebensraumes auf einem tiefen Niveau befindet.

Als ideale Stammzahl erwiesen sich in Südostnorwegen Werte von 500 bis 1000 Bäumen pro Hektare, welche einem Deckungsgrad von 40-70% entsprechen sollen (GJERDE 1991). Die mittleren Stammzahlen liegen in allen drei Korporationsgebieten zu allen untersuchten Zeitpunkten in, bzw. unter diesem Bereich. Beim Vergleich mit den Literaturwerten muss beachtet werden, dass unklar ist, ab welchem Durchmesser Bäume in der Untersuchung von Gjerde berücksichtigt wurden. Dieser Durchmesser muss tiefer als die im Untersuchungsgebiet übliche Kluppschwelle von 16 cm sein, denn ansonsten hätten keine Dichtewerte von bis zu 2300 Stämmen pro Hektare nachgewiesen werden können. Mit abnehmender Kluppschwelle würde die Stammzahl im Untersuchungsgebiet exponentiell wachsen und die obere Grenze des idealen Bereiches von ca. 1000 Bäumen pro Hektare schnell erreichen und überschreiten.

5.2.2 Kleiner Informationsgehalt der Vorratsangaben

Aus verschiedenen Gründen wurden nur mittlere Vorräte über das ganze Korporationsgebiet angegeben. Um die Habitateignung für das Auerhuhn zu beurteilen wären Vorräte, welche sich auf kleine, einheitliche Flächen beziehen, vorteilhafter. Der mittlere Vorrat eines grösseren Gebietes kann nur dann interpretiert werden, wenn Extremwerte erreicht werden:

Bei sehr hohen Werten kann angenommen werden, dass die ganze Fläche hohe Vorräte aufweisen muss. Wenn die Werte sehr tief sind, muss die ganze Fläche tiefe Werte aufweisen. Mittlere Holzvorräte können durch ein Nebeneinander von tiefen und hohen Werten die sich ausgleichen, oder durch grossflächig mittlere Werten entstehen. Vorratsangaben sind darum von kleinem Informationsgehalt, wenn nicht parallel eine detaillierte Bestandesbeschreibung mit Informationen über die Entwicklungsstufen vorliegt.

Auch der Vorrat pro Stärkeklasse ist nicht einfach zu interpretieren. Er gibt zwar an, wie sich die Anteile der verschiedenen Stärkeklassen entwickelt haben, es bleibt aber unklar wie sich die Stärkeklassen in der Abteilung verteilen: Sie können als einschichtige, gleichförmige Bestände getrennt vorliegen oder im Plenterwald kleinräumig gemischt sein. Diese Verteilung kann für das Auerhuhn von entscheidender Bedeutung sein. Auch bei der Stärkeklassenverteilung gilt darum, dass parallel eine detaillierte Bestandesbeschreibung vorhanden sein muss, damit die Daten zuverlässig interpretiert werden können.

5.2.3 Wirtschaftspläne können die Luftbildanalyse ergänzen

Die Schwierigkeiten, die sich bei der Auswertung von Wirtschaftsplänen stellen, sind wie oben erwähnt vielfältig: Nur Mittelwerte über grössere Flächen, ungenügende Vergleichbarkeit der Daten bei wechselndem Aufnahmeverfahren, keine Nachvollziehbarkeit bei Änderung der Abteilungsgrenzen und schwierige Interpretation der Inventurdaten. Die Wirtschaftsplananalyse allein kann darum keine eindeutigen Resultate auf auerhuhnrelevanter Ebene liefern. Eine getrennte Betrachtung der einzelnen Inventurdaten ist wenig aufschlussreich, die Synthese der verschiedenen Kenngrössen kompliziert und zeitintensiv. Die Aussagekraft dieser Methode kann in einem anderen Gebiet, in dem die Daten immer in den selben, kleinflächigen Abteilungen und mit dem gleichen Verfahren erhoben wurden, deutlich höher sein als im Untersuchungsgebiet dieser Arbeit. Es kommt daher stark auf die Art der Inventur an, ob die Auswertung von Wirtschaftsplänen auerhuhnrelevante Resultate liefern kann oder nicht.

Die Inventurdaten können den allgemeinen Trend der Waldentwicklung aufzeigen und die Analyse der Luftbilder ergänzen. Der Textteil eines Wirtschaftsplans kann den Zeitgeist der Forstwirtschaft vermitteln. Er kann qualitative Angaben über die Art der Waldbewirtschaftung und vollzogene Eingriffe im Wald wie Entwässerungen und Aufforstungen geben. Für diese Untersuchung erachte ich die Ergänzung der Luftbildanalyse durch Wirtschaftspläne - trotz der zahlreichen Probleme - als sinnvoll.

5.3 Das Auerhuhn auf der Schwägalp: Gestern, heute und morgen

Veränderungen des Lebensraumes gelten als wichtigste Ursachen für den Rückgang der Auerhuhnpopulation in der Schweiz (MOLLET et al. 2003). In dieser Arbeit wurde die Entwicklung der Landschaft auf der Schwägalp untersucht und die Veränderungen wichtiger Lebensraumfaktoren für das Auerhuhn aufgezeigt. Dies sind insbesondere das Landschaftsmosaik, die Waldstruktur und die Grenzlinien. Die Entwicklung der Störungen konnte nur ungenügend beschrieben werden. Der Einfluss von Witterung und Prädation wurde in dieser Arbeit nicht behandelt.

Eine eindeutige Beziehung zwischen den Lebensraumveränderungen und der Entwicklung der Auerhuhnpopulation konnte nicht gefunden werden. Das logistische Regressionsmodell zeigt eine Habitatentwicklung, bei der die geeignete Fläche von 1932/35 bis 1999 um 5% abgenommen hat. Dieser Verlust geeigneter Habitatfläche kann die massive Verkleinerung der Population und des besiedelten Gebietes aber nicht genügend erklären.

Die Faktoren, welche in dieser Untersuchung nicht, oder nur ungenügend berücksichtigt werden konnten, müssen sich ebenfalls negativ auf den Auerhuhnbestand ausgewirkt haben. Vermutlich ist im Gebiet der Schwägalp eine Kombination der drei Faktoren Habitatverlust, Störungen und Prädation für den Rückgang der Auerhuhnpopulation verantwortlich. Diese Vermutung wurde auch von Rudmann et al. (2001) geäußert. Der Einfluss von Störungen und Prädation auf die Auerhuhnpopulation im Untersuchungsgebiet wäre in einer zukünftigen, auf dieser aufbauenden Arbeit, noch genauer zu prüfen.

Auf der Schwägalp befindet sich mehr geeigneter Lebensraum für das Auerhuhn als gegenwärtig besiedelt ist. Für eine längerfristig überlebensfähige Population müssen neben dem Chräzerengebiet weitere Gebiete besiedelt werden. Um dies zu ermöglichen sind intensive Schutzbestrebungen notwendig, welche die Förderung des Auerhuhnbestandes unterstützen. Dazu gehören Massnahmen, welche die Qualität des Lebensraumes erhalten oder verbessern: Lückige Waldstrukturen sind zu erhalten oder, wo dichte Bestände dominieren, zu fördern. Sollte sich der vermutete Einfluss von Störungen und Prädation bestätigen, sind auch Massnahmen zur Begrenzung dieser Faktoren zu treffen. Es bleibt zu hoffen, dass diese Massnahmen umgesetzt werden können, bevor es zu spät ist.

6 Dank

Mein Dank gilt...

... dem Leiter meiner Diplomarbeit, Prof. Dr. Harald Bugmann, für die wertvollen Denkanstösse und für die Unterstützung beim Lösen der zahlreichen Probleme.

... meinen Betreuern an der WSL, Roland Graf und Dr. Kurt Bollmann. Sie standen mir bei Fragen und Problemen stets mit Rat und Tat zur Seite. In den wertvollen Diskussionen entstanden zahlreiche Ideen und ihre konstruktive Kritik trug wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei. Beim Umgang mit den Luftbildern und dem GIS konnte ich jederzeit auf die Unterstützung von Roland Graf zählen. Ohne seine Hilfe wäre der Abschluss dieser Arbeit in vier Monaten nicht möglich gewesen.

... der ganzen Gruppe Wildtierökologie an der WSL für die freundliche Aufnahme, die wertvollen Inputs bei Diskussionen und das äusserst angenehme Arbeitsklima.

... Franz Rudmann, dem ehemaligen Kreisförster des Toggenburgs, für die Möglichkeit, ihn bei den Spurentaxationen im Frühjahr 2003 begleiten zu dürfen und für die von ihm erhobenen Auerhuhndaten des Untersuchungsgebietes, welche mir zur Verfügung standen.

... den Verantwortlichen der lokalen Forstdienste, Peter Ettliger und Robert Sommerhalder vom Kantonsforstamt Appenzell Ausserrhoden, Peter Raschle vom Kantonsforstamt Appenzell Innerrhoden und Kurt Bleiker vom Kreisforstamt Toggenburg für das Ausleihen der Wirtschaftspläne und die Beantwortung meiner Fragen.

... Robert Meier, dem Verantwortlichen des Naturforschungsparks Schwägalp, für seine Unterstützung bei der Entwicklung der Diplomarbeitsidee.

7 Literatur

- BÄCHLER, E. (1915): Die Tierwelt St.Gallens. Sonderabdruck aus: Die Stadt St.Gallen und ihre Umgebung. Städtische Lehrerschaft, St.Gallen.
- BACKAUS, K., MUGGLESTONE, M. A. & BUCKLAND, S. T. (1996): An autologistic model for the spatial distribution of wildlife. *Journal of Applied Ecology* 33: 339-347.
- BOLLMANN, K., KELLER, V., MÜLLER, W. & ZBINDEN, N. (2002): Prioritäre Vogelarten für Artenförderungsprogramme in der Schweiz. *Ornithol. Beob.* 99: 301–320.
- BOYCE, M. S., VERNIER, P. R., NIELSEN S. E. & SCHMIEGELOW F. K. A. (2002): Evaluating resource selection functions. *Ecological Modelling* 157: 281-300.
- BRASSEL, P. & BRÄNDLI, U.-B. (1999): Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993 - 1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- BÜHL, A. & ZÖFEL, P. (2000): SPSS Version 9: Eine Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows, 6. überarbeitete und erweiterte Auflage. Addison-Wesley, München.
- BUWAL (1991): Inventar der Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung (Entwurf f. Vernehmlassung). EDMZ, Bern.
- BUWAL (2001): Auerhuhn und Waldbewirtschaftung. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal). Bern.
- DÄNDLIKER, G., DURAND, P., NACEUR, N. & NEET, C. (1996): Contribution à l'étude et à la protection des Grands Tétrás du Jura vaudois. *Mém. Soc. Vaud. Sci. Nat.* 19: 175-236.
- DE FRANCESCHI, P. F. & BOTTAZZO, M. (1991): Capercaillie *Tetrao urogallus* and forest management in the Tarvisio Forest (Eastern Alps, Italy) in 1982-88. *Ornis Scandinavica* 22: 192-196.
- EIBERLE, K. (1976): Zur Analyse eines Auerwildbiotops im Schweizerischen Mittelland. *Forstw. CBI* 95: 108-124.
- FIELDING, A. H. & BELL, J. F. (1997): A Review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- GJERDE, I. (1991): Cues in winter habitat selection by Capercaillie: I. Habitat characteristics. *Ornis Scandinavica* 22: 197-204.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. N., BAUER, K. M. & BEZZEL, E. (1973): Handbuch der Vögel Mitteleuropas, Bd. 5: Galliformes-Gruiformes. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt a.M.
- GÖLDI, E. A. (1914): Die Tierwelt der Schweiz in der Gegenwart und in der Vergangenheit. A. Francke, Bern.
- GRIMM, V. & STORCH, I. (2000): Minimum viable population size of capercaillie *Tetrao urogallus*: results from a stochastic model. *Wildlife Biology* 6: 219-225.
- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N. E. (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- HEIERLI, H. (2001): Geologische Anmerkungen zu den Exkursionen anlässlich der Jahresversammlung des Schweizerischen Forstvereins 2001 in Herisau. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152: 320-327.

- HOSMER, D.W. & LEMESHOW, S. (2000): Applied Logistic Regression, 2. Auflage. Wiley, New York.
- KELLER, V., ZBINDEN, N., SCHMID, H. & VOLET, B. (2001): Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz – Brutvögel. Schweizerische Vogelwarte, Sempach & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- KLAUS, S., ANDREEV, A.V., BERGMANN, H.-H., MÜLLER, F., PORKERT, J. & WIESNER, J. (1989): Die Auerhühner: *Tetrao urogallus* und *T. urogalloides*, 2. Auflage. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt.
- LABIGAND, G. & MUNIER, M. (1989): Grand Tetras et tourisme hivernal, Historique d'une place de chant dans les Hautes Vosges. Cionia 13: 19-30.
- MARTI, C. (1986): Verbreitung und Bestand des Auerhuhns *Tetrao urogallus* in der Schweiz. Ornithol. Beob. 83: 67-70.
- MEIER, R. (1996): Landwirtschaft und Tourismus in der Moorlandschaft Schwägalp: Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungen auf Flora, Fauna und Landschaft. Inauguraldissertation der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern.
- MEIER, R., SOMMERHALDER, R. & MEILE, P. (2001): Zum Schutz der Moorlandschaft Schwägalp unter besonderer Betrachtung des Teils im Kanton Appenzell A.Rh. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 152: S. 314-319.
- MENARD, S. (2002): Applied logistic regression analysis. Second edition. Sage university papers series.
- MOLLET, P., BADILATTI, B., BOLLMANN, K., GRAF, R.F., HESS, R., JENNY, H., MULHAUSER, B., PERRENOUD, A., RUDMANN, F., SACHOT, S. & STUDER, J. (2003): Verbreitung und Bestand des Auerhuhns *Tetrao urogallus* in der Schweiz 2001 und ihre Veränderungen im 19. und 20. Jahrhundert. Ornithol. Beob. 100: 67-86.
- MÜLLER, F. (1974): Die wichtigsten Ergebnisse 10jähriger Auerwild-Forschung im hessischen Bergland. Allgemeine Forst Zeitschrift 29: 834-836.
- NEF, T. (2002): Vögel im Appenzellerland. Appenzeller Verlag, Herisau.
- OTT, E., FREHNER, M., FREY, H. U. & LÜSCHER, P. (1997): Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern/Stuttgart/Wien
- RUDMANN, F., MEILE, P., KNÜSEL, F. & SOMMERHALDER, R. (2001): Rauhfußhühner im Appenzellerland: Vorkommen, Bestandesentwicklung und Schutzmassnahmen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 152: 295-304.
- RUDMANN, F. (2001a): 26 Jahre Auerhuhnschutz im Forstkreis Toggenburg, Kanton St.Gallen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 152: 305-311.
- RUDMANN, F. (2001b): Auerhuhn-Schutzkonzept. Kanton St.Gallen. Manuskript.
- RUDMANN, F. (2003): Naturschutz und natürliche Abläufe: Das Auerhuhn in der Ostschweiz. In: St.Galler Forstverein (Hrsg.), Der St.Galler Wald im Wandel. Buchs: 206-214.
- SACHS, L. (1999): Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden, 9. Auflage. Springer, New York.
- SCHERZINGER, W. (1996): Naturschutz im Wald: Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Ulmer, Stuttgart.
- SCHMID, H., LUDER, R., NAEF-DAENZER, B., GRAF, R. & ZBINDEN, N. (1998): Schweizer Brutvogelatlas: Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Lichtenstein 1993-1996. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.

- SCHRÖDER, B. (2000): Zwischen Naturschutz und Theoretischer Ökologie: Modelle zur Habitataignung und räumlichen Populationsdynamik für Heuschrecken im Niedermoor. PhD-These. TU Braunschweig, Braunschweig.
- SCHROTH, K.-E. (1994): Zum Lebensraum des Auerhuhns (*Tetrao urogallus* L.) im Nordschwarzwald. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 178. Freiburg im Breisgau.
- SCHWENDENER, U. (1905): Ornithologisches aus der Ostschweiz. Ornithol. Beob. 4: 49-52.
- STAHEL, W. A. (2002): Statistische Datenanalyse: Eine Einführung für Naturwissenschaftler, 4. Auflage. Vieweg. Braunschweig/Wiesbaden.
- STEIN, J. (1974): Die qualitative Beurteilung westdeutscher Auerhuhnbiotope unter besonderer Berücksichtigung der Grenzlinienwirkung. Allgemeine Forst Zeitschrift: 837-839.
- STORCH, I. (1993a): Habitat selection by capercaillie in summer and autumn: Is bilberry important? *Oecologia* 95: 257-265.
- STORCH, I. (1993b): Patterns and strategies of winter habitat selection in alpine capercaillie. *Ecography* 16: 351-359.
- STORCH, I. (1995): Annual home ranges and spacing patterns of capercaillie in central Europe. *Journal of Wildlife Management* 59: 392-400.
- STORCH, I. (1997): The importance of scale in habitat conservation for an endangered species: The capercaillie in central Europe. In: Bissonette, J.A. (Hrsg), *Wildlife and Landscape ecology: Effects of pattern and scale*. Springer, New York: 310-330.
- SUTER, W., GRAF, R.F. & HESS, R. (2002): Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and Avian Biodiversity: Testing the Umbrella-Species Concept. *Conservation Biology* 16: 778-788.
- VON BURG, G. (1925): Die Vögel der Schweiz: Galliformes, XV. Lieferung, S. 2792-2808. Bern und Genf.
- VON HESSBERG, A. & BEIERKUHNLIN, C. (2000): Vegetationsstrukturen in den Habitaten des Auerhuhns *Tetrao urogallus* im Fichtelgebirge. *Ornithologischer Anzeiger* 39: 159-174.
- VON TSCHUDI, F. (1868): *Das Thierleben der Alpenwelt*. Überarbeitete Auflage, Leipzig.
- WEIBEL, P. (2003): Kleinräumige Analyse des Auerhuhnhabitats in den Alpen. Diplomarbeit WSL/ETH Zürich. Birmensdorf.
- WEISS, H., SCHROTH, K.-E., ROTH, K., SAUER, G., SUCHANT, H., WAGNER, E. & WITTLINGER, G. (1990): *Auerwild in Baden-Württemberg: Rettung oder Untergang?* Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Band 70. Selbstverlag der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Stuttgart.

8 Materialien

8.1 Luftbilder

Jahr	Nr.	Datei
1932:	2425	1932_227SW_2425.tif
	2426	1932_227SW_2426.tif
	2427	1932_227SW_2427.tif
	2428	1932_227SW_2428.tif
	2429	1932_227SW_2429.tif
1935:	0256	1935_227SE_0256.tif
	0257	1935_227SE_0257.tif
	0258	1935_227SE_0258.tif
	0268	1935_227SE_0268.tif
	0269	1935_227SE_0269.tif
	0270	1935_227SE_0270.tif
	0919	1935_227SE_0919.tif
	0920	1935_227SE_0920.tif
	0924	1935_227SE_0924.tif
	0925	1935_227SE_0925.tif
	0926	1935_227SE_0926.tif
1960:	6600	1960_227SE005_6600.tif
	6602	1960_227SE005_6602.tif
	6404	1960_227SW006_6404.tif
	6406	1960_227SW006_6406.tif
1999:	1680	1999_227SE240_1680.tif
	3059	1999_227SW236_3059.tif
	3061	1999_227SW236_3061.tif

8.2 Landeskarten

Landeskarten 1:25'000:

Blatt-Nr.	Name	Ausgabe	Bemerkungen
235	Hochalp	1933	Siegfriedkarte
237	Stockberg	1933	Siegfriedkarte
238	Schwende	1933	Siegfriedkarte
1114	Nesslau	1960	
1115	Säntis	1956	
1114	Nesslau	1999	
1115	Säntis	1999	

8.3 Wirtschaftspläne

Appenzell Ausserrhoden:

WP für die Waldungen der Korporation Grosse Schwägalp, Periode 1933-43

WP für die Waldungen der Korporation Grosse Schwägalp, Periode 1948-57

WP für die Waldungen der Korporation Grosse Schwägalp, Periode 1958-68 (nur Tabellen)

WP für die Waldungen der Korporation Grosse Schwägalp, Periode 1977-92

Appenzell Innerrhoden:

WP über die Waldungen der Korporation Wilder Bann, Periode 1886

WP über die Waldungen der Korporation Wilder Bann, Periode 1932-41

WP über die Waldungen der Korporation Wilder Bann, Periode 1942-51

WP über die Waldungen der Korporation Wilder Bann, Periode 1978-93

St.Gallen:

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1896-06

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1922-31

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1931/32-40/41

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1947-62

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1966-81

WP Kreisgenossenschaft Krummenau-Nesslau, Periode 1995-2004

9 Anhang

9.1 Ergänzende Resultate der Wirtschaftsplananalyse

Korporation Kreisalpen

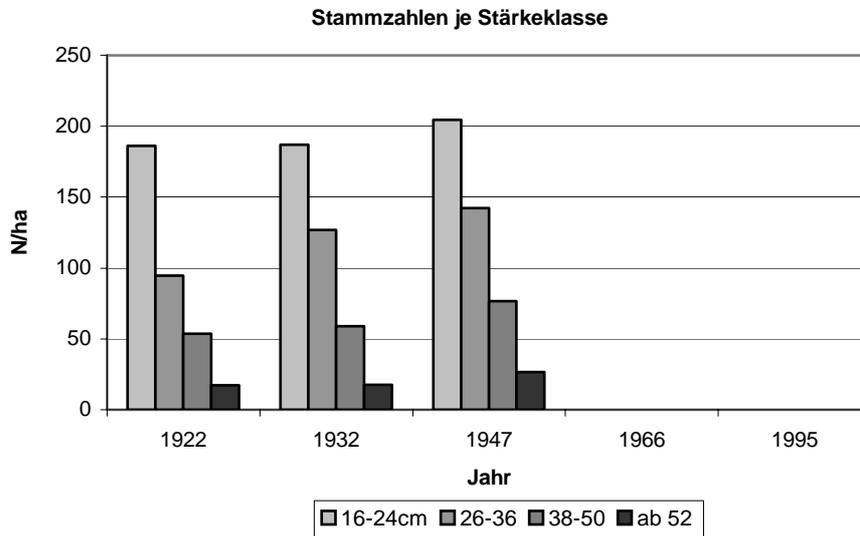


Abbildung 18: Entwicklung der Stammzahlen je Stärkeklasse im Gebiet der Korporation Kreisalpen: Mittlere Stammzahl pro Hektare je Stärkeklasse.

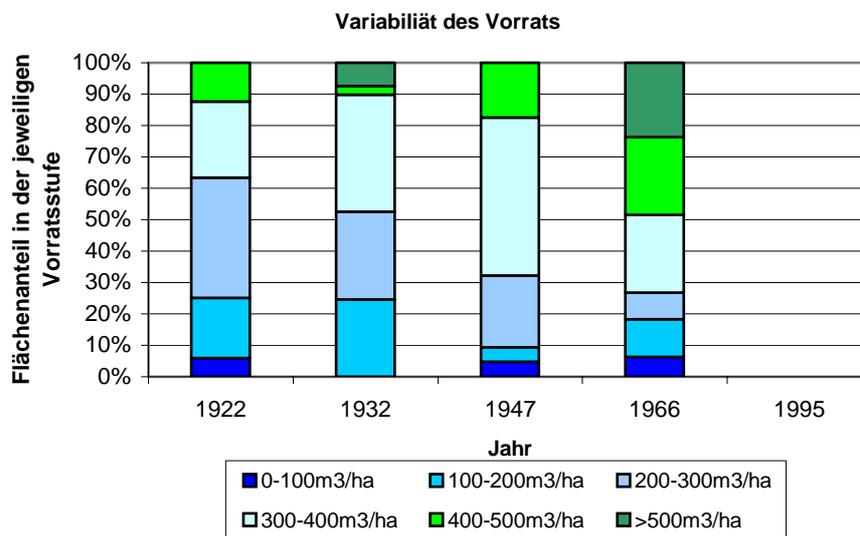


Abbildung 19: Entwicklung der Variabilität des Holzvorrats im Gebiet der Korporation Kreisalpen: Flächenanteile von sechs verschiedenen Vorratsklassen.

Korporation Grosse Schwägälp

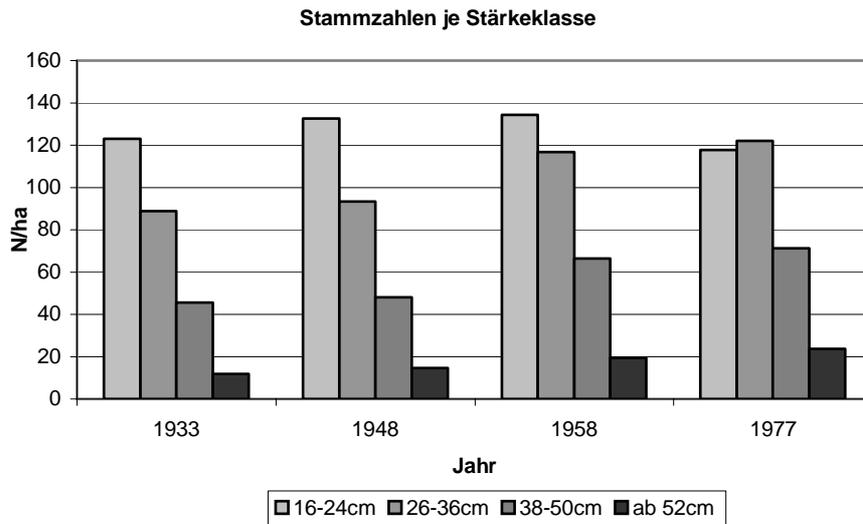


Abbildung 20: Entwicklung der Stammzahlen je Stärkeklasse im Gebiet der Korporation Grosse Schwägälp: Mittlere Stammzahl pro Hektare je Stärkeklasse.

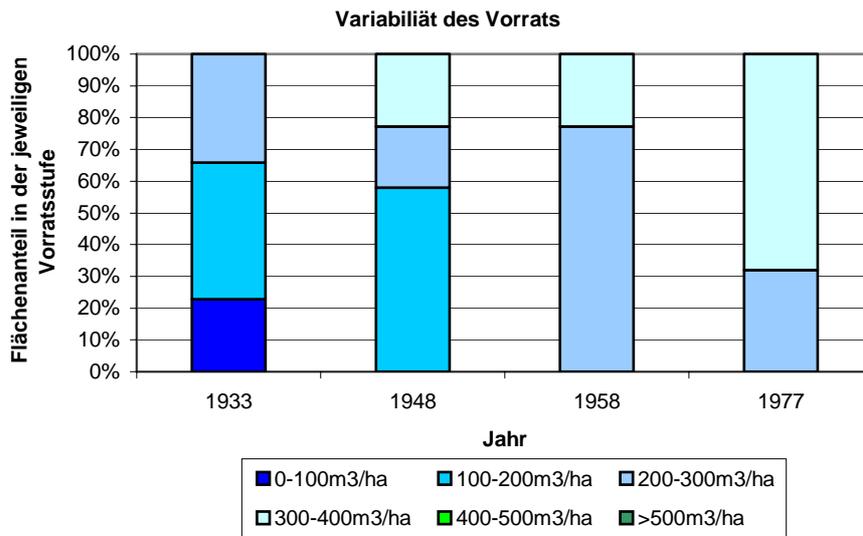


Abbildung 21: Entwicklung der Variabilität des Holzvorrats im Gebiet der Korporation Grosse Schwägälp: Flächenanteile von sechs verschiedenen Vorratsklassen.

Korporation Wilder Bann

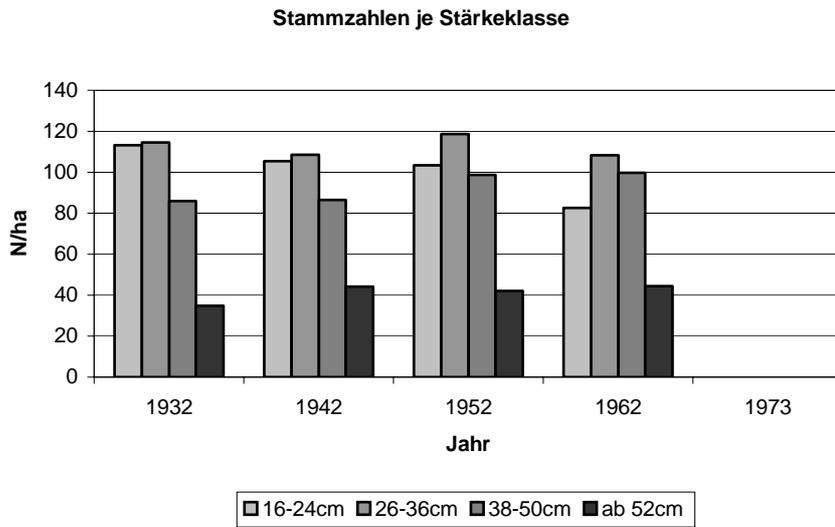


Abbildung 22: Entwicklung der Stammzahlen je Stärkeklasse im Gebiet der Korporation Wilder Bann: Mittlere Stammzahl pro Hektare je Stärkeklasse.

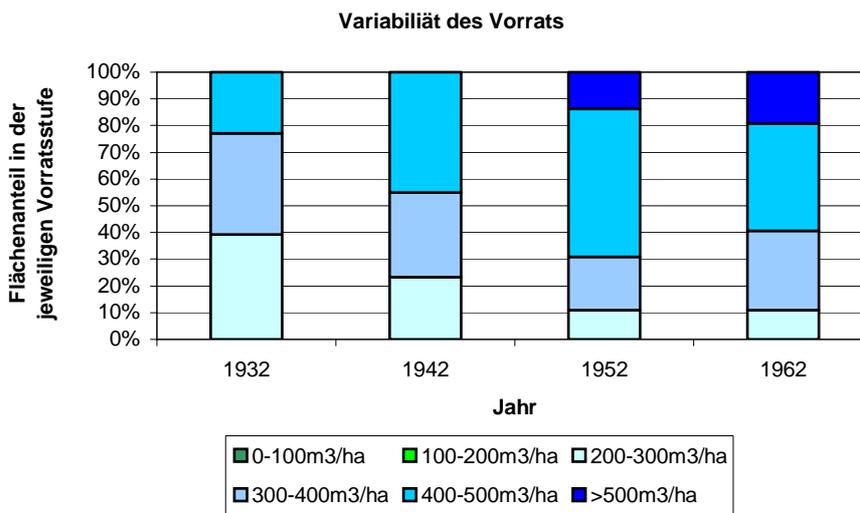
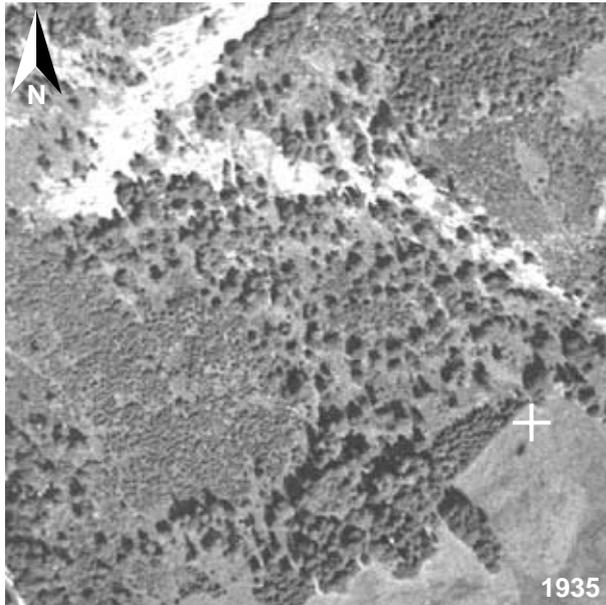


Abbildung 23: Entwicklung der Variabilität des Holzvorrats im Gebiet der Korporation Wilder Bann: Flächenanteile von sechs verschiedenen Vorratsklassen.

9.2 Beispiele von Luftbildabfolgen



Luftbildabfolge 1:

Ort: Blässwald / SG

Koordinaten +: 738500 / 234500

Masstab: 1:5'000

Beschreibung: Ein 1935 lückiges, ursprünglich wahrscheinlich beweidetes Waldstück, wächst bis 1960 flächig ein. Vermutlich wurden grosse Teile davon aufgeforstet.

Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)

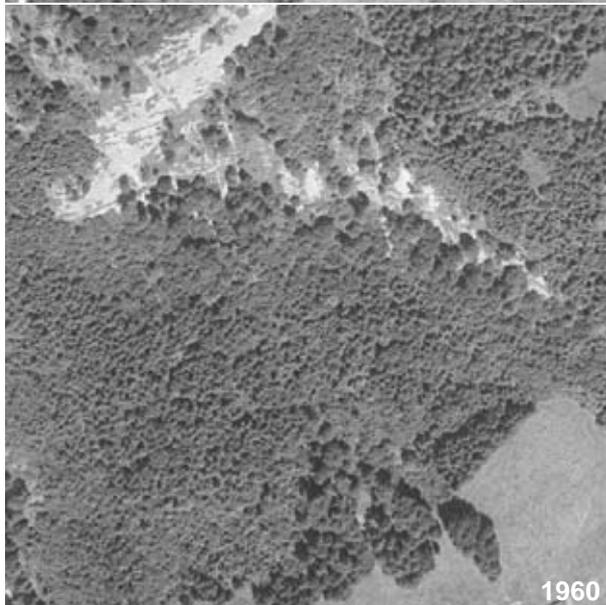


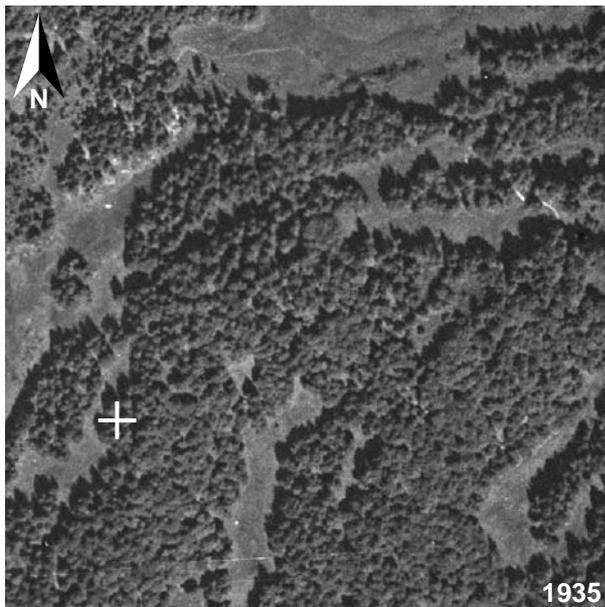
Regressionsmodell:

■ Geeignete Waldfläche

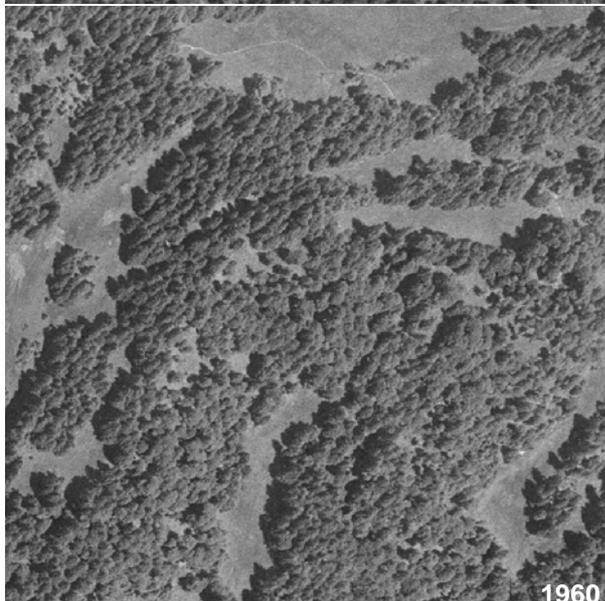
■ Ungeeignete Waldfläche

□ Lücke

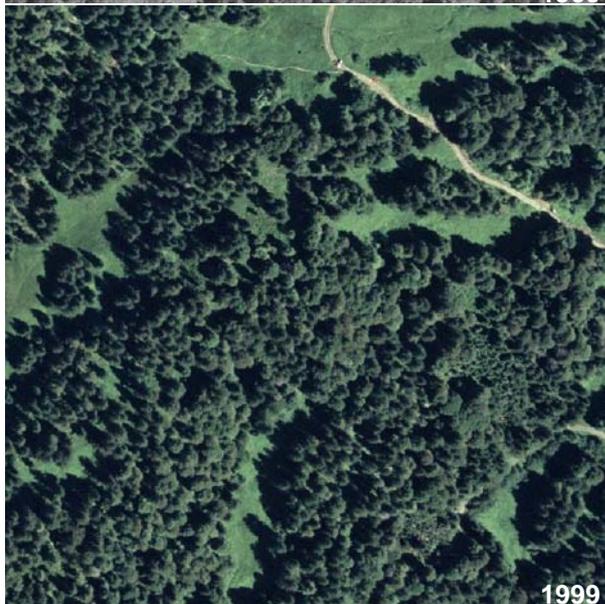




1935



1960



1999

Luftbildabfolge 2:

Ort: Chräzerenwald / SG

Koordinaten +: 739500 / 235500

Massstab: 1:5'000

Beschreibung: Die Veränderungen der Waldstruktur in diesem Gebiet sind klein. Die Bestockungsdichte ist 1999 aber tiefer als 1932/35. Auffallend sind die zwei Strassen, welche im Gebiet zwischen 1960 und 1999 gebaut wurden.

Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)



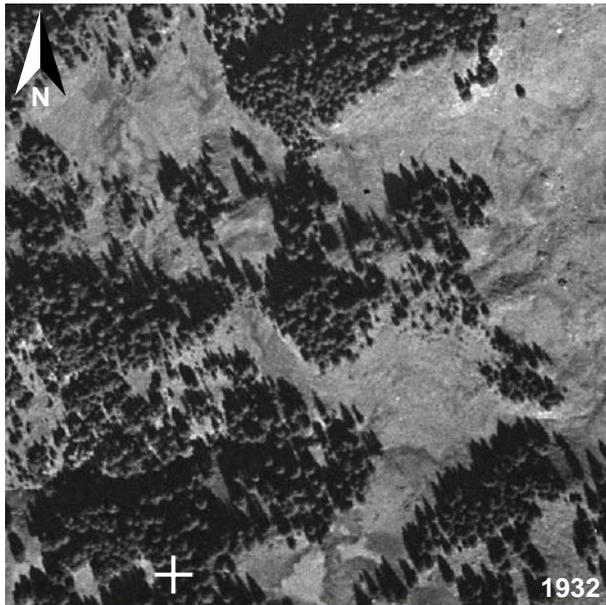
Regressionsmodell:

■ Geeignete Waldfläche

■ Ungeeignete Waldfläche

□ Lücke





Luftbildabfolge 3:

Ort: Hungböhl / AR
Koordinaten +: 742000 / 236000
Massstab: 1:5'000

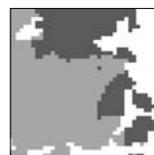
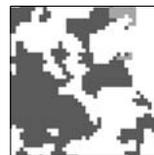
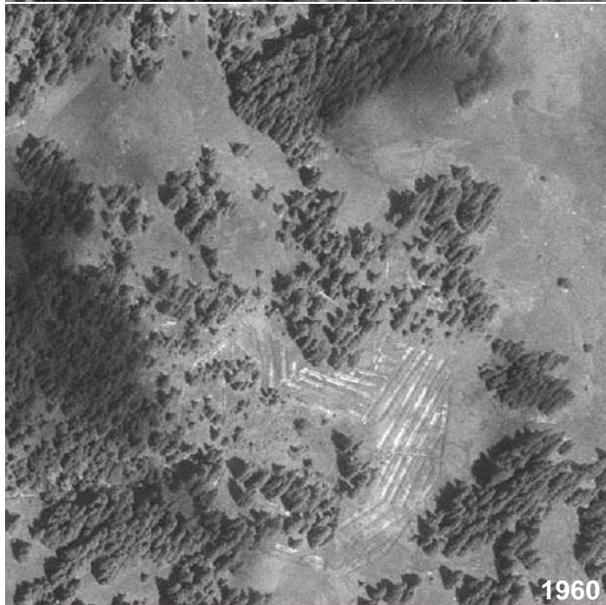
Beschreibung: Die in diesem Gebiet sichtbaren Veränderungen sind vielfältig und grösstenteils menschlicher Ursache: Eine Strasse wurde gebaut, umfangreiche Entwässerungen, Aufforstungen und eine Wald-Weide-Ausscheidung wurden durchgeführt.

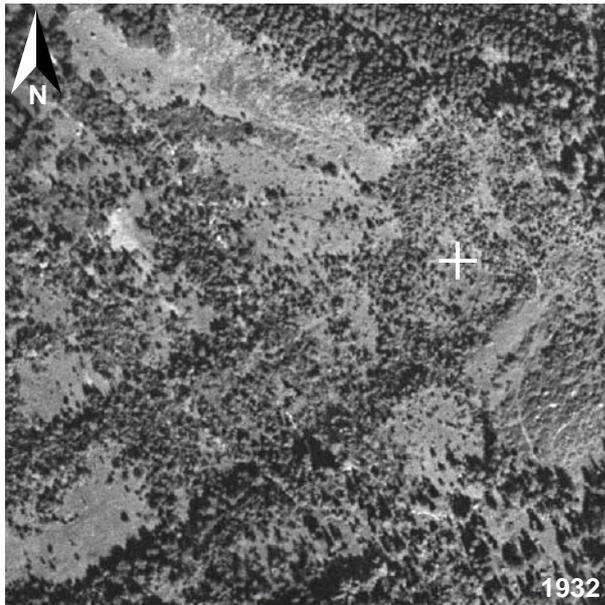
Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)



Regressionsmodell:

- Geeignete Waldfläche
- Ungeeignete Waldfläche
- Lücke

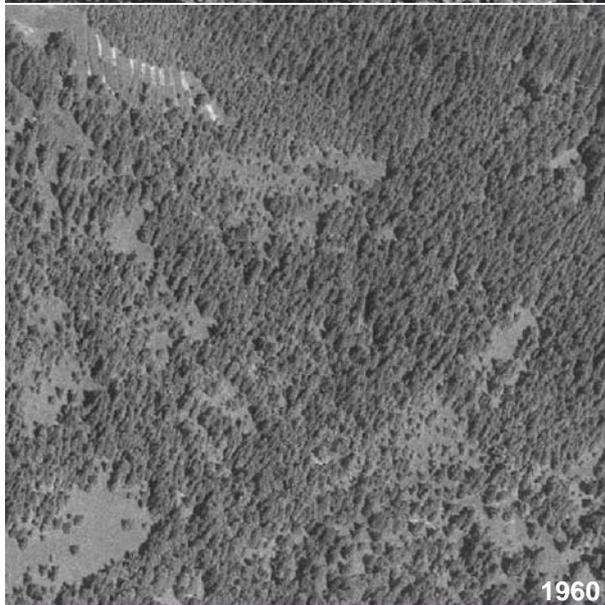


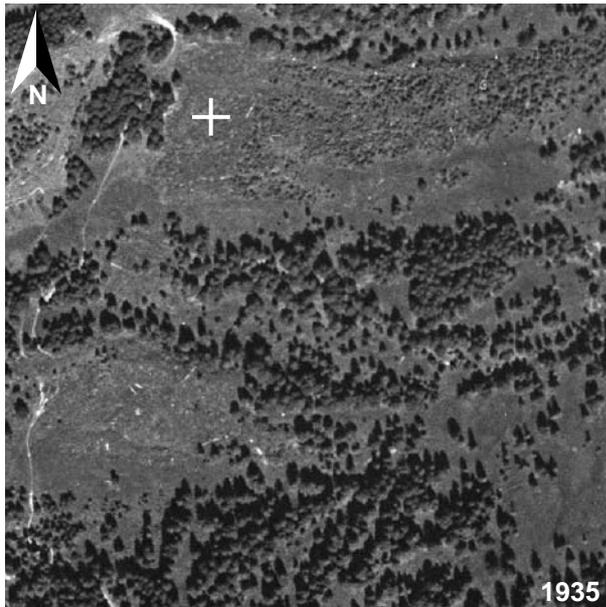
**Luftbildabfolge 4:****Ort:** Cholwald / AR**Koordinaten +:** 742000 / 236750**Massstab:** 1:5'000**Beschreibung:** In diesem Gebiet hat sich das Bild des Waldes stark verändert.

1932/35 dominierten schwache Entwicklungsstufen, heute dominieren mittlere und starke Entwicklungsstufen. Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)

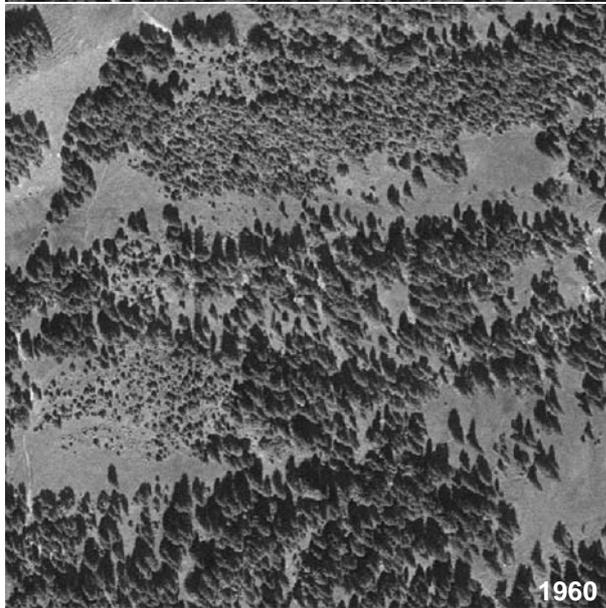
**Regressionsmodell:**

- Geeignete Waldfläche
- Ungeeignete Waldfläche
- Lücke





1935



1960



1999

Luftbildabfolge 5:

Ort: Bruggerwald / AI

Koordinaten +: 743250 / 238000

Massstab: 1:5'000

Beschreibung: Die bestockte Fläche hat in diesem Gebiet stark zugenommen. Die dazugekommenen Waldflächen weisen heute eine hohe, die ursprünglichen Waldflächen eine tiefere Bestockungsdichte auf.

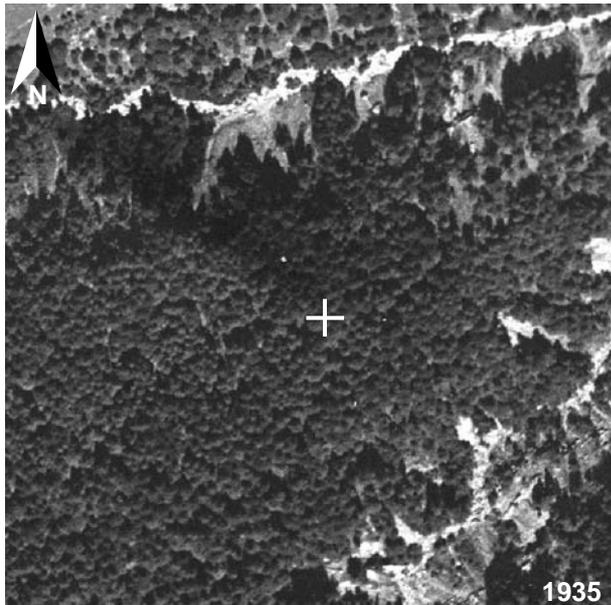
Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)



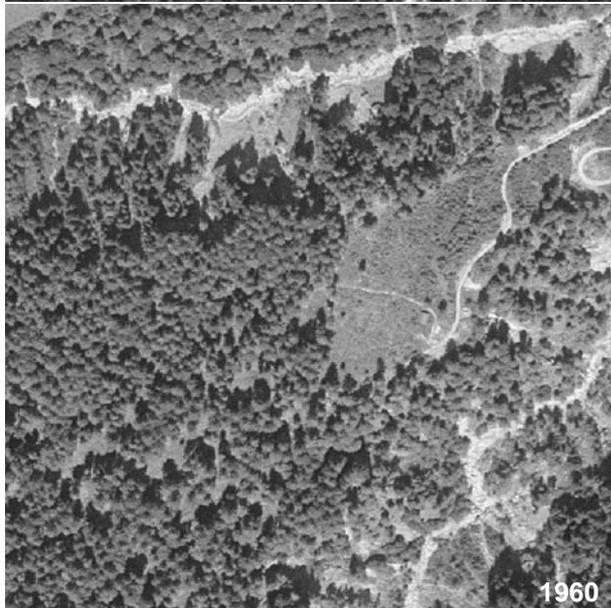
Regressionsmodell:

- Geeignete Waldfläche
- Ungeeignete Waldfläche
- Lücke





1935



1960



1999

Luftbildabfolge 6:

Ort: Herz / AI
Koordinaten +: 744750 / 238750
Massstab: 1:5'000

Beschreibung: Das Gebiet hat seit 1935 an Strukturreichtum gewonnen. 1935 bestimmte ein flächig einschichtiger, dichter Bestand das Waldbild. Danach sind mehrere Lichtungen und lichtere Bestände entstanden.

Luftbilder: © swisstopo (DVO 33373)

**Regressionsmodell:**

■ Geeignete Waldfläche
 ■ Ungeeignete Waldfläche
 □ Lücke



9.3 Testgebiet Kanton Schwyz

Anwendung des logistischen Regressionsmodells am Testgebiet im Kanton Schwyz: Vergleich von Beobachtung im Feld (Punkte) und Prognose durch das Modell (Flächen).

