

Welche Standortänderungen im Zuge des laufenden Klimawandels sind denkbar in den Bayerischen Alpen, und was hätte das für Konsequenzen für den zukünftigen Wald im Gebirge?

von Anton Fischer, Babara Michler und Hagen S. Fischer

Keywords: *potentielle natürliche Vegetation, Zukunft, forstlicher Standort, Klimawandel, Modellierung, Höhenverschiebung*

Die Atmosphäre wird aufgeheizt. In den Alpen läuft der Temperaturanstieg sogar stärker als in der Umgebung. Am Alpennordrand wird die durch steigende Temperaturen erzeugte Anspannung des Wasserhaushalts der Pflanzen (Stichwort erhöhte Evapotranspiration) aber teilweise der Staulage wegen durch höhere Niederschläge kompensiert. Dennoch stehen, geht der laufende Wandel des Klimas so weiter, auch dem bayerischen Alpenraum grundlegende Änderungen bevor. Das Konzept der „potentiellen natürlichen Vegetation“ (pnV) ist geeignet, Vorstellungen über die Änderungen der Umwelt im Zuge des Klimawandels zu vermitteln. Das Konzept indiziert Standorttypen (also das Zusammenwirken der für das Pflanzenwachstum relevanten Faktoren); sie werden mit dem Namen derjenigen Pflanzen- (meist Wald-) Gesellschaft gekennzeichnet, die unter diesen Bedingungen wachsen könnte. Die „Vegetation“ im pnV-Konzept ist also nur das Etikett; der Inhalt ist „Standort“. Gelingt es, die Zuordnung bestimmter Standorttypen zu Pflanzengesellschaften zu modellieren, so kann man einzelne Umweltfaktoren, z.B. die Temperatur, ändern – und dann zeigt sich, wie sich diese angenommene neue Situation in der Landschaft äußern würde.

Natürlich wird sich das Standortmuster auch in den Bayerischen Alpen ändern. Zunächst noch relativ (im Vergleich zu den Änderungen in Bayern außerhalb der Alpen) wenig, ab 2 K (für den Unterschied von Temperaturen verwendet man die Einheit Kelvin – K – nicht °C) Temperaturerhöhung aber stärker. Der Standort des Bergmischwaldes wird sich in größere Höhen verlagern, auf Kosten zuerst der hochmontanen Fichtenwälder, ab etwa + 3 K auch auf Kosten der alpinen Vegetation. Ein „oberhalb der Waldgrenze“ wird es standörtlich spätestens ab + 4 K in Bayern so gut wie nicht mehr geben. Stattdessen werden ab etwa 3 K Temperaturanstieg zunehmend weite Bereiche der Bayerischen Alpen von Standortfaktoren-Konstellationen eingenommen sein, die es bisher in Bayern nicht gibt, womit der Landnutzer also auch keine eigenen Erfahrungen hat.

Dem neuen (und sich fortlaufend wandelnden) Standortmuster müssen die Pflanzen folgen. Das ist kompliziert und dauert Zeit. Es ist unwahrscheinlich, dass alle Arten gleich schnell wandern werden; einige werden schneller neue geeignete Wuchsplätze erreichen

können, andere langsamer, wieder andere gar nicht. Aber wieder ist die Situation in den Alpen etwas günstiger als außerhalb; denn die zu überwindenden Entfernungen zählen nach hunderten Metern oder einzelnen Kilometern, während sie außerhalb nach dutzenden oder hunderten Kilometern zählen. Allerdings werden die Arten der subalpinen und alpinen Stufe in den Bayerischen Alpen immer weniger geeignete Standorte finden. Die Landnutzung wird also auch in den Alpen nicht auf ein „so wie immer“ setzen können.

Laufende Klimaänderungen

Es wird wärmer. Dieser Erkenntnis kann man sich heute seriöser Weise nicht mehr entziehen. Die Frage ist: um wie viel ist es bereits wärmer geworden und wo wird die Reise hingehen? Die Informationen zum ersten Teil der Frage sind verwirrend, da sie sich meist auf unterschiedliche Zeiträume und unterschiedliche Regionen beziehen. Der Monitoringbericht der Bundesregierung vom November 2019 (UMWELTBUNDESAMT 2019) dokumentiert für Deutschland und für den Zeitraum 1881 bis 2018 einen Temperaturanstieg der Jahresmitteltemperatur (als Flächenmittel) um 1,5 K. Der globale Wert liegt für den gleichen Zeitraum bei 1 K (allerdings mit sehr großen geographischen Unterschieden in der Spanne von etwas bis sehr starkem Anstieg). Der größte Teil des Temperaturanstiegs fand dem Monitoringbericht zu Folge in den letzten 35 Jahren statt. Im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 ist die Temperatur zwischen 1980 und 2010 von 8,2 auf 8,9 °C gestiegen, also um 0,7 K. Der IPCC-Sonderbericht „Global Warming of 1.5 °C“ (IPCC 2018) wählt andere Bezüge, kommt aber zu ganz ähnlichen Ergebnissen.

Nun klingt ein Temperaturanstieg von 0,7, 0,8 oder 1,0 K in einigen Jahrzehnten nicht viel; bedenkt man aber, dass die Weltmitteltemperatur zur Eiszeit nur um gut 4 K tiefer lag als in der vorindustriellen Zeit – dann entspricht die bisherige Temperaturerhöhung immerhin rund 20 bis 25 % des Unterschieds Eiszeit-Nacheiszeit „on top“, und zwar in nur wenigen Jahrzehnten.

Wie es weiter geht, kann lediglich abgeschätzt werden. Eine Temperaturerhöhung um zwei Grad gegenüber dem vorindustriellen Referenzzustand ist aus heutiger Sicht sehr wahrscheinlich; es könnten aber auch drei oder gar vier Grad werden (IPCC 2018).

Die Temperaturänderung ist nicht überall gleich stark. Im Gegenteil gibt es Regionen mit stärkerem bzw. schwächerem Anstieg. Für die Alpen ist ein mindestens doppelt so schneller Temperaturanstieg nachweisbar als deutschlandweit. Auf Basis der DWD-Wetterdaten konnten wir für den Hohenpeißenberg (Observatorium 977 m) am Alpenrand für die letzten 50 Jahre im Vergleich zur vorindustriellen Zeit (1781–1880) bis heute einen Anstieg um 2,4 K berechnen (unpubl.).

Für Pflanzen und Tiere sind die Durchschnittswerte weitgehend unbedeutend. Viel wichtiger ist das Einzelereignis. In Deutschland stieg die mittlere Zahl der Hitzetage (Tagesmitteltemperatur 30 °C und darüber) im Zeitraum von 1992 bis 2018 von drei auf zehn Tage. Spiegelbildlich dazu sank die mittlere Zahl der Eistage im selben Zeitraum von 27 auf 18. In diesem Zeitraum haben sich zudem die Winterniederschläge etwas erhöht, während die Sommerniederschläge etwa gleichgeblieben sind; bei erhöhter Temperatur im Sommer führt das natürlich zu einem angespannten Wasserhaushalt, was sich in einer zunehmenden Trockenheit der Böden widerspiegelt (bisher in den Alpen aber noch kaum nachweisbar) (UMWELTBUNDESAMT 2019).

Das Konzept der potentiellen natürlichen Vegetation

Das Konzept der potentiellen natürlichen Vegetation (pnV) ist ein Standortkonzept (Standort ist das Zusammenwirken von allen Umweltfaktoren, die für Lebewesen an einem bestimmten Ort relevant sind). Es gruppiert alle Standortfaktoren-Konstellationen, die in der realen Landschaft auftreten, zu einer überschaubaren Zahl von Standorttypen (FISCHER 2003). Statt die jeweils zusammenwirkenden Ausprägungen der einzelnen Standortfaktoren aufzulisten (pH x + Jahresniederschlag y + Wasserspeicherkapazität z ...) wird dieser Typ nach derjenigen Vegetation benannt, die ohne Zutun des Menschen bei dieser Standortfaktoren-Konstellation wachsen könnte. Die „Vegetation“ im Begriff „potentielle natürliche Vegetation“ ist also lediglich das Etikett für ein jeweils umfangreiches Set von Standortfaktoren und ihren jeweiligen Ausprägungen/Qualitäten. Sie sagt nicht aus, dass diese Vegetation dort aktuell ist oder dorthin kommen wird. Z.B. ist eine Standortfaktoren-Konstellation (ein Standorttyp) auf Lösslehm in Bayern das Luzulo-Fagetum (Hainsimsen-Buchenwald) – auch wenn an der bewussten Stelle ein Maisacker wächst. Solche pnV-Karten wurden in den letzten Jahrzehnten für kleine Testgebiete bis hin zu ganz Europa erstellt (BOHN et al. 2000/2003); für Bayern gibt es die Karten von SEIBERT (1968) und SUCK & BUSHART (2012).

Die vielen existierenden pnV-Karten sind ausgezeichnet geeignet, um mit einem einfachen Symbol (nämlich dem Namen der Waldgesellschaft, die unter diesen Bedingungen wachsen könnte) zu kennzeichnen, wie an einer bestimmten Stelle „der Standort“ aussieht. Wenn es aber darum geht, Standortänderungen – z.B. solche infolge des laufenden Klimawandels – abzuleiten, bringen solche Karten absolut nichts. Denn es sind eben lediglich gedruckte Karten, bedrucktes Papier. Um das heutige Standortmosaik z.B. in ein wärmeres oder ein wärmer-trockeneres Klima „zu überführen“ muss die pnV-Karte modelliert werden.

Modellierung der potentiellen natürlichen Vegetation

Genau das haben wir für Bayern getan (FISCHER H. S. et al. 2018, 2019). Sämtliche in Bayern flächig verfügbaren oder flächig extrapolierbaren Informationen zur Geographie, Geomorphologie, Geologie, zum Boden mit all seinen Parametern, und natürlich zu allen Klimaparametern wurden erfasst, insgesamt etwa 250. Durch Korrelationsanalyse wurden alle redundanten Parameter identifiziert und gestrichen. Es blieben etwa 24 Parameter, mit denen eindeutig alle Standortfaktoren-Konstellationen Bayerns dargestellt werden können, und zwar auf einem 50 m x 50 m-Raster, das sind gut 28 Millionen Teilflächen in Bayern.

Jetzt lassen sich die Folgen von *Änderungen* der Standortfaktoren auf das Mosaik der pnV-Einheiten (Verteilungsmuster und jeweilige Mengenanteile) exakt aufzeigen; im Modell muss man jetzt „lediglich“ den entsprechenden Parameter ändern (z.B. die Temperatur). Wir haben die Temperatur um 1, 2, 3, 4 bzw. 6 K erhöht und dabei die Niederschläge entweder wie bisher belassen oder um 10% Jahresniederschlag gekürzt bzw. erhöht; hier nutzen wir die Temperaturszenarien +1 K bis +4 K ohne Änderung des Niederschlages. Das sind natürlich sehr vereinfachte Annahmen. Mehr will und kann eine Modellierung aber auch nicht. Sie kann nur sagen: wenn sich ein Standortfaktor qualitativ in bestimmter Weise verändert, wird sich folgendes neue Muster der Verbreitung der pnV-Einheiten einstellen. Dieses „neu einstellen“ geht augenblicklich von Statten! Sobald sich ein Faktor ändert (und das machen wir ja bei der Annahme von z.B. 1 K Temperaturanstieg), ist diese

Situation unmittelbar eingetreten. Eine ganz andere Frage ist, wie die Natur mit der neuen Situation umgeht. Pflanzen müssen neue Gebiete erreichen, und das kostet Zeit. Ein neues Standort-Muster dagegen stellt sich augenblicklich ein.

Unsere pnV-Modellierung (FISCHER H. S. et al. 2018, 2019) zeigt, dass *für Bayern* insgesamt bei einem Temperaturanstieg um 1 K keine pnV-Einheit verloren geht und auch keine (nennenswert) dazu kommen wird; aber das Verteilungsmuster wird sich schon bei + 1 K dramatisch ändern. Für jede Art von Landnutzung, insbesondere für die wegen des langsamen Baumwachstums in langen Zeiträumen denkende Forstwirtschaft ist bereits das fatal, stehen doch die Bäume ggf. auf einmal am falschen Standort! Da die verwendeten Klimadaten i.d.R. die Situation vor zwei bis drei Jahrzehnten darstellen, ist zu konstatieren, dass wir in Bayern in dieser Zeitspanne bereits etwa 1 K „erarbeitet“ haben. Das bedeutet: wir leben heute bereits in einer „neuen“ pnV-Umwelt. Und das wird auch in der Landschaft offensichtlich: der Borkenkäfer bedingte Ausfall der Fichte in vielen Teilen Bayerns und weit darüber hinaus ist ein massiver Hinweis, dass die heutigen Waldbestände in vielen Teilen Bayerns nicht mehr Abbild der aktuellen Standortsituation sind. Bei einem weiteren Kelvin Temperaturanstieg wird es auf etwa einem Drittel der Fläche Bayerns Standortsituationen geben, die bisher in Bayern unbekannt waren, bei 3 K gilt das schon auf etwa zwei Drittel der Fläche.

Mögliche Entwicklungsrichtungen des Standortmosaiks in den Bayerischen Alpen

Auch im *bayerischen Alpenraum* kommt es des laufenden Temperaturanstiegs wegen zu massiven Veränderungen des Standortmusters. Einerseits verläuft die Temperaturerhöhung im Gebirge rascher als außerhalb des Gebirges (s.o.), andererseits sind die Niederschläge dort der Alpenstaulage wegen höher, können also den wegen erhöhter Temperatur stärker angespannten Wasserhaushalt der Pflanzen (Stichwort: erhöhte Evapotranspiration) ein Stück weit abpuffern.

Die flächenmäßig bedeutendste pnV-Einheit am bayerischen Alpen-Nordrand ist der Karbonat-Bergmischwald (*Lonicero alpigenae*-Fagetum, früher auch *Aposerido*-Fagetum genannt). Floristisch entspricht ein *Lonicero alpigenae*-Fagetum dem Waldgersten-Buchenwald (*Hordelymo*-Fagetum) außerhalb der Alpen, aber des am Alpenrand ausgeglicheneren Wasserhaushalts wegen zusätzlich mit groß- und weichblättrigen Pflanzenarten, die selbst kurzfristige Trockenperioden nicht vertragen könnten (z.B. Kleb-Salbei (*Salvia glutinosa*) und Brennesselblättriges Ehrenpreis (*Veronica urticifolia*)), und der kürzeren Vegetationsperiode im Gebirge wegen mit mehr Nadelbäumen, insbesondere mit mehr Fichte (*Picea abies*); eben ein Bergmischwald. Abb. 1 zeigt, was mit dem Standort des *Lonicero alpigenae*-Fagetum am Alpennordrand bei einem Temperaturanstieg um 2 K passiert: sämtliche Ausleger dieses Standorttyps im Alpenvorland gehen verloren (rot); in größeren Höhen zieht sich dieser Standorttyp immer weiter in die Alpen zurück und ersetzt dort den bisherigen Fichtenwald-Standort (blau). Nur im mittleren Bereich bleibt der Standorttyp bei +2 K noch erhalten (grün).

Die pnV für das Wuchsgebiet „Alpen“ (in Bayern) ist in Abb. 2 dargestellt. Abb. 2a zeigt die Situation auf Basis der Klimadaten von 1971 bis 2000 (was üblicherweise als Zeitpunkt „aktuell“ oder „heute“ benannt wird, aber tatsächlich heute bereits nicht mehr existiert). Der Großteil der Fläche wird vom Kalk-Bergmischwald *Lonicero alpinenae*-Fagetum eingenommen (blaugrün), vor allem im Westen des Gebietes, wo der Boden weniger basisch ist, auch vom Waldmeister-Buchenwald

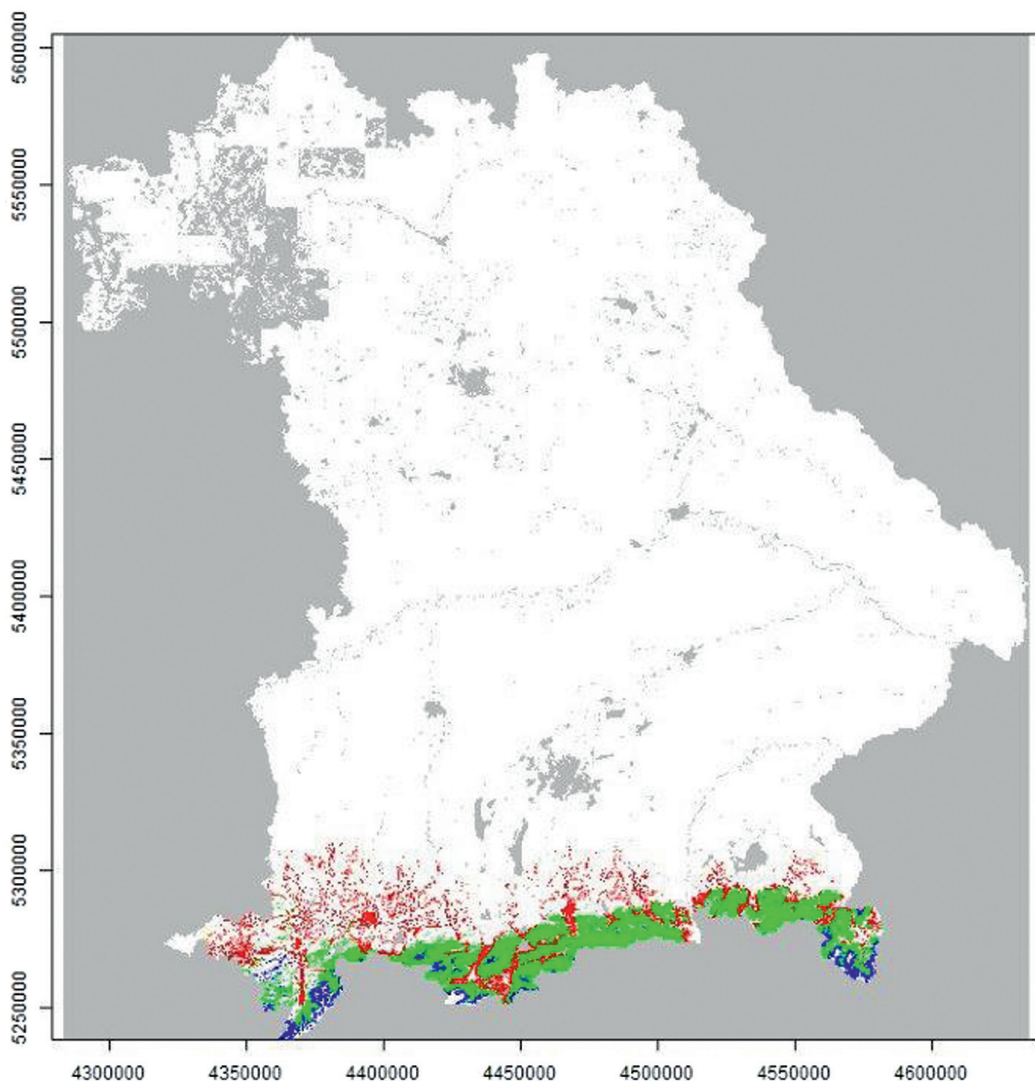


Abb. 1: Das *Lonicero alpigenae*-Fagetum (Karbonat-Bergmischwald) am Bayerischen Alpennordrand im Klimawandel bei einem Temperaturanstieg von 2 K im Vergleich zur Ausgangssituation.

rot: Flächenverlust, grün: unverändert, blau: Flächengewinn, vanillegelb: völlig neue Standortfaktoren-Konstellation.

Galio odorati-Fagetum (sattgrün) und Tannenwäldern (dunkelgrün). Blau sind Auwald-Gesellschaften dargestellt, rot die subalpinen Fichtenwälder (*Piceetea*; in den Bayerischen Alpen überwiegend Alpendost-Fichtenwald *Adenostylo glabrae*-*Piceetum*). Alles oberhalb der Waldgrenze (Latschengebüsche, alpine Rasen und Felsvegetation), also der alpine Raum, ist rosa eingefärbt.

Bei + 1K (Abb. 2b) (das ist etwa die Situation 2020) bleibt das Muster in den Grundzügen noch erhalten. Aber bei + 2 K (Abb. 2c) gehen die Rot-Töne (der subalpine und alpine Bereich) deutlich zurück zugunsten der Ausbreitung des *Lonicero*-Fageten (blaugrün) bzw. im Allgäu dem *Galio*-Fagetum. Bei + 3 K (Abb. 2d) breitet sich vom Alpenvorland her die Farbe Vanillegelb aus; sie besagt, dass die Standortfaktoren-Konstellation, die sich an diesen Stellen einstellt, bisher aus Bayern nicht bekannt ist. Während in

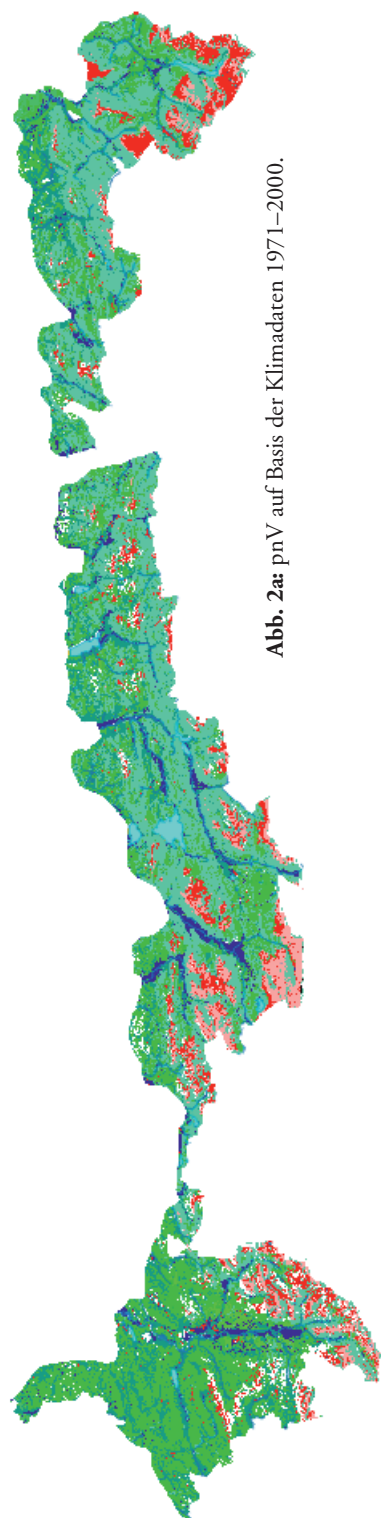


Abb. 2a: pnV auf Basis der Klimadaten 1971–2000.

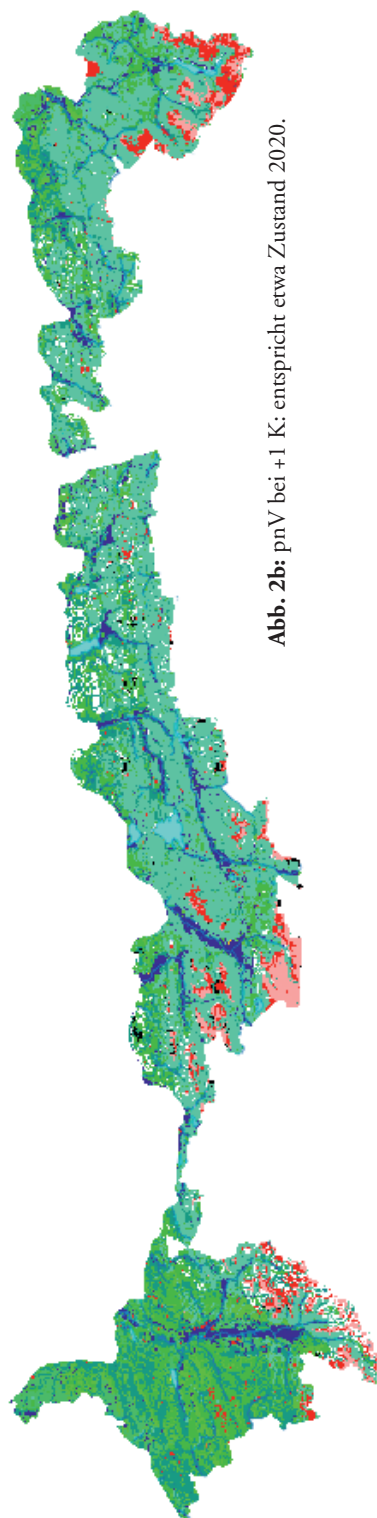


Abb. 2b: pnV bei +1 K; entspricht etwa Zustand 2020.

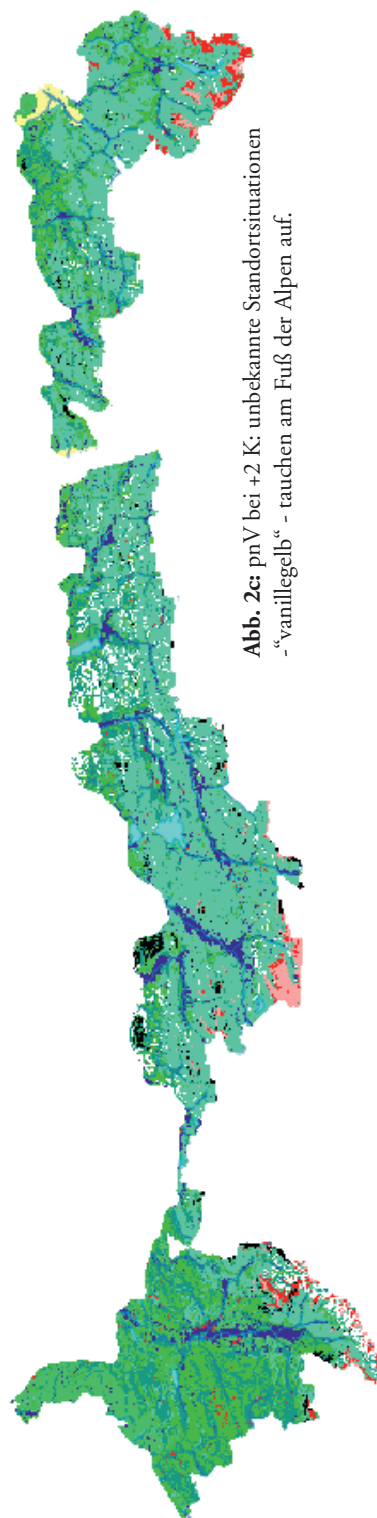


Abb. 2c: pnV bei +2 K; unbekannte Standortsituationen -“vanillegelb“ - tauchen am Fuß der Alpen auf.

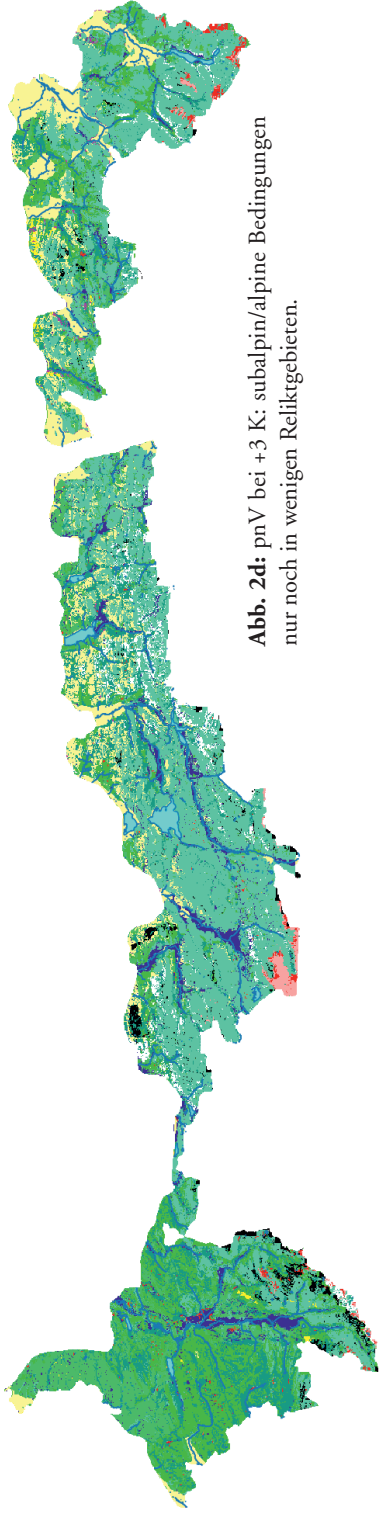


Abb. 2d: pnV bei +3 K: subalpin/alpine Bedingungen nur noch in wenigen Reliktgebieten.

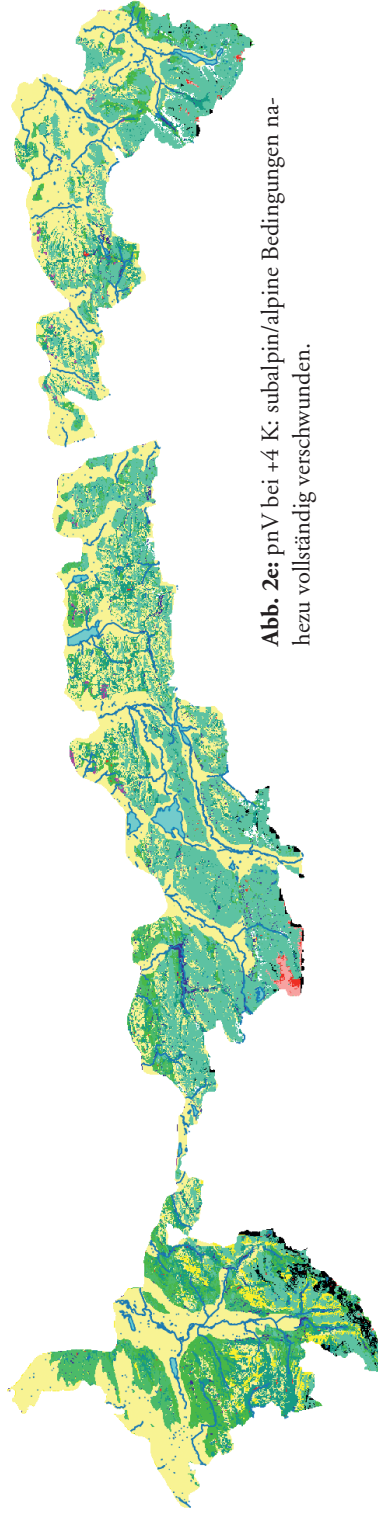


Abb. 2e: pnV bei +4 K: subalpin/alpine Bedingungen nahezu vollständig verschwunden.

Abb. 2: Die potentielle natürliche Vegetation im Wuchsgebiet „Alpen“ vom Berchtesgadener Land (rechts) bis Lindau (links).

Legende:

sattgrün: Waldmeister-Buchenwald (Galio odorati-Fagetum), blaugrün: Karbonat-Bergmischwald (Lonicero alpinigenae-Fagetum), dunkelgrün: Tannenhäuser (Piceetum), rot: Fichtenwälder (Piceetum), rosa: alpine Vegetation, blau: Auen-Vegetation, vanillegelb: Standortfaktoren-Konstellation, die bisher aus Bayern nicht bekannt ist. Einheiten, die nur kleinflächig auftreten, sind hier nicht benannt (sie sind bei der Auflösung der Druckversion auch nicht sichtbar).

Bayern insgesamt bei + 3 K bereits ca. Zweidrittel von dieser „Unkenntnis-Einheit“ eingenommen sind ist sie in den Alpen flächenmäßig noch unbedeutend. Im + 4 K-Szenario allerdings nimmt sie auch in den Bayerischen Alpen erhebliche Flächen ein (vanillegelb). Subalpin-alpine Standortbedingungen (rot bzw. rosa) sind bereits im + 3 K-Szenario fast ganz aus den Bayerischen Alpen verschwunden.

Das Modell erlaubt es, in die Karte hinein zu zoomen. Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt vom Watzmann bis zum Königssee im Nationalpark Berchtesgaden. Die nun sichtbaren Pixel sind die

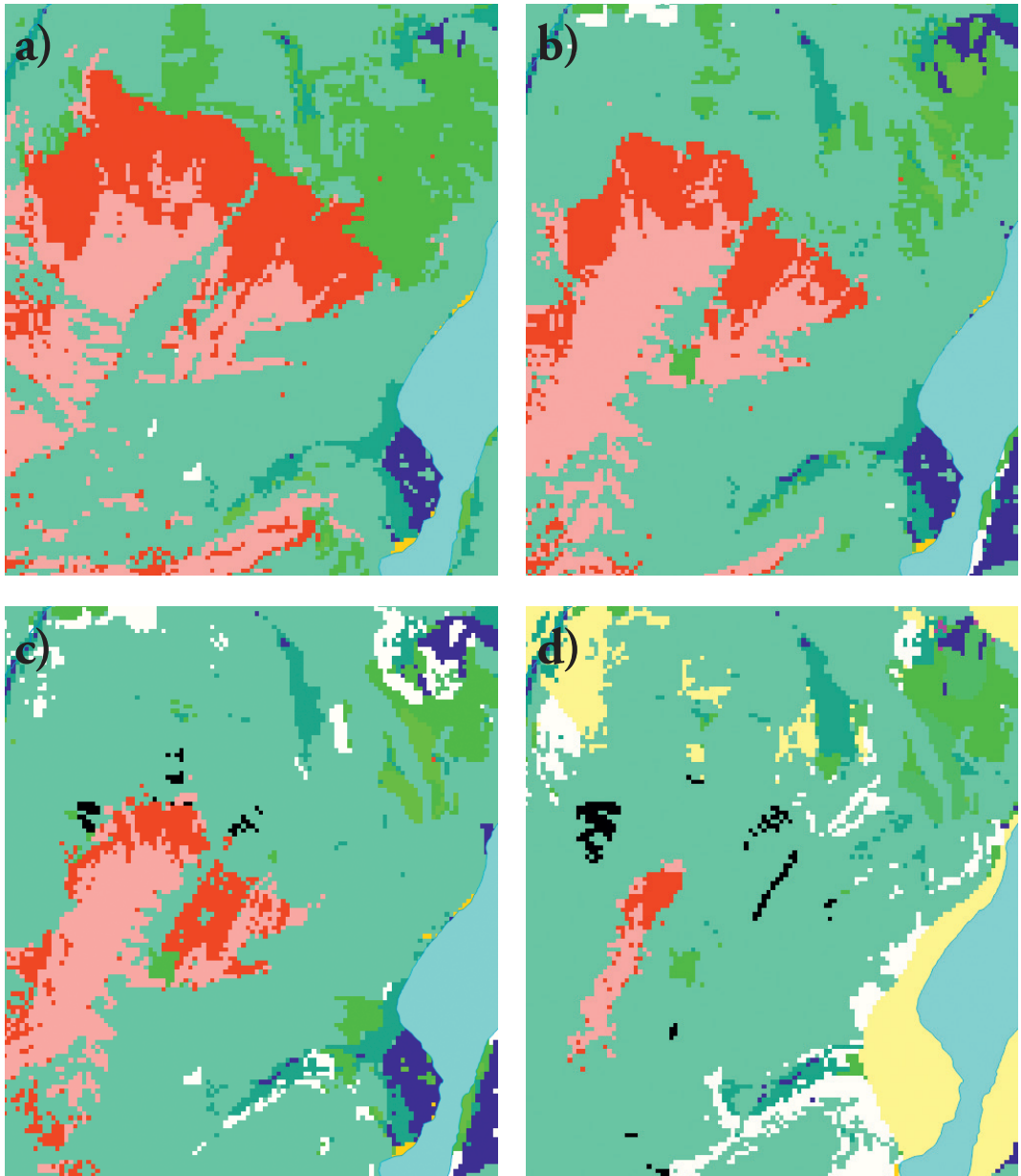


Abb. 3: Die pnV zwischen Watzmann und Königssee im Nationalpark Berchtesgaden 1971–2000 (a), bei +1 K (b), bei +2 K (c) und +4 K (d). Farben siehe Legende zu Abb. 2.

50 x 50 m-Basisflächen der Modellierung. Auffällig ist der mit steigender Temperatur fast vollständige Verlust der Farben Rot und Rosa, also der subalpin-alpinen Standorte, zu Gunsten von Blaugrün, dem Standort des *Lonicero alpigenae*-Fagetum (Karbonat-Bergmischwald). Bei + 4 K hat sich die Standortsituation auf dem kleinen Delta des Eisgrabens bei St. Bartholomae in eine Standortfaktoren-Konstellation geändert, die bisher aus Bayern nicht bekannt ist (vanillegelb).

Was könnte konkret passieren?

Es wird offensichtlich, dass der Alpenraum innerhalb Bayerns diejenige Region ist, in der Temperaturänderungen zunächst vergleichsweise geringe Änderungen im Standortpotential verursachen. Der Grund sind die luvseitigen Steigungsregen am nördlichen Alpenrand, durch welche sich eine Verschiebung der Wasserbilanz bei steigenden Temperaturen (hin zu größerer Trockenheit) zunächst nicht oder wenig auswirkt. Das bedeutet aber keineswegs, dass der Alpenrand vom Klimawandel nicht betroffen wäre. Die Standorttypen wandern gipfelwärts, aber irgendwann sind die Gipfel erreicht – dann verschwinden die bisher dort realisierten Konstellationen von Standortbedingungen schlagartig. Auf diesem Wege sind bis zu einem + 4 K-Szenario die waldfreien Hochlagenbereiche (subalpin, alpin) in den Bayerischen Alpen verschwunden; es gibt dann in Bayern kein „oberhalb der Waldgrenze“ mehr.

Wie würden sich diese Änderungen des Standortmusters (qualitativ wie quantitativ) auf die konkreten Ökosysteme auswirken? Die an einer bestimmten Stelle vorhandene Pflanzenarten-Kombination muss sich ja dann an die vor Ort neu entstandene Standortfaktoren-Konstellation anpassen. Während sich im pnV-Konzept die neue pnV schlagartig einstellt (im pnV-Konzept gibt es keine Zeitachse!) müssen die Organismen auf Standortänderung individuell reagieren: durch besseres oder schlechteres Wachstum (und dadurch geänderte Konkurrenzfähigkeit), durch mehr oder weniger Samenproduktion (und damit geänderte Migrationsfähigkeit). Am leichtesten geht der Wechsel von einem *Lonicero alpigenae*- zu einem *Hordelymo*-Fagetum von Statten. Da das *Lonicero alpigenae*-Fagetum floristisch ein *Hordelymo*-Fagetum mit einigen zusätzlichen Arten (z.B. einigen groß- und weichblättrigen Kräutern und mit Fichte) ist, müssen diese Arten „lediglich“ aussterben, um den Wechsel des Vegetationstyps entsprechend der neuen Standortbedingungen zu realisieren. Aussterben kann vergleichsweise rasch stattfinden. Viel schwieriger ist es dagegen, wenn Arten aus tieferen Lagen, z.B. aus dem *Lonicero alpigenae*-Fagetum, in höhere Lagen hin wandern müssen, wo sich die Standortsituation weg vom bisherigen Fichtenwald hin zum Bergmischwald geändert hat. Die meisten Waldpflanzen sind nicht auf „Wandern“ sondern auf „Bleiben“ hin selektioniert. Diasporen (Früchte oder Samen) müssen in reichlicher Zahl produziert werden, sie müssen transportiert werden, und dass auch noch entgegen der Erdanziehungskraft, und sie müssen sich am Landeplatz etablieren können. Das sind viele komplizierte Prozessschritte, und das braucht Zeit! Aber selbst bei diesem Prozess des „aktiven Wanderns“ ist die Situation in den Alpen noch besser als außerhalb; denn hier liegen die Distanzen zwischen „Startplatz“ und „geeignetem Landeplatz“ oft nur einige hundert Meter oder bestenfalls ein paar Kilometer voneinander entfernt (wenn auch weiter oben), während diese Distanz außerhalb des Gebirges nach Zehnern oder gar Hunderten von Kilometern zählt, und dann auch noch in einer stark fragmentierten Kulturlandschaft.

Auch wenn die Chancen zum „Wandern“ der Pflanzenarten in den Bayerischen Alpen im Zuge des Klimawandels also vergleichsweise günstig sind, leicht ist das nicht. Zudem darf man nicht

erwarten, dass alle Arten, die heute einen realen Bestand irgendeiner Waldgesellschaft ausmachen, sich gemeinsam auf den Weg machen. Jede Art wandert für sich. Wahrscheinlich werden also einige Arten früher, andere später einen Ausbreitungsschritt Richtung neuer potentieller Siedlungsgebiete machen, andere werden vielleicht ganz auf der Strecke bleiben. In der Realität werden wir also beim Wanderungsprozess von einer Auflösung der floristischen Zusammensetzung von Pflanzengesellschaften ausgehen müssen (FISCHER 2008), von einer Neukombination der Arten mit unbekannter Gewichtung der einzelnen Arten (SCHOLES & VAN BREMEN 1997). Mit anderen Worten: die Artenkombination, die sich an einer Stelle im heutigen Fichtenwald bei Klimaänderung einstellen wird, wenn an dieser Stelle dann Lonicero-Fagetum-Standort herrscht, wird wohl nicht dieselbe sein, wie sie es heute in tieferen Lagen ist. Vielleicht werden wir den neuen Bestand dann floristisch nicht einmal als Lonicero-Fagetum ansprechen (aber die Standortbedingungen sind da!).

Unmittelbar betroffen von solchen Änderungen im Standortgefüge wäre im Gebirge die Forstwirtschaft. Zunächst wird die Fichte, auch in den Bayerischen Alpen durch die frühere Landnutzung (z.B. Salinenwirtschaft, königliches Rotwildrevier) stark gefördert, von den unteren Lagen her immer stärker durch Borkenkäferbefall gefährdet sein; an ihrem Wuchsplatz herrschen ja dann keine „Fichten-Klimabedingungen“ mehr, sondern „Buchen-Klimabedingungen“. In der heutigen Fichtenstufe wird der Ersatz der Fichte durch die Arten des Bergmischwaldes voraussichtlich nicht Hand in Hand gehen, sondern eher werden Fichtenbestände großflächig absterben (z.B. durch Borkenkäferbefall), während die Ankunft neuer Baumarten sehr zögerlich von Statten gehen wird. Offene Flächen sind wegen verbesserter Einstrahlung und damit Erwärmung des Bodens dem Humusabbau ausgeliefert (Verschlechterung des Nährstoffhaushaltes und der Wasserspeicherfähigkeit der Böden, MELLERT et al. 2018). Zudem sind sie der Erosion ausgeliefert, und sie ermöglichen die Bildung von Schneelawinen. Damit ist die Schutzfunktion der Wälder im Gebirge stark beeinträchtigt, mit unvorhersehbaren Folgen für die Sicherheit der Infrastruktur. Aus Naturschutzsicht ist vor allem der Verlust der alpinen Vegetation und der damit verbundenen Tier- und Pflanzenarten hervorzuheben, was aber zunächst nur für die Bayerischen Alpen und nicht für die Alpen insgesamt gilt. Aber auch jedes einzelne heute existierende Schutzgebiet, egal ob FFH-Gebiet, Naturschutzgebiet oder Nationalpark, ist betroffen. Geschützte Pflanzen-, Tier- und Pilzarten werden vor Ort ggf. aussterben, andere werden einwandern. So werden sich die Lebensräume für das Hasel- und Auerwild nach oben verlagern, die Lebensräume für das Birkwild werden sich reduzieren, die des Schneehuhns werden spätestens bei einem + 4 K-Szenario verschwinden; geschützte Pflanzengesellschaften bzw. Ökosystemtypen werden sich grundlegend ändern – trotz bestehendem Naturschutzstatus.

Fazit

Der Klimawandel trifft natürlich auch die Alpen, bezüglich Temperaturanstieg sogar stärker als das umgebende Land, bezüglich Trockenheit allerdings in den Nördlichen Kalkalpen abgepuffert durch luvseitige Steigungsregen. Das Modell der zukünftigen pnV zeigt, dass die Standortbedingungen für Wald in den Bayerischen Alpen bis zu einem + 4 K-Szenario fast bis auf die höchsten Spitzen der Berge hinauf steigen werden; weitgehend verschwinden werden dagegen die Standortbedingungen für subalpin-alpine Vegetation. Bis zu einem + 3 K-Szenario werden die Standortbedingungen der heute in den Bayerischen Alpen vorhandenen Waldgesellschaften erhalten bleiben. Das Verbreitungsmuster wird sich aber ändern, insbesondere wird es sich in höhere Lagen verschieben. Ab etwa 3 K Temperaturerhöhungen wird es dann vom Alpenvorland aus in die Bergregion vordringend zudem

Standortfaktoren-Konstellationen geben, die wir bisher aus Bayern nicht kennen, mit denen wir also zunächst auch nicht umgehen können. Da die Orte, an denen die Standortbedingungen einer Waldgesellschaft heute bzw. in Zukunft nahe beieinander liegen, sozusagen in Sichtweite, wird es den Arten im Gebirge leichter fallen, die neuen geeigneten Stellen zu erreichen und erfolgreich zu besiedeln, also das neue Mosaik der Standortpotentiale auszufüllen, als im Flach- oder Hügelland. Insofern signalisiert das Modell der zukünftigen pnV für den bayerischen Alpenrand eine deutlich günstigere Situation als für den Rest Bayerns; allerdings wird in einem + 4 K-Szenario (von dem wir in den letzten drei Jahrzehnten schon gut 1 K erreicht haben) auf bereits mehr als einem Drittel der Fläche des bayerischen Alpenrandes Standortfaktoren-Kombinationen geben, die es heute in Bayern nicht gibt. Berücksichtigt man zudem, dass der Temperaturanstieg im Gebirge deutlich stärker ausfällt als außerhalb, so kann von „Entwarnung“ oder „Beruhigung“ bezüglich der Standort- und Vegetationssituation in den Bayerischen Alpen keine Rede sein.

Literatur

- BOHN, U, GOLLUP, G., HETTWER, C., NEUHÄUSLOVA, Z., SCHLÜTER, H. & WEBER, H. (2000/2003): Map of the natural vegetation of Europe. Scale 1 : 2.500.000. Part 1: Explanatory text, 655 S.; Part 2: Legend, 153 S.; Part 3: Maps. – Landwirtschaftsverlag Münster.
- FISCHER, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde. – 3. Aufl., 421 S., UTB Ulmer.
- FISCHER, A. (2008): Langfristige Umsetzung der FFH-Richtlinie im Lichte globaler Änderungen. – Ber. Reinh.-Tüxen-Ges. 20: 125–137.
- FISCHER H. S., MICHLER, B. & FISCHER, A. (2018): Die zukünftige pnV Bayerns. – LWF aktuell 4/2018: 46–49.
- FISCHER, H. S., MICHLER, B., & FISCHER, A. (2019): High resolution predictive modelling of potential natural vegetation under recent site conditions and future climate scenarios: Case study Bavaria. – Tuexenia 39: 9–40.
- IPCC 2018: Global Warming of 1.5 °C. – SR15_Full_Report_Low_Res.pdf, 630 pp.
- MELLERT, K. H., CANULLO, R., METTE, T., ZICHE, D. & GÖTTLEIN, A. (2018): Die klimatische Trockengrenze häufiger Baumarten hängt vom Bodennährstoffstatus ab. – Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 169(6): 323–331.
- SCHOLES, R. & VAN BREMEN, N. (1997): The effects of global change on tropical ecosystems. – Geoderma 79: 9–24.
- SEIBERT, P. (1968): Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern. 1 : 500.000 mit Erläuterungen. – Schriftenr. Naturkunde 3: 1–84.
- SUCK, R. & BUSHART, M. (2012): Potentielle natürliche Vegetation Bayerns. Erläuterungen zur Karte. Übersichtskarte 1 : 500.000, 4 Vegetationstabellen. – Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg, 113 S.
- UMWELTBUNDESAMT (2019): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel – Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Hrsg. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau, 272 S.
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf.

Danksagung

Wir danken dem „Kuratorium für Forstliche Forschung“ für die Finanzierung des Modellierungsprojektes (L51) sowie der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Freising für die Bereitstellung der benötigten Standortdaten.

Anschrift der Verfasser:

Prof. i.R. Dr. Anton Fischer (ehemals TUM München)
Weiherweg 1
85617 Aßling

Dr. Hagen S. Fischer (ehemals TUM und LWF)
Forchheimer Weg 46
91341 Röttenbach

Dr. Barbara Michler (ehemals TUM und LWF)
Forchheimer Weg 46
91341 Röttenbach