

Jahrbuch 2021

Verein zum Schutz der Bergwelt



86. Jahrgang



Verlichtung oder Verdichtung? Vergleich der Waldentwicklung in den Kalkalpen und der Flyschzone des Landkreises Garmisch-Partenkirchen

von Andreas Zellermayr, Olaf Schroth & Jörg Ewald

Keywords: Fernerkundung, Waldflächenänderung, Waldgeschichte, Waldentwicklung

Wald unterliegt seit jeher ständigen Veränderungen. Besonders in den Alpen überlagern sich natürliche Einflussfaktoren mit der menschlichen Nutzung. Bedingt durch Standort und Relief wurden auch im Landkreis Garmisch-Partenkirchen die Bergwälder unterschiedlich stark beeinflusst. So kam es in der Vergangenheit durch hohe Wildbestände und intensiver Waldweide zu Schäden an den Bergwäldern, was eine Verringerung der Waldflächen zur Folge hatte. Wie sich die Wälder und die Landschaft bis heute entwickelten, wurde mit Hilfe eines Luftbildvergleiches von 1945 und 2018 dargestellt. Dabei wurden vier repräsentative Projektgebiete in der Flyschzone und den Kalkalpen ausgewählt, um sowohl menschliche als auch natürliche Einflussfaktoren (Nährstoffverfügbarkeit, Wasserspeicherkapazität) und deren Auswirkung auf die Wälder zu untersuchen. Mit Hilfe des Geoinformationssystems (GIS) ArcMap 10.6 erfolgte eine überwachte Klassifikation (Supervised Classification) nach Waldflächen (sämtliche Baumarten und Gebüsche) und sonstigen Flächen (Gebäude, Gewässer, landwirtschaftliche Flächen, usw.) mit nachfolgender Bearbeitung und einer erreichten Genauigkeit von über 85 % für Waldflächen über 1.000 m². Der nachfolgende Vergleich ergab nach Standortfaktoren differenzierte Entwicklungen im Landkreis Garmisch-Partenkirchen. Durch eine Reduzierung der Almnutzung und eine stärkere Regulation des Schalenwildes wurde eine Netto-Vergrößerung der Waldflächen gefördert, welcher schwerpunktmäßig auf den fruchtbaren Mergeln der Flyschzone realisiert wurde. Auf kalkalpinen Gesteinen halten sich Zuwachs und Verluste die Waage. Auch lässt sich ein Anstieg der von subalpinen Latschengebüschen und Fichtenwäldern gebildeten Waldgrenze erkennen, welcher der rezenten Klimaerwärmung zuzuordnen ist. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial einer teilautomatisierten Auswertung von Luftbildern für die Zeitreihenanalyse, wenn auch angesichts der komplexen Überlagerung der menschlichen und natürlichen Triebkräfte, die Fernerkundung mit Geodaten zum Standort und Landnutzung hinterlegt werden müssen. Gerade im Hinblick auf den Klimawandel und dessen Herausforderungen ist dies Voraussetzung, um landschaftsökologische Deutungen und praxisbezogene Aussagen treffen zu können.

I. Einleitung

Die bayerischen Alpen sind eine der attraktivsten Naturregionen der Welt. Mit ihren dunklen Wäldern, steilen Bergen und blauen Seen bietet die Bergregion einer Vielzahl von an die Relief- und Klimabedingungen angepassten Tier- und Pflanzenarten Lebensräume, die ihres gleichen suchen.



Abb. 1: Hoher Fricken, Bischof und Krottenkopf/Obb. (Foto Andreas Zellermayr 2021).

Dazu kommt die kulturelle und sprachliche Vielfalt der Alpen mit insgesamt 13 Millionen Menschen in acht Ländern und die touristische Attraktivität des Hochgebirges. Im Landschaftsbild der Alpen überlagern sich natürliche Einflussfaktoren wie klimatische Veränderungen oder Extremereignisse mit menschlicher Bewirtschaftung (CIPRA 2018). Auch im Landkreis Garmisch-Partenkirchen (einst Grafschaft Werdenfels) kam es in der Vergangenheit zu zahlreichen gesellschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Veränderungen. Die Nutzung der Wälder erfolgte dabei je nach Standort und Relief unterschiedlich intensiv. Gerade im Hinblick auf die sich abzeichnenden klimatischen Veränderungen und die daraus resultierenden Herausforderungen, ist eine Betrachtung der bisherigen Waldentwicklung notwendig, um natürliche Ressourcen nachhaltig zu sichern und die Schutzwirkung (Schutzwaldsanierung) der Bergwälder zu erhalten.

Wie genau und in welchem Ausmaß diese Waldentwicklung seit dem zweiten Weltkrieg bis heute erfolgte und welche Einflussfaktoren einen entscheidenden Anteil an den Veränderungen hatten, wurde in dieser Arbeit für Flächen der Flyschzone und der Kalkalpen im Landkreis Garmisch-Partenkirchen untersucht.

2. Auswahl der Untersuchungsgebiete

Um die Waldentwicklung im Landkreis Garmisch-Partenkirchen darzustellen, wurden vier Projektgebiete mit repräsentativer Geologie (Flysch, Kalkalpen) und Relief (Vorbergzone, Hochgebirge) ausgewählt. In der Flyschzone herrschen tiefgründige Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität vor. Auf mergeligen Standorten lässt sich zudem eine hohe Nährstoffverfügbarkeit vorfinden, wodurch eine gute Baumernährung gewährleistet (Stickstoff, Phosphor, Basenkationen) und hohe Zuwächse erreicht werden (MELLERT & EWALD 2014). Auf Kalk und Dolomit ist das Ca- und Mg-Angebot auf Kosten der Verfügbarkeit anderer wichtiger Nährelemente wie Eisen oder Phosphor einseitig hoch, was in Mangelercheinungen und verringerter Wüchsigkeit resultieren kann (KLEMMT & EWALD 2012; WEIS ET AL. 2014).

Das Projektgebiet „Ammergau“ liegt in der Flyschzone nordöstlich von Oberammergau. Die Projektgebiete „Wank“ und „Kramer“ finden sich auf dolomitischen und kalkigen Substraten nordwestlich und nord-östlich von Garmisch-Partenkirchen. Das vierte Projektgebiet „Kreuzeck“ befindet sich südlich von Garmisch-Partenkirchen im Bereich des Wamberger Sattels und weist einen Wechsel mergeliger und kalkiger Substrate auf. Die hier anstehenden Mergel der Partnachschichten bedingen wie im Projektgebiet „Ammergau“ eine höhere Fruchtbarkeit der Standorte als die Dolomite und Kalke an „Wank“ und „Kramer“.

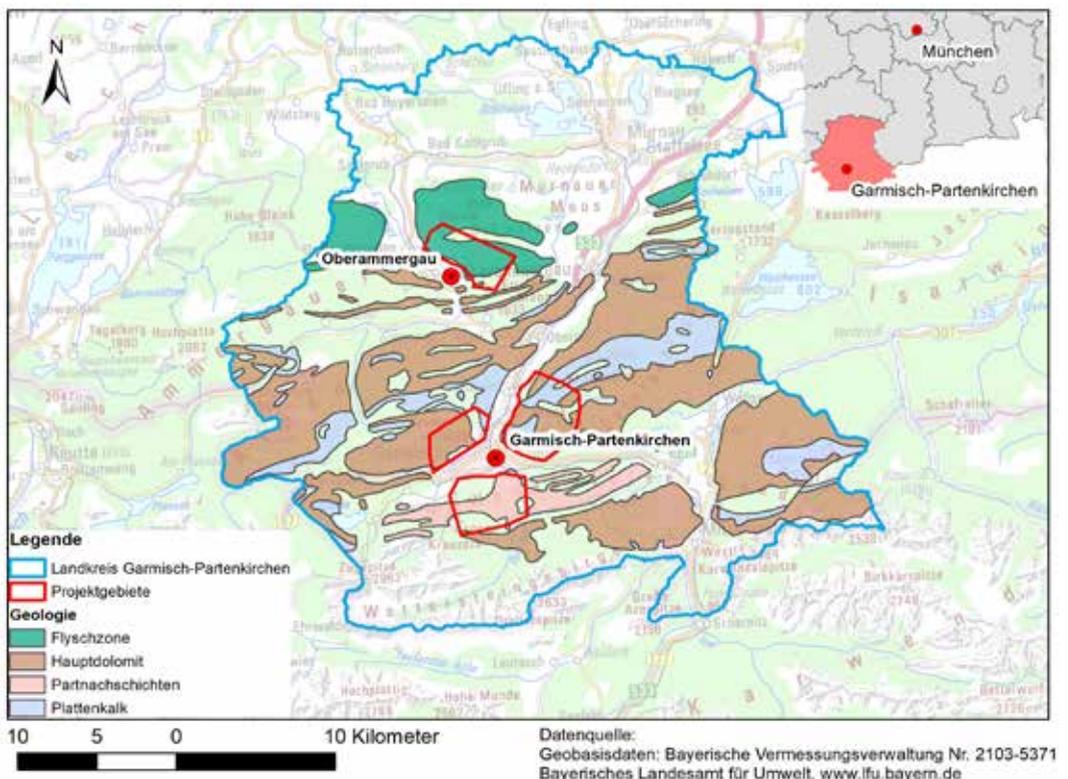


Abb. 2: Lage der Projektgebiete (Andreas Zellermayr 2021).

3. Geschichtlicher Hintergrund

Mit dem Kauf und der Gründung der Grafschaft Werdenfels durch die Freisinger Bischöfe kam es zur Vergabe von Waldweiderechten, die eine intensive Nutzung der Wälder zur Folge hatten (OSTLER 2010; EHRIG 1977). 1330 übertrug Ludwig der Bayer Waldrechte mit Weide- und Jagdrecht an das Kloster Ertal (KÖLBEL 2013). Die in den Wald getriebenen Weidetiere verursachten über Jahrhunderte Verbiss-, Schäl-, Schlag- und Trittschäden an den jungen und alten Bäumen (EL KATEB ET AL. 2009). Mit der Säkularisation von 1803 wurde aus der Bischöflichen Freising'schen Jagd die Königliche Hofjagd Partenkirchen. Damit erfolgte eine verstärkte Wildhege, was die Wildpopulation und die Verbisschäden erhöhte. Folgen für den Bergwald waren eine gestörte bzw. fehlende Verjüngung und Verlichtung (EHRIG 1977).

Im 20. Jahrhundert verloren Waldweide und Streunutzung an Bedeutung. Auch erfolgten Veränderungen im Jagdmanagement. So wurden seit den 1970er-Jahren angepasste Jagdstrategien angestrebt und regelmäßige Verbisskontrollen durchgeführt, um Wildschäden zu vermeiden und eine positive Waldentwicklung zu gewährleisten (BAYERISCHE STAATSFORSTEN AÖR 2018). Dies ist besonders bei der Naturgefahrenabwehr von besonderer Bedeutung. Ein dichter und gesunder Bergwald ermöglicht die Speicherung und den Rückhalt von Wasser, kann Lawinen, Muren oder Steinschläge verhindern und schützt so Leben und Infrastruktur. Ein Konflikt lässt sich hierbei zwischen Schutzwirkung und Naturschutz erkennen. Speziell auf den Sanierungsflächen, welche einen Offenlandcharakter aufweisen, können besonders viele geschützte Arten vorgefunden werden (REICHHART & ADELMANN 2020). Um daher artenreiche und seltene Lebensräume zu schützen und gleichzeitig die Schutzwirkung zu erhalten, bedarf es der Entwicklung individueller auf den Standort angepasster Strategien. Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit können dabei unterstützend wirken.

4. Verwendete Daten und Datenquellen

Für die Arbeit war es notwendig, sowohl den heutigen als auch den früheren Waldzustand festzustellen. Als Datenquellen wurden dabei Luftbildaufnahmen verwendet, welche als digitale Orthophotos vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung bereitgestellt wurden. Die Orthophotos stammen aus dem Jahr 2018 und liegen in einer Bodenauflösung von 0,2 m und einer Bittiefe von 24 Bit vor.

Bei der Auswahl der historischen Luftbilder wurde ein Kompromiss zwischen ausreichend langem Entwicklungszeitraum sowie Bildverfügbarkeit und -qualität gesucht. Nach Recherche konnten, ebenfalls vom Bayerischen Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, historische Luftbildaufnahmen der alliierten Streitkräfte von 1945 bezogen werden. Die Bilder sind dabei in schwarz/weiß und besitzen eine Bittiefe von 8 Bit mit einer Bodenauflösung von 1 m. Für die Untersuchung wird somit ein Zeitraum von 73 Jahren betrachtet. Neben den Luftbildern wurde zudem die Substratkarte auf Basis der Geologischen Karten von Bayern der Substratklassifikation nach (KOLB 2012) verwendet. Ebenfalls wurde eine Hangneigungskarte aus dem digitalen Geländemodell mit Gitterweite 25 m (DGM 25) erstellt.

Aus der Substratkarte und der Hangneigungskarten lassen sich die Standorteigenschaften ableiten und können so mit der Waldentwicklung in Beziehung gesetzt werden.

5. Methodik

Wie sich die Waldbestände von 1945 bis 2018 entwickelten, wurde durch Vergleich der historischen und aktuellen Luftbilder mit Hilfe des Geographischen Informationssystems ArcGIS for Desktop (ArcMap 10.6.1) untersucht.

Zunächst erfolgte eine Georeferenzierung der historischen Luftbilder (siehe Abb. 3). Anders als die aktuellen Luftbilder besitzen die historischen Luftbilder keine räumlichen Referenzinformationen zur tatsächlichen Lage auf der Erdoberfläche. Durch Zuweisung von Koordinaten mit Hilfe von Passpunkten (siehe Abb. 3) erhielten die Bilder einen räumlichen Bezug im ETRS89 UTM-System (LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG 2016–2018) und konnten weiterverarbeitet werden.

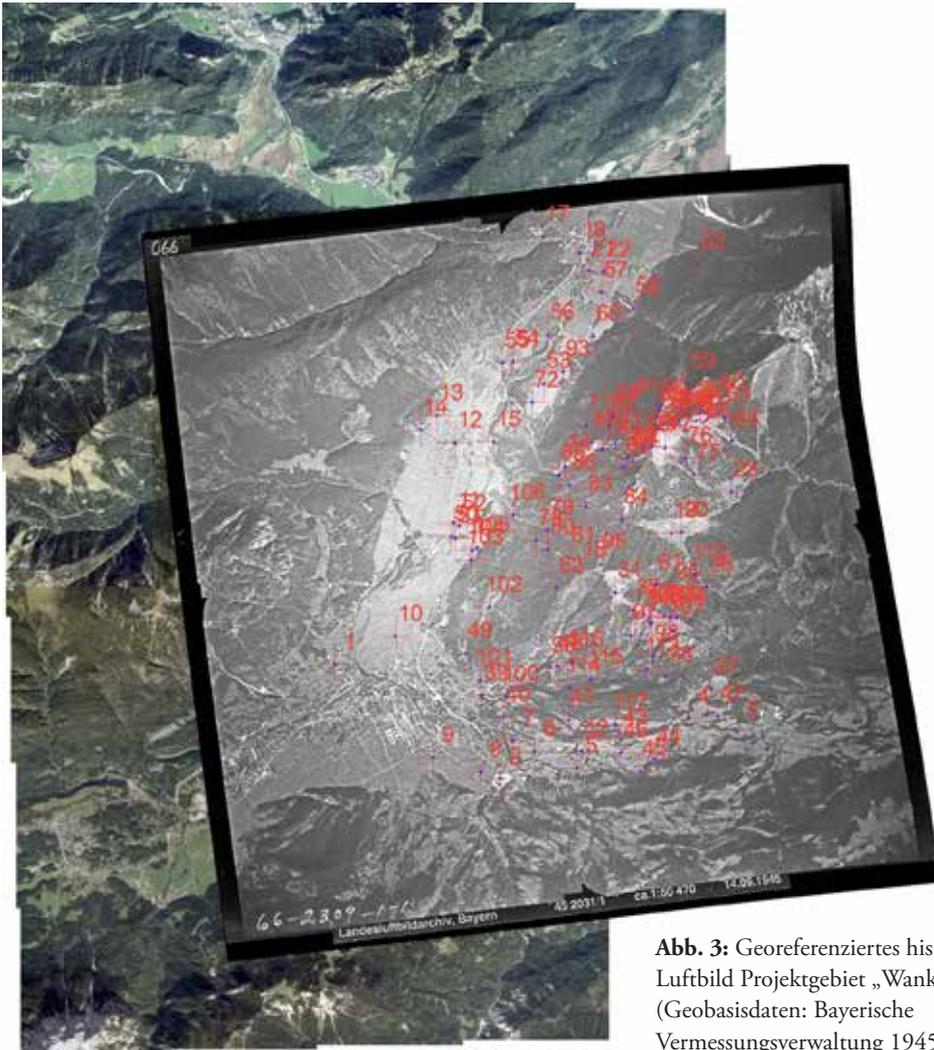


Abb. 3: Georeferenziertes historisches Luftbild Projektgebiet „Wank“ (Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung 1945/2018).

Quelle:

Orthophotos 2018: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung Nr. 2103-5371
Luftbilder 1945: Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung (CC BY-ND 3.0 DE)

Die Untersuchungsgebiete wurden hinsichtlich ihrer natürlichen Waldgesellschaften an Hand des Waldinformationssystems Nordalpen (WINALP, REGER & EWALD 2012), hinsichtlich Biotopausstattung an Hand der Alpenbiotopkartierung gekennzeichnet.

Zur Feststellung der Waldentwicklung war eine Klassifikation der Luftbilder erforderlich. Dazu wurden zwei Klassen bestimmt, die als „Waldflächen“ und „Sonstige Flächen“ bezeichnet wurden. Die Klasse „Waldflächen“ beinhaltet dabei sämtliche Baumarten und Gebüsche (Latschengebüsche). Eine Unterscheidung zwischen Nadel- und Laubbäumen wurde dabei nicht vorgenommen, da auf den historischen Luftbildern eine Unterscheidung zwischen Nadel- und Laubbäumen aufgrund der geringeren Qualität und Auflösung nicht möglich war. Die zweite Klasse wurde als „Sonstige Flächen“ bezeichnet und enthält sämtliche anderen Objekte wie Gebäude, Felsen, Straßen oder Seen/Flüsse. Auch werden Grünland, Wiesen oder Rasen durch diese Klasse repräsentiert.

Die Klassifikation wird mit der sogenannten „Supervised Classification“ durchgeführt. Die „Supervised Classification“ wird auch als überwachte Klassifikation bezeichnet. Dabei wurden zuerst ca. 50 manuelle Trainingsgebiete ausgewählt, welche der jeweiligen Klasse entsprechen. Anhand dieser Trainingsgebiete wurden in der nachfolgenden „Maximum-Likelihood-Klassifikation“ die abgebildeten Flächen den Klassen zugeordnet (BILL 2016). Das Ergebnis der Klassifikation wurde mit Hilfe von 100 zufällig gesetzten Kontrollpunkten überprüft. Dabei wurde jeder dieser Punkte mit der Klassifikation verglichen und kontrolliert, inwiefern die Klasse mit der tatsächlichen Abbildung des Luftbildes übereinstimmt. Je mehr Punkte korrekt klassifiziert wurden, umso höher ist die Genauigkeit der Klassifikation. Dargestellt wird dies in der sogenannten „Confusion Matrix“. Es konnte dabei eine Genauigkeit von über 85 % erreicht werden (STORY & CONGALTON 1986).

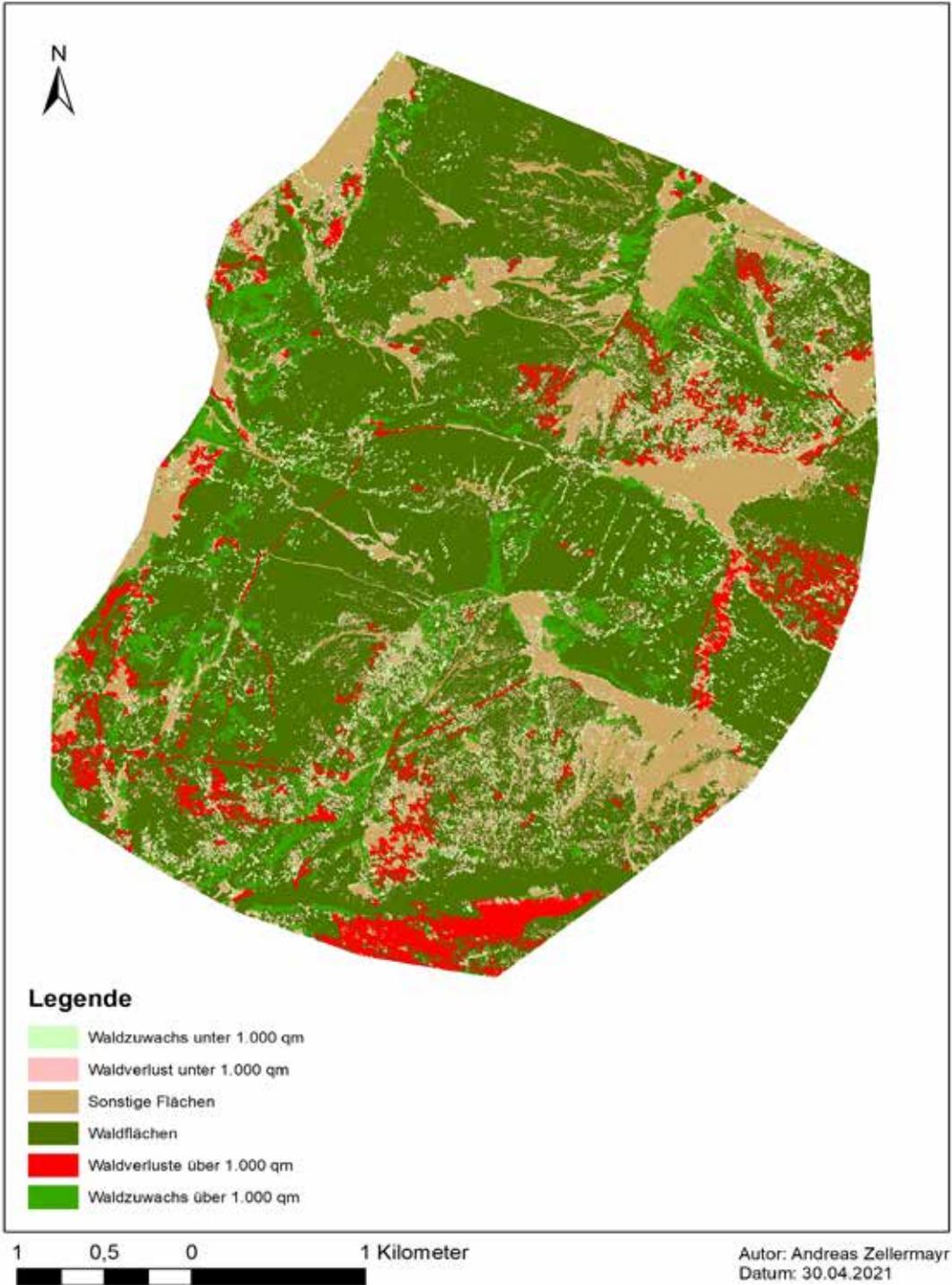
Die klassifizierten historischen und aktuellen Luftbilder wurden miteinander verglichen und eine Karte mit den beobachteten Entwicklungen konnte erstellt werden. Diese Karte enthält neben konstant gebliebenen Flächen auch Zuwachs- und Verlichtungsflächen (siehe Abb. 4).

Trotz der hohen Genauigkeit ergaben sich bei der Klassifikation Fehler. Verursacht wurden diese durch Schatten von Bergen, Bäumen oder Waldrändern. Diese dunkleren Flächen wurden fälschlicherweise statt in die Klasse „Sonstige Flächen“, in die Klasse „Waldflächen“ einsortiert. Daher erfolgte eine manuelle Korrektur, bei der eine Zuweisung in die korrekte Klasse durchgeführt wurde. Ebenfalls wurden nur zusammenhängende Flächen über 1.000 m² untersucht. Flächen unter 1.000 m² wurden keiner Klasse zugeordnet.

Dadurch sollte der Fehler durch falsch klassifizierte Flächen zusätzlich verringert werden. Trotzdem müssen diese Fehlerquellen bei der Betrachtung der Ergebnisse beachtet werden.

Anschließend wurden die Karte mit der Substratkarte und der Hangneigungskarte verschnitten, um die Entwicklung mit den Standorteigenschaften in Bezug zu setzen.

Mit Hilfe einer Präferenzanalyse (BREM 2006) wurden die Substrate und Hangneigungen ermittelt, welche besonders starke Zuwächse bzw. Verlichtungen erkennen ließen. Die Eigenschaften, die zu diesen Entwicklungen führten, wurden wiederum von den Substraten und der Hangneigung abgeleitet.



Quelle:
Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung Nr. 2103-5371

Abb. 4: Ergebnis GIS-Arbeit Zuwachs- und Verlichtungsflächen, sowie konstante Flächen 1945 bis 2018 (Andreas Zellermayr 2020).

6. Ergebnisse in den Projektgebieten

Das Projektgebiet „Wank“

Das Projektgebiet „Wank“ befindet sich im südlichen Teil des Landkreises Garmisch-Partenkirchen und ist Teil des Estergebirges. Das Projektgebiet findet sich dabei östlich der Gemeinde Farchant und nordöstlich der Gemeinde Garmisch-Partenkirchen und ist 1.879,13 ha groß.

Im Untersuchungsgebiet bilden Hauptdolomit und Plattenkalk die häufigsten geologischen Ausgangsgesteine. Dadurch weist ein Großteil der Flächen einen Carbonatgehalt von über 50 % auf. Im Süden des Projektgebietes wurden Raibler Schichten nachgewiesen. Auf diesen Standorten können Mergel- und Kalksteine vorgefunden werden, welche einen geringeren Carbonatgehalt erwarten lassen. Dadurch werden diese Flächen als produktiver eingeschätzt als das übrige Projektgebiet (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020).

Die potenziellen natürlichen Waldgesellschaften sind durch die vorhandenen Höhenstufen tiefmontan bis alpin (500 bis über 1.900 m) beeinflusst und durch einen hohen Flächenanteil an dolomitischen und kalkigen Ausgangsgesteinen geprägt.

So lassen sich in der tiefmontanen bis montanen Höhenstufe (500 bis 1.200 m) vor allem Carbonat-Bergmischwälder mit den Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Buche vorfinden. Je höher die Waldstandorte gelegen sind, desto geringer ist der Buchenanteil auf den Waldflächen. Durch die geringeren Temperaturen in größeren Höhen, zeigen sich in der Mischung vorwiegend Nadelbaumarten.

Die natürliche Waldgesellschaft der Latschengebüsche kommt ab einer Höhe von 1.400 m (tief-subalpin) vor. Die Hauptbaumart Berg-Kiefer weist dabei eine strauchige-krummholzige Wuchsform auf (REGER & EWALD 2012; WALENTOWSKI ET AL. 2013). Entsprechen die Wälder des Projektgebietes den natürlichen Waldgesellschaften, so unterliegen die Bestände der FFH-Richtlinie Anhang I und gehören zu Lebensraumtypen wie LRT 4070 „Buschvegetation mit *Pinus mugo* Rhododendron *hirsutum* (*Mugo-Rhododendretum hirsuti*)“, LRT 9130 „Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*)“, LRT 9410 „Montane bis alpine bodensaure Fichtenwälder (*Vaccinio-Piceetea*)“ oder LRT 9430* „Montaner und subalpiner *Pinus uncinata*-Wald (* auf Gips- oder Kalksubstrat) (WALENTOWSKI ET AL. 2013; BfN 2019).

Die Kartierung des in der FFH-Referenzliste Deutschlands und Bayerns neu gelisteten prioritären Wald-LRT 9430* (Montaner und subalpiner *Pinus uncinata*-Wald (* auf Gips- oder Kalksubstrat)) steht noch aus.¹

Der nördliche Teil des Projektgebiets gehört zu den FFH-Gebieten „Loisachtal zwischen Farchant und Eschenlohe“ (Code DE8432301) sowie „Estergebirge“ (Code DE8433371) von Natura 2000 mit ausgedehnten, naturnahen Bergmischwäldern, welche für besonders geschützte Arten wie den

1 <https://www.bfn.de/themen/natura-2000/lebensraumtypen-arten.html>;
https://www.lfu.bayern.de/natur/natura_2000/ffh/natuerliche_lebensraeume/index.htm.

Alpenbock (*Rosalia alpina*) einen wichtigen Lebensraum darstellen. Subalpine Nadelwälder mit Lärche-Zirbe und einzigartige Karstlandschaften machen das FFH-Gebiet zu einem vielseitigen Lebensraum mit zahlreichen Biotopen wie basenreichen Kiefernwäldern, Latschengebüschen, alpinen Rasen oder Alpenmagerweiden. Auch gehört ein Großteil des Projektgebietes zum Natura 2000-Vogelschutzgebiet Estergebirge (Code DE8433471) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015; GEOPORTAL.BAYERN.DE ET AL. gesehen 2020).



Abb. 5: Wälder Projektgebiet „Wank“ im Februar 2021 (Foto Andreas Zellermayr 2021).

Aus dem Vergleich der Luftbilder lässt sich folgende Entwicklung erkennen:

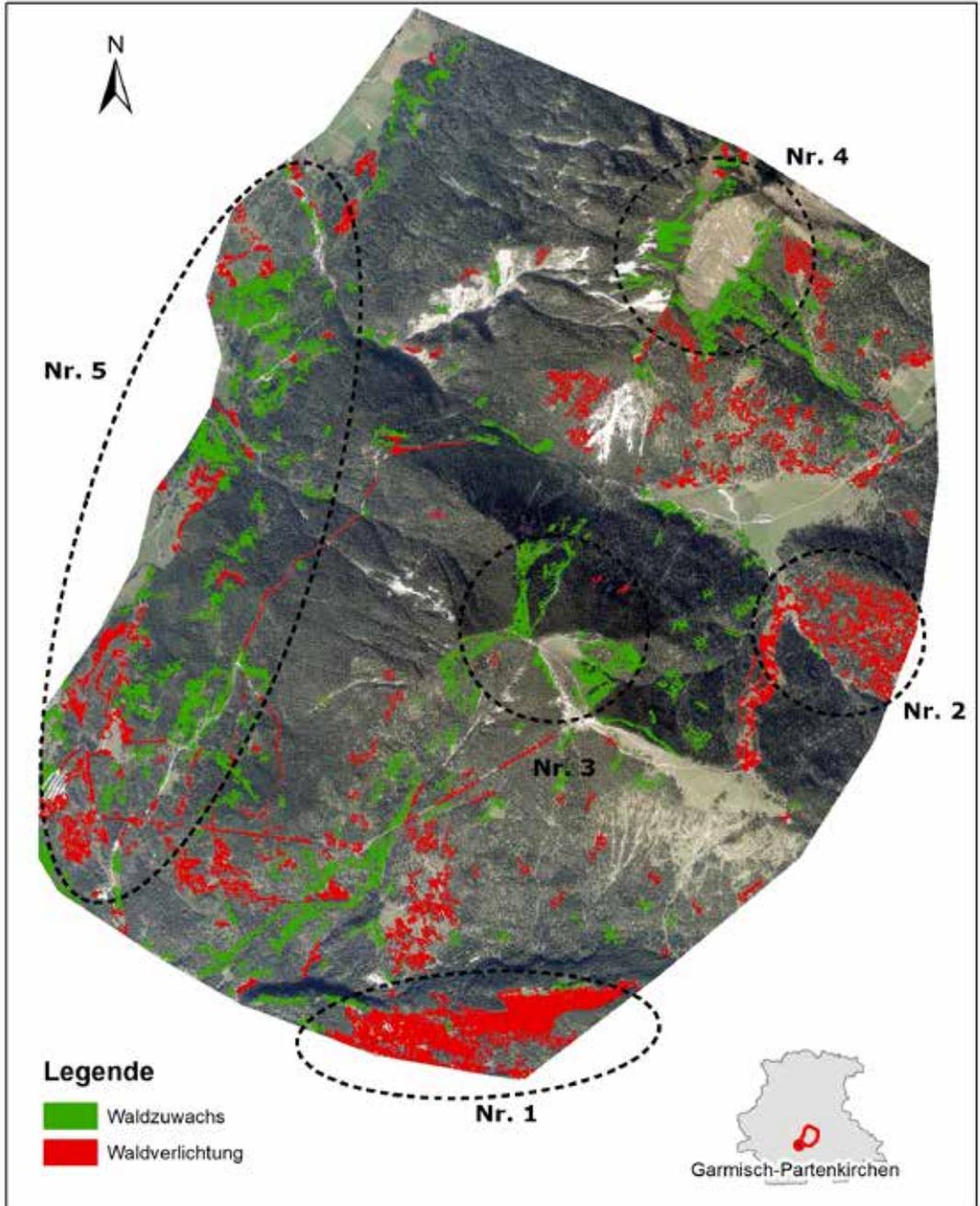


Abb. 6: Waldentwicklung im Projektgebiet „Wank“ von 1945 bis 2018 (Andreas Zellermayr 2021).

Abb. 6 zeigt die Entwicklungen im Projektgebiet „Wank“ von 1945 bis 2018. Flächen, auf denen ein Waldflächenzunahme festzustellen war, sind in der Karte grün, Waldverlust oder Verlichtungen rot gekennzeichnet.

Werden die Veränderungen genauer betrachtet, fällt besonders der großflächige Waldverlust im südlichen Bereich des Gebietes um das Hasental auf (siehe Abb. 6, Nr. 1). Die Ursache hierfür waren Rodungen zur Herstellung von Ersatzweiden. Weitere auffällige Waldverluste zeigen sich rund um die Esterbergalm im östlichen Teilbereich (siehe Abb. 6, Nr. 2). Hier zeigt sich der Verlust allerdings mosaikartig und nicht großflächig. Hierfür könnte sowohl eine Nutzung durch den Menschen als auch ein natürlicher Verlust in Frage kommen. Bedingt durch flachgründige, skelettreiche Substrate mit einer geringen Wasserspeicherkapazität und einer einseitigen Nährstoffverfügbarkeit aufgrund des Hauptdolomits, wird die Vitalität der Bäume geschwächt. Die südliche Exposition der Hänge sorgt zudem für eine starke Sonneneinstrahlung und eine geringere Wasserverfügbarkeit, wodurch es zu Verlusten einzelner Bäume kommen kann.

Anders stellt sich die Situation in den Bereichen Nr. 3 und Nr. 4 dar (siehe Abb. 6). Rund um die Gipfel des Wank, Ameisenberg und des Hoher Fricken, lassen sich Waldzuwächse erkennen. Durch Ansteigen der Lufttemperaturen werden die Wuchsbedingungen in großen Höhen günstiger und Baumarten wie die Berg-Kiefer können sich besser verbreiten. Es kommt daher zu einem Anstieg der Waldgrenze in Folge klimatischer Veränderungen.

Zuwächse wie auch Verlichtungen lassen sich an den Unterhängen im östlichen und südöstlichen Gebiet erkennen (siehe Abb. 6, Nr. 5). So können Zuwächse bei der Daxkapelle oder beim Kuhfluchtgraben erkannt werden. Verlichtungen zeigen sich vermehrt entlang des Philosophenweges und dem heutigen Kletterwald, welche auch teilweise als Weideflächen genutzt werden. Hier erfolgte ebenfalls der Bau eines Parkplatzes für die Talstation der Wankbahn. Der Mix aus Zuwächsen und Verlichtungen führt so zu einem Wechsel zwischen Wald- und Offenland in der heutigen Landschaft.

Tab. 1: Ergebnisse im Projektgebiet „Wank“.

Klasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
Sonstige Flächen	276,49	14,71
Waldflächen	1.161,71	61,82
Zuwachs	103,74	5,52
Verlichtung	115,65	6,15
Flächen unter 1.000 m²	221,54	11,80
Summe	1.879,13	100
Entwicklung	- 11,91	- 0,63

Im Projektgebiet „Wank“ hat sich die Ausdehnung der Wälder auf heute 61,82 % Flächenanteil von 1945 bis 2018 nur marginal geändert. Grünlandflächen, Felsen oder Gebäude nehmen hier einen deutlich geringeren Flächenanteil ein. Das Projektgebiet ist somit überwiegend durch Waldflächen geprägt. Bei den Zuwachs- bzw. Verlichtungsflächen lassen sich Flächenanteile von 5 bis ca. 6 % feststellen. Verlichtungsflächen überwiegen mit 0,63 % geringfügig, was insgesamt anhand der

Luftbildanalyse zu einer marginalen Waldflächenabnahme führt (ZELLERMAYR 2021). Zu beachten ist hier, durch forstwirtschaftliche Nutzung können Verlichtungsflächen erkannt werden, welche jedoch im Laufe der Zeit zuwachsen und verschwinden werden.



Abb. 7: Foto Wank und Kuhfluchtgraben 1939/1940 und 2020, Farchant (© Bayerische Staatsbibliothek München/Bildarchiv, Beckert August um 1939/1940; Andreas Zellermayr 2020).

Das Projektgebiet „Kreuzeck“

Das Projektgebiet „Kreuzeck“ befindet sich südlich der Marktgemeinde Garmisch-Partenkirchen. Das Gebiet umfasst 1.507,56 ha. Die Geologie ist hauptsächlich durch die Gesteine der Partnachschiechten und der Raibler Schichten bis Carditaschichten geprägt. Beide bestehen aus tonigen, schluffigen, mergeligen Ausgangsgesteinen und lassen so auf produktive Standorte schließen. Daneben können auch Kalk- und Dolomitgestein, Rauhwanke und Gips vorgefunden werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020).

Durch die Gesteine der Raibler Schichten/Carditaschichten und Partnachschiechten können für das Projektgebiet die natürlichen Waldgesellschaften der Carbonat- und basenreichen Silikat-Bergmischwälder modelliert werden. Diese kommen auf mäßig frischen bis frischen Standorten vor und lassen sich vorwiegend der montanen Höhenstufe (850 bis 1.200 m) zuordnen. Die Hauptbaumarten des Bergmischwaldes sind dabei Fichte, Tanne und Buche.

Werden größere Höhen erreicht zeigt sich in der natürlichen Waldgesellschaft der Bergmischwälder eine stärkere Dominanz der Nadelbaumarten Fichte und Tanne. Dies setzt sich bis in Höhen von 1.716 m fort, wo auch Carbonat-Latschengebüsche vorzufinden sind (WINALP, REGER & EWALD 2012; WALENTOWSKI ET AL. 2013).

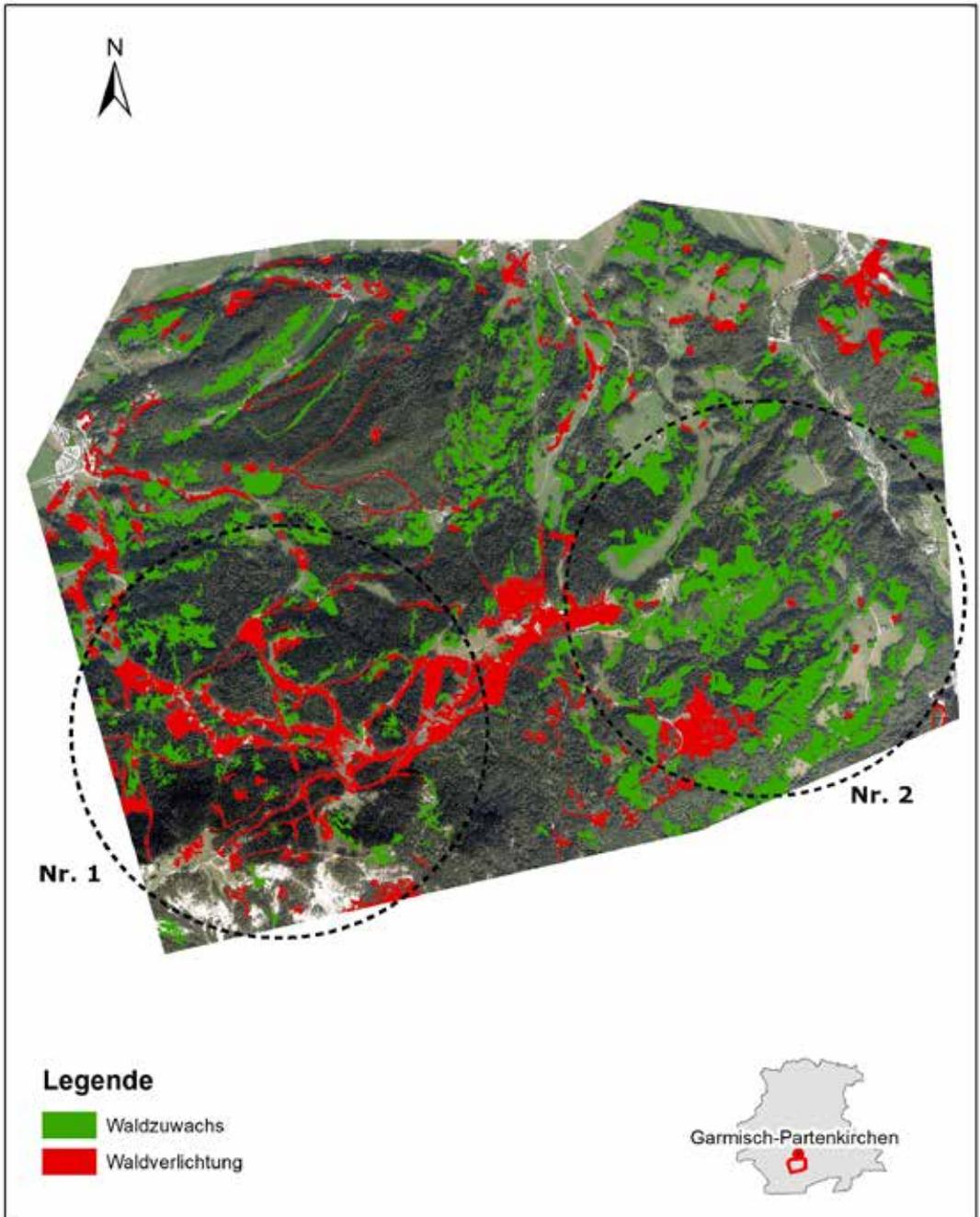
Entsprechen die Wälder des Projektgebietes den natürlichen Waldgesellschaften, so unterliegen die Bestände der FFH-Richtlinie Anhang I und gehören zu den Lebensraumtypen LRT 9130 oder LRT 9410. Auch Krummholzgebüsche und Hochstaudengesellschaften unterliegen dem Naturschutzgesetz (LRT 4070) (BfN 2019; WALENTOWSKI ET AL. 2013).

Im Osten berührt das Projektgebiet das FFH-Gebiet „Mittenwalder Buckelwiesen“ (Code DE8533301) mit einem wertvollen Mosaik aus Feuchtlebensräumen und Trockenrasen. Auch außerhalb des FFH-Gebietes sind die Biotoptypen artenreiches Extensivgrünland, Alpengoldhaferwiesen oder basenreiche Magerrasen vertreten (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015; GEOPORTAL. BAYERN.DE ET AL. gesehen 2020).



Abb. 8: Bildvergleich Garmisch-Partenkirchen, Projektgebiet „Kreuzeck“ und Zugspitze 1929/1930 und 2020; zusätzlich zeigt der Bildvergleich das Ausmaß der Verstädterung Garmisch-Partenkirchens in 90 Jahren und dem damit verbundenen Verbrauch der landwirtschaftlich genutzten Flächen. (© Bayerische Staatsbibliothek München/Bildarchiv, Beckert August um 1929/1930; Foto Andreas Zellermayr 2020).

Aus dem Vergleich der Luftbilder lässt sich folgende Entwicklung erkennen:



1 0,5 0 1 Kilometer

Autor: Andreas Zellermayr
Datum: 30.04.2021

Quelle:
Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung Nr. 2103-5371

Abb. 9: Waldentwicklung im Projektgebiet „Kreuzeck“ von 1945 bis 2018 (Andreas Zellermayr 2021).

Bei der Waldflächendynamik im Kreuzeckgebiet handelt es sich zumeist um großflächige Veränderungen. Dabei kann hier eine Zweiteilung erkannt werden. So finden sich häufig Waldflächenverluste beim Kreuzjoch im südwestlichen Teil des Gebietes (siehe Abb. 9, Nr. 1). Diese Verluste und Rodungen können auf den Bau von Forststraßen, Skipisten und Infrastruktur (Wasserspeicher oder Skilifte) zurückgeführt werden. Besonders gut wird der Verlauf der Skipisten im Luftbild erkannt. Ganz anders stellt sich die Situation im östlichen Teil des Projektgebietes dar (siehe Abb. 9, Nr. 2). So überwiegen rund um den Kochelberg, Wildenau und vorderer Hausberg die Waldflächenzuwächse. Der Bewaldung dürfte die Aufgabe von Wiesmahdflächen auf relativ produktiven Mergelverwitterungsböden, wie sie weiter östlich bei Elmau bis heute erhalten geblieben sind, zu Grunde liegen. Waldzuwächse spiegeln also in erster Linie den Rückgang der extensiven Berglandwirtschaft im 20. Jahrhundert wider. Der Erfolg von Aufforstungen und die natürliche Wiederbewaldung durch Sukzession wurden durch die zeitgleiche Regulation der Schalenwildbestände flankiert.

Tab. 2: Ergebnisse im Projektgebiet „Kreuzeck“.

Klasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
Sonstige Flächen	278,70	18,49
Waldflächen	826,07	54,79
Zuwachs	210,55	13,97
Verlichtung	116,10	7,70
Flächen unter 1.000 m²	76,14	5,05
Summe	1.507,56	100
Entwicklung	94,46	6,27

Im Projektgebiet stellen konstant gebliebene Waldflächen den größten Flächenanteil. Mit 54,79% Flächenanteil überwiegen bewaldete Flächen gegenüber sonstigen Flächen.

Aus der GIS-Analyse lassen sich Waldflächenzuwächse von 210,55 ha erkennen. Dem stehen Waldverluste von 116,10 ha gegenüber, was insgesamt zu einer Waldflächenzunahme um 94,46 ha führt (ZELLERMAYR 2021).

Das Projektgebiet „Kramer“

Das Projektgebiet „Kramer“ liegt nordwestlich von Garmisch-Partenkirchen und ist Teil des Naturschutzgebiets und des Natura 2000-Gebiets (FFH + SPA) „Ammergebirge“. Es besitzt eine Größe von 849,55 ha (GEOPORTAL.BAYERN.DE ET AL. gesehen 2020).

Mit einem Flächenanteil von ca. 67 % ist Hauptdolomit die am häufigsten vorzufindende Gesteinsart (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020).

Entsprechend der dolomitischen Ausgangsgesteine weist der Großteil der Projektfläche einen hohen Carbonatgehalt auf und Waldgesellschaften mit entsprechenden Standortsansprüchen können hier vorgefunden werden.

Unter natürlichen Bedingungen lassen sich so im gesamten Gebiet überwiegend Carbonat-Bergmischwälder erkennen. Die Hauptbaumarten sind dabei Fichte, Tanne und Buche.

Der Wasserhaushalt reicht dabei von mäßig trocken bis frisch, wobei frische Standorte sich vorwiegend in Tallagen befinden. Oberhalb der Bergmischwälder schließen sich auf trockenen Steilhängen Carbonat-Trockenkiefernwälder an. In der subalpinen Höhenstufe (ab 1.400 m) finden sich vorwiegend Carbonat-Latschengebüsche.

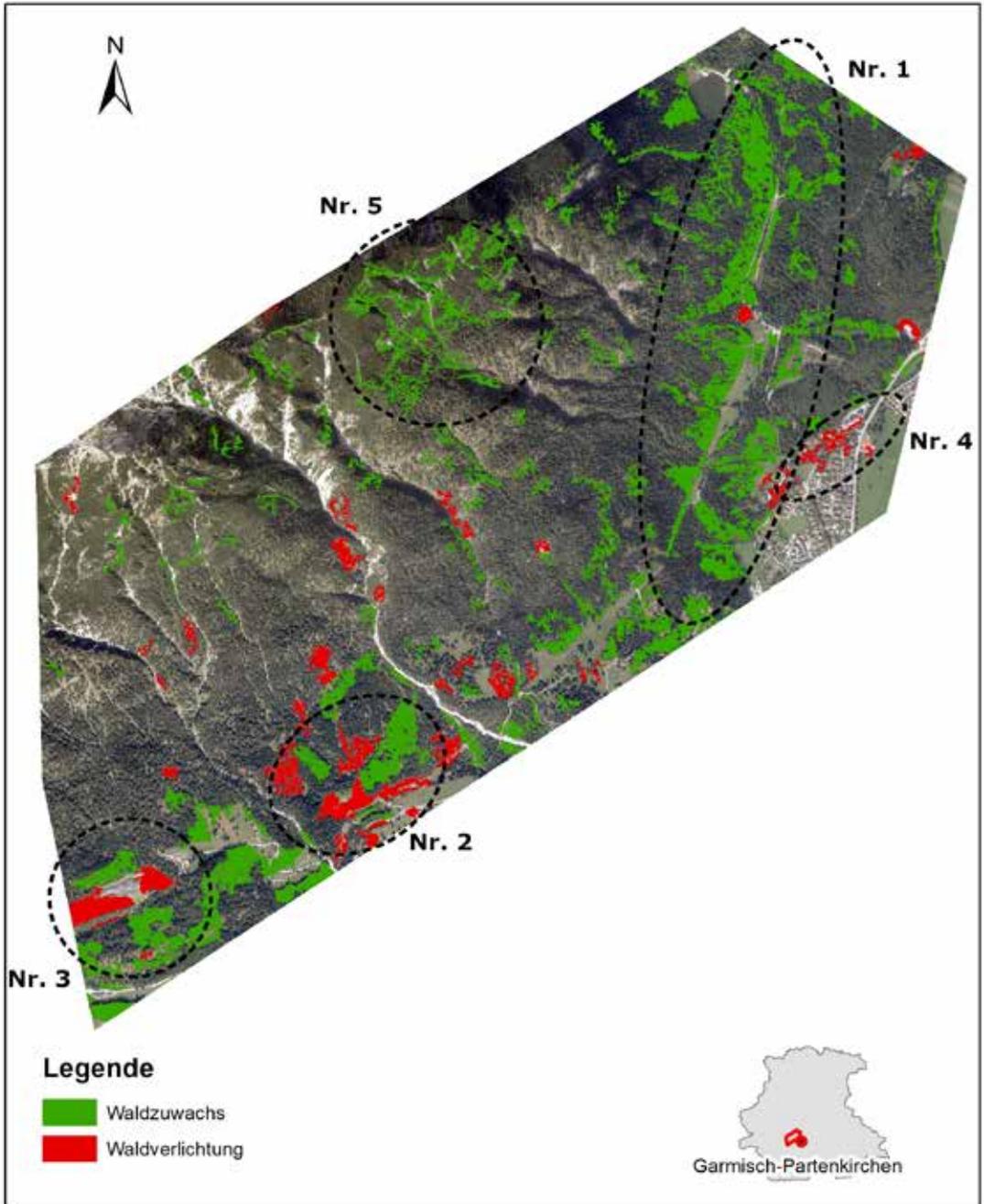


Abb. 10: Blick vom Estergebirge auf Kramer (Andreas Zellermayr 2020).

Der nordöstliche Teil des Gebietes unterscheidet sich in seiner geologischen Ausstattung vom dolomitisch geprägten Rest des Untersuchungsgebietes. Hier können würmzeitliche Jungmoränen erkannt werden, welche aus sandig bis tonig-schluffigem Kies bestehen. Auch kann Plattenkalk vorgefunden werden. Demnach können hier basenreiche Silikat-Bergmischwälder als natürliche Waldgesellschaft erkannt werden und ähneln demnach den produktiveren Standorten der Flyschzone. Bedingt durch die Ausgangsgesteine, zeigen die Waldböden auf derartigen Standorten im Oberboden Bodenversauerung, hingegen im Unterboden lässt sich eine hohe Basensättigung erkennen (WALENTOWSKI ET AL. 2013; WINALP, REGER & EWALD 2012).

Ein Großteil der Projektfläche gehört dem FFH-Gebiet „Ammergebirge“ (Code DE8431371) an, da hier die Waldbestände einen hohen Anteil an naturnahen Waldgesellschaften aufweisen. Zudem lassen sich einzigartige Hang-Schluchtwälder, sowie international bedeutsame Moore vorfinden. Besonders geschützte Arten nach der FFH-RL im Gebiet sind beispielsweise der Alpenbock (*Rosalia alpina*) oder die Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*). Ebenfalls lassen sich zahlreiche Biotope wie Latschengebüsche, basenreiche Kiefernwälder oder artenreiches Extensivgrünland im Gebiet erkennen. Durch die einzigartigen und vielfältigen Standorte liegt ein Großteil des Untersuchungsgebietes im Naturschutzgebiet „Ammergebirge“ (Code NSG-00274.01), welches Fauna-Flora-Habitate und EU-Vogelschutzgebiete in sich vereint (GEOPORTAL.BAYERN.DE ET AL. gesehen 2020; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015).

Aus dem Vergleich der Luftbilder lässt sich folgende Entwicklung erkennen:



1 0,5 0 1 Kilometer

Autor: Andreas Zellermayr
Datum: 30.04.2021

Quelle:
Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung Nr. 2103-5371

Abb. 11: Waldentwicklung im Projektgebiet „Kramer“ von 1945 bis 2018 (Andreas Zellermayr 2021).

Der nordöstliche Teil des Gebietes zeigt besonders starke Waldzuwächse (siehe Abb. 11, Nr. 1). Verantwortlich dafür ist vermutlich die Aufgabe früherer Weideflächen auf produktiven Standorten vom Kramerplateauweg bis zum Pfliegersee, an deren Stelle heute junge Wälder vorgefunden werden.

Weiter südlich finden sich vermehrt Verlichtungen, welche sowohl menschlichen als auch natürlichen Einflüssen zu Grunde liegen könnten (siehe Abb. 11, Nr. 2). Eindeutiger menschliche Nutzung kann dagegen im südwestlichen und östlichen Teil des Projektgebietes erkannt werden (siehe Abb. 11, Nr. 3 und Nr. 4). So zeigen sich am Lachen im Teilbereich Nr. 3 zwischen 1945 und 2018 die Anlage einer Mülldeponie und der anschließende Bau einer Photovoltaik-Freiflächenanlage. Dabei wurde ein Teil des Waldes gerodet. Jedoch lassen sich nördlich und südlich davon, Waldflächenzuwächse erkennen.

Im Teilbereich Nr. 4 wurde Wald für den Bau der Siedlung Sonnenbichl gerodet.

Neben den starken Waldflächenzuwächsen im nordöstlichen Teil des Gebietes, können auch Zuwächse in Höhen über 1.400 m erkannt werden. Wie auch im Projektgebiet „Wank“ lässt sich auf den Standorten des Kramer günstigere Wuchsbedingungen vermuten, was zu der Ausbreitung der hier häufig vorkommenden Berg-Kiefer (Latsche) führt (Abb. 11, Nr. 5) und auf eine Klimaerwärmung hinweist.

Tab. 3: Ergebnisse im Projektgebiet „Kramer“.

Klasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
Sonstige Flächen	143,00	16,83
Waldflächen	455,82	53,66
Zuwachs	96,70	11,38
Verlichtung	19,18	2,26
Flächen unter 1.000 m²	134,84	15,87
Summe	849,55	100
Entwicklung	77,52	9,12

Waldflächen, die sowohl 1945 als auch 2018 bestanden, weisen einen Flächenanteil von 53,66 % auf. Unbewaldete Flächen dagegen zeigen einen Anteil von 16,83 %. Dadurch überwiegen bewaldete Flächen gegenüber sonstigen Flächen.

Die Waldflächen vergrößerten sich im Zeitraum von 73 Jahren, da einer Verlichtung von nur ca. 2,26 % (19,18 ha), ein gleichzeitiger Zuwachs von 11,38 % (96,7 ha) gegenübersteht (ZELLERMAYR 2021).

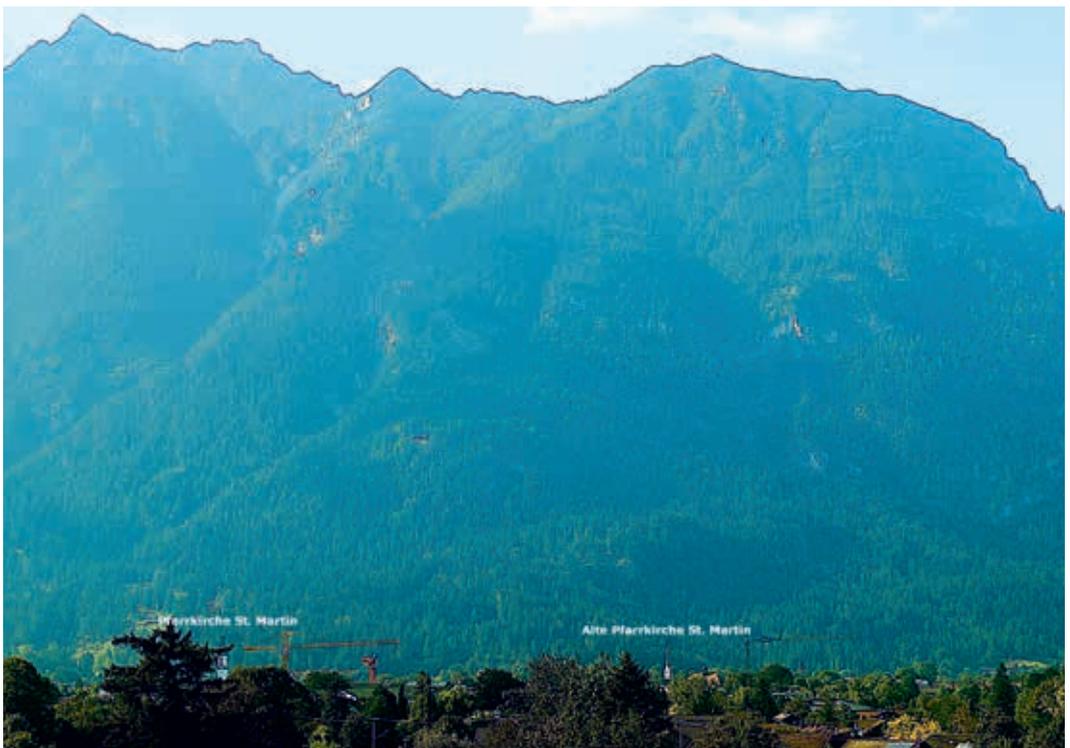


Abb. 12: Foto Projektgebiet „Kramer“ 1920/1930 und 2020 (© Bayerische Staatsbibliothek München/Bildarchiv, Johannes Bernhard, Beckert August um 1920/1930; Andreas Zellermayr 2020).

Das Projektgebiet „Ammergau“

Das Projektgebiet „Ammergau“ liegt im nördlichen Teil des Landkreises Garmisch-Partenkirchen und ist Teil der Ammergauer Alpen. Vom Loisachtal aus kann das Ammertal über den Ettaler Sattel erreicht werden. Das Projektgebiet selbst befindet sich nahe den Ortschaften Oberammergau und Unterammergau und liegt nördlich bzw. östlich dieser Gemeinden.

Das Gebiet hat eine Fläche von 1.195,37 ha.

Die Geologie des Projektgebietes ist überwiegend durch den rhenodanubischen Flysch (Flyschzone) geprägt. Dessen Ausgangsgesteine bestehen dabei aus Ton-, Schluff-, Mergel- und Sandstein mit Carbonatgehalten von 35 bis 65 %. Andere geologische Gesteine, wie Wettersteinkalke oder Hauptdolomit, weisen Anteile von unter 10 % auf und können überwiegend im südöstlichen Teil des Projektgebietes vorgefunden werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020). Die natürlich vorkommenden Waldgesellschaften im Projektgebiet „Ammergau“ bestehen hauptsächlich aus den Hauptbaumarten der Bergmischwälder Buche, Fichte und Tanne. Je nach Höhe und Standortigenschaften lassen sich unterschiedlichste Ausprägungen des Bergmischwaldes erkennen. So lässt sich auf den dominierenden mergeligen Standorten im Projektgebiet als natürliche Waldgesellschaft der Silikat-Bergmischwald vorfinden. Hingegen im südöstlichen Kalk und Dolomit dominierten Teil lassen sich Carbonat-Bergmischwälder erkennen. Zudem können durch eine gute Wasserversorgung Auenwälder mit Hauptbaumart Esche im Bachbereich vorgefunden werden (REGER & EWALD 2012; WALENTOWSKI ET AL. 2013). Entsprechen die Wälder auf den Hängen des Projektgebietes den natürlichen Waldgesellschaften, so unterliegen derartige Bestände der FFH-Richtlinie Anhang I. Sie gehören den Lebensraumtypen LRT 9130 „Waldmeister-Buchenwald (*Asperulo-Fagetum*)“ und LRT 9410 „Montane bis alpine bodensaure Fichtenwälder (*Vaccinio-Piceetea*)“ an (WALENTOWSKI ET AL. 2013; BfN 2019).



Abb. 13: Oberammergau früher (li.) und heute (© Bayerische Staatsbibliothek München/Bildarchiv, Beckert August um 1920/1930; Sophia Zellermayr, Andreas Zellermayr 2020).

Auch finden sich Flächenteile der FFH-Gebiete „Moore im oberen Ammertal“ (Code DE8332371) und „Ammertaler Wiesenmahdhänge“ (Code DE8332304) mit großflächigen Magerrasen und zahlreichen Anhang II-Arten wie zum Beispiel dem Goldenen Scheckenfalter (*Euphydryas aurinia*) (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015).

Hinter dem FFH-Gebiet „Moore im oberen Ammertal“ steckt ein großflächiges zusammenhängendes Moor, welches nur geringe Störungen aufweist und so einen herausragenden Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten darstellt. (GEOPORTAL.BAYERN.DE ET AL. gesehen 2020; BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2015).

Aus dem Vergleich der Luftbilder lässt sich folgende Entwicklung erkennen:

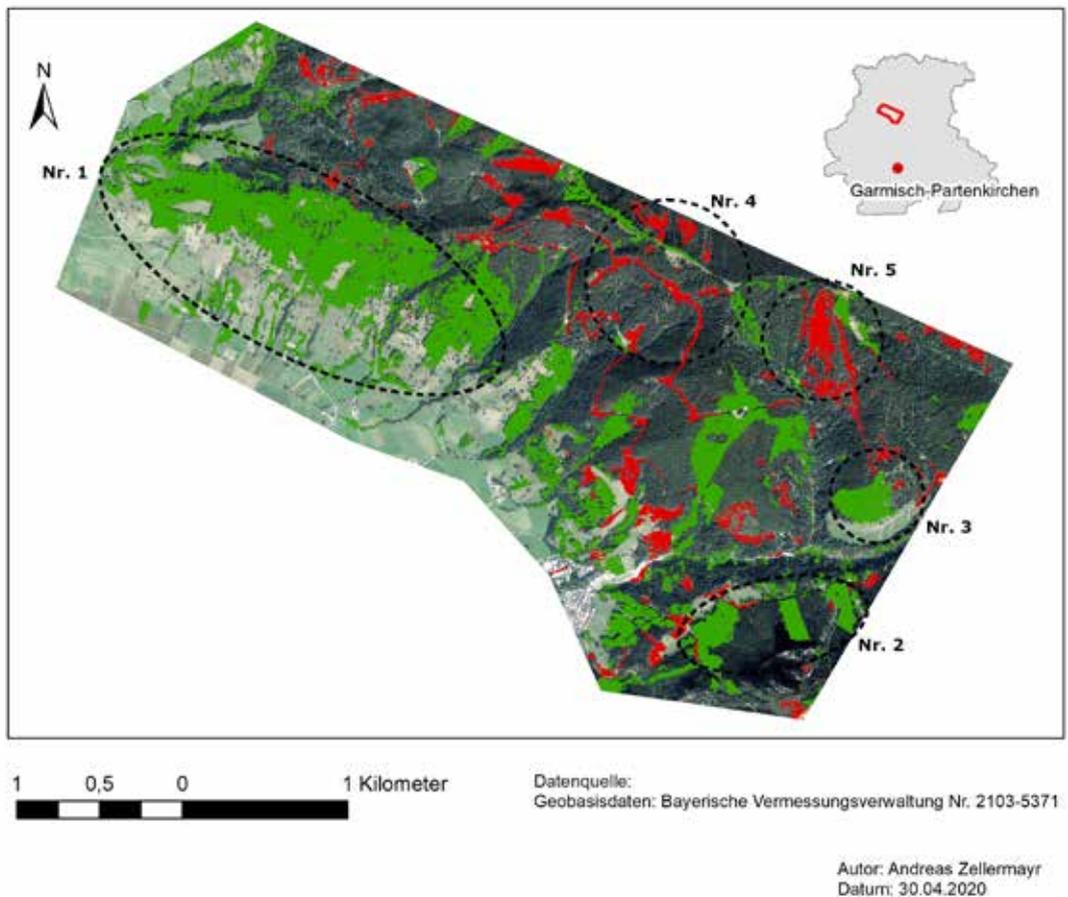


Abb. 14: Waldentwicklung im Projektgebiet „Ammergau“ von 1945 bis 2018 (Andreas Zellermayr 2021).

Die großflächigen Waldflächenzuwächse fanden im westlichen Teil des Projektgebietes „Ammergau“ statt (siehe Abb. 14, Nr.1). Die Bewaldung in mittleren Hanglagen und steileren Standorten von Grünbichl über das Kircheck zum Gschwandkopf kann einer Aufgabe früherer Wiesenmäher zugeordnet werden, wodurch sich der Wald auf den ehemaligen landwirtschaftlich genutzten Flächen ausbreiten konnte. Gleiches Bild zeigt sich auch in den Teilbereichen Nr. 2 und Nr. 3 (siehe Abb. 14): Die Wiederbewaldung von St. Georg entlang der Laine bis hin zum Bärenbad könnte durch Aufforstungen zwischen 1945 und 2018 beschleunigt worden sein (siehe Abb. 14, Nr. 2). Die ehemaligen Lichtalmen verschwanden dadurch. So nahm die Aipl-Alm (siehe Abb. 14, Nr. 3) 1945 eine deutlich größere Fläche ein als zu heutiger Zeit. Daneben können aber auch Waldflächenverluste im Projektgebiet identifiziert werden, z. B. durch Bau von Forststraßen (siehe Abb. 14, Nr. 4), im Teilbereich Nr. 5 auch durch Kalamitäten wie Windwürfe oder Borkenkäferbefall. Erstmals seit hundert Jahren fanden entlang neuer Forststraßen forstwirtschaftliche Eingriffe statt, welche zu temporären Verlichtungen führten. Zukünftig kann hier jedoch dichter Wald erwartet werden.

Insgesamt zeigen sich im Projektgebiet die größten Waldflächenzuwächse aller Gebiete. Nach Aufgabe der Grünlandnutzung kam es auf den gut wasser- und nährstoffversorgten, produktiven Standorten der Flyschzone zu einer raschen Wiederbewaldung mit wüchsigen Beständen.

Tab. 4: Ergebnisse im Projektgebiet „Ammergau“.

Klasse	Fläche in ha	Flächenanteil in %
Sonstige Flächen	283,03	23,68
Waldflächen	569,25	47,62
Zuwachs	221,73	18,55
Verlichtung	57,19	4,78
Flächen unter 1.000 m²	64,17	5,37
Summe	1.195,37	100
Entwicklung	164,54	13,76

Anders als in den übrigen Projektgebieten weisen unbewaldete Flächen mit 23,68 % einen deutlich größeren Flächenanteil auf. Dadurch zeigen konstante Waldflächen einen etwas geringeren Anteil von 47,62 %, wenn auch der Wald die größte Fläche einnimmt.

Die Entwicklung von 1945 bis 2018 zeigt eine starke Waldflächenzunahme um 18,55 %. Dem stehen Verlichtungsflächen von lediglich 4,78 % gegenüber, was insgesamt zu einem deutlichen Zuwachs von 13,76 % und einer Fläche von 164,54 ha führt. Damit konnten im Projektgebiet „Ammergau“ die stärksten Waldzunahmen vorgefunden werden (ZELLERMAJR 2021).

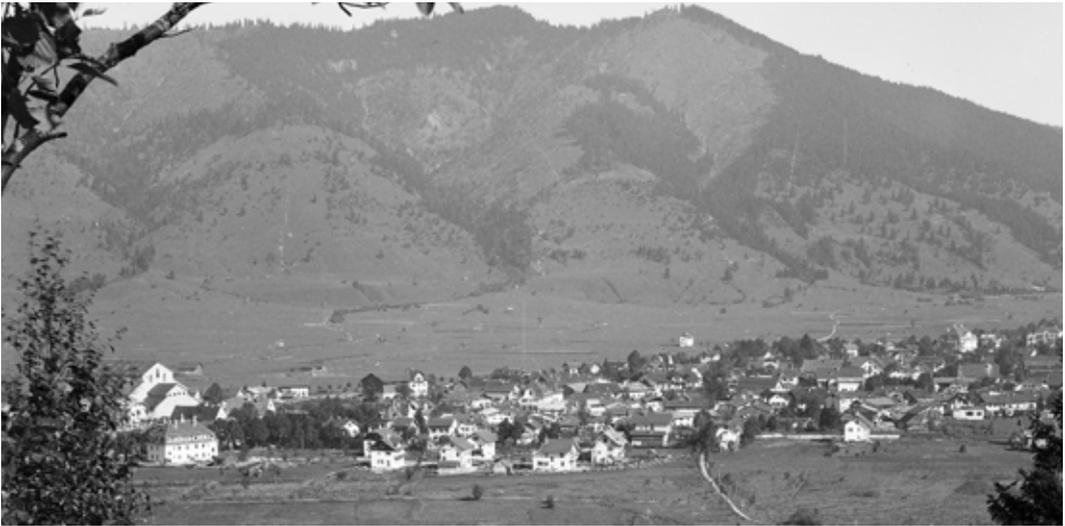


Abb. 15: Foto Projektgebiet „Ammergau“ 1900/1910 und 2020 (© Bayerische Staatsbibliothek München/Bildarchiv, Beckert Max um 1900/1910; Andreas Zellermayr 2020).

7. Diskussion

Das Rekapitulieren von Landbedeckung und Flächennutzung an Hand von historischen Luftbildern erlaubt differenzierte Vergleiche mit dem heutigen Zustand der Landschaft (z.B. EWALD 1978, SCHMITT 1998, PROBST 2009). Diachronische Luftbildvergleiche sind geometrisch genauer als die Auswertung von Gemälden (BELL 2017, FARNBACHER 2021), Katastern und Flurkarten (z.B. JANSEN 2005, BREM 2006), reichen jedoch aus technischen Gründen allenfalls bis in die Zeit des Ersten Weltkriegs zurück.

In der Arbeit wurde mit dem geographischen Informationssystem ArcGIS for Desktop (ArcMap 10.6.1) gearbeitet und mit Hilfe der Klassifikationsmethode „Supervised Classification“ die Luft-

bildanalyse durchgeführt. Bei der Genauigkeitsüberprüfung mit zufällig gesetzten Kontrollpunkten ergab sich bei allen Klassifikationen eine Genauigkeit von über 85 %. Dennoch muss hier beachtet werden, dass nur in zwei Klassen unterschieden wurde und die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Zuweisung damit steigt. Eine weitere zu beachtende Fehlerquelle stellen Schatten durch Waldränder, Bäume oder Berghänge dar. Durch manuelle Bearbeitung und Ausschluss von zusammenhängenden Flächen unter 1.000 m², sollte dieser Fehler minimiert werden. Größere Schatten wurden dabei manuell der korrekten Klasse zugeordnet. Trotz der Korrekturmaßnahmen konnte eine 100 % Genauigkeit nicht erreicht werden. Es müssen daher die Fehlerquellen bei der Betrachtung der Ergebnisse stets beachtet werden.

In unserer Studie beschränken Bodenauflösung der historischen Luftbilder und Schattenwürfe die Genauigkeit der Auswertung auf Waldflächenänderungen mit mindestens 1.000 m². Aus den Schwarz-Weiß-Bildern sind weder Baumarten noch Vitalität der Bäume genau bestimmbar, was einer weiter gehenden Interpretation des Waldzustandes und der tatsächlichen Nutzung enge Grenzen setzt. Es handelt sich hier um Momentaufnahmen des Flächenzustandes von 1945 und 2018. So können beispielsweise Verlichtungen durch Holznutzung einen temporären Zustand darstellen, welcher sich zukünftig jedoch wieder wandeln kann. Das Gebiet unterliegt somit ständiger Veränderung. Deshalb bleibt die Interpretation des Geschehens am Boden oft hypothetisch und sollte durch Befragung von Ortskundigen oder Detailuntersuchungen vor Ort vertieft werden.

Alle untersuchten Projektgebiete, bis auf das Projektgebiet „Wank“, zeigten per Saldo eine deutliche Waldflächenzunahme (Abb. 16). Die größten anteiligen Brutto-Zuwächse wurden in den Gebieten Ammergau und Kreuzeck verzeichnet. Auch am östlichen Abfall des Kramer wurden bedeutende Waldflächenzuwächse festgestellt. Dem standen deutlich geringere Waldflächenverluste, schwerpunktmäßig im Westen des Kreuzeckgebietes gegenüber, welches deshalb mit 6,3% nur den drittgrößten Saldo-Zuwachs an Waldfläche aufwies. Im Wank-Gebiet wurden geringfügige Zuwächse durch Waldflächenverluste an anderer Stelle ausgeglichen.

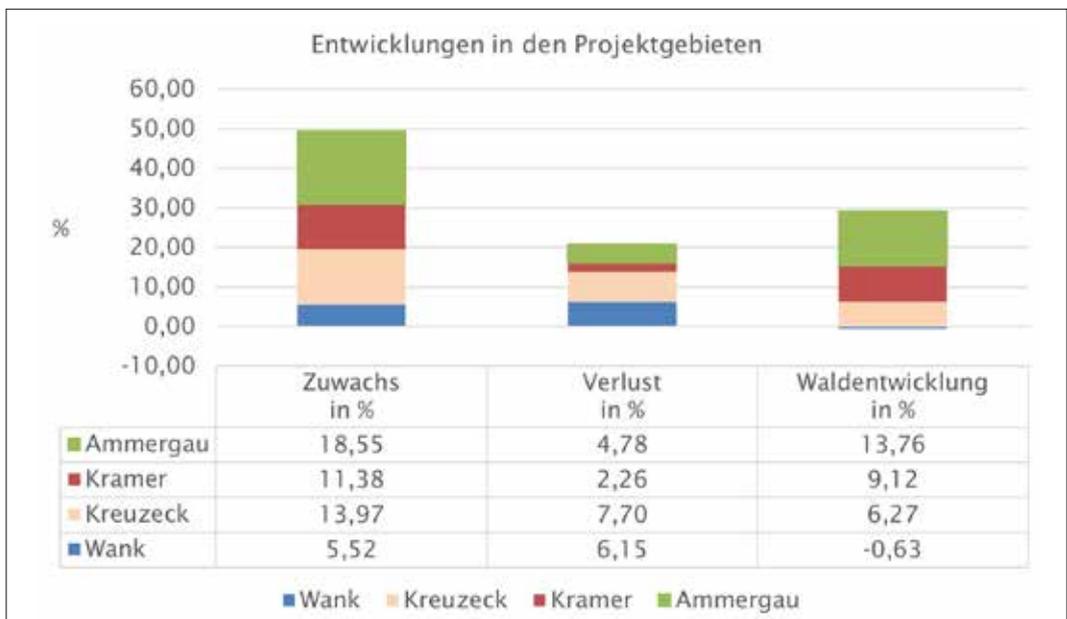


Abb. 16: Waldentwicklung in den Projektgebieten (Andreas Zellermayr 2021).

Werden die Flächenanteile betrachtet, so lassen sich im Projektgebiet „Ammergau“ und „Kreuzeck“ die größten Zuwächse erkennen (siehe Abb. 16). Durch hohe Wasserspeicherkapazität und Nährstoffverfügbarkeit gelten die in den Gebieten anstehenden Mergel des Flysch und der Partnachschichten als hoch produktiv. Fruchtbare Böden begünstigen die Waldflächenentwicklung durch geringe Ausfälle bei Aufforstungen, höhere Baumvitalität und rasches Bestandeswachstum (KLEMMT & EWALD 2012). Der auf den ersten Blick paradoxe Befund, dass relativ fruchtbares Grünland im großen Stil aufgegeben wurde, spiegelt den Wandel der Agrarstruktur wider: Die arbeitsintensive Bewirtschaftung mittlerer Standorte an den Berghängen (z.B. durch Wiesmahd) ist überproportional zurückgegangen, artenreiches Grünland wurde dort im großen Stil durch produktive Wälder ersetzt, während es in den wenigen talnahen Gunstlagen intensiviert wurde (BÄTZING & BARBERIS 1996).

Im Gegensatz herrscht auf den von Kalk und Dolomit dominierten Standorten eine geringere Produktivität von Grünland wie Wald vor. Ursache hierfür ist die einseitige Nährstoffverfügbarkeit bedingt durch einen hohen Carbonatgehalt und die geringere Wasserspeicherung der steinigen Böden. Andere wichtige Nährelement sind für die Pflanzen nur geringfügig verfügbar (WEIS ET AL. 2014). In den Projektgebieten „Kramer“ und „Wank“ ist dies der Fall. Der im Osten des „Kramer“ erkennbare lokale Waldflächenzuwachs wurde bezeichnender Weise auf mergeligen Moränen mit einer guten bis mittleren nutzbaren Wasserspeicherkapazität realisiert. Auch hier erfolgte der Zuwachs somit vermehrt auf den produktiveren Flächen.

Das Projektgebiet „Wank“ unterscheidet sich von den anderen Gebieten, da hier eine geringfügige Waldflächenabnahme zu erkennen ist. Insgesamt zeigt sich hier mit den geringsten Zuwachs- und Verlustanteilen eine bemerkenswerte Konstanz. Das Projektgebiet ist durch kalkige und dolomitische Böden mit geringerer nutzbarer Wasserspeicherkapazität geprägt. Es liegt somit eine geringere Wüchsigkeit im Vergleich zu mergeligen Standorten vor. Die Dynamik von Zuwachs und Verlichtung ist hier gebietsweise so kleinflächig, dass die Analysemethode an Grenzen stößt.

Aus den kontrastierenden Entwicklungen auf fruchtbaren Mergeln und armen Kalken lässt sich die Hypothese ableiten, dass der Landschaftswandel auf Gunststandorten schneller und tiefgreifender abgelaufen ist als auf den Grenzertragsböden der Kalkalpen. Ob die geringere Waldflächendynamik der Letzteren auf die seit jeher höhere Bewaldung oder auf die erfolgreichere Stabilisierung der extensiven Almwirtschaft (RINGLER 1992, 2009) zurückzuführen ist, könnten großflächigere Vergleichsstudien klären.

Im Projektgebiet „Kreuzeck“ werden bedeutende Waldzuwächse durch gleichzeitig hohe Waldflächenverlusten teilweise kompensiert. Der Aufgabe extensiv genutzter Alm- und Wiesmahdflächen auf Partnachmergeln stehen größere Waldflächenverluste in Folge der Herstellung von Forststraßen, Skipisten und Infrastruktur (Wasserspeicher oder Bergstationen) gegenüber. Das Gebiet spiegelt damit im Kleinen den sozioökonomischen Wandel von der traditionellen Landwirtschaft zur technisierten touristischen Nutzung vor dem Hintergrund eines sich per saldo verdichtenden Bergwaldes wider. Die weichen und komplexen Wald-Offenland-Übergänge der historischen Kulturlandschaft wurden ersetzt durch scharfe lineare Grenzen der Flächennutzung.

Während der sozioökonomische Wandel als Haupttreiber der Waldflächenänderung erscheint, lässt sich bei genauer Betrachtung in den großflächig bewaldeten kalkalpinen Gebieten „Wank“ und „Kramer“ ein deutliches Ansteigen der von subalpinen Latschengebüschen und Fichtenwäldern gebildeten Waldgrenze erkennen und der rezenten Klimaerwärmung zuordnen. Am 17 km nördlich

des Gebiets in der Bergwaldstufe gelegenen Hohenpeißenberg nahm das Temperaturjahresmittel seit den 1940er-Jahren von 6,5 auf 7,5° C zu (DWD 2021), was einem Anstieg der Isothermen um ca. 100 Höhenmeter entspricht (EWALD ET AL. 2000; vgl. auch EWALD & KÖLLING 2009) und erhebliche Flächen bis in die Kamm- und Gipfellagen des Gebietes klimatisch waldfähig macht.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen eine deutliche Waldflächenzunahme im Landkreis Garmisch-Partenkirchen. Dabei wurde, außer im Projektgebiet „Wank“, in allen Gebieten ein positiver Saldo zu Gunsten der Waldflächen festgestellt. Die Waldflächenzuwächse waren auf mergeligen, wüchsigen Substraten stärker als auf kalkalpinen, mageren Standorten, wo sich bei hohen Waldanteilen Zuwachs und Verluste die Waage halten. Die Ergebnisse zeigen den dominierenden Einfluss der menschlichen Flächennutzung auf die Waldentwicklung. So zeigen Flächen, welche früher intensiver landwirtschaftlich genutzt wurden, starke Waldflächenzuwächse (Projektgebiete „Ammergau“ und „Kreuzeck“). Die Landwirtschaft hat sich überproportional von mittleren Standorten der Berghänge zurückgezogen zu Gunsten dichter, produktiver Wälder, die örtlich von modernen Erschließungstrassen zerschnitten werden. Dagegen blieb das verzahnte Nebeneinander von lichten Wäldern und Almen auf mageren, marginalen Standorten der Kalkalpen relativ stabil. An der subalpinen Obergrenze der kalkalpinen Bergwälder war parallel zu einer geschätzten Erwärmung um ca. 1°C ein Höherrücken des Latschengürtels bis in die Gipfellagen von 1.900 m feststellbar.

Die Untersuchung zeigt das Potenzial einer teilautomatisierten Auswertung von Luftbildern für die Zeitreihenanalyse auf. Angesichts der komplexen Überlagerung von natürlichen und menschlichen Triebkräften, muss die Fernerkundung mit Geodaten zu Standort (Klima, Relief, Boden) und Landnutzung hinterlegt werden, wenn man zu landschaftsökologischen Deutungen und praxisbezogenen Aussagen gelangen will.

Literaturverzeichnis

- BÄTZING, W., BARBERIS, C. (1996): Landwirtschaft im Alpenraum – unverzichtbar, aber zukunftslos? Eine alpenweite Bilanz der aktuellen Probleme und der möglichen Lösungen. Berlin [u.s.], Blackwell-Wiss.-Verl. (Blackwell Wissenschaft).
- BAYERISCHE STAATSFORSTEN AÖR (2018): Übersicht der Traktergebnisse des Forstbetriebes Oberammergau. Online verfügbar unter https://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/02-waldbewirtschaften/04-jagd/Traktergebnisse_Forstbetriebe_2019/FB_34_Oberammergau.pdf (abgerufen am 04.01.2021).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2015): NATURA 2000 Gebietsrecherche online. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter <https://www.lfu.bayern.de/natur/natura2000/browse/paginate?offset=690&max=30> (abgerufen am 12.12.2020).

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2020): Übersicht aller Download-Dienste des LfU. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/geodatendienste/index_download.htm (abgerufen am 11.12.2020).
- BELL, B. (2017): Landschaftswandel im Raum Murnau. Eine strukturierte Inhaltsanalyse von Bildquellen seit dem 19. Jahrhundert. Bachelorarbeit. Technische Universität München, Freising. Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan.
- BfN (2019): Verzeichnis der in Deutschland vorkommenden Lebensraumtypen des europäischen Schutzgebietssystems NATURA 2000. Bundesamt für Naturschutz. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/themen/natura-2000/lebensraumtypen-arten/lebensraumtypen.html> (abgerufen am 12.12.2020).
- BILL, R. (2016): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 6. Aufl. Berlin und Offenbach, Wichmann.
- BREM, A. (2006): Die Waldflächenentwicklung zwischen 1800 und 2000 im Oberbayerischen Fünfseenland und ihre Abhängigkeit von den Standortseigenschaften. Online verfügbar unter https://www.afsv.de/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft-3-1.pdf (abgerufen am 04.11.2020).
- CIPRA (2018): Die Alpen. Online verfügbar unter <https://www.cipra.org/de/themen/alpenpolitik/alpen> (abgerufen am 18.05.2020).
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2021): Observatorium Hohenpeißenberg. Online verfügbar unter https://dwd.de/DE/forschung/atmosphaerenbeob/zusammensetzung_atmosphaere/hohenpeißenberg/bild/lange_tempreihe.html (abgerufen am 15.01.2021).
- EHRIG, F. R. (1977): Walddegradation und Waldsanierung im Raum von Garmisch-Partenkirchen. Online verfügbar unter https://epub.uni-regensburg.de/28482/1/Ehrig-1977_Walddegradation_-_sanierung_Garmisch.pdf (abgerufen am 06.11.2020).
- EL KATEB, H., STOLZ, M. M., MOSANDL, R. (2009): Der Einfluss von Wild und Weidevieh auf die Verjüngung im Bergmischwald. 20-jähriges Wild-Weide-Experiment bestätigt Schalenwildverbiss. Online verfügbar unter http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau/dateien/a71_wildeinfluss-auf-berg-mischwald.pdf (abgerufen am 29.11.2020).
- EWALD, J., KÖLLING, C. (2009): Wo der Wald an Grenzen stößt. Höhenverbindung der Baumarten in den Nordalpen. Online verfügbar unter <http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a71-wo-der-wald-an-grenzen-stoesst.pdf> (abgerufen am 12.11.2020).
- EWALD, J., REUTHER, M., NECHWATAL, J., LANG, K. (2000): Monitoring von Schäden in Waldökosystemen des bayerischen Alpenraumes.
- EWALD, K. C. (1978): Der Landschaftswandel. Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. Online verfügbar unter <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:14564>.
- FARNBACHER, N. (2021): Der Wald des Werdenfelser Landes 1700 und heute. Ein Vergleich des in den Veduten von Gappnigg dargestellten Waldes mit aktuellen Fotografien.
- GEOPORTAL.BAYERN.DE, BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG, EUROGEOGRAPHICS (gesehen 2020): BayernAtlas. Online verfügbar unter <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&cbgLayer=atkis&catalogNodes=11,122> (abgerufen am 27.11.2020).

- JANSEN, F. (2005): Ansätze zu einer quantitativen historischen Landschaftsökologie: Landschaftsbilanzen und Natürlichkeitsgrade mit Hilfe der Schwedischen Matrikelkarten Vorpommerns. Berlin: J. Cramer (Dissertationes Botanicae, 394).
- KLEMMT, H. J., EWALD, J. (2012): Wachstumskundliche Unterschiede der Waldtypen in den Bayerischen Alpen. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a87_wachstumskundliche_unterschiede_der_waldtypen_in_den_bayerischen_alpen.pdf (abgerufen am 21.04.2021).
- KOLB, E. (2012): Interaktive Karte der Gesteinseigenschaften. Eine neue Substratgliederung bringt schnelle Übersicht und viele Informationen über die Böden der Bayerischen Alpen. TU München. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a87_interaktive_karte_der_gesteinseigenschaften.pdf.
- LANDESAMT FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG (2016–2018): Faltblatt zur Einführung ETRS89/UTM. Online verfügbar unter https://ldbv.bayern.de/file/pdf/12867/Faltblatt_UTM-Umstellung.pdf (abgerufen am 20.11.2020).
- MELLERT, K. H., EWALD, J. (2014): Nutrient limitation and site-related growth potential of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) in the Bavarian Alps. *European Journal of Forest Research* 133 (3), 433–451. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0775-1>.
- OSTLER, J. (2010): Zur Geschichte von Garmisch-Partenkirchen. In: Haus der Bayerischen Geschichte (Hg.). Edition Bayern. Regensburg, Fridrich Pustet.
- PROBST, T. (2009): Landschaftswandel im bayerischen Alpenraum und politische Steuerungsansätze. Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2008. Duisburg, Köln, WiKu.
- KÖLBEL, M. (2013): Regionales Naturschutzkonzept für den Forstbetrieb Oberammergau. Online verfügbar unter https://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/01-ueber_uns/05-standorte/FB_Oberammergau/Naturschutzkonzept_Oberammergau.pdf (abgerufen am 06.11.2020).
- REGER, B., EWALD, J. (2012): Die Waldtypenkarte » Bayerische Alpen «. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a87_waldtypenkarten.pdf (abgerufen am 21.04.2021).
- REICHHART, S., ADELMANN, W. (2020): Zwischen Licht und Schatten: Naturschutz versus Naturgefahrenabwehr am Beispiel des Karbonat-Trockenkiefernwaldes. Online verfügbar unter <https://www.anl.bayern.de/publikationen/index.htm> (abgerufen am 20.04.2021).
- RINGLER, A. (1992): Der Naturschutzbeitrag der Almwirtschaft im Spannungsfeld mit landeskulturellen Zielen. *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 69: 203–233.
- RINGLER, A. (2009): Almen und Alpen. Höhenkulturlandschaft der Alpen. Ökologie, Nutzung, Perspektiven. Hrsg.: Verein zum Schutz der Bergwelt, München. Langfassung (1448 S.) auf CD in gedruckter Kurzfassung (134 S.), zahlreiche Abb., Tab.
- SCHMITT, R. (1998): Wird die Fränkische Schweiz zum Fränkischen Wald? Online verfügbar unter <http://fgg-erlangen.de/fgg/ojs/index.php/mfgg/article/view/122/0>.
- STORY, M., CONGALTON, R. G. (1986): Accuracy Assessment: A User's Perspective. Online verfügbar unter https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1986journal/mar/1986_mar_397-399.pdf (abgerufen am 23.11.2020).

- WALENTOWSKI, H., EWALD, J., FISCHER, A., KÖLLING CHRISTIAN, TÜRK, W. (2013): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz. 3. Aufl. Freising, Verl. Geobotanica.
- WEIS, W., BLUMENTHAL, B., GÖTTLEIN, A. (2014): Wälder der nördlichen Kalkalpen: Ernährung, Wasser- und Stoffhaushalt. Angespannte Nährstoffversorgung typisch für viele Gebirgsstandorte. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a99_waelder_der_noerdlichen_kalkalpen_bf_geschuetzt.pdf_waelder_der_noerdlichen_kalkalpen_bf_geschuetzt.pdf.
- ZELLERMAYR, A. (2021): Verlichtung oder Verdichtung? Vergleich der Waldentwicklung in den Kalkalpen und der Flyschzone des Landkreises Garmisch-Partenkirchen. Masterarbeit. Weihenstephan, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

Anschriften der Verfasser

Andreas Zellermayr
Grünlandstr. 3
85604 Zorneding

Prof. Dr. Olaf Schroth
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Weihenstephaner Berg 5
85354 Freising

Prof. Dr. Jörg Ewald
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Weihenstephaner Berg 5
85354 Freising