



**WALD.BODEN.KLIMA.WANDEL**  
Wälder und ihre Böden zwischen Arlberg, Appenzell und  
Allgäu im (Klima)Wandel  
Aktuelle Herausforderungen und Lösungsansätze in Wissenschaft und Praxis  
Länderübergreifende Tagung zum Boden des Jahres 2024 – Der Waldboden  
veranstaltet von DBG, ÖBG, BGS und Winalp21

22.-24.10.2024

## EXKURSIONSFÜHRER



Organisationskomitee:

Andreas Amann, Michael Englisch, Jörg Ewald, Karl-Heinz Feger, Peter Hartmann, Gerhard Milbert, Stephan Phillip, Alois Simon, Klaas Wellhausen

Autoren:

Michael Englisch, David Kessler, Lina Horn, Eva Jordan, Judith Schaufler, Anna Schrötter, Franz Starlinger, Thomas Zieher (BFW)

Klaus Katzensteiner, Josef Gadermaier, Balazs Garamszegi, Lisa Layerer, David Morgenbesser, Michael Grabner (BOKU)

Peter Hartmann (FVA)

Bernhard Dinger (ForstBW)

Klaas Wellhausen (LWF)

Manfred Hotter (WLM)

Wien, 2024. Vervielfältigung: Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Seckendorff-Gudentweg 8, 1131 Wien.

**Interreg**  
Bayern-Österreich



**Kofinanziert von der  
Europäischen Union**

## **Einleitung: Zum Exkursionsgebiet**

### **Geologie**

Den Norden unseres Exkursionsgebiets, in dem auch unsere Exkursionspunkte in Baden-Württemberg (Wolfegg) und Bayern (Lindau) gelegen sind, nehmen autochthone bzw. allochtone Molasse ein.

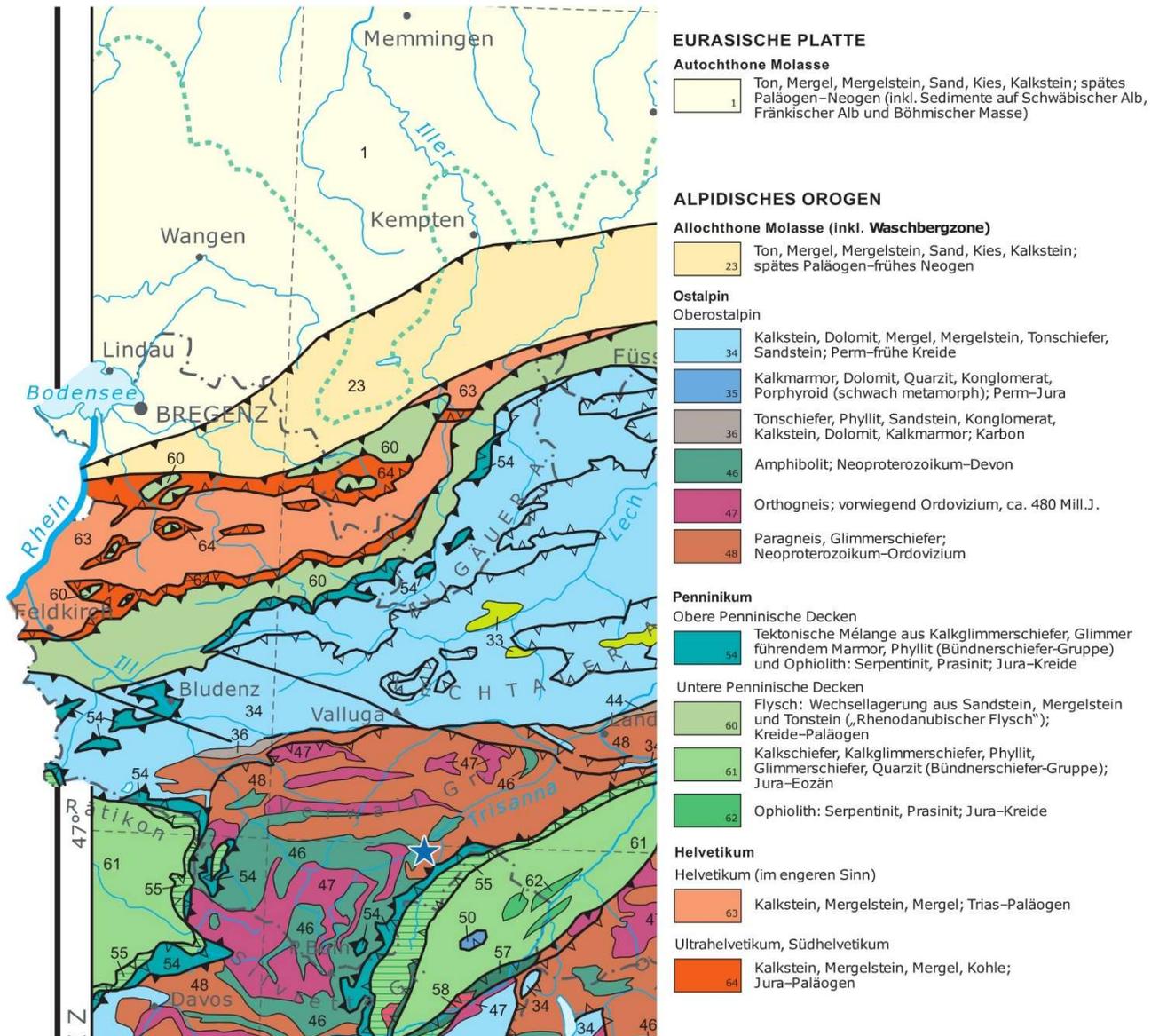
Südlich davon schließt das (Ultra)Helvetikum mit Kalksteinen, Mergelsteinen und Mergeln an, das im Osten, im Bereich Füssen, auskeilt. Teil davon ist die Garschella-Formation, in welcher der Exkursionspunkt Fraxern gelegen ist. Die Formation wurde früher als (Helvetisches) Gault bezeichnet und hat ein Alter von etwas über 100 Millionen Jahren.

Wiederum im wesentlichen südlich schließt das Penninikum an, im Exkursionsraum von Westen nach Osten auskeilend, mit einem Gesteinsbestand aus Flysch, einer Wechsellagerung aus Sand-, Mergel- und Tonstein einerseits und einer tektonischen Melange aus Kalkglimmerschiefer, Marmor, Phyllit und Ophiolit andererseits.

Den Süden unseres Exkursionsgebietes nehmen die Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin) ein, im Bereich westlich von Bludenz durch penninische Schuppen unterbrochen. In diese Einheit fallen unsere beiden im Raum Nenzing gelegenen Exkursionsflächen.

Südlich – außerhalb des Exkursionsgebietes schließen die silikatischen Zentralalpen, mit einem Gesteinsbestand aus Ortho- und Paragneisen, Glimmerschiefern, Amphiboliten und Tonschiefern an.

Die blau strichlierte Linie im Norden der Karte 1 zeigt die Grenze der Vereisung während des Höhepunktes der Würm-Eiszeit. Während der letzten Eiszeit war das gesamte Exkursionsgebiet vergletschert. Moränenmaterial überprägt daher das gesamte Gebiet in unterschiedlichem Ausmass.



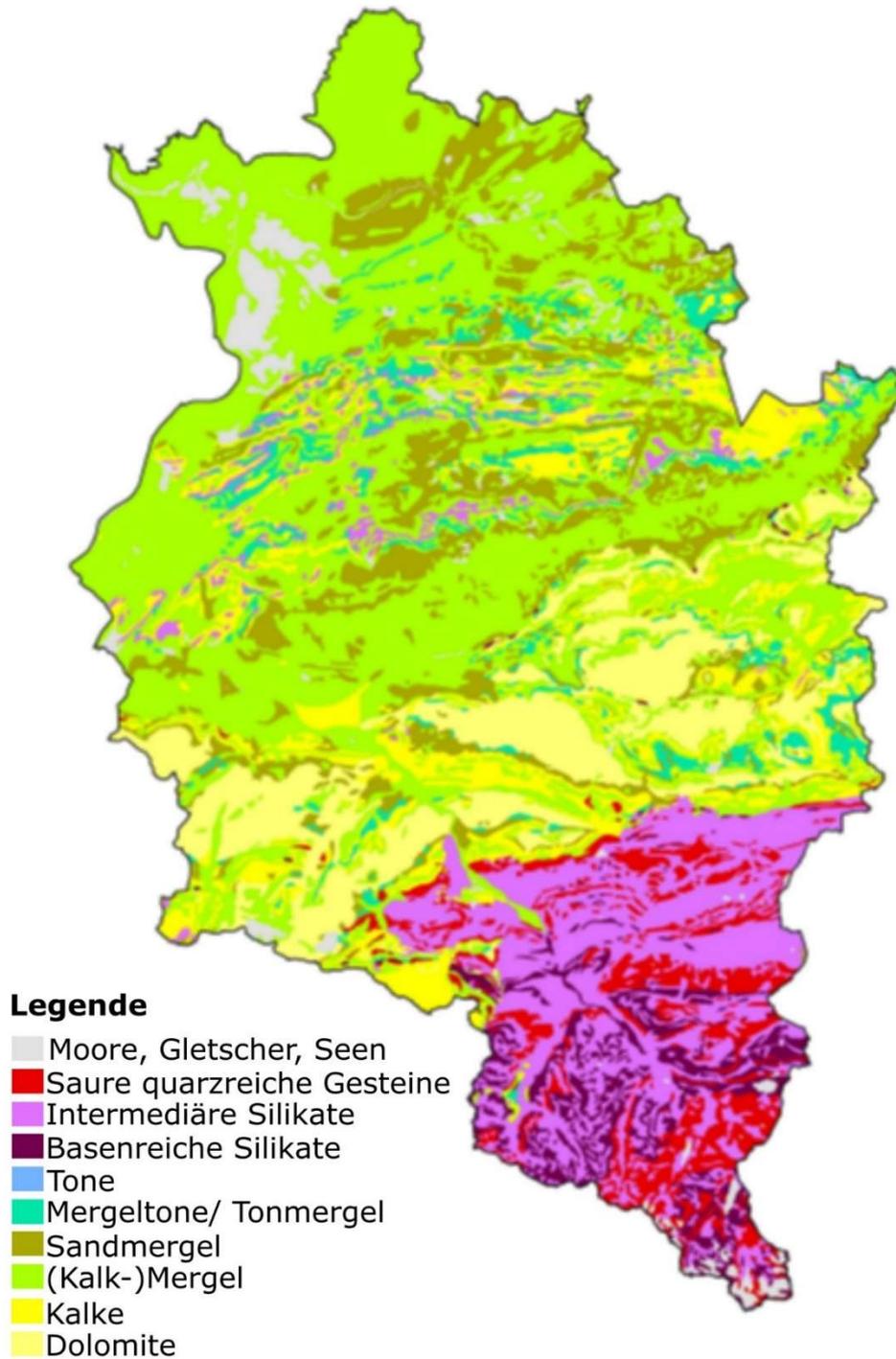
Karte 1: Ausschnitt aus: Schuster et al. (2015): Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1 500 000 (ohne Quartär), Geologische Bundesanstalt Wien.

## Substrate

Für Arbeiten im Rahmen der Waldtypisierung bzw. der Standortkartierung sind geologische Karten aus verschiedenen Gründen nur eingeschränkt verwendbar, da sie ein „abgedecktes“ Bild ohne quartäre Ablagerungen zeigen. Damit kann das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung etwa in Regionen mit hoher Reliefenergie, früherer Vergletscherung u.a.m. nur ungenügend festgestellt werden.

Da es für die Kulturgattung Wald in Österreich im Gegensatz zu landwirtschaftlich genutzten Flächen keine (hochaufgelösten) Bodenkarten gibt, werden im Rahmen der Waldtypisierung ersatzweise Substratkarten erstellt, die auf geologischen Karten basieren und durch Erhebungen im Gelände – speziell in Hinblick auf (subrezente) Deckschichten ergänzt werden. Die Substrate werden in Hinblick auf ihre

Entstehung, sowie ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften (Lithologie) klassifiziert. Karte 2 gibt einen Überblick über die Substratchemie Vorarlbergs. Die Klassen wurden speziell in Hinblick auf Basenreichtum bzw. Carbonatgehalt gebildet. Diese Karten bilden im Projekt WINALP21 im österreichischen Raum eine wesentliche Basis zu Regionalisierung von Bodeneigenschaften.



Karte 2: Substratchemie in Vorarlberg, Klassifikation nach Basenreichtum bzw. Carbonatgehalt (aus: Göttlein & Kolb (2022))

## Klima und Klimawandel

Die folgenden Abbildungen 1 bis 3 aus Lehner et al. (2023) zeigen die Entwicklung wesentlicher Klimaparameter im Raum Vorarlberg und Tirol in den Zeitscheiben „historisches Klima“ sowie 2071-2100. Die ausgewählten Klimaszenarien charakterisieren Lehner et al. (2023) wie folgt:

„MPI-M-MPI-ESM-LR\_rcp45\_r1i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17

Dieses Szenario ist repräsentativ für das Klima, das bei der Einhaltung der Ziele vom Pariser Klimaabkommen 2015 sehr wahrscheinlich ist. Das ausgewählte Modell bewegt sich meist unterhalb des Medians der Jahresmitteltemperatur aller Globalmodelle von SSP1-2.6, das etwa dem 2 °C Ziel entspricht .

MPI-M-MPI-ESM-LR\_rcp85\_r1i1p1\_CLMcom-CCLM4-8-17

Dieses Szenario entspricht einer mittleren Entwicklung, bei dem einige Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels getroffen werden, diese aber nicht für das 2 °C Ziel ausreichen. Das ausgewählte Szenario bewegt sich dabei anfangs nahe dem Median von SSP2-4.5 und nähert sich Ende des Jahrhunderts eher dem SSP3-3.7 an.

ICHEC-EC-EARTH\_rcp85\_r12i1p1\_SMHI-RCA4

Dieses Szenario entspricht einer Welt, in der die soziale und ökonomische Entwicklung einer sich schnell entwickelnden Welt auf der Basis aktiver und verstärkter Nutzung von fossilen Rohstoffressourcen geschieht und mit einem energieintensiven Lebensstil weltweit einhergeht. Maßnahmen zur Vermeidung des Klimawandels werden auf ein Minimum reduziert. Dieses Szenario ist repräsentativ für SSP5-8.5, stellt aber noch nicht die pessimistischste Entwicklung dar, sondern die wahrscheinlichste unter der Annahme, dass der Ausstoß von Treibhausgasen stark zunimmt.“

Diese Szenarien werden, auch in der (hier nicht dargestellten) Zeitscheibe 2035-2065 im Projekt WINALP21 als eine Datenbasis verwendet, um die (räumliche) Entwicklung und Veränderung der Waldtypen im Projektraum darzustellen. Die Arbeiten zur entsprechenden Dynamisierung sind im Projekt WINALP21 derzeit in Arbeit.

Bei diesen Darstellungen ist auch zu berücksichtigen, dass es bereits in der Zeitscheibe 1991-2020 zu einer Erwärmung von etwa 1.3 °C gegenüber der Vorperiode 1961-1990 gekommen ist (Hiebl 2021).

Bei der Interpretation der Daten ist auch zu beachten, dass die Erwärmung über die Zeit nicht linear erfolgt und auch regional unterschiedlich stark ausfallen kann.

Neben der massiven Erwärmung – speziell im Rhein- und Inntal gilt es auch zu beachten, dass damit die Vegetationszeit massiv verlängert wird (Abbildung 2) und im Extremfall regional zu Vegetationsperioden führt, die länger als 300 Tage anhalten. Wiewohl die Veränderung der Niederschlagssumme gering ausfällt (Abbildung 3), ist zu berücksichtigen, dass höhere Temperaturen auch einen höheren Wasserbedarf der Bestände nach sich ziehen. Dies kann besonders in den niederschlagsärmeren Regionen Tirols bzw. auf seichtgündigen und wasserdurchlässigen Böden zu Veränderungen führen.

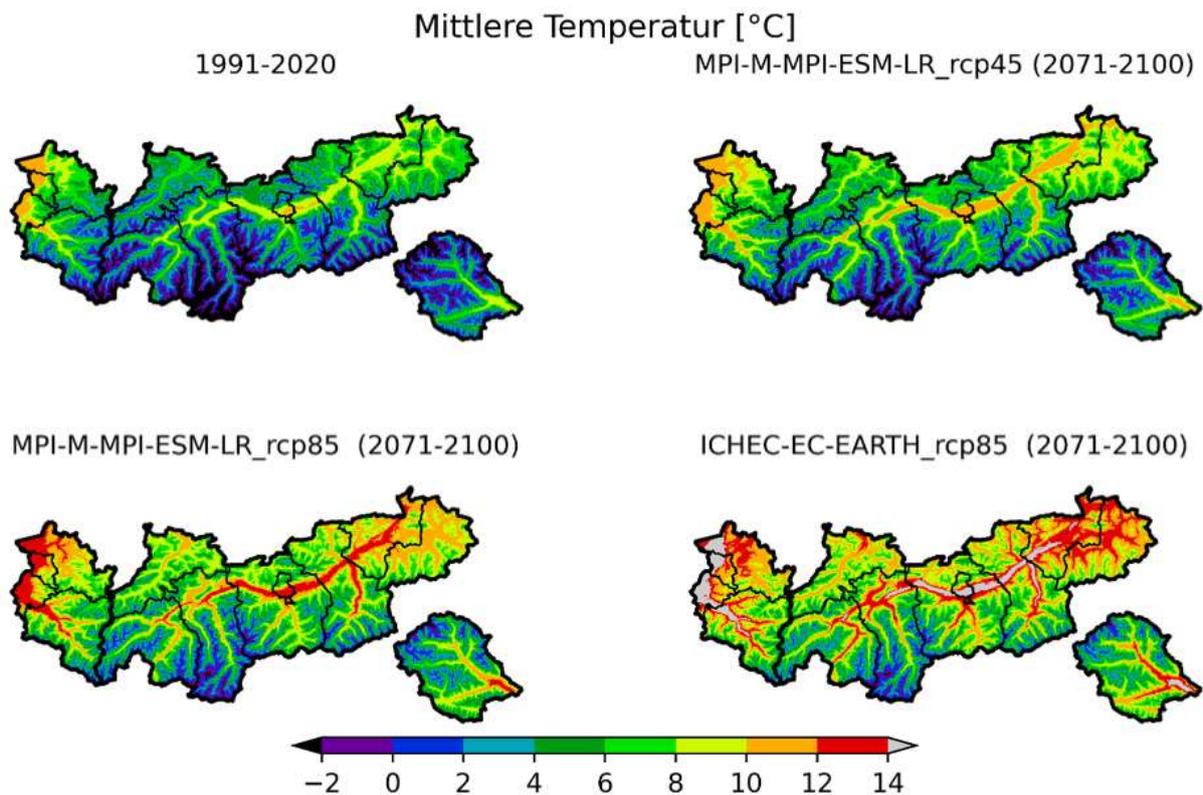


Abbildung 1: Mittlere Jahrestemperatur für den Zeitraum 1991-2020 und für den Zeitraum 2071-2100 für die 3 Klimamodelle. Die zu erwartende zusätzliche Erwärmung liegt zwischen etwas über einem Grad (rcp45 und bis zu fünf Grad (aus: Lehner et al. 2023))

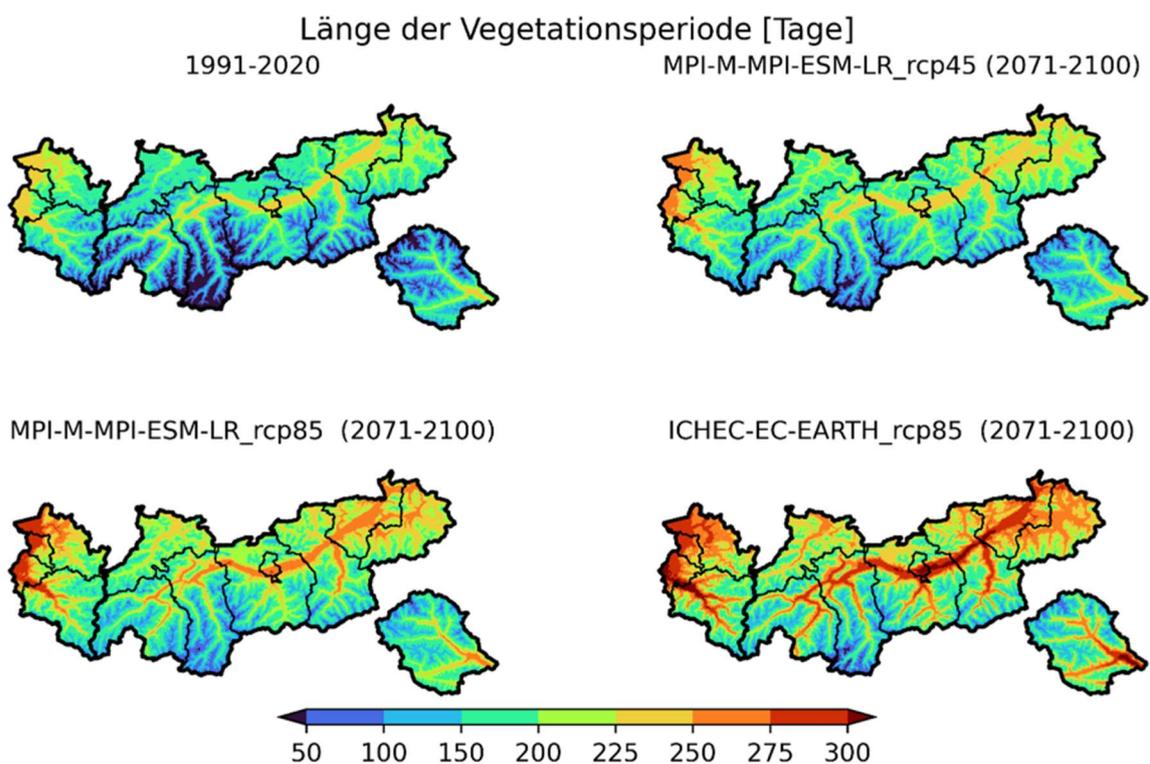


Abbildung 2: Länge der Vegetationsperiode für den Zeitraum 1991-2020 und für den Zeitraum 2071-2100 für die 3 Klimamodelle (aus: Lehner et al. 2023).

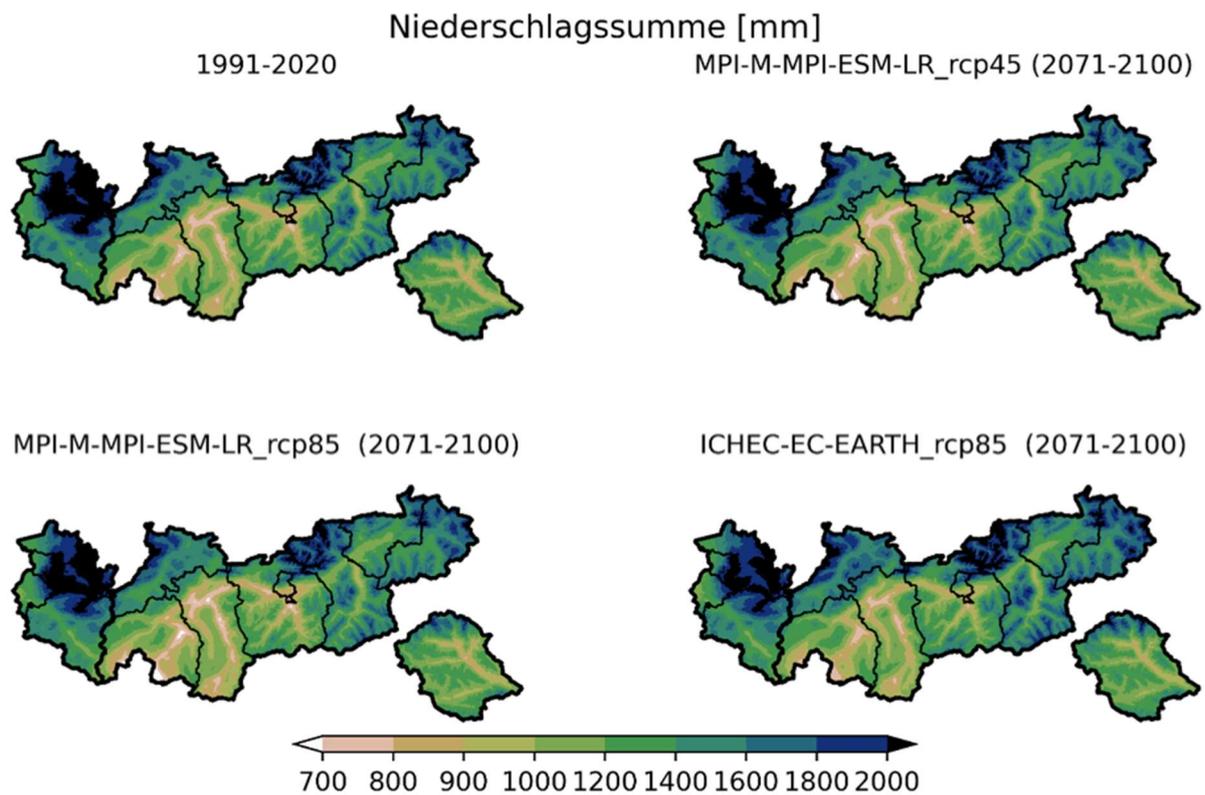


Abbildung 3: Niederschlagssumme (mm) für den Zeitraum 1991-2020 und für den Zeitraum 2071-2100 für die 3 Klimamodelle (aus: Lehner et al. 2023).

In Tabelle 1 sind die mittlere Lufttemperatur, die Niederschlagssumme, die klimatische Wasserbilanz sowie die Länge der Vegetationsperiode der Vorarlberger Exkursionspunkte in den Zeitscheiben 2036-2065 sowie 2071-2100 für die 3 Klimamodelle dargestellt.

Tabelle 1: Klimaparameter der Vorarlberger Exkursionspunkte in den Zeitscheiben 2036-2065 sowie 2071-2100 für die 3 Klimamodelle

Point ID 5719 STO2 - Nenzing Intensiv	1991 - 2020	2036 - 2065		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	5,4	6,4	6,7	7,7
Psum [mm]	1532,6	1572,0	1543,4	1594,7
WBAL [mm]	887,0	898,2	866,3	887,1
VEGPER [days]	182	190	202	209

Point ID 3178 STO3 - Gamperdonatal	1991 - 2020	2036 - 2065		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	6,5	7,4	7,7	8,7
Psum [mm]	1541,9	1580,2	1556,4	1613,8
WBAL [mm]	951,5	973,0	946,0	978,5
VEGPER [days]	194	200	213	222

Point ID 3105 STO1 - Götzis	1991 - 2020	2036 - 2065		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	6,5	7,5	7,7	8,6
Psum [mm]	1607,0	1667,3	1625,9	1655,0
WBAL [mm]	994,5	1040,2	996,7	998,0
VEGPER [days]	201	210	214	232

Point ID 5719 STO2 - Nenzing Intensiv	1991 - 2020	2071 - 2100		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	5,4	6,8	8,5	10,2
Psum [mm]	1532,6	1509,5	1479,0	1502,9
WBAL [mm]	887,0	813,3	737,7	719,1
VEGPER [days]	182	199	219	242

Point ID 3178 STO3 - Gamperdonatal	1991 - 2020	2071 - 2100		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	6,5	7,9	9,6	11,2
Psum [mm]	1541,9	1514,7	1482,2	1532,6
WBAL [mm]	951,5	888,8	817,3	835,4
VEGPER [days]	194	206	227	254

Point ID 3105 STO1 - Götzis	1991 - 2020	2071 - 2100		
		MPI-ESM-LR RCP4.5	MPI-ESM-LR RCP8.5	ICHEC-EC-EARTH RCP8.5
Tmean [°C]	6,5	7,9	9,5	10,8
Psum [mm]	1607,0	1588,3	1586,4	1549,9
WBAL [mm]	994,5	937,8	903,3	826,5
VEGPER [days]	201	213	232	257

## Wald in Vorarlberg

Die Waldfläche Vorarlbergs umfasst 99.000 ha, das entspricht einem Bewaldungsprozent von 38,1 im Bundesland. Von diesen 99.000 ha sind 4.000 ha Blößen und 11.000 ha unbegehrter Schutzwald nach Definition der Österreichischen Waldinventur. Die restlichen 84.000 ha gliedern sich in 63.000 ha Ertragswald und 21.000 ha Schutzwald außer Ertrag.

Der Ertragswald wird bei weitem durch Fichte dominiert, mit Abstand folgen Buche und Tanne. Der Schutzwald außer Ertrag wird von Strauchflächen dominiert.

*Tabelle 2: Waldflächen, Betriebsarten und Baumarten in Vorarlberg nach Österreichischer Waldinventur, Periode 2016/21*

### ÖSTERREICHISCHE WALDINVENTUR

Waldfläche / Baumarten / Betriebsarten  
REGION: Vorarlberg  
PERIODE: 2016/21

BFW	WALDFLÄCHE		ERTRAGSWALD								SCHUTZWALD außer ERTRAG	
	gesamt		gesamt		Wirtschaftswald		Ausschlagwald		Schutzwald im Ertrag			
	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±
Fichte	33	4	29	4	22	3	0	—	7	1	4	1
Tanne	6	1	6	1	5	1	0	—	1	0	0	—
Lärche	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Weißkiefer	1	—	1	—	1	—	0	—	0	—	0	—
Schwarzkiefer	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Zirbe	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
sonstiges Nadelholz	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
<b>SUMME NADELHOLZ</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>36</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>—</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>
Rotbuche	8	2	8	2	5	1	0	—	2	1	0	—
Eiche	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
sonstiges Hartlaub	8	1	7	1	6	1	0	—	1	1	1	0
Weichlaub	2	1	2	1	1	0	0	—	1	—	1	—
<b>SUMME LAUBHOLLZ</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>—</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Blößen	1	—	1	—	1	—	0	—	0	—	0	—
Lücken	9	1	7	1	6	1	0	—	2	1	1	1
Sträucher	3	0	2	0	1	0	0	—	0	—	1	0
Strauchflächen	13	3	0	—	0	—	0	—	0	—	13	3
<b>GESAMT</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>63</b>	<b>6</b>	<b>49</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>—</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>4</b>
Holzboden außer Ertrag	4	1										
Schutzwald unbegehrter	11	2										
<b>GESAMT WALD</b>	<b>99</b>	<b>7</b>										

Der Holzvorrat Vorarlbergs beträgt knapp 28 Mio. Vfm, mit fast 23 Mio. Vfm dominieren die Nadelhölzer, wobei die Fichte hier mit knapp 18 Mio. Vfm die mit Abstand wichtigste Baumart ist. In Bezug auf den Vorrat tauschen wenig überraschend gegenüber der Flächenanteile die Tanne und die Buche Plätze.

Alle anderen Baumarten überschreiten die Marke von 1 Mio. Vfm nicht, lediglich Bergahorn und Esche kommen dieser nahe.

*Tabelle 3: Vorrat nach Betriebsarten und Baumarten in Vorarlberg nach Österreichischer Waldinventur, Periode 2016/21*

ÖSTERREICHISCHE WALDINVENTUR



Vorrat / Baumarten / Betriebsarten  
 REGION: Vorarlberg  
 PERIODE: 2016/21

	VORRAT		ERTRAGSWALD		SCHUTZWALD außer ERTRAG	
	1000 Vfm	±	1000 Vfm	±	1000 Vfm	±
Fichte	17 823	2 419	16 535	2 387	1 288	546
Tanne	4 595	916	4 439	913	156	—
Lärche	29	—	29	—	0	—
Weißkiefer	342	—	324	—	18	—
Schwarzkiefer	0	—	0	—	0	—
Zirbe	59	—	0	—	59	—
Weymouthskiefer	0	—	0	—	0	—
Douglasie	0	—	0	—	0	—
sonstiges Nadelholz	41	—	41	—	0	—
<b>SUMME NADELHOLZ</b>	<b>22 889</b>	<b>2 814</b>	<b>21 368</b>	<b>2 777</b>	<b>1 521</b>	<b>658</b>
Rotbuche	2 711	583	2 599	575	112	—
Eiche	53	—	53	—	0	—
Hainbuche	0	—	0	—	0	—
Esche	728	257	690	252	37	—
Ahorn	903	212	831	203	73	—
Ulme	117	53	60	26	58	—
Edelkastanie	0	—	0	—	0	—
Robinie	0	—	0	—	0	—
Sorbus und Prunus	107	46	106	46	2	—
Summe Hartlaub	4 620	777	4 339	763	281	—
Birke	27	—	27	—	0	—
Schwarzerle	0	—	0	—	0	—
Weißerle	100	—	100	—	0	—
Linde	34	—	34	—	0	—
Aspe, Weiß-, Silberpappel	18	—	18	—	0	—
Schwarzpappel	0	—	0	—	0	—
Hybridpappel	0	—	0	—	0	—
Baumweide	29	—	29	—	0	—
sonstiges Laubholz	0	—	0	—	0	—
Summe Weichlaub	208	85	208	85	0	—
<b>SUMME LAUBHOLZ</b>	<b>4 828</b>	<b>785</b>	<b>4 547</b>	<b>770</b>	<b>281</b>	<b>—</b>
<b>GESAMT</b>	<b>27 717</b>	<b>3 210</b>	<b>25 915</b>	<b>3 181</b>	<b>1 802</b>	<b>704</b>

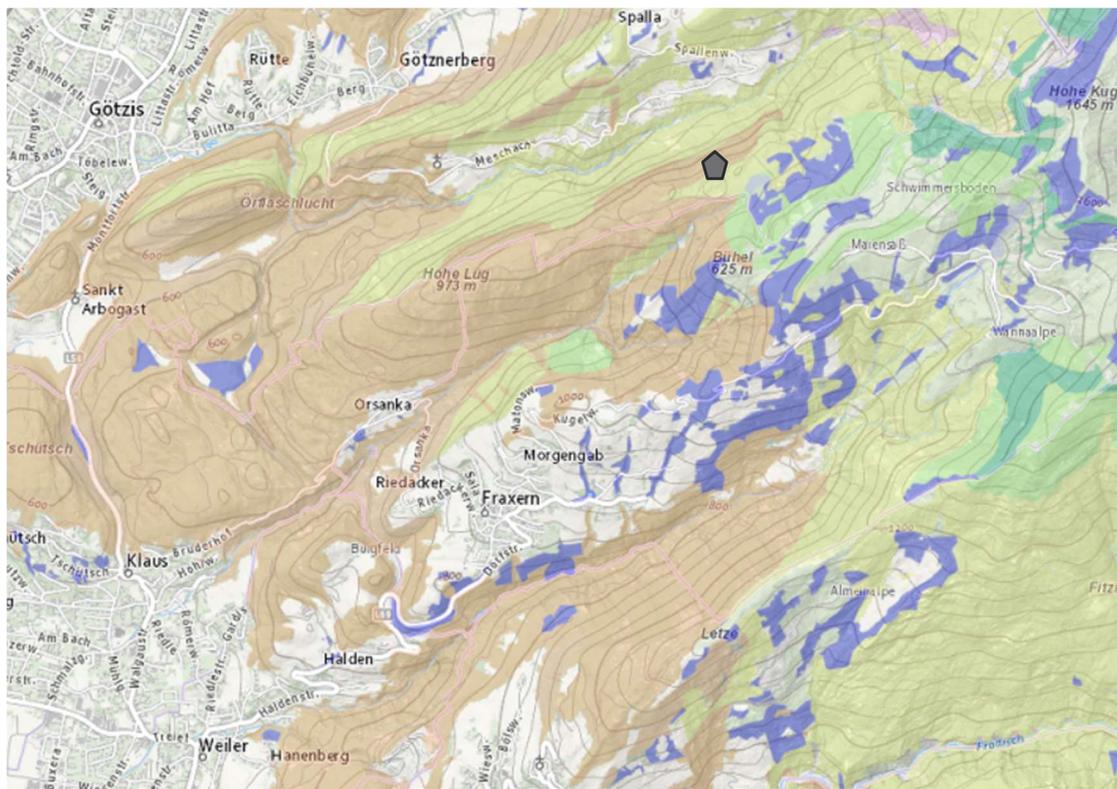
Tabelle 4 zeigt die Einordnung der Waldflächen Vorarlbergs in Bezug auf die potenzielle natürliche Waldgesellschaft. Dazu wird ein einfacher Schlüssel (Müller, Manuskript, o.J.) verwendet, der die Klassifikation in 26 Waldgesellschaften nach Mayer (1993) und Ott et al.1991 ermöglicht. In Vorarlberg sind demnach Fichten-Tannen-Buchenwälder, gefolgt von Subalpinen Fichtenwäldern und Fichten-Tannenwäldern von größter flächiger Bedeutung. Latschengebüsche, Bergahorn-Eschenwälder, Grünerlengebüsch und Montane Fichtenwälder erreichen flächenmäßig eine gewisse Bedeutung, während alle anderen Gruppen von untergeordneter Bedeutung sind.

Tabelle 4: Verteilung der Waldfläche in Vorarlberg auf Betriebsarten und potenzielle natürliche Waldgesellschaften nach Österreichischer Waldinventur, Periode 2016/21



Waldfläche / potentielle natürliche Waldgesellschaften / Betriebsarten  
 REGION: Vorarlberg  
 PERIODE: 2016/21

	WALDFLÄCHE		ERTRAGSWALD								SCHUTZWALD außer ERTRAG	
	gesamt		gesamt		Wirtschaftswald		Ausschlagwald		Schutzwald im Ertrag			
	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±	1000 ha	±
Lä-Zi	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Lärche	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Subalp. Fi	13	3	7	2	3	1	0	—	4	1	5	2
Montan. Fi	4	—	3	—	3	—	0	—	0	—	1	—
Fi-Ta	12	3	10	3	10	3	0	—	1	—	1	—
Fi-Ta-Bu	31	5	30	5	23	4	0	—	7	2	1	—
Buche	3	1	3	1	3	1	0	—	0	—	0	—
Ei-HBu	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
bodens. Ei	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
thermophil. Ei	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Ki-StEi	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Linden	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Bergahorn	2	1	2	1	1	1	0	—	1	—	0	—
BAhorn-Esche	5	2	4	2	4	2	0	—	0	—	1	—
Bach-Esche	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
SErle-Esche	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
SErle-Bruch	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Grauerle	1	—	1	—	1	—	0	—	0	—	0	—
Spirke	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Ki-Bi-Moor	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Karbonat-Ki	1	—	1	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Silikatkiefer	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Schwarzkiefer	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—
Grünerle	4	2	0	—	0	—	0	—	0	—	4	2
Latsche	7	2	0	—	0	—	0	—	0	—	7	2
Auwald	1	—	1	—	1	—	0	—	0	—	0	—
<b>GESAMT</b>	<b>84</b>	<b>7</b>	<b>63</b>	<b>6</b>	<b>49</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>—</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>4</b>
Schutzwald unbegebar	4	1										
Holzboden außer Ertrag	11	2										
<b>GESAMTWALD</b>	<b>99</b>	<b>7</b>										

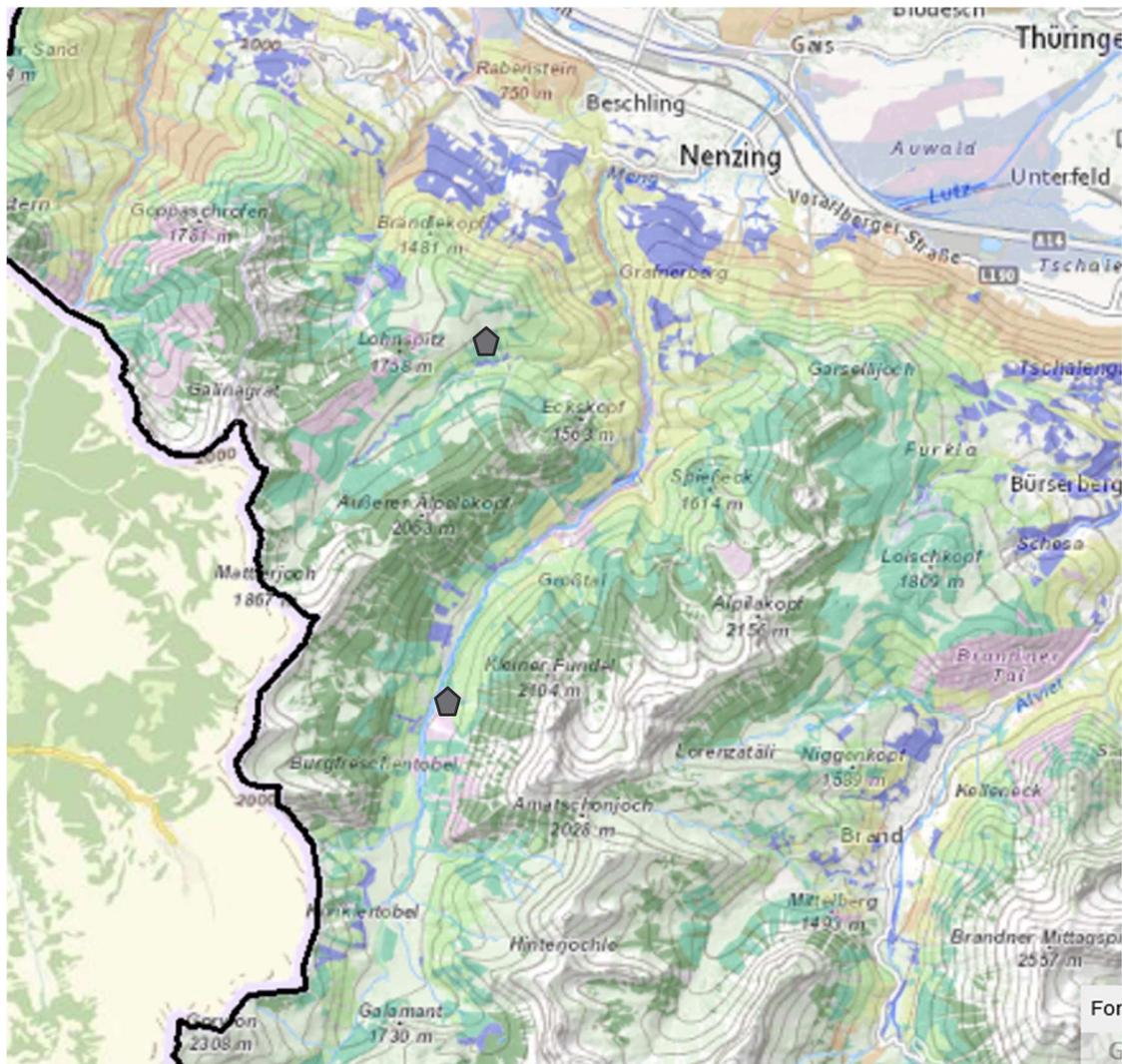


Karte 3: Ausschnitt aus der Waldkarte Vorarlberg

<https://atlas.vorarlberg.at/portal/map/Forst%20und%20Agrar/Wald>, Exkursionspunkt 1

**Waldkarte:**

- Auwald, Weidengebüsch
- Buchen-Tannen-Fichtenwald
- Buchenwald
- Fichtenwald
- Gruenerle
- Kiefern-, Spirkenwald
- Latsche
- Laubmischwald
- Laerchen-, Zirbenwald
- Moorwald, div. Dauerstadien
- Pionierbestockung, Aufforstung, Verbrachung
- Tannen-Fichtenwald



Karte 4: Ausschnitt aus der Waldkarte Vorarlberg

<https://atlas.vorarlberg.at/portal/map/Forst%20und%20Agrar/Wald>, Exkursionspunkte 2 und 3

**Waldkarte:**

- Auwald, Weidengebüsch
- Buchen-Tannen-Fichtenwald
- Buchenwald
- Fichtenwald
- Gruenerle
- Kiefern-, Spirkenwald
- Latsche
- Laubmischwald
- Laerchen-, Zirbenwald
- Moorwald, div. Dauerstadien
- Pionierbestockung, Aufforstung, Verbrachung
- Tannen-Fichtenwald

## Literatur

Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Forstwesen (Vc), Zabanini A. und Hiebeler C. (Hrsg.) 2014: Handbuch der Vorarlberger Waldgesellschaften. Gesellschaftsbeschreibungen und waldbaulicher Leitfaden. Waldkarte abgerufen am 1.10.2024 auf

<https://atlas.vorarlberg.at/portal/map/Forst%20und%20Agrar/Wald>

Göttlein A. (Projektleiter) & Kolb E. (Projektbearbeiter) (2022): Abschlussbericht für das Projekt "Erstellung einer Substrat- und Nährstoffnachhaltigkeitskarte für die Waldflächen des Bundeslandes Vorarlberg", TU München, Freising Weihenstephan, 25 S.

Hiebl J. (2021): Die anormale Klimaperiode 1991-2020. Einordnung und Hilfestellung. Klimawandel – Einflussfaktoren und Ausprägungen. CCA Fact Sheet Nr. 34.

Lehner F., Maier P., Perny K., Klisho T., Formayer H. (2023): Gegenwärtige und zukünftige bioklimatische Parameter für Tirol (BIOCLIM Tirol) und Vorarlberg (BIOCLIM Vorarlberg).

Mayer H. (1993): Wälder der Ostalpenraumes, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

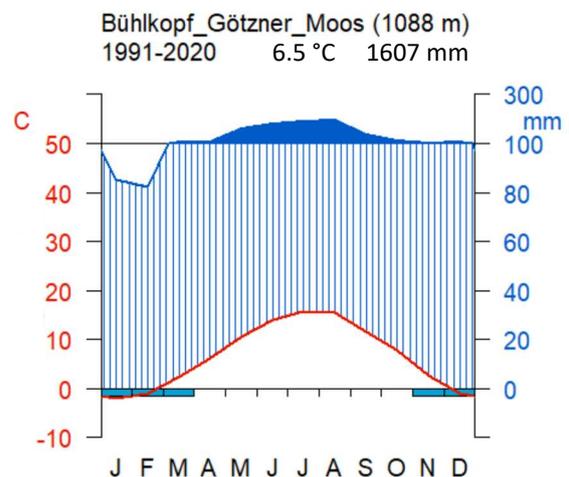
Ott E., Lüscher F., Frehner M., Brang P (1991): Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. Schweizer. Zeitschr. F. Forstwesen 142, 11, S.879-904.

Schuster R., Egger H., Krenmayr H.G., Linner M., Mandl G.W., Matura A. Nowotny A., Pascher G., Pestal G., Pistotnik J., Rockenschaub M., Schnabel W. (2015): Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1:1 500 000 (ohne Quartär), Geologische Bundesanstalt Wien.

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (2024): Österreichische Waldinventur. <https://www.waldinventur.at/#/> abgerufen am 1.10.2024

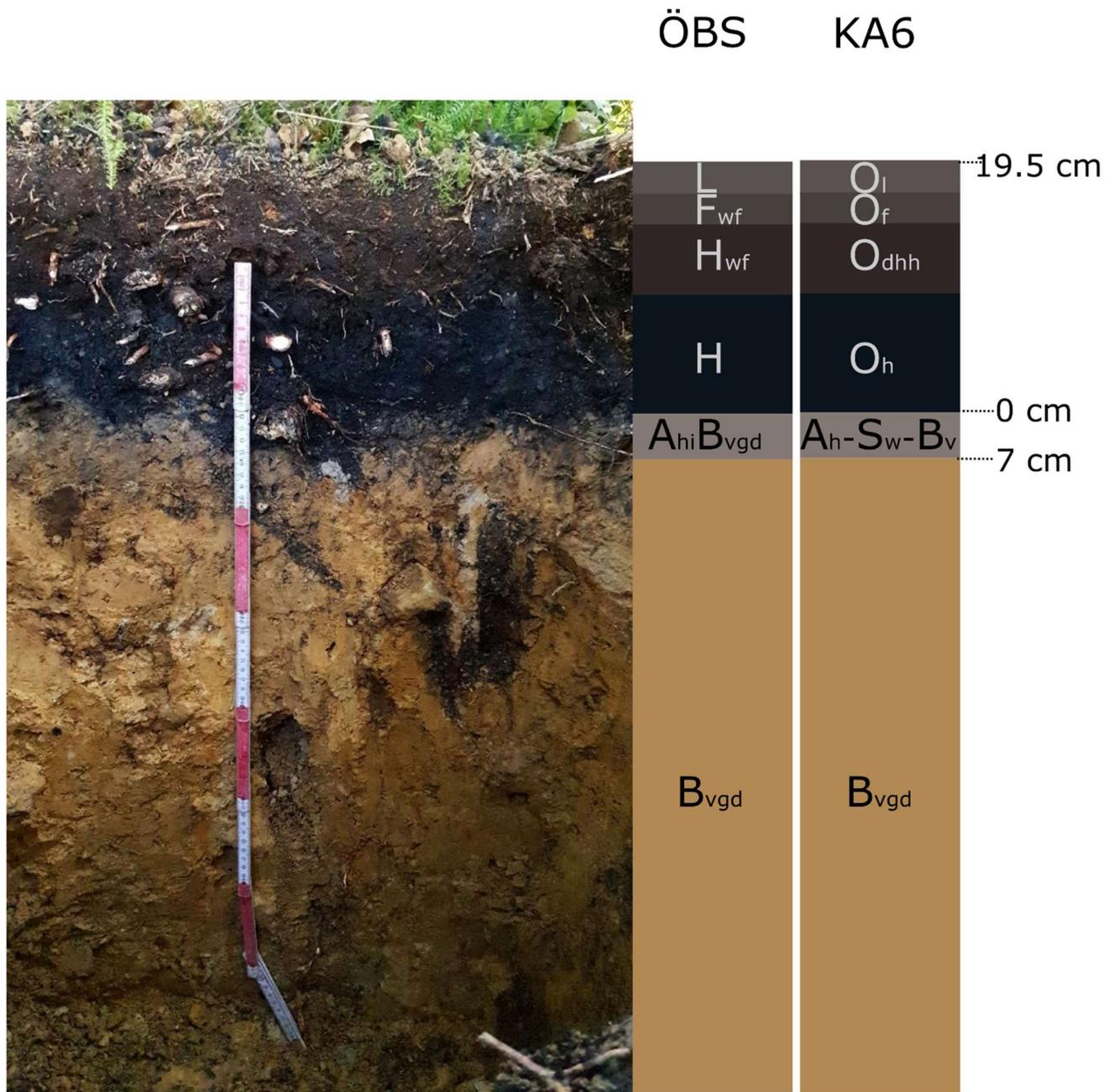
## 1. Standortdaten

Bodentyp (ÖBS/ KA6): pseudovergleyte Braunerde/  
flach pseudovergleyte Braunerde  
Humusform (ÖBS/ KA6): Aktiver Rohhumus/ Rohhumus  
Geologie: Garschella-Formation  
Makro-/Mesorelief: Rücken/ Hangverflachung  
Seehöhe [m]: 1088  
Exposition [Gon]: 343  
Hangneigung [%]: 14  
Waldgruppe: Fichten-Tannen-Buchenwald, sehr frisch,  
basenunterversorgt (FTB5u)  
Wuchsgebiet: 4.1 - Nördliche Kalkalpen (Westteil)

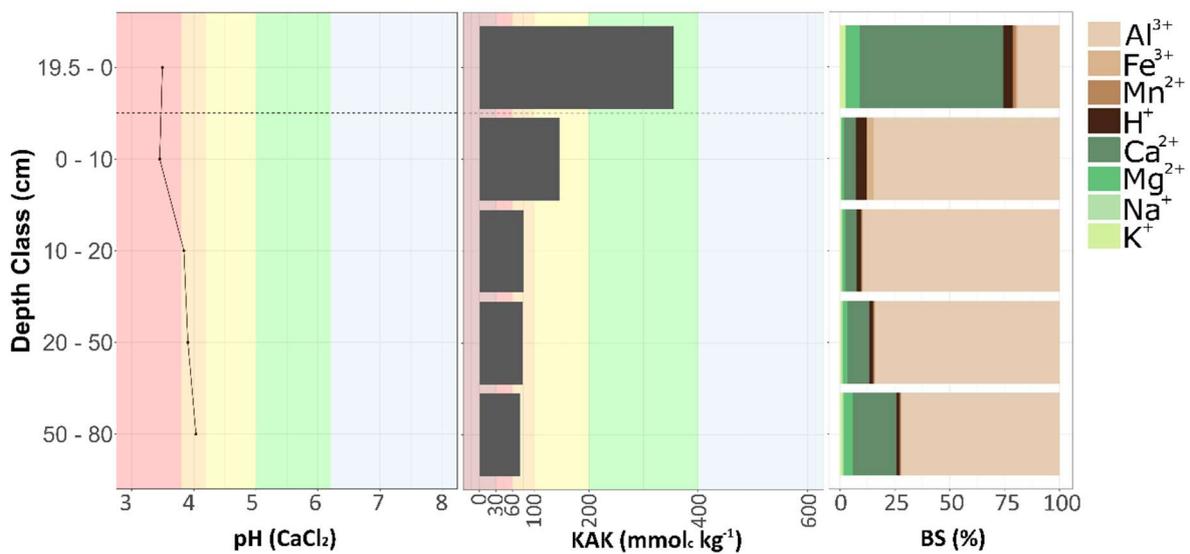


## 2. Bodenprofil

---



### 3. Chemische Bodenkennwerte



#### Bodenacidität und Carbonat

Tiefe	pH	CaCO <sub>3</sub>
cm	CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>
19.5 - 0	3,5	<4
0 - 10	3,5	<4
10 - 20	3,8	<4
20 - 50	3,9	<4
50 - 80	4	<4

#### Kohlenstoff, Stickstoff, Verhältnisse

C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	C/S	C/P
g kg <sup>-1</sup>				
352	10,4	34	327	635
33	1	34	290	190
6	0,5	13	98	54
5	0,4	13	85	50
4	0,4	11	62	41

#### Austauschbare Kationen

Tiefe	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	KAK	ACE	BCE	BS
cm	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>											%
19.5 - 0	0,85	8,53	232,03	22,62	5,25	67,8	2,25	15,62	355	91	264	64
0 - 10	0,38	0,72	7,94	1,59	0,17	123,88	4,67	7,14	146	136	11	7
10 - 20	0,44	0,45	4,18	1,07	0,29	72,39	0,32	1,67	81	75	6	8
20 - 50	0,44	0,55	7,71	1,79	0,37	66,21	0,23	1,49	79	68	10	14
50 - 80	0,43	0,76	14,77	3,24	0,52	53,86	0,04	1,12	75	56	19	26

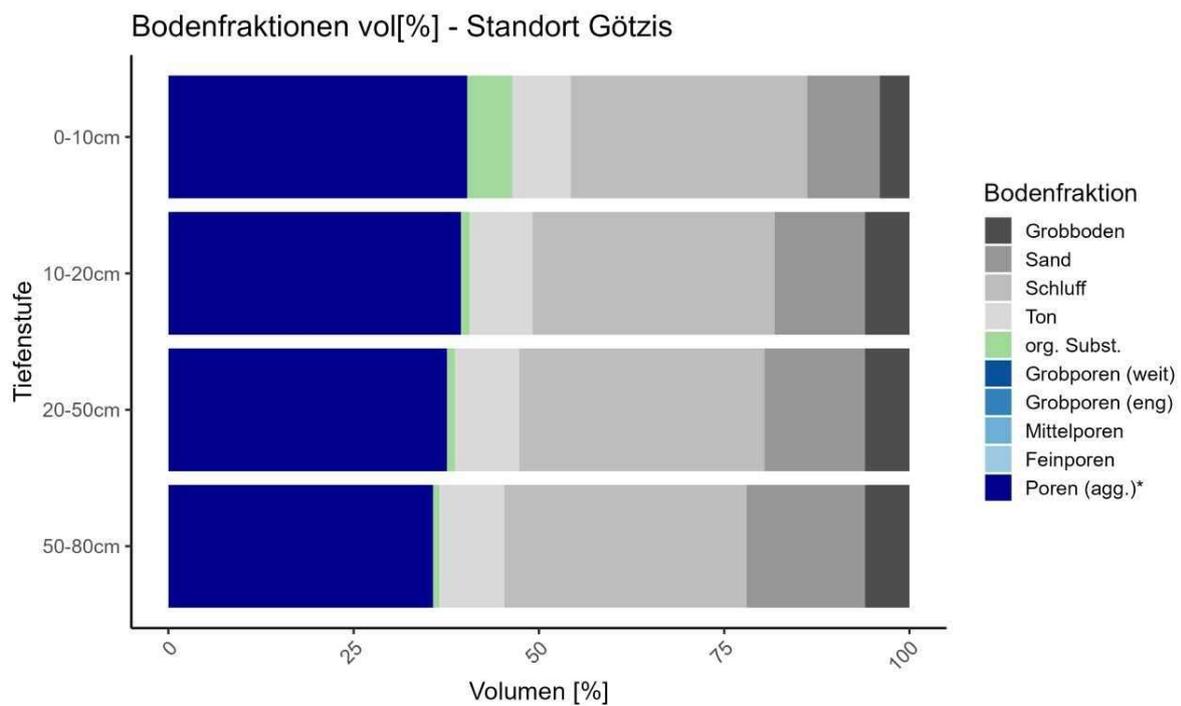
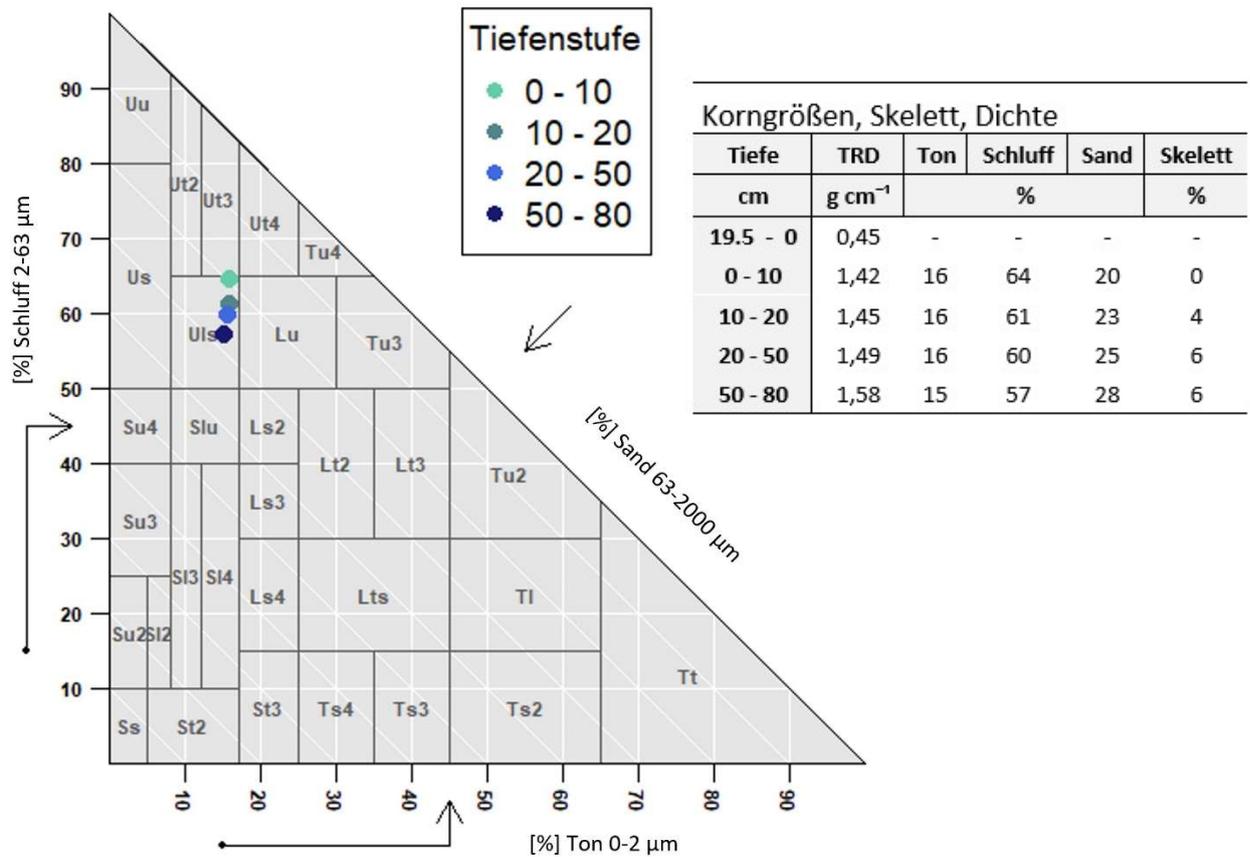
Standort 1: Bühlkopf - Götzis

Vorräte langfristig							Vorräte kurzfristig		
Tiefe	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	P	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
cm	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					kg ha <sup>-1</sup>		
19.5 - 0	312	9216	491	1086	5808	846	295	8232	487
0 - 10	46	1361	243	1582	615	2068	40	451	55
10 - 20	8	626	156	1193	429	3588	24	232	36
20 - 50	23	1822	458	4160	1555	12154	90	1298	183
50 - 80	19	1765	450	5550	2186	15562	131	2632	350
<b>SUMME</b>	408	14790	1798	13571	10593	34218	580	12845	1111

Elemente im Säureauszug								Verhältnisse Kationen	
Tiefe	S	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Ca/Al	Mg/Al
cm	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>			
19.5 - 0	1,08	0,55	1,2	6,6	1	6,7	7,5	3,42	0,33
0 - 10	0,11	0,17	1,1	0,4	1,5	18,7	14,6	0,06	0,01
10 - 20	0,06	0,11	0,9	0,3	2,6	24,3	19,4	0,06	0,01
20 - 50	0,06	0,11	1	0,4	2,9	28,1	20,5	0,12	0,03
50 - 80	0,07	0,1	1,2	0,5	3,5	35,8	22,8	0,27	0,06

Schwermetalle											
Tiefe	Mn	Cu	Zn	Co	Cr	Ni	Pb	Cd	As	V	
cm	mg kg <sup>-1</sup>										
19.5 - 0	232	10	61	1	9	7	30	0,59	4	25	
0 - 10	146	6	34	2	17	7	15	0,06	6	39	
10 - 20	188	8	55	5	24	13	16	0,05	6	46	
20 - 50	251	10	67	8	26	17	18	0,05	7	48	
50 - 80	377	14	92	15	31	26	23	0,06	9	51	

## 4. Physikalische Bodenkennwerte



## 5. Vegetation

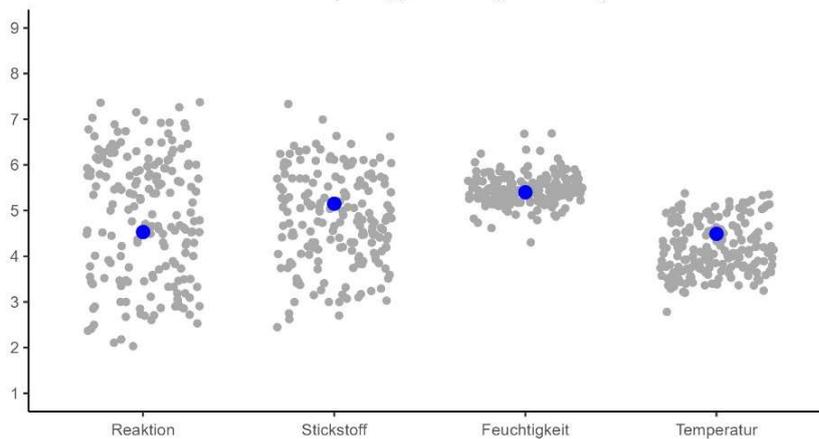
**Baumarten im Bestand:** Fi dominant, Bu subdominant, Ta beigemischt, BAh einzeln

**Aktuelle Waldgesellschaft:** *Pyrolo-Abietetum typicum*

**Pot. nat. Waldgesellschaft:** *Galio odorati-Fagetum gymnocarpietosum* ~ Waldtyp FTB5m, mm

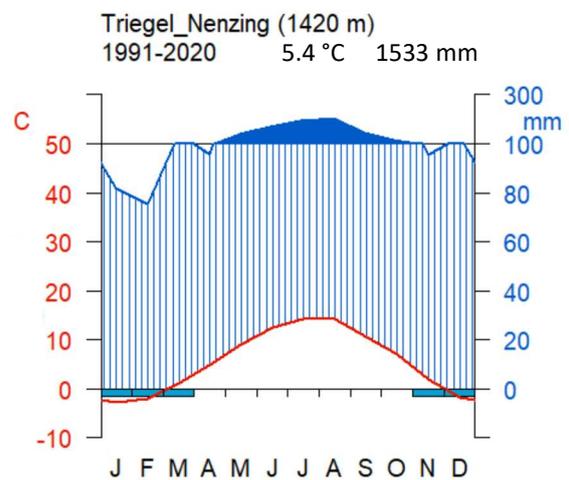
Auszug aus der Vegetationsaufnahme (K/S)		Deckung	Basenzeiger	Wasserzeiger	Klimazeiger
<i>Adenostyles alliariae</i>	Grau-Alpendost	+		≥ s. frisch	≥ hm
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Wald-Zwenke	1	Basen		≤ mm
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Land-Reitgras	2a			
<i>Fagus sylvatica</i>	Buche	+			
<i>Galeobdolon montanum</i>	Berg-Goldnessel	+	Basen		
<i>Galium rotundifolium</i>	Rundblatt-Labkraut	+			≤ hm
<i>Hordelymus europaeus</i>	Waldgerste	1	Basen		
<i>Luzula sylvatica</i>	Groß-Hainsimse	2m		≥ frisch	≥ mm
<i>Lycopodium annotinum</i>	Sprossender Bärlapp	2a	Säure		
<i>Lysimachia nemorum</i>	Wald-Gilbweiderich	+	Basen	≥ frisch	
<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	2m			
<i>Rubus fruticosus agg.</i>	Brombeere	+			≤ mm
<i>Sanicula europaea</i>	Sanikel	+	Basen		
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere	3	Säure		
<i>Viola reichenbachiana</i>	Wald-Veilchen	1	Basen		≤ hm

Mittlere, gewichtete Ellenberg-Zeigerwerte im Projektgebiet BIOSOIL-VBG  
blau = Exkursionspunkt, grau = übrige Erhebungsflächen

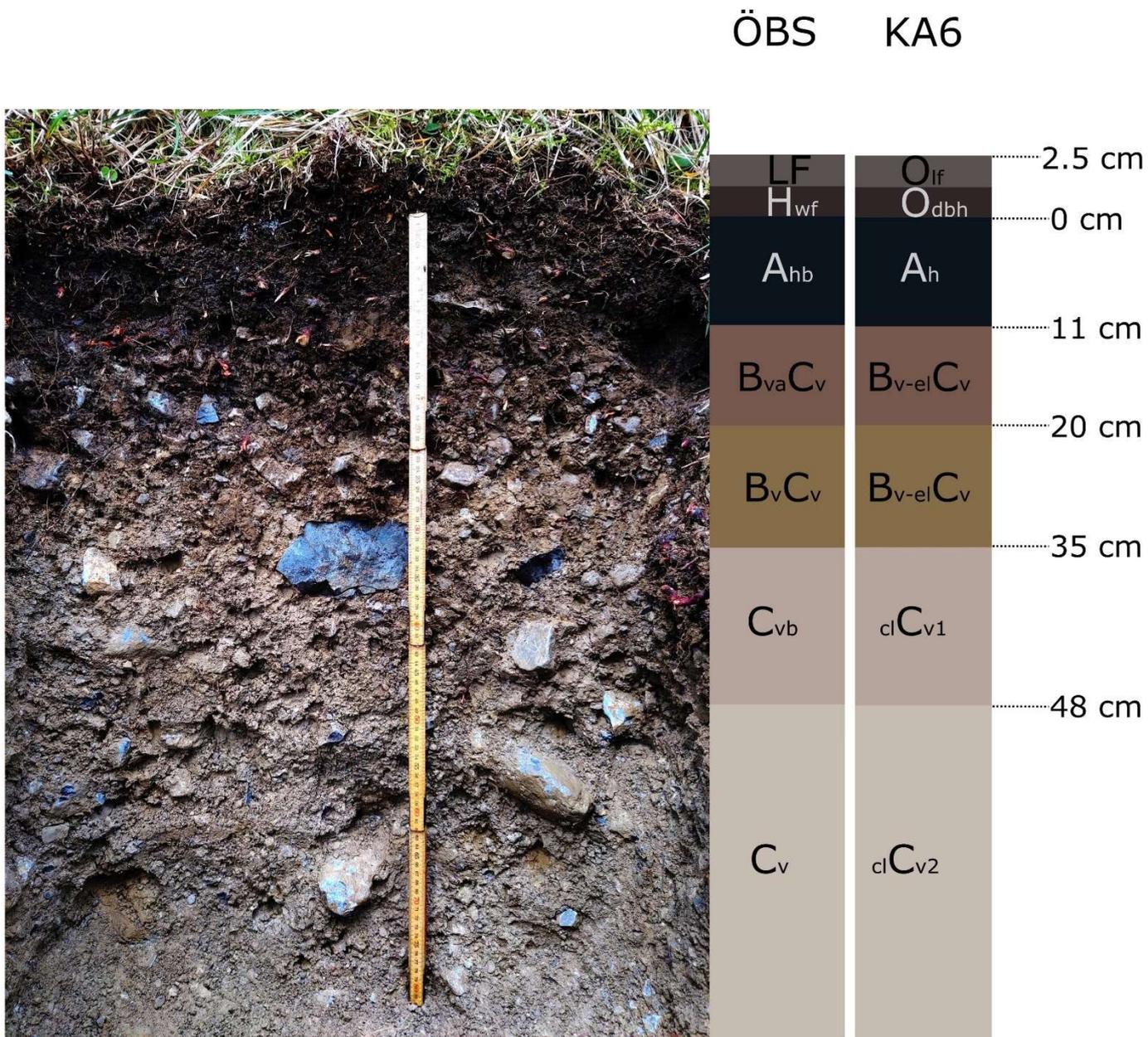


## 1. Standortdaten

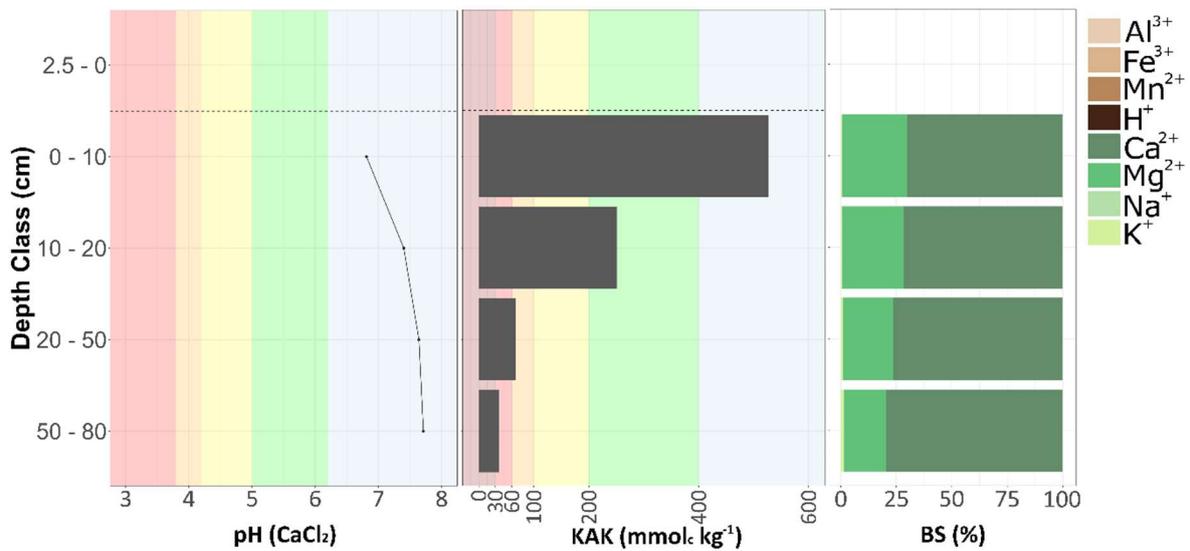
Bodentyp (ÖBS/ KA6): Kalklehm-Rendzina/ Braunerde Rendzina  
Humusform (ÖBS/ KA6): Typischer Moder  
Geologie: Moränenstreu über Raibler Schichten  
Makro-/Mesorelief: Mittelhang/ Mittelhang  
Seehöhe [m]: 1420  
Exposition [Gon]: 209  
Hangneigung [%]: 54  
Waldgruppe: Buchen-Fichten-Tannenwald, frisch, carbonatisch (BFT4c)  
Wuchsgebiet: 4.1 - Nördliche Kalkalpen (Westteil)



## 2. Bodenprofil



### 3. Chemische Bodenkennwerte



#### Bodenacidität und Carbonat

Tiefe	pH	CaCO <sub>3</sub>
cm	CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>
2.5 - 0	-	-
0 - 10	6.8	72
10 - 20	7.4	440
20 - 50	7.6	780
50 - 80	7.7	810

#### Kohlenstoff, Stickstoff, Verhältnisse

C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	C/S	C/P
g kg <sup>-1</sup>				
-	-	-	-	-
96	6.5	15	126	171
48	3.2	15	92	119
15	0.3	46	63	90
11	0.3	42	42	81

#### Austauschbare Kationen

Tiefe	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	KAK	ACE	BCE	BS
cm	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>											%
2.5 - 0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0 - 10	0.78	2.01	369.61	154.58	0.32	<0.1	<0.02	<0.1	527	<1	527	100
10 - 20	0.35	1.03	180.39	69.57	0.02	<0.1	<0.02	<0.1	251	<1	251	100
20 - 50	<0.2	0.53	50.61	15.16	0.01	<0.1	<0.02	<0.1	66	<1	66	100
50 - 80	<0.2	0.51	28.41	6.8	<0.01	<0.1	<0.02	<0.1	36	<1	36	100

Standort 2: Triegel - Nenzing

Vorräte langfristig

Tiefe	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	P	K	Ca	Mg
cm	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>				
2.5 - 0	-	-	-	-	-	-
0 - 10	36	2400	209	2162	11073	12391
10 - 20	12	777	97	933	25618	18307
20 - 50	15	337	172	2075	210140	106091
50 - 80	5	126	65	888	115509	46754
<b>SUMME</b>	68	3640	543	6058	362340	183543

Vorräte kurzfristig

K	Ca	Mg
kg ha <sup>-1</sup>		
-	-	-
29	5496	1394
10	1741	407
21	2053	373
10	571	83
70	9861	2257

Elemente im Säureauszug

Tiefe	S	P	K	Ca	Mg	Fe	Al
cm	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>	
2.5 - 0	-	-	-	-	-	-	-
0 - 10	0.77	0.56	5.8	29.8	33.4	34.6	48.2
10 - 20	0.52	0.4	3.9	106.4	76	21.6	31.6
20 - 50	0.24	0.17	2.1	207.6	104.8	7.3	10.2
50 - 80	0.25	0.13	1.8	230.3	93.2	5.7	7.6

## 4. Physikalische Bodenkennwerte

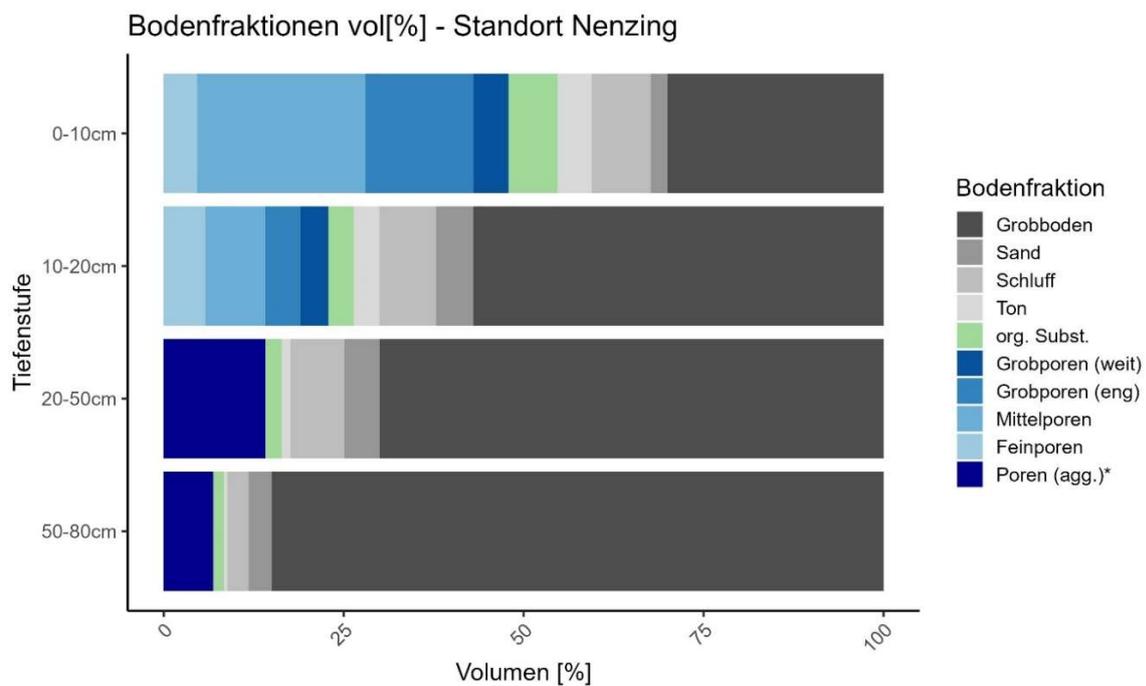
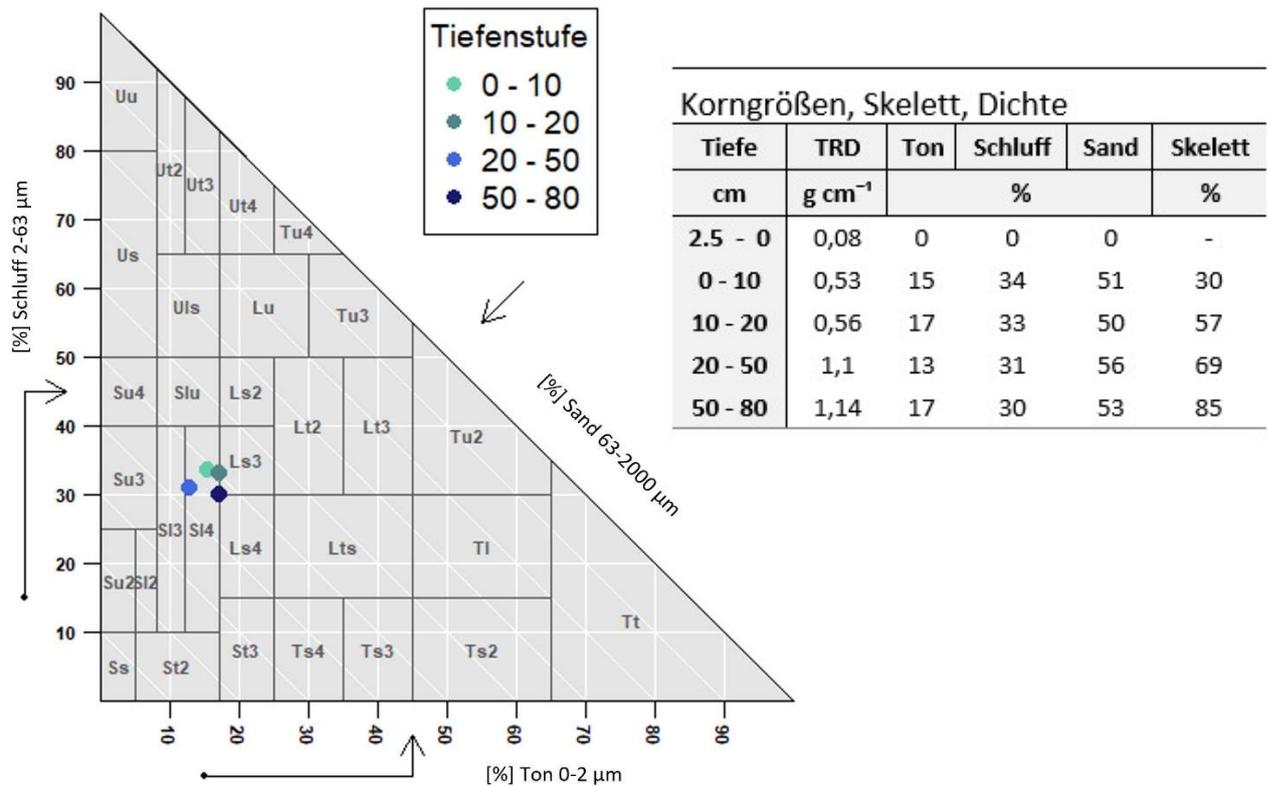


Abbildung 4: Korngrößen und Porenverteilung in Volumenprozent für verschiedene geometrische Tiefenstufen. Für die Tiefenstufen 0-10 und 10 bis 20 cm wurde die Porenverteilung aus den Wassergehalts-Matrixpotentialkennlinien abgeleitet, für Charakteristika der unteren Tiefenstufen wurden Pedotransferfunktionen angewendet.

## 5. Vegetation

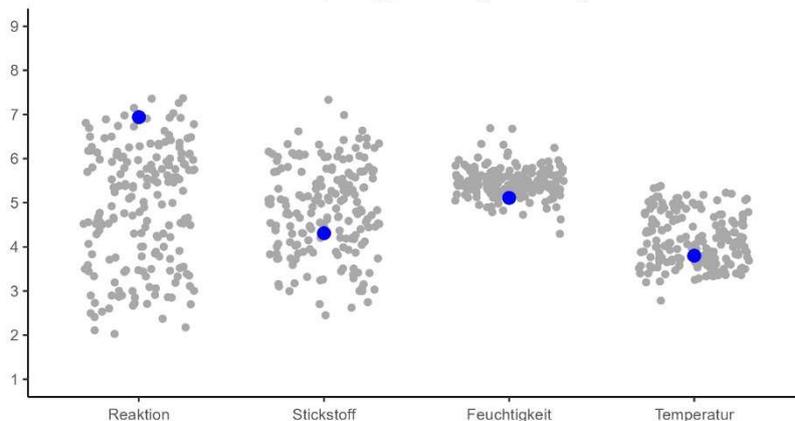
**Baumarten im Bestand:** Fi und Ta subdominant

**Aktuelle Waldgesellschaft:** *Adenostylo glabrae-Piceetum calamagrostietosum variae*

**Pot. nat. Waldgesellschaft:** *Saxifraga rotundifoliae-Fagetum typicum* ~ Waldtyp BFT4c, hm

Auszug aus der Vegetationsaufnahme (K/S)		Deckung	Basenzeiger	Wasserzeiger	Klimazeiger
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	2b			
<i>Adenostyles alpina</i>	Kalk-Alpendost	+	Karbonat		
<i>Aquilegia atrata</i>	Dunkle Akelei	+	Karbonat		
<i>Astrantia major</i>	Große Sterndolde	2m			
<i>Brachypodium pinnatum</i>	Fieder-Zwenke	3		≤ m. frisch	
<i>Bupthalmum salicifolium</i>	Rindsauge	+	Karbonat	≤ m. frisch	
<i>Calamagrostis varia</i>	Berg-Reitgras	2m	Karbonat		
<i>Carex alba</i>	Weiß-Segge	2a	Karbonat	≤ frisch	≤ mm
<i>Carex ferruginea</i>	Rostrote Segge	1	Karbonat	≥ frisch	≥ hm
<i>Carex flacca</i>	Blaugrüne Segge	2m			
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	Wimper-Kälberkropf	2m	Basen	≥ s. frisch	
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Horst-Rasenschmiele	+		≥ s. frisch	
<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere	+	Basen		
<i>Hepatica nobilis</i>	Leberblümchen	1	Karbonat	≤ frisch	
<i>Homogyne alpina</i>	Alpen-Brandlattich	1			≥ mm
<i>Knautia maxima</i>	Wald-Witwenblume	1			
<i>Melica nutans</i>	Nickendes Perlgras	1	Basen		
<i>Mercurialis perennis</i>	Bingelkraut	1	Basen		
<i>Phyteuma spicatum</i>	Ährige Teufelskralle	1	Basen		
<i>Potentilla erecta</i>	Aufrechtes Fingerkraut	1			
<i>Sesleria caerulea</i>	Kalk-Blaugras	2a	Karbonat		
<i>Sorbus aria</i>	Mehlbeere	+	Karbonat	≤ m. frisch	
<i>Viola biflora</i>	Zweiblüten-Veilchen	+		≥ s. frisch	≥ hm
<i>Viola reichenbachiana</i>	Wald-Veilchen	+	Basen		≤ hm

Mittlere, gewichtete Ellenberg-Zeigerwerte im Projektgebiet BIOSOIL-VBG  
blau = Exkursionspunkt, grau = übrige Erhebungsflächen



## Kommentar

Klaus Katzensteiner<sup>1</sup>, Josef Gadermaier<sup>1</sup>, Balazs Garamszegi<sup>1</sup>, Lisa Layerer<sup>1</sup>, David Morgenbesser<sup>1</sup>, Michael Grabner<sup>2</sup>, Manfred Hotter<sup>3</sup>, David Keßler<sup>4</sup>, Eva Jordan<sup>4</sup>, Judith Schaufler<sup>4</sup>, Franz Starlinger<sup>4</sup>, Anna Schrötter<sup>4</sup>, Michael Englisch<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department für Wald und Bodenwissenschaften, Institut für Waldökologie, BOKU, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Str. 82, A-1190 Wien

<sup>2</sup> Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, BOKU, Universität für Bodenkultur, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln an der Donau

<sup>3</sup> WLM, Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung, A-6020 Innsbruck

<sup>4</sup> Institut für Waldökologie und Boden, Bundesforschungszentrum für Wald, Seckendorff-Gudent-Weg 8, A-1131 Wien

Korrespondierender Autor: Klaus Katzensteiner ([klaus.katzensteiner@boku.ac.at](mailto:klaus.katzensteiner@boku.ac.at))

Die Projekte zur dynamischen Waldtypisierung WinAlp21 (Vorarlberg, Tirol) und Forsite II (Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland) decken steile klimatische Gradienten, vom perhumiden, ozeanisch beeinflussten Bereich in Vorarlberg und in den Nördlichen Randalpen, über kontinental geprägte inneralpine Standorte im oberen Inntal in Tirol, bis zu kontinental geprägten Standorten an der unteren Waldgrenze im Osten Österreichs ab. Entlang dieser Gradienten wurden für die drei Baumarten Buche, Tanne und Traubeneiche jeweils sieben Altbestände, die möglichst der potentiellen natürlichen Vegetation sensu Tüxen (1956) entsprechen, ausgewählt um einerseits über dendrochronologische Verfahren Wachstumsreaktionen auf Klimavariabilität und Klimaänderungen zu erkennen, andererseits über hoch aufgelöste Zeitreihen von Bodenwasserhaushalt und Zuwachs die Datenbasis für Kalibrierung und Validierung waldhydrologischer Modelle zu erhalten. Im Weiteren sollen diese Untersuchungen beitragen, die Abhängigkeit der Baumarteneignung unter Einbeziehung des Geländewasserhaushalts besser als aus reinen Klimahüllen abschätzen zu können. Der Standort Nenzing Triegel-Biggerwänd ist eine dieser Intensivflächen.

Die Intensivfläche Nenzing-Triegel-Biggerwänd ist ein südexponierter, 50 bis 60 % geneigter Mittelhang auf 1450 m Seehöhe in der Montanstufe der Nördlichen Kalkalpen. Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist Moränenstreu über Raibler Schichten, dominiert von Kalk, Dolomit und Raibler Rauwacke sowie geringen Anteilen an Amphibolit und Glimmerschiefer. Als potentielle natürliche Waldgesellschaft kann vermutlich bereits ein BFT ausgeschieden werden, wiewohl aktuell Buche nur bis ca. 1350 m Seehöhe vorkommt. Der Tannen-Altbestand mit geringer Überschirmung zeigt deutlich den Einfluss der ehemaligen Waldweide, sowohl von der Bestandesstruktur als auch der Dominanz von Weidezeigern wie *Brachypodium pinnatum* in der Bodenvegetation. Auch im Bodenprofil sind unter Tritziegeln noch stellenweise plattige Strukturen aufgrund des ehemaligen Weideeinflusses erkennbar. Die Humusform ist ein Mosaik aus moderartigem Mull bis (mullartigen) Moder, als Bodentyp kann eine Kalklehm-Rendzina (alternativ Pararendzina) ausgeschieden werden. In der WRB wäre der Bodentyp als Calcaric Episkeletic Cambisol einzuordnen.

Auf Seite 23 und 24 werden chemische Bodenkennwerte einer Profilgrube im Zentrum der Intensivfläche angeführt. Der A-Horizont ist durch einen für den Bodentyp mittleren

## Standort 2: Triegel - Nenzing

Humusgehalt im Feinboden (10 % organischer Kohlenstoff) und ein relativ enges C/N-Verhältnis charakterisiert. Das C/P-Verhältnis ist mit 171 eng, die Kationenaustauschkapazität ist hoch, die Basensättigung beträgt in allen Horizonten 100 %. Der Feinboden ist bis an die Oberfläche karbonathaltig, wobei freies Karbonat im A-Horizont beim Feldtest nicht erkennbar ist. Der Vergleich mit Kennwerten aus dem Projekt BioSoil (Mutsch et al. 2013) zeigt für den Mineralboden folgende Einstufung: Der Gesamtvorrat an Kalium ist mit  $6058 \text{ kg ha}^{-1}$  für einen Karbonatboden relativ hoch. Die rasch verfügbaren austauschbaren Vorräte sind aufgrund der geringen effektiven Gründigkeit des Bodens mit  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  jedoch sehr gering. Die Stickstoffvorräte bewegen sich mit  $3640 \text{ kg ha}^{-1}$  im mittleren bis unteren Bereich, die Phosphorvorräte im Säureextrakt sind mit  $543 \text{ kg ha}^{-1}$  auch im Vergleich zu anderen Böden in den Kalkalpen sehr gering (Prietz et al. 2015).

Nadelanalysen für das Jahr 2023 zeigen neben latentem Stickstoff- und Kaliummangel ausgeprägte Mängel an Phosphor sowie den Spurenelementen Eisen, Mangan und Bor. Diese Mangelercheinungen sind neben den geringen Vorräten auf Einschränkungen in der Löslichkeit (P kommt in solchen Böden z.T. in Form schwer löslicher Kalzium-gebundener organischer Verbindungen, z.B. Ca-Phytat vor (Prietz et al. 2022)) sowie Antagonismen mit Mg (z.B. für K und Mn) zurückzuführen. Vor allem frühere Entzüge durch Waldweide dürften die Nährstoffpools nachhaltig negativ beeinflusst haben.

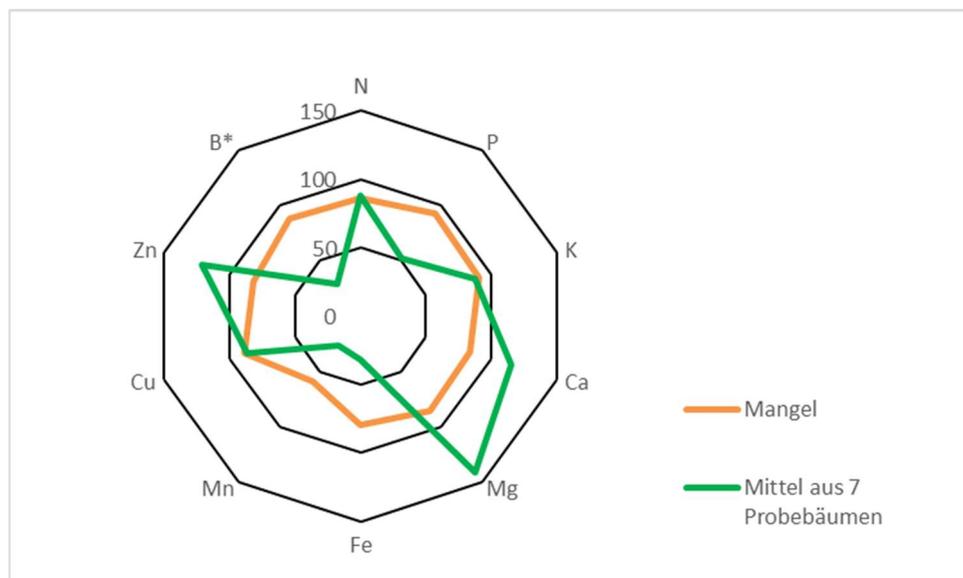


Abbildung 5: Nährstoffgehalte im jüngsten Nadeljahrgang (Mittel aus 7 Probestämmen, oberste Lichtkrone). Grüne Linie: Vergleich zu mittleren Normalwerten nach van den Burg (Göttlein et al. 2011; Angabe in %), rote Linie: Obere Grenze des Mangelbereichs nach van den Burg (Angabe in %). 100 % entspricht dem Mittelwert des Normalbereichs. B\*: Für Bor wurde der Grenzwert für Fichte verwendet.

Der Wasserhaushalt des Standorts ist auf Basis der Zeigerwerte der Vegetation als frisch einzustufen. Dies ist auf die gleichmäßig verteilten hohen Jahresniederschläge und den niedrigen Verdunstungsanspruch aufgrund der seehöhenbedingt niedrigen Jahresmitteltemperatur und der hohen Luftfeuchte zurückzuführen. Zusätzlich wird der Wasserhaushalt durch die Interzeption von Wolken- und Nebelwasser beeinflusst. Die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität der Böden (0-80 cm Mineralboden ohne

## Standort 2: Triegel - Nenzing

Auflagehumus) kann mit 100 mm als gering bis mittel eingestuft werden kann (Abbildung 4, S. 25).

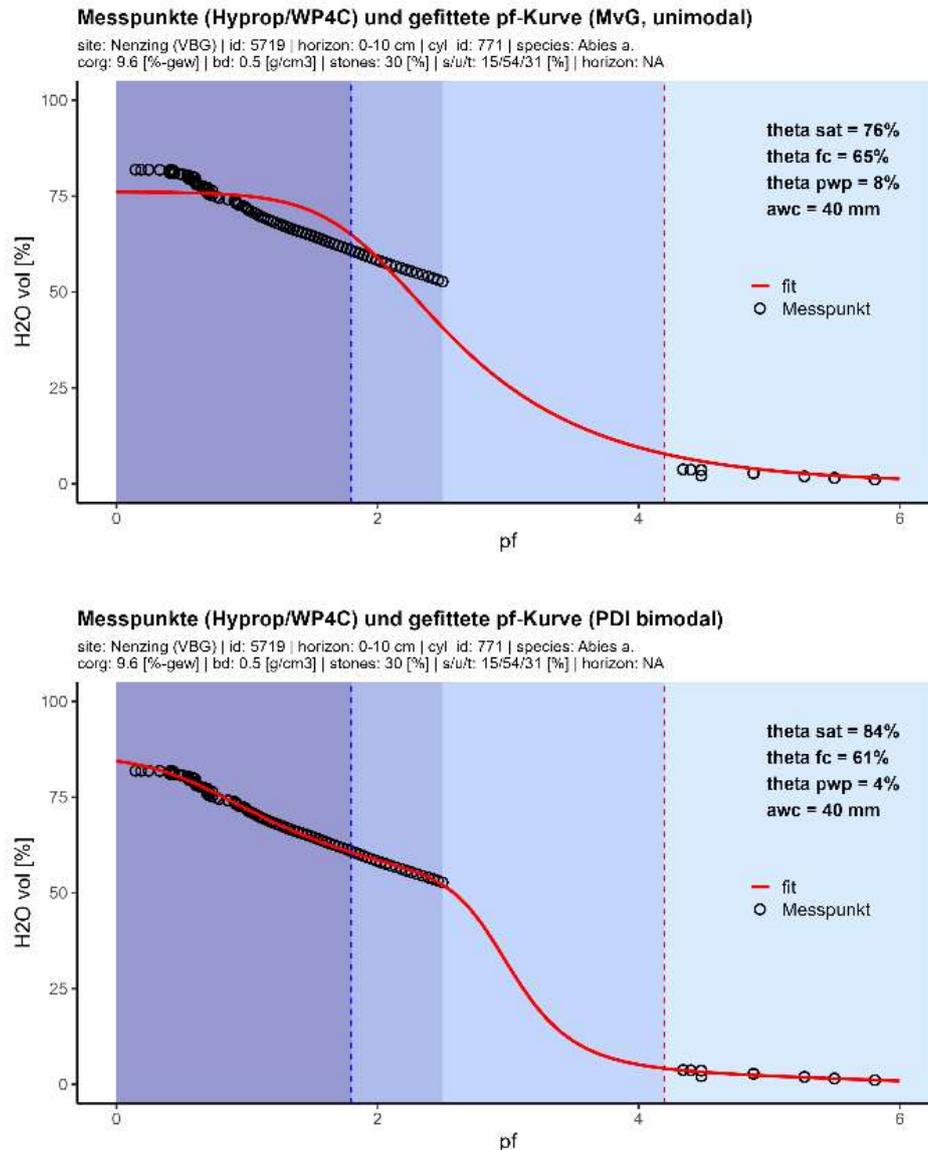


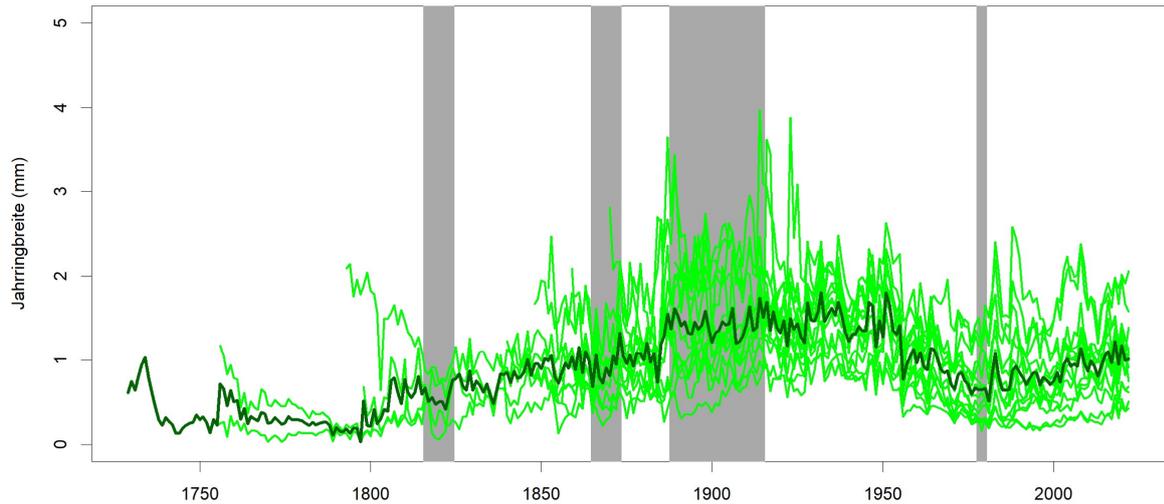
Abbildung 6: Wassergehalts-Matrixpotentialkennlinien für den Feinboden mit einer Retentionskurve nach van Genuchten (oben) und PDI bimodal (unten).

Wie aus Abbildung 6, S. 29 ersichtlich, ist die Anpassung einer Retentionsfunktion nach van Genuchten, wie sie in vielen hydrologischen Modellen verwendet wird, für diesen Bodentyp mäßig. Der Kurvenverlauf entspricht vielmehr einer bimodalen Verteilung. Auffällig ist der hohe, auf den Humusgehalt zurückzuführende Porenanteil, der hohe Wassergehalt bei Feldkapazität, sowie der sehr niedrige Wassergehalt beim Welkpunkt.

Neben klassischen bodenkundlichen Charakteristika werden erste Ergebnisse der dendrochronologischen Untersuchungen dargestellt. Vom ältesten der untersuchten Probestämme kann die Jahrringchronologie in Brusthöhe bis 1729 AD zurückverfolgt werden. Die laufenden Zuwächse sind erwartungsgemäß niedrig (Jahrringbreiten < 2 mm pro Jahr; Abbildung 7, S.30) und weisen zwischen den Individuen eine hohe Streuung auf. Von allen erhobenen Tannenstandorten entlang des Klimagradienten (hier nicht dargestellt) weist die

## Standort 2: Triegel - Nenzing

Fläche Nenzing das deutlichste Klimasignal in den Zuwächsen auf (Abbildung 8, S.31). Im Gegensatz zu den anderen Intensivstandorten ist dieser Standort eindeutig temperaturlimitiert. Hohe Temperaturen bei gleichzeitig hoher Luftfeuchte begünstigen das Wachstum, die monatsweisen Korrelationen mit dem ‚Standardized Precipitation Evapotranspiration Index‘ (Vicente-Serrano et al. 2010) während der laufenden Wachstumsperiode sind durchwegs negativ. Inwieweit die positiven Zuwachstrends seit den 1980er Jahren eine Erholung von den damals beobachteten neuartigen Waldschäden oder die Temperatursteigerung reflektieren, wäre noch zu klären.



*Abbildung 7: Gemessene Jahringbreiten der Einzelbäume an Standort Nenzing-Triegel (gemittelt aus zwei Bohrkernen je Stamm; hellgrüne Linie) und mittlere Chronologie (dunkelgrüne Linie).*

## Standort 2: Triegel - Nenzing

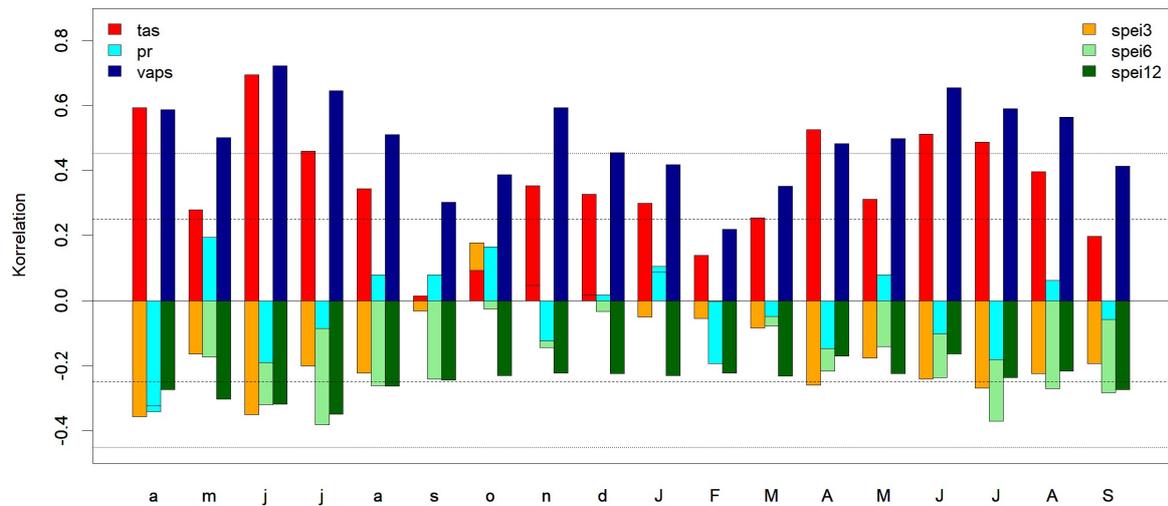


Abbildung 8: Zuwachs-Klima-Korrelation der trendbereinigten Chronologie der Jahrringbreiten mit monatlichen Klimakenngrößen: Mitteltemperatur (tas), Niederschlagssumme (pr), mittlerer Wasserdampf-Partialdruck (vaps) (links), und den 3-, 6-, 12-Monats ‚Standardized Precipitation Evapotranspiration Indices‘ (spei), für die Monate zwischen April des Vorjahres und September des laufenden Jahres. Gestrichelte Linie: Signifikanz  $p < 0.05$ , gepunktete Linie Signifikanz  $p < 0.001$ .

Ob auf dem Standort länger anhaltende Trockenperioden (z.B. lagen im Juni 2023 die Niederschläge in Vorarlberg um 60 Prozent unter, die Lufttemperaturen hingegen um 4,1 °C über dem langjährigen Mittel) zu physiologischem Stress führen, lässt sich noch schwer abschätzen. In Abbildung 9, S. 32 erkennt man jedenfalls die rapide Abnahme der Bodenwassergehalte in der niederschlagsfreien Periode zwischen 6. und 24. September 2023 (im Juni war die Messtation noch nicht in Betrieb). Die Bodenmatrixpotentiale liegen zwar noch über den kritischen Werten von -1.5 MPa, trotzdem ist in dieser Zeit eine Abnahme der Baumumfänge erkennbar, was als ‚Entleerung‘ des Stammwasserspeichers interpretiert werden kann.

## Standort 2: Triegel - Nenzing

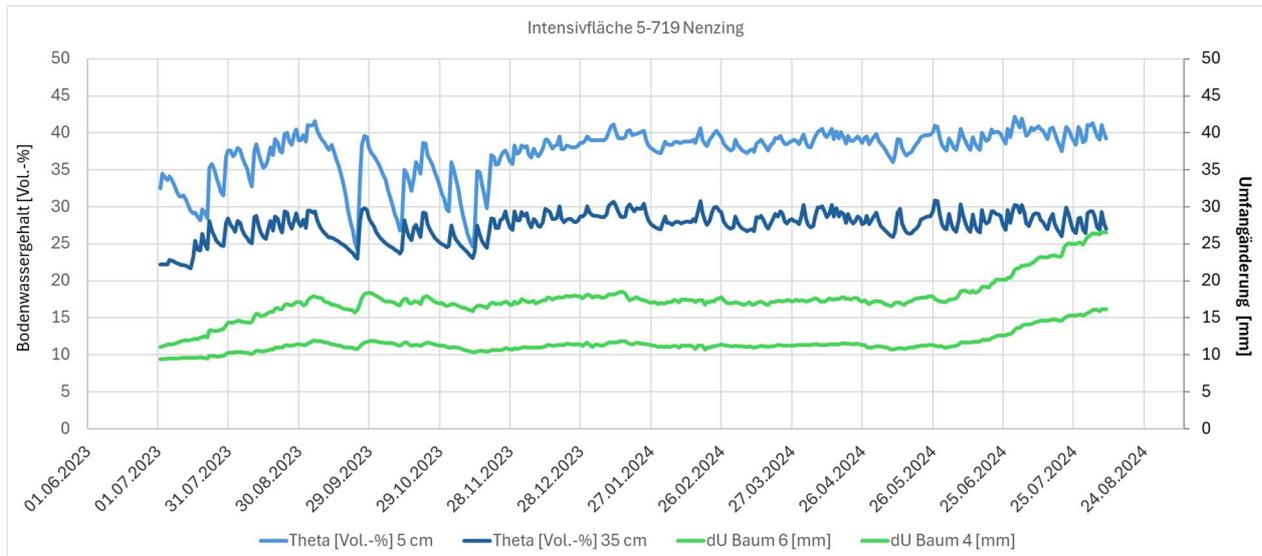


Abbildung 9: Verlauf der Bodenwassergehalte in 5 und 35 cm Bodentiefe und simultane Veränderung der mit zeitlich hochauflösenden Dendrologgern gemessenen Stammumfänge

Auf Trockenheit während der Hauptwachstumsperiode im Jahr 2023 weisen des Weiteren verhältnismäßig hohe  $\delta^{13}C$ -Werte im laufenden Nadeljahrgang hin, die sich im Bereich kontinentaler Standorte im oberen Inntal und damit signifikant über Werten anderer Standorte entlang des Klimagradienten bewegen.

Die Anpassung des waldhydrologischen Modells Brook 90 (Schmidt-Walter et al. 2020) und dessen Anwendung unter Klimawandelszenarien sind im Gange.

### Referenzen:

Mutsch F., Leitgeb E., Hacker R., Amann Ch., Aust G., Herzberger E., Pock H., Reiter R. 2013: Projekt BioSoil – Europäisches Waldboden-Monitoring (2006/07) Datenband Österreich.

Prietzl, J., Christophel, D., Traub, C., Kolb, E., Schubert, A., 2015. Regional and site-related patterns of soil nitrogen, phosphorus, and potassium stocks and Norway spruce nutrition in mountain forests of the Bavarian Alps. *Plant Soil*. 386 (1-2), pp. 151–169. DOI: 10.1007/s11104-014-2248-9.

Prietzl, J., Krüger, J., Kaiser, K., Amelung, W., Bauke, S.L., Dippold, M.A. et al., 2022. Soil phosphorus status and P nutrition strategies of European beech forests on carbonate compared to silicate parent material. *Biogeochemistry*. 158 (1), pp. 39–72. DOI: 10.1007/s10533-021-00884-7.

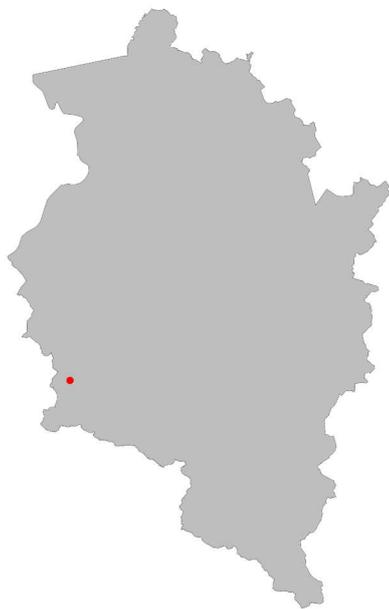
Schmidt-Walter, P., Trotsiuk, V., Meusburger, K., Zacios, M., Meesenburg, H. (2020): Advancing simulations of water fluxes, soil moisture and drought stress by using the LWF-Brook90 hydrological model in R. *Agr. For. Met.* 291, 108023. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108023>

Tüxen, R. 1956: Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. *Angew. Pflanzensoz.* 13, 5-42.

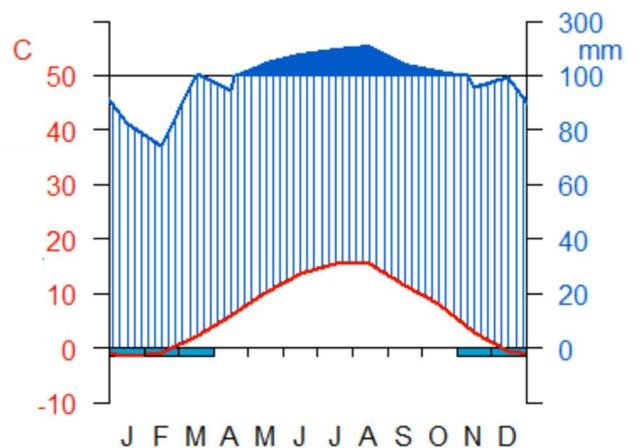
Vicente-Serrano, S. M.; Begueria S.a, S. & Lopez-Moreno, J. I. 2010: A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; *Journal of Climate* 23, 1696-1718.

## 1. Standortdaten

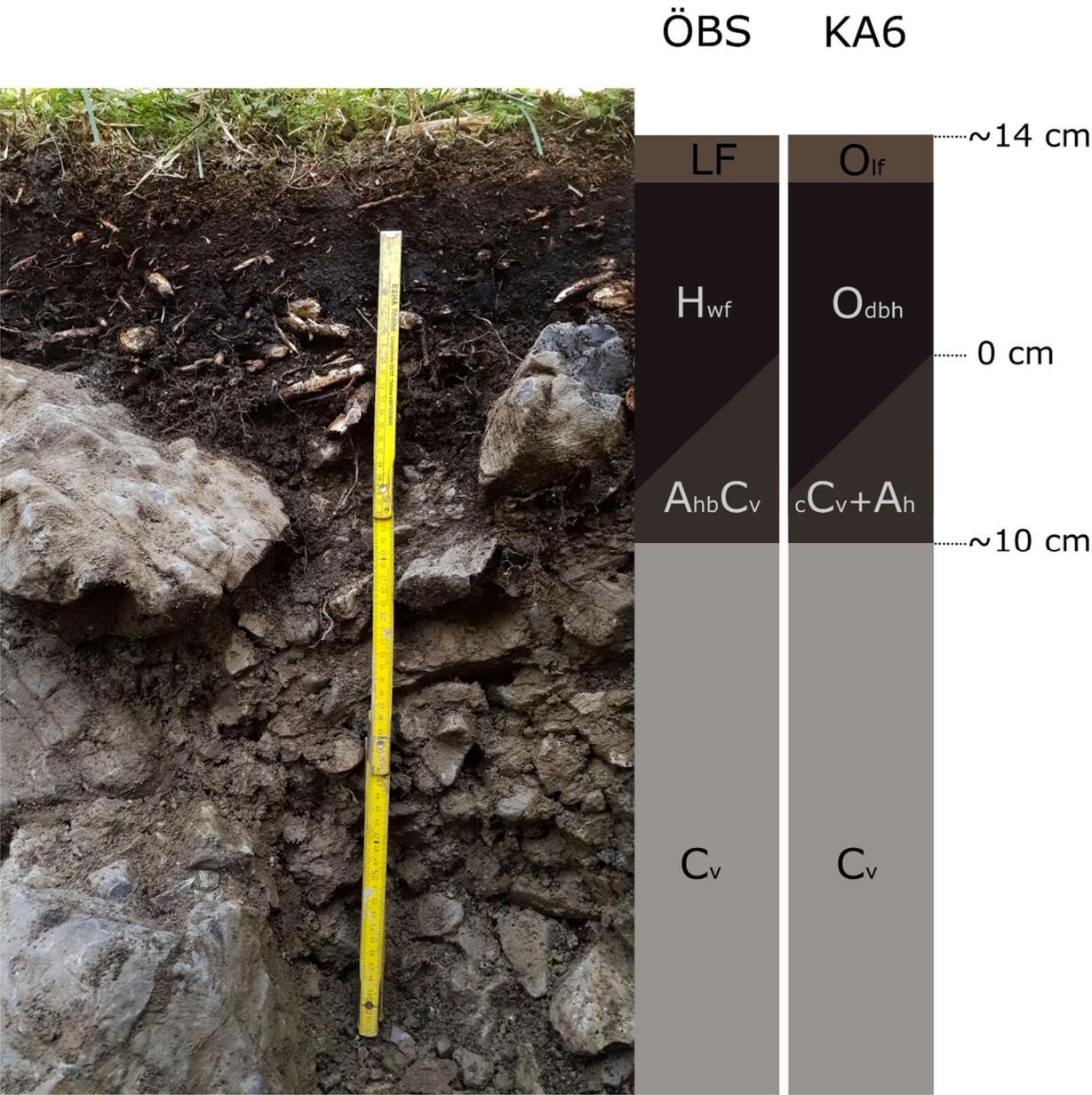
Bodentyp (ÖBS/ KA6): Rendzina /Gerüstrendzina  
Humusform (ÖBS/ KA6): Typischer Moder - Tangel  
Geologie: Murmaterial aus Dolomit  
Makro-/ Mesorelieg: Graben, Rinne/ Mittelhang  
Seehöhe [m]: 1226  
Exposition [Gon]: 280  
Hangneigung [%]: 35  
Waldgruppe: Buchen-Fichten-Tannenwald, frisch, carbonatisch (BFT4c)  
Wuchsgebiet: 4.1 - Nördliche Kalkalpen (Westteil)



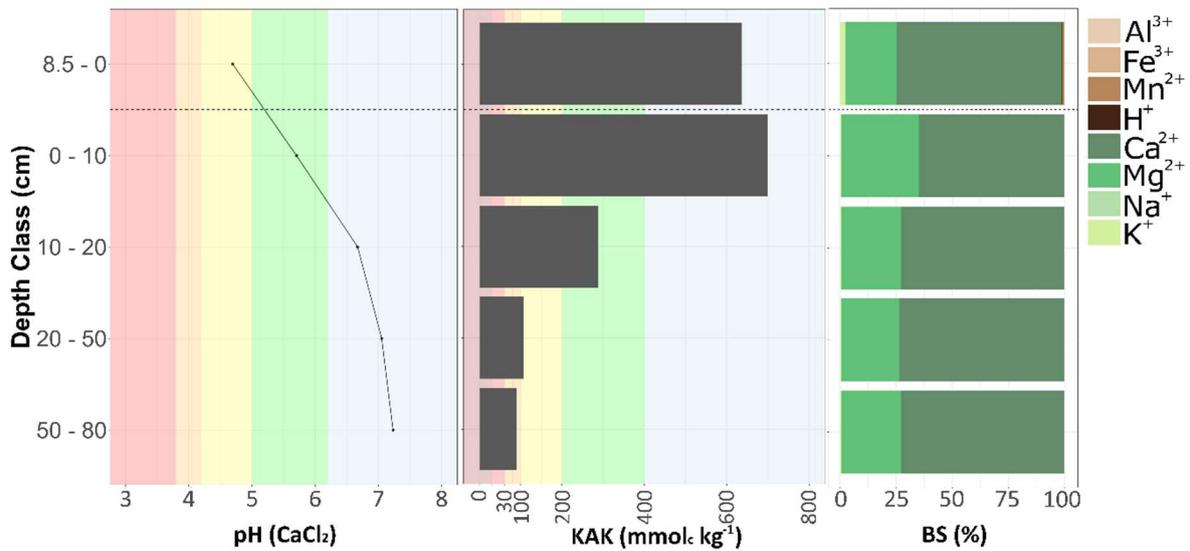
Gamperdonatal\_Bärawald (1226 m)  
1991-2020 6.5 °C 1542 mm



## 2. Bodenprofil



### 3. Chemische Bodenkennwerte



#### Bodenacidität und Carbonat

Tiefe	pH	CaCO <sub>3</sub>
cm	CaCl <sub>2</sub>	g kg <sup>-1</sup>
14 - 0	4,7	<4
0 - 10	5,7	156
10 - 20	6,7	505
20 - 50	7	768
50 - 60	7,2	768

#### Kohlenstoff, Stickstoff, Verhältnisse

C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	C/N	C/S	C/P
g kg <sup>-1</sup>				
506	18,8	27	233	574
207	10,1	21	153	284
64	2,5	26	135	114
25	0,6	41	155	103
24	0,4	60	138	110

#### Austauschbare Kationen

Tiefe	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Mn <sup>++</sup>	Al <sup>+++</sup>	Fe <sup>+++</sup>	H <sup>+</sup>	KAK	ACE	BCE	BS
cm	mmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>											%
14 - 0	1.9	14,46	469,16	143,87	5,92	0,48	0.1	0.69	637	7	629	99
0 - 10	0.64	3,26	452,68	242,12	0,55	0,17	0.05	<0.1	699	1	699	100
10 - 20	0.24	1,06	208,75	76,9	0,06	0,13	<0.02	<0.1	287	<1	287	100
20 - 50	<0.2	0,47	78,12	27,73	0,02	<0.1	0.02	<0.1	107	<1	106	100
50 - 60	<0.2	0,45	64,58	23,6	0,02	<0.1	<0.02	<0.1	89	<1	89	100

Standort 3: Gamperdonatal

Vorräte langfristig

Tiefe	C <sub>org</sub>	N <sub>tot</sub>	P	K	Ca	Mg
cm	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>				
14 - 0	34	1278	60	109	908	235
0 - 10	23	1095	79	674	5921	4081
10 - 20	17	650	146	921	40491	25356
20 - 50	11	260	105	886	88382	54232
50 - 60	2	34	19	188	17697	11643
<b>SUMME</b>	87	3317	409	2778	153399	95547

Vorräte kurzfristig

K	Ca	Mg
kg ha <sup>-1</sup>		
38	1279	238
14	1973	640
11	2184	488
8	1339	288
2	225	50
73	7000	1704

Elemente im Säureauszug

Tiefe	S	P	K	Ca	Mg	Fe	Al
cm	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>	
14 - 0	2,17	0,88	1,6	13,4	3,5	2,4	3,5
0 - 10	1,35	0,73	6,2	54,4	37,5	20,4	32,2
10 - 20	0,47	0,56	3,5	155,1	97,1	14,2	19,2
20 - 50	0,16	0,24	2,1	206,6	126,8	6,1	7
50 - 60	0,17	0,21	2,2	203,4	133,8	6,1	7,2

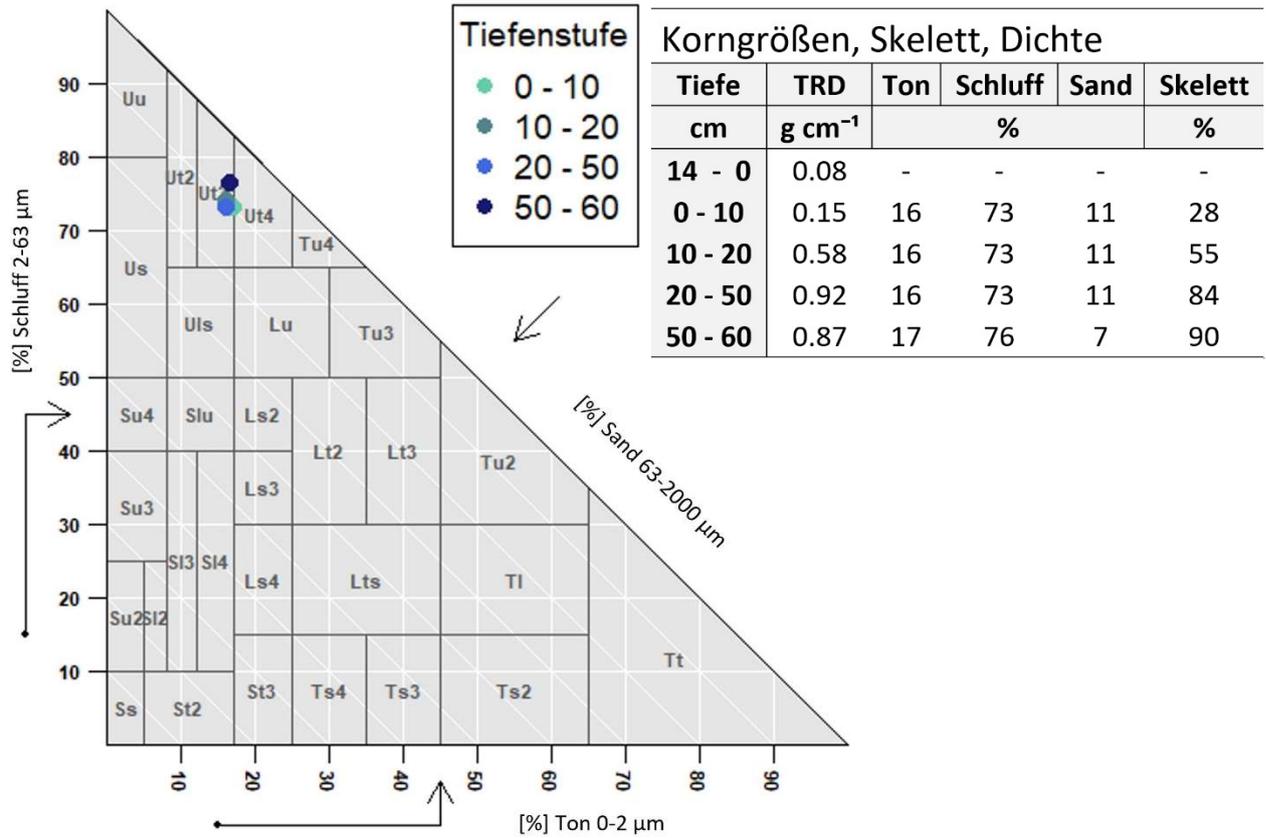
Verhältnisse Kationen

Ca/Al	Mg/Al
968	297
2623	1403
1548	570
-	-
-	-

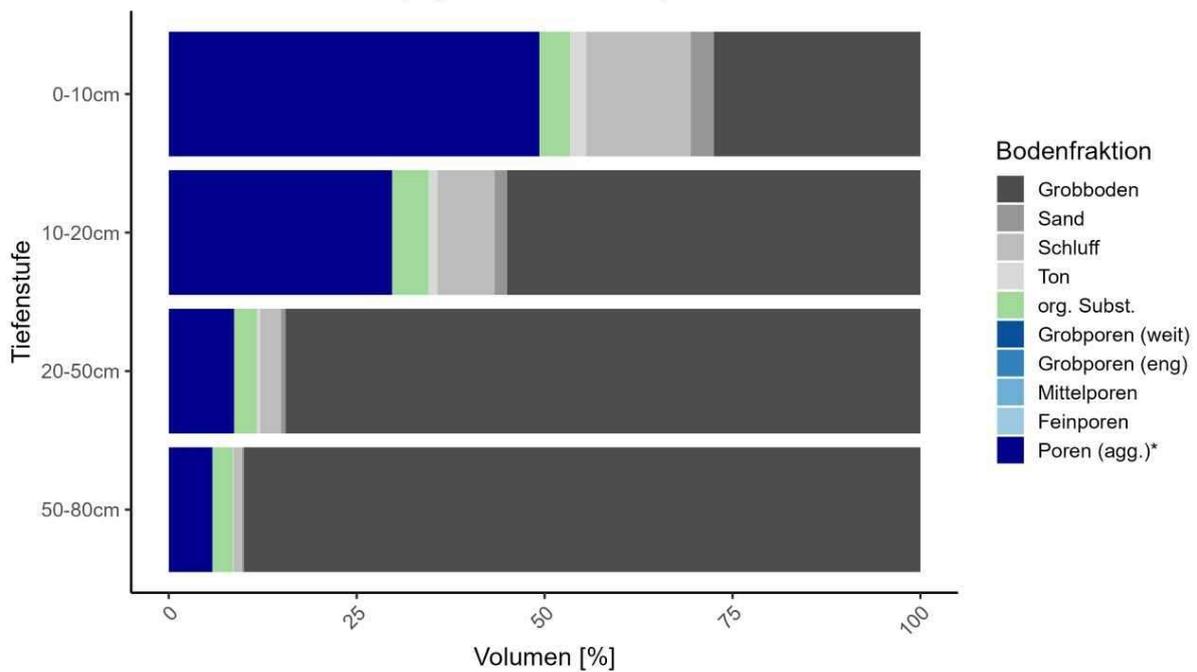
Schwermetalle

Tiefe	Mn	Cu	Zn	Co	Cr	Ni	Pb	Cd	As	V
cm	mg kg <sup>-1</sup>									
14 - 0	284	7	79	0	3	2	25	0,7	2	10
0 - 10	166	8	71	5	26	18	84	1,29	20	77
10 - 20	273	4	39	4	16	13	19	0,5	16	47
20 - 50	123	1	16	1	6	6	2	0,22	8	23
50 - 60	114	1	16	2	6	6	2	0,24	8	22

## 4. Physikalische Bodenkennwerte



Bodenfraktionen vol[%] - Standort Gamperdonatal



## 5. Vegetation

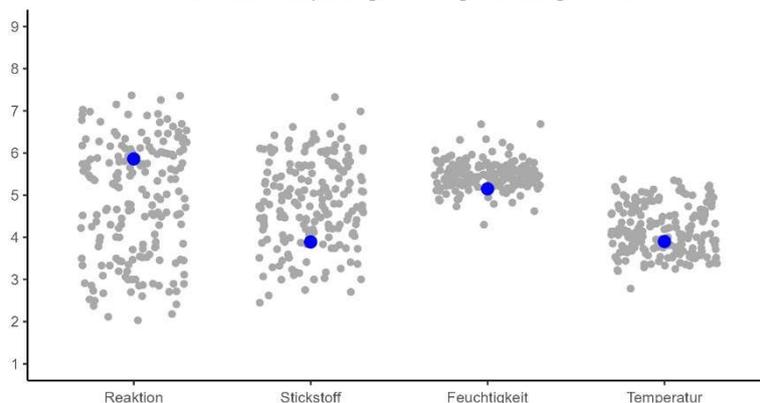
**Baumarten im Bestand:** Fi dominant, Ta einzeln

**Aktuelle Waldgesellschaft:** *Adenostylo glabrae-Abietetum*<sup>1</sup>

**Pot. nat. Waldgesellschaft:** *Adenostylo glabrae-Fagetum caricetosum ferrugineae*, ~ Waldtyp BFT4c, hm1 (im Übergang zum *Adenostylo glabrae-Fagetum* ~ Waldtyp FTB4g bzw. FTB4c ~ *Adenostylo glabrae-Fagetum lycopodietosum annotini*, mm)<sup>2,3</sup>

Auszug aus der Vegetationsaufnahme (K/S)		Deckung	Basenzeiger	Wasserzeiger	Klimazeiger
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	2m			
<i>Adenostyles alpina</i>	Kalk-Alpendost	1	Karbonat		
<i>Alchemilla conjuncta</i> agg.	Kalk-Frauenmantel	+			≥ hm
<i>Blechnum spicant</i>	Rippenfarn	+			
<i>Calamagrostis varia</i>	Berg-Reitgras	2b	Karbonat		
<i>Carex ferruginea</i>	Rost-Segge	3	Karbonat	≤ frisch	≤ mm
<i>Carex flacca</i>	Blaugrüne Segge	1			
<i>Chaerophyllum hirsutum</i> agg.	Behaarter Kälberkropf	1			
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Horst-Rasenschmiele	3		≥ s. frisch	
<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere	1	Basen		
<i>Hepatica nobilis</i>	Leberblümchen	1	Karbonat	≤ frisch	
<i>Hieracium murorum</i>	Wald-Habichtskraut	1			
<i>Homogyne alpina</i>	Alpen-Brandlattich	2m			≥ mm
<i>Huperzia selago</i>	Tannen-Teufelsklaue	1			
<i>Lotus corniculatus</i>	Gemeiner Hornklee	+			
<i>Luzula sylvatica</i>	Groß-Hainsimse	+		≥ frisch	≥ mm
<i>Melica nutans</i>	Nickendes Perlgras	2a	Basen		
<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	2a			
<i>Polygala chamaebuxus</i>	Buchs-Kreuzblume	+	Karbonat	≤ m. frisch	
<i>Ranunculus nemorosus</i>	Wald-Hahnenfuß	1			
<i>Sesleria caerulea</i>	Kalk-Blaugras	2b	Karbonat		
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere	1			
<i>Viola reichenbachiana</i>	Wald-Veilchen	+	Basen		≤ hm

Mittlere, gewichtete Ellenberg-Zeigerwerte im Projektgebiet BIOSOIL-VBG  
blau = Exkursionspunkt, grau = übrige Erhebungsflächen



<sup>1</sup> Ewald J., Fischer A., Kölling C., Rumpel A., Türk W., Walentowsk H (2020): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns, 4. Auflage, Geobotanica Verlag, Freising

<sup>2</sup> Tregubov V. (1962): Associations du Groupe Abieti Piceetum de la Region Karstique occidentale des alpes dinariques. Mitteilungen der Ostalpin-Dinarischen pflanzensoziologischen Arbeitsgemeinschaft.

<sup>3</sup> Zukrigl, K., (1973): Montane und subalpine Waldgesellschaften am Alpenostrand. Mitteilungen der forstlichen Bundes- und Versuchsanstalt Wien, 101. Heft, Mariabrunn, Österreich.

## Standort „Wangen“ – Kalkungsversuchsfläche und langjähriger Buchenunterbau

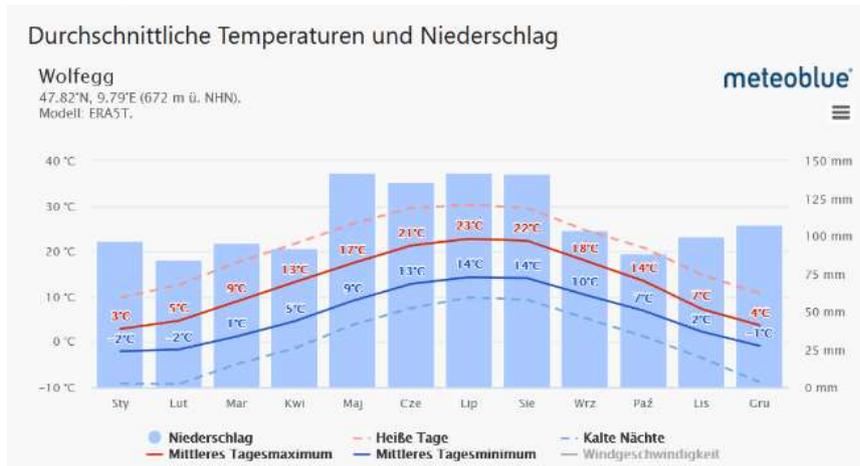
### 1. Einführung

Der Altdorfer Wald gehört in der naturräumlichen Haupteinheitengruppe Voralpines Hügel- und Moorland (Subalpines Jungmoränenland) zum Hegäu (Bodensee-Jungmoränenland). Die Kalkungsversuchsfläche „Wangen“ ist geprägt von würmzeitlichem Geschiebelehm mit Braunerden und Parabraunerden mit z.T. Pseudovergleyung. Traditionell ein von Fichten geprägter, intensiv genutzter Wald, wurden hier bereits seit ~50 Jahren im Revier Vogt Fichten-Bestände auf stabilen Standorten durch Buchen-Vorbau in naturnahe Fichte-Buche-Mischbestände umgebaut.

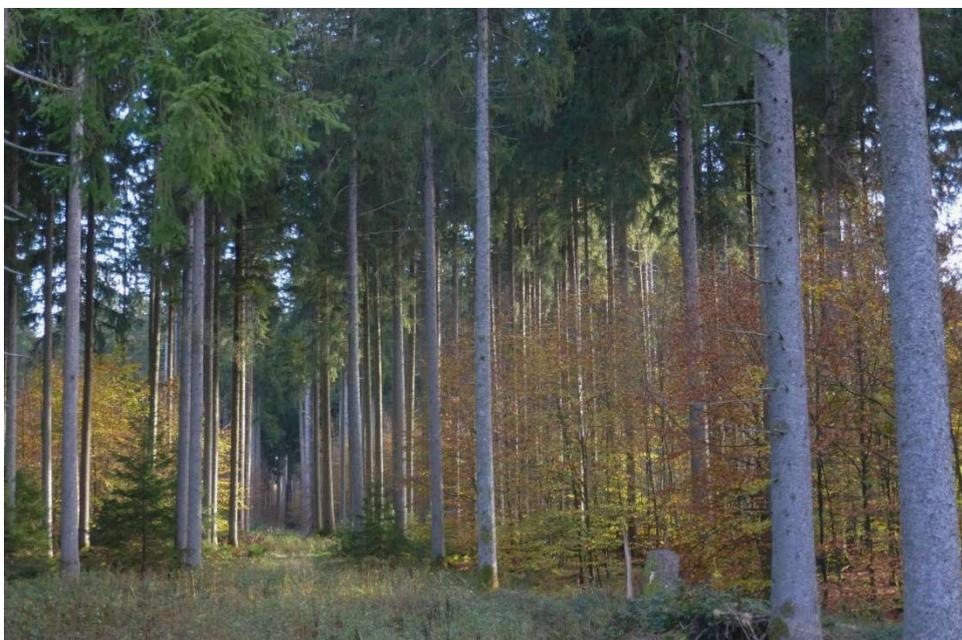
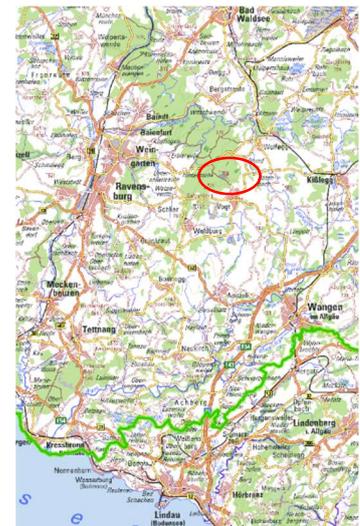
Am Punkt werden am Bodenprofil bodengenetische Prozesse diskutiert sowie die Wirkung der intensiven Kalkungen auf Bodenchemie erörtert. In einem durch Buchen-Vorbau geprägten Waldbild wird erläutert, wie die Ergebnisse des Vorbaus bewertet werden und welche Perspektiven für den Waldumbau im (Klima)Wandel im Staatswald (Forst-BW) sich ergeben.

### 2. Standort

Klimadiagramm:



[egg\\_deutschland\\_2806923](#)



Buchenvorbau im Fichtenaltbestand  
Foto: Bernhard Dingler

### 3. Bodenprofil

(Humus-)Parabraunerde – Braunerde aus würemzeitlichem Geschiebelehm (Zweischichtboden?)



Foto: Peter Hartmann

Tiefe	Horizont KA5	Horizont KA6	Diskussion am Profil	Bodenart	Steingehalt	Gefüge	Farbe
+5	L	Ol					
+2	Of	Of					
0	Oxh	Oxh					
-8	A(x)h	A(x)h		Lu	5	sub-kru	10YR 2/2
-30	Al-Bv	El-Bv		Ls2	10	sub	10YR 3/4
-50	Bht – Bv	Kht-Bv		Lt2	20	sub	10YR 2/1
-110	II Bv-Cv	II Bv-Cv		Ls3	30	sub-koh	10YR 4/4

### 4. Chemische Bodenkenwerte

Analyseergebnisse (benachbarter Punkt 2015 ebenfalls mit „Bht“-Horizont– VOR dritter Kalkung!)

MST_ID	Ake $\mu\text{molc/kg}$	Basen	C/N	Corg mg/kg	>2mm %	pH (H2O)	pH (KCl)	TRD $\text{g/cm}^3$
0_5	135,2	60,8	16,6	68,1	7,1	4,74	3,78	0,87
5_10	87,9	38	17,2	43,7	8,1	4,88	3,93	0,98
10_20	54,2	20,8	15,2	21,5	9,3	4,97	4,12	1,12
20_30	49,2	14,1	14,1	16,6	7,3	4,86	4,13	0,95
30_60	51	14,1	16,6	24,6	5,2	4,8	4,12	1,1

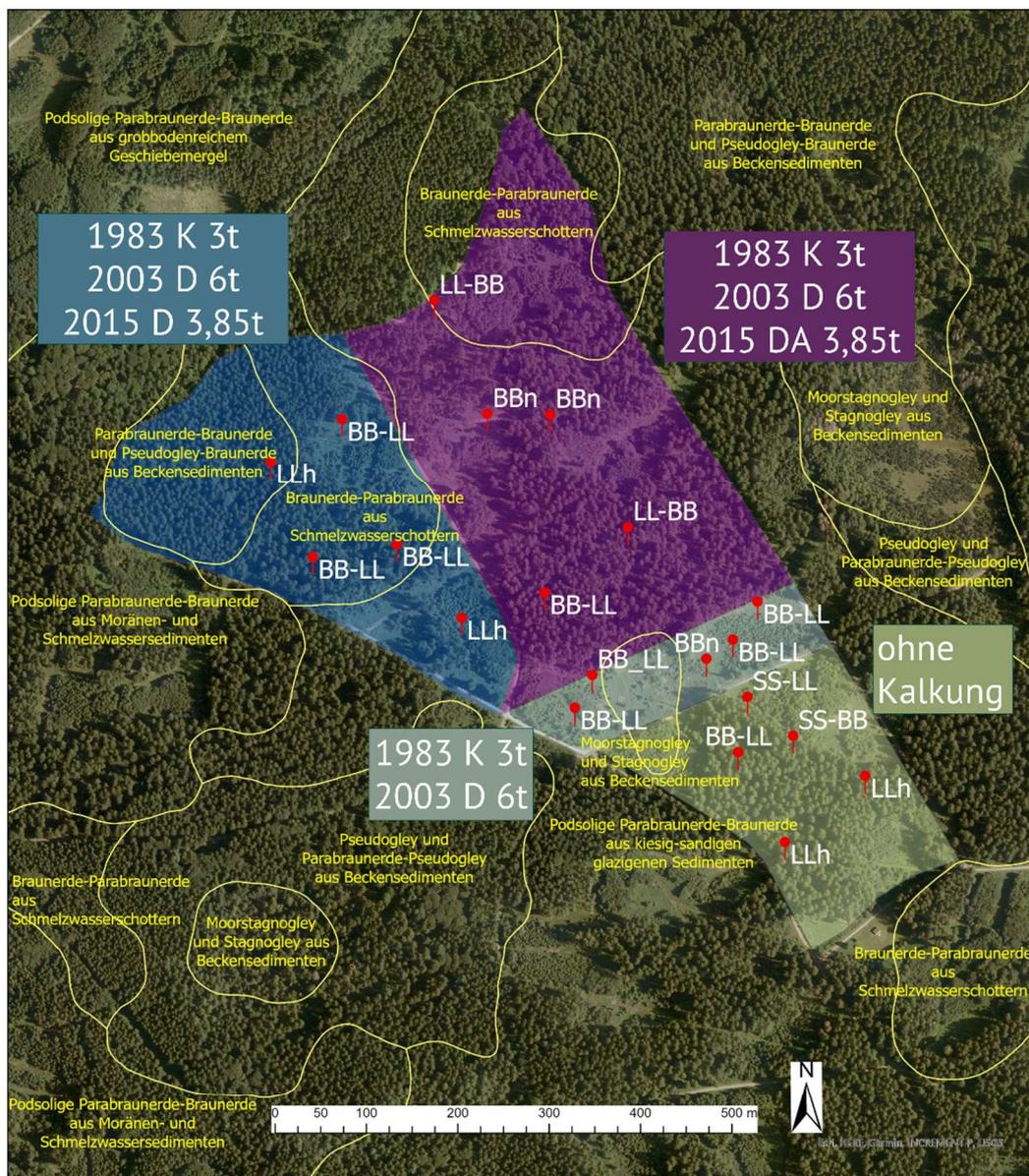
Analyseergebnisse (benachbarter Punkt 2015 – OHNE Kalkung!)

MST_ID	Ake $\mu\text{molc/kg}$	Basen	C/N	Corg mg/kg	>2mm %	pH (H2O)	pH (KCl)	TRD $\text{g/cm}^3$
0_5	145,7	6,3	17,2	50,9	6,4	4,13	3,45	0,88
5_10	56,7	4,6	14	16,9	10,2	4,58	4,02	1,35
10_20	66,4	4,1	14,6	22,6	5,2	4,54	3,98	1,2
20_30	48,8	4,6	14	14,6	9,8	4,67	4,13	1,19
30_60	40,1	5,8	9,9	6,32	14,6	4,68	4,19	1,54

## 5. Kalkungsversuche

In Baden-Württemberg wurden als Reaktion auf großflächige Waldschäden in Folge saurer Deposition im Jahr 1984 auf 6.060 ha insgesamt 356 Praxiskalkungsversuchsflächen angelegt (inkl. Nullflächen ca. 8.000 ha) (v. WILPERT et al. 1993). Hier wurde der Effekt unterschiedlicher Kalkmischungen und Dünger untersucht. Im Jahr 2003 wurde auf zwölf dieser Flächen eine Wiederholungskalkung mit Dolomit durchgeführt. Diese Flächen wurden 2015 mit Dolomit und Dolomit-Holzasche behandelt, bzw. auf jeweils einer Teilfläche nicht mehr gekalkt.

# Übersicht: Versuchsfläche „Wangen“



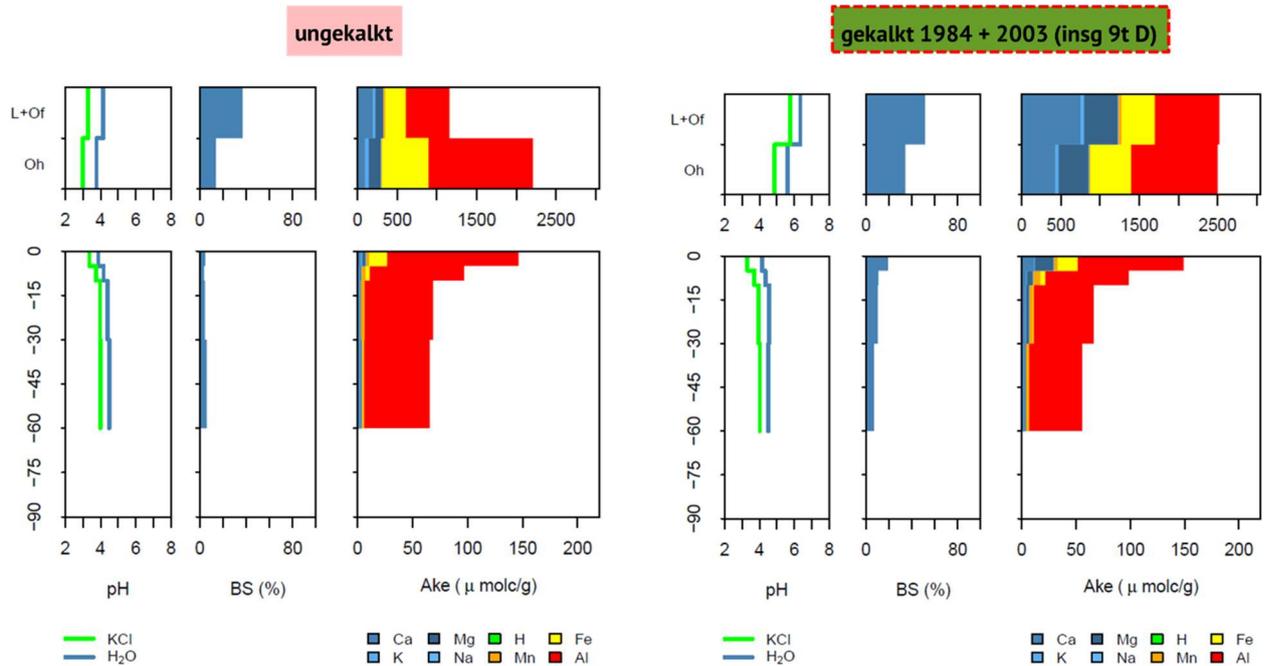
Jahr	Material	Dosierung [t/ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	K [kg/ha]	P [kg/ha]	SNK [kmol <sub>c</sub> /ha]
1983-85	K Kohlensaurer Kalk (+)	3	1012	117	+154	+39	55
2003	D Dolomit	6	1320	605	0	0	116
2015	DA (Dolomit 70%, Holzasche 30%)	3,85	710 ± 15	280 ± 15	29 ± 2,5	6 ± 0,8	59 ± 1,7
2015	D Dolomit	3,85	786 ± 21	413 ± 21	0	0	73 ± 2,2

### Untersuchung der Humusauflage

Die Kohlenstoffvorräte in der Humusschicht (~25 – 45 t Corg /ha) waren am gekalkten Standort bis 2010 (deutlich) geringer. Für den letzten Untersuchungszeitraum konnten wir keine signifikanten Unterschiede mehr feststellen.

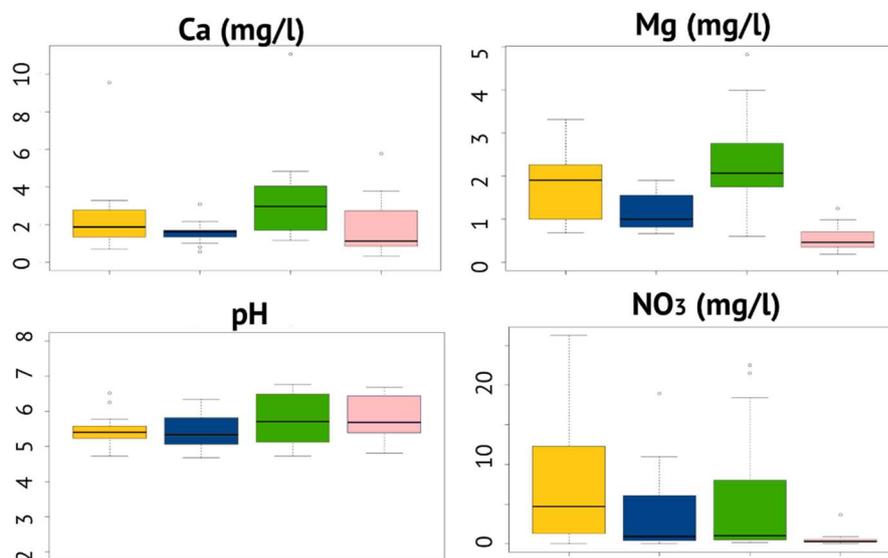
### Untersuchung der Bodenfestphase

Im Jahr 2015 (vor der erneuten Kalkung im Jahr 2015) sehen wir deutliche Auswirkungen der Kalkung auf die pH-Werte und den CEC, insbesondere in der Humusschicht, aber auch im Mineralboden bis zu einer Tiefe von 10 cm sind die pH-Werte und Basensättigungswerte erhöht.



### Untersuchung der Bodenlösung

Die Bodenlösung wurde in drei Zeiträumen (Sommer 2015, Frühjahr 2016 und Herbst 2016) in 60 cm Bodentiefe gemessen. Ca und insbesondere Mg sind an den gekalkten Standorten beide höher. Als Reaktion auf die erhöhte biologische Aktivität (und die Waldernte) steigt auch der Nitratgehalt.



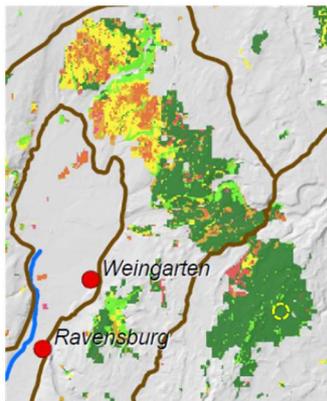
### Waldumbau und Baumarteneignung

<https://www.fva-bw.de/daten-tools/geodaten/klimakarten>

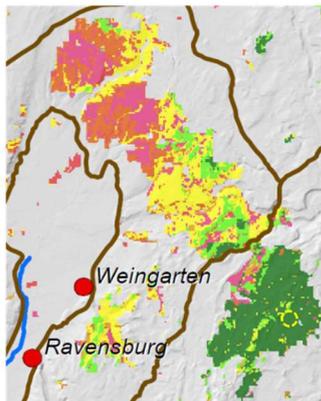
#### **BAE 2.0 (Baumarteneignungskarten)**

Die klimadynamischen Baumarteneignungskarten 2.0 stufen die vier Hauptbaumarten hinsichtlich ihrer forstlichen Anbaueignung ein – unter Berücksichtigung von zwei unterschiedlichen Szenarien des Klimawandels. Sie sind konzipiert als waldbauliche Entscheidungshilfe für die Baumartenwahl und dienen damit der langfristigen Waldentwicklungsplanung (> 10 Jahre). Die Logik ist eine Potentialbetrachtung ohne Berücksichtigung der heutigen Bestockungssituation und kann für Baumartenvergleiche „auf der grünen Wiese“ verwendet werden.

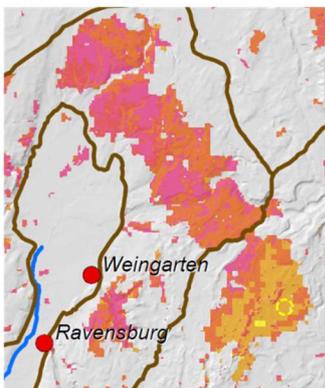
Bu RCP 4.5 2021-2050



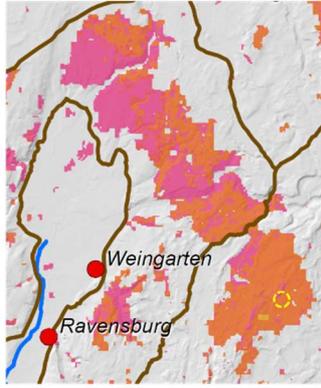
Bu RCP 8.5 2071-2100



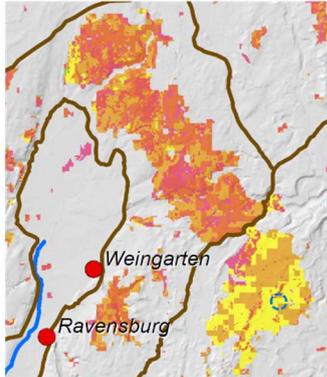
Fi RCP 4.5 2021-2050



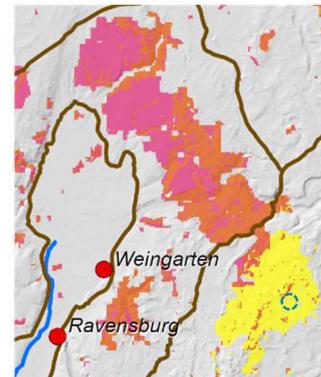
Fi RCP 8.5 2071-2100



Ta RCP 8.5 2071-2100



Ei RCP 8.5 2071-2100



#### **BAE 2.0**

##### **multikriterielles Verfahren:**

- Artverbreitungsmodelle
- = statische Einstufungen der forstlichen Standortskartierung bezüglich Klimawandel dynamisiert
- + f(Veränderungen von Bodenwasserhaushalt + Borkenkäferisiko + Sturmrisiko + Wuchsleistung)

