

Abschlussbericht

ClimClass

Projekt Nr. 100544

Untersuchung klimatischer Abgrenzungskriterien für das benachteiligte Gebiet Österreichs

Verification of climate criteria to identify
Austrian agricultural areas with natural handicaps

Projektleitung:

Mag. Andreas Schaumberger, MSc, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Mag. Jakob Schaumberger

Projektpartner:

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Bundeforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Impressum

Herausgeber
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning
des Bundesministeriums für Land- und
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Direktor
Prof. Mag. Dr. Albert SONNLEITNER

Leiter für Forschung und Innovation
Mag. Dr. Anton HAUSLEITNER

Für den Inhalt verantwortlich
Mag. Andreas SCHAUMBERGER, MSc

Druck, Verlag und © 2009
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

Dieses Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Auftrag der Abteilung II/7 finanziert.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung und Projektgrundlage	4
Criterion 1: Low Temperature	5
Criterion 7: Soil Moisture Balance	6
Teil 1: Untersuchung des Kriteriums „Low Temperature“	9
1 Einleitung	9
2 Material und Methoden	9
2.1 Abgrenzungskriterien.....	9
2.2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage	11
2.3 Räumliche Interpolation der Temperatur und Implementierung der thermischen Vegetationsperiode.....	13
3 Ergebnisse und Diskussion.....	18
3.1 Standortbasierte Untersuchung des Abgrenzungskriteriums	19
3.2 Untersuchung der thermischen Vegetationsperiode zur Abgrenzung	22
Teil 2: Untersuchung des Kriteriums „Soil Moisture Balance“	25
1 Einleitung	25
2 Material und Methoden	25
2.1 Berechnung und Interpolation der potenziellen Evapotranspiration	25
2.2 Räumliche Interpolation des Niederschlags.....	30
2.3 Durchwurzelungstiefe und nutzbare Feldkapazität.....	30
2.4 Berechnung der Wasserverfügbarkeit.....	32
3 Ergebnisse und Diskussion.....	34
3.1 Räumliches Modell der Evapotranspiration.....	34
3.2 Räumliches Modell des Niederschlags	36
3.3 Räumliches Modell der Wasserverfügbarkeit.....	37
3.4 Räumliche Modellierung der Abgrenzung von non-dry-days	42
Zusammenfassung und Ausblick	46
Literaturverzeichnis	47

Einleitung und Projektgrundlage

Für die Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes in Österreich wurden biophysikalische Kriterien untersucht und auf ihre Anwendbarkeit für Österreich geprüft. Im vorliegenden Projekt sind nur jene Kriterien herangezogen worden, welche einen engen Bezug zu den klimatischen Bedingungen aufweisen; dies sind „Low Temperature“ und „Soil Moisture Balance“. Die wissenschaftlichen Grundlagen dazu wurden vom Joint Research Center (JRC) erarbeitet.

Die im Projekt angewandten Methoden folgen aus Gründen der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit zwischen den Mitgliedsstaaten genau den Vorgaben in den „Guidelines for Application of Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Handicaps“ (<http://agrienv.jrc.ec.europa.eu/activities/Guidelines%20090430.pdf>). Der nachfolgende Text ist diesem Papier entnommen und führt in die Thematik ein. Die zwei untersuchten Kriterien „Low Temperature“ und „Soil Moisture Balance“ werden ebenfalls hier dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Implementierung und die daraus gewonnenen Ergebnisse werden für jedes Kriterium getrennt im Teil 1 und 2 dieses Berichtes beschrieben.

Auszug aus Böttcher et al. (2009): Guidelines for Application of Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Handicap (JRC Technical Notes)

This report aims at providing guidance in the mapping of the common bio-physical criteria by the Member States for reclassifying the “intermediate” Less Favoured Areas (LFA). The guidelines are written to help scientific and technical officers in the Member State administrations in charge of testing the common bio-physical criteria for the LFA classification. The guidelines describe concepts; provide information and explanations on how to derive the indicators and ways for aggregation, as requested by Directorate General Agriculture and Rural Development of the European Commission (DG AGRI). The Less Favoured Areas measure is now referred to as the Natural Handicap Payments (NHP), since the removal of the socio-economic objectives. The term Less Favoured Areas is used in this report.

The framework of common bio-physical criteria is built on recommendations and objectives given by DG AGRI, recommendations from a panel of climate, soil and land evaluation experts, meetings with Member States, and internal and external scientific reports and notes. Reports within the technical support from the Joint Research Centre (JRC) to DG AGRI on the redefinition of the LFA include internal and external reports, e.g. A review of existing Land evaluation methods (Eliasson, 2007); Recommendations from expert meetings (Eliasson *et al.*, 2006 and 2007). The guidelines build on the scientific factsheets prepared by the scientific network of experts (Van Orshoven *et al.*, 2008).

The Guidelines provide a common framework on how to map the criteria, with descriptions of recommended datasets and steps for analysis. However, it is not a detailed description on exact steps and procedures on how to go about testing/mapping as each Member State has different information base and tools and thus no single answer fits all. Instead, the recommendations have to be adapted within each Member State to soil, climate and terrain data sets, existing land evaluation methods and/or results from models. The aim of this exercise is to make the best use of existing capacities, knowledge and available information sources in the Member States.

Member States are required to test the criteria (COM (2009) 161 of 21 April 2009) using the most appropriate available data sets. The accuracy of the application of the criteria to separate constrained farming areas from other zones is data dependent, both in the semantic and the spatial dimensions. If the semantic resolution of the available observations, measurements or estimates is higher (more classes) or different (class boundaries) than what is proposed, a reclassification is necessary. This implies a certain loss of information and increase of uncertainty. Furthermore, it is advisable to ensure that the spatial scale of the soil and climate data is compatible with the size of the area to be designated.

Changing climate is a reality in Europe (IPCC, 2007). Zones for which current climate and combined soil-climate conditions justify their designation as constrained to agriculture, may no longer match the criteria in the future and vice versa. However, the set of diagnostic soil and climate criteria presented, with critical limits, remains valid.

The common bio-physical criteria are based on the definition provided by Article 50, 3. (a) of Council Regulation 1698/2005 for areas affected by natural handicaps, other than mountain areas and than those with specific handicaps. These areas are defined as: “*affected by significant natural handicaps, notably a low soil productivity or poor climate conditions*”.

Table: Common soil and climate criteria for classifying land according to its suitability for generic agricultural activity. Threshold value indicating agricultural areas with severe natural handicap to agriculture:

<i>Criterion</i>	<i>Definition</i>	<i>Threshold</i>
Criterion 1: Low Temperature	Length of Growing Period (number of days) defined by number of days with daily average temperature > 5°C or	≤ 180 days or
	Thermal-time sum (degree-days) for Growing Period defined by accumulated daily average temperature > 5°C	≤ 1500 degree-days
Criterion 7: Soil Moisture Balance	Number of days within growing period as defined by daily average temperature > 5°C, for which the amount of precipitation and water available in the soil profile exceeds half of potential evapotranspiration.	≤ 90 days

Criterion 1: Low Temperature

Definition

Low temperature is defined as the condition in which crop performance or survival is compromised by temperatures during the growing period which are insufficient for normal growth and development of plants. In the context of areas affected by natural handicaps for agriculture in Europe, low temperature is considered a characteristic of land for which thermal-time accumulation during the growing period is insufficient for plants to complete the production cycle.

Agronomic importance

Low temperatures limit crop growth and development through the impact on important physiological processes such as photosynthesis and leaf appearance. Land in which thermal-time accumulation systematically is not sufficient for crops to complete the production cycle is unfavourable for agriculture. Negligible growth occurs for most agricultural crops

at temperatures below 5 °C. When crops are grown under lower than optimal temperatures, yields can be reduced by various mechanisms including: limited light interception (e.g. due to slow leaf area expansion), inefficient conversion of intercepted light into biomass (i.e. reduced photosynthesis rates), or direct damage to plant tissues caused by early or late frosts.

Threshold

Temperature thresholds and thermal requirements for plant development vary among crop species and cultivars. For European conditions, thermal-time sum (TS) requirements can be used as a reference to delimit thresholds for the development of agricultural crops. In general, adequate thermal-time requirement for most agricultural crops is above a TS₅ of 1500 °Cd (degree day), above a base temperature (T_b) of 5 °C (Boons-Prins *et al.*, 1993). Therefore, severely limiting low temperature is said to occur if TS₅ is lower than or equal to 1500 °Cd or if LGP_{t5} is lower than or equal to 180 days.

Assessment

To assess low temperature as a land characteristic, the concepts of thermal-time sums TS_b, degree days, °Cd) or length of temperature growing period (LGP_t, days) can be used. The length of the temperature growing period (LGP_{t5}), i.e. the number of days with daily average temperatures (T_{avg}) above 5 °C, is calculated for each year. The LGP_{t5} characterizes the days in which temperatures are conducive to crop growth. Thermal-time sums above a base temperature (T_b) of 5 °C (days within LGP_{t5}), are calculated for each year by accumulating the difference between daily T_{avg} and T_b. Calculated values of LGP_{t5} and TS₅ are compared with reference thresholds for severe limiting conditions. Finally, the number of years with limiting conditions is counted. If limiting conditions occur in more than 20% of the years of the whole time series, the land is classified as constrained.

Criterion 7: Soil Moisture Balance

Definition

Deficit in the soil moisture balance is defined as the condition in which crop performance or survival is compromised by limited water availability during the growing period, which is insufficient for normal growth and development of crops. In the context of areas affected by natural handicaps for agriculture in Europe, a deficit soil moisture balance is a characteristic of land for which the “number of days, within growing period as defined by temperature, for which the amount of precipitation and moisture available in the soil profile is not sufficient as compared to the reference evapotranspiration, for plants to complete the production cycle”.

Therefore, the soil moisture balance is integrating soil criteria (such as texture and rooting depth, which influence water retention) and climate criteria (temperature, precipitation, potential evapotranspiration).

Agronomic importance

The soil moisture balance is a critical parameter for assessing the potential for crop production. Agricultural production is seriously impaired if soil water is limiting during the growing season causing adverse effects on plant growth and crop yields. The ‘Soil Moisture Balance’ criterion identifies land at risk of this.

Threshold

Short growing period provides unfavourable conditions for agriculture. On the basis of minimum crop cycle duration, the following critical limit has been established: Severe threshold: ≤ 90 days within the growing period as defined by temperature above 5°C , for which the amount of precipitation and available water in the soil profile exceeds half of potential evapotranspiration. These days are called “*non-dry days*”.

Assessment

For the calculation of the soil water balance the concept proposed by Thornthwaite (1948) and Thornthwaite and Mather (1955) is followed here, see box on calculation of soil moisture balance. For the calculation of reference evapotranspiration, the Penman-Monteith equation is recommended (FAO, 1992).

The water budget components are calculated by comparing values for precipitation and potential evapotranspiration and monitoring water stored in the soil. Potential evaporation represents the maximum ‘water need’ of vegetation. To meet this requirement, vegetation uses water available via precipitation or water stored in the soil. When there is sufficient water, actual evapotranspiration (AET) will be equal to potential evapotranspiration (PET).

In the opposite case, water stored in the soil profile will be extracted by the root system. The efficiency of this extraction depends on the pressure that roots are required to apply. Here, it is assumed that the efficiency of the extraction is 100 percent when soil water is greater or equal to the Soil Water Available to Plants (SWAP) and declines thereafter in a linear manner. If the requirement of PET is not met, there is a deficit, which is defined as the difference between PET and AET. When Precipitation (P) exceeds PET, the extra water contributes to increased storage or surplus. After soil moisture storage reaches SWAP any surplus water is counted as excess (runoff).

If soil water retention properties have not been measured (from undisturbed cores) for an area of interest, they may be estimated from pedotransfer functions relating water retention at field capacity and wilting point to other soil properties like particle-size distribution, organic carbon and bulk density (e. g. Hall *et al.*, 1977 for soils from England and Wales; Wösten *et al.*, 1999 for European soils; Scheinost *et al.*, 1997 for soils in Germany; Wösten *et al.*, 2001).

Calculation of soil moisture balance

Soil Water Available to Plants (*SWAP*) is computed as:

$$SWAP = RD \cdot (FC - WP)$$

where *RD* (mm) is the soil rooting depth, while *FC* and *WP* (m^3/m^3) are the soil porosity which is filled with water at field capacity and wilting point respectively. The calculation

of the soil moisture balance is performed daily as follows (subscript i indicates the generic day):

1. Net input to the soil (mm/day) is computed as:

$$\Delta P_i = P_i - PET$$

where P is the precipitation and PET represents the potential Evapotranspiration

2. Daily soil water content AW_i (mm) is computed as:

if $\Delta P_i \geq 0$,

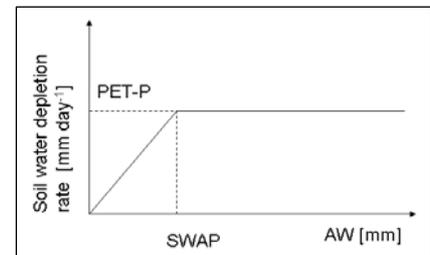
$$AW_i = \min(SWAP; AW_{i-1} + \Delta P_i)$$

else,

$$AW_i = AW_{i-1} \exp\left(\frac{\Delta P_i}{SWAP}\right)$$

The followed assumption is that during days with $\Delta P_i < 0$, soil water depletion occurs at a rate of $\frac{dAW}{dt} = \Delta P \cdot \frac{AW}{SWAP}$, i.e. it is proportional to PET , diminished by P possibly occurring during the day and the ratio of AW to $SWAP$ (see figure). Under such assumption, soil water content at the end of the day is

$$AW(t) = AW(t=0) \exp\left(\Delta P \frac{t}{SWAP}\right) \text{ with } t = 1 \text{ day.}$$



A generic day i is defined as non-dry if it meets the condition $(AW_{i-1} + P_i) / PET_i > 0.5$. After the calculation of the water budget components, the number of non-dry days within the growing period ($T_{avg} > 5$ °C) is counted for each observation year. According to the threshold value for the severe constraint, years with ≤ 90 non-dry days are classified as constrained. A probabilistic approach is applied to take account of the variability between years. If the handicap occurs in more than 20 % of the years, the land is classified as constrained.

Teil 1: Untersuchung des Kriteriums „Low Temperature“

1 Einleitung

Die Vegetationsperiode bildet den natürlichen klimatischen Rahmen für die landwirtschaftliche Produktion. Die vom Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission aufgestellten biophysikalischer Abgrenzungskriterien des Sonstig Benachteiligten Gebietes (Böttcher *et al.*, 2009) definieren die Vegetationsperiode (Growing Period) als alle Tage eines Jahres mit Temperaturen von mindestens 5 °C. Klimatische Bedingungen mit niedrigeren Temperaturen schränken das Wachstum ein und stellen demnach eine Benachteiligung der in diesem Gebiet befindlichen Landwirtschaft dar. In der vorliegenden Arbeit wurde mit Hilfe von Wetterdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) das Abgrenzungskriterium „Low Temperature“ für Österreich untersucht. Die geforderte Zuweisung auf die landwirtschaftliche Nutzfläche erfordert eine räumliche Aufbereitung der Daten in einer Auflösung von 250 Metern.

2 Material und Methoden

Eine räumliche Implementierung der Temperaturmessdaten impliziert die tägliche Aufbereitung von kontinuierlichen Temperaturüberflächen. Bei der Zielauflösung von 250 Metern entstehen Rasterdaten mit jeweils 3,36 Millionen Rasterzellen. Insgesamt ist ein geforderter Zeitraum von 30 Jahren (Klimanormalperiode von 1971 bis 2000) auf Tagesbasis abzudecken. Dies entspricht knapp 11.000 Einzelrastern mit insgesamt ca. 37 Milliarden Werten. Da dies eine nicht unbedeutende Rechenzeit erfordert, musste in einem Zweistufenverfahren gearbeitet werden. Zunächst wurde auf Wetterstationsebene untersucht, ob das Temperaturkriterium in den abzugrenzenden Gebieten eine Rolle spielt, um dann zu entscheiden, ob in einem zweiten Schritt eine Auswertung des Temperaturkriteriums in einer räumlichen Variante sinnvoll ist.

2.1 Abgrenzungskriterien

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei unterschiedliche Ansätze zur Festlegung der Vegetationsperiode getestet. **Kriterium (1):** Nach Böttcher *et al.* (2009) sind für die Ermittlung der Vegetationsperiode alle Tage eines Jahres (auch jene in den Wintermonaten) heranzuziehen, welche Temperaturen > 5 °C aufweisen. **Kriterium (2):** Da in Österreich in den Monaten Dezember, Jänner und Februar kein Wachstum auf landwirtschaftlichen Kulturen stattfindet, schlägt Terres (2009) vor, alternativ dazu die klassische Definition der thermischen Vegetationsperiode zu implementieren. Diese besagt, dass der Beginn mit dem Überschreiten der Temperatur von 5 °C für eine Dauer von mindestens fünf Tagen festgelegt wird und das Ende, der Übergang in die Ruhephase, mit dem Unterschreiten der Temperatur von 5 °C wiederum für die Dauer von fünf Tagen markiert wird.

In *Abbildung 1* wird das Konzept der thermischen Vegetationsperiode am Beispiel des Beginns im Jahr 1999 am Standort Gumpenstein dargestellt. Die zusammenhängende Anzahl von fünf Tagen mit Temperaturen über 5 °C markiert den Vegetationsbeginn. Nach Anwendung des Kriteriums (1) wären bereits vor dem 24.03.1999 zahlreiche Tage zur Definition der Vegetationsdauer heranzuziehen – auch jene, wo aufgrund der Schneebedeckung kein Wachstum erfolgen kann.

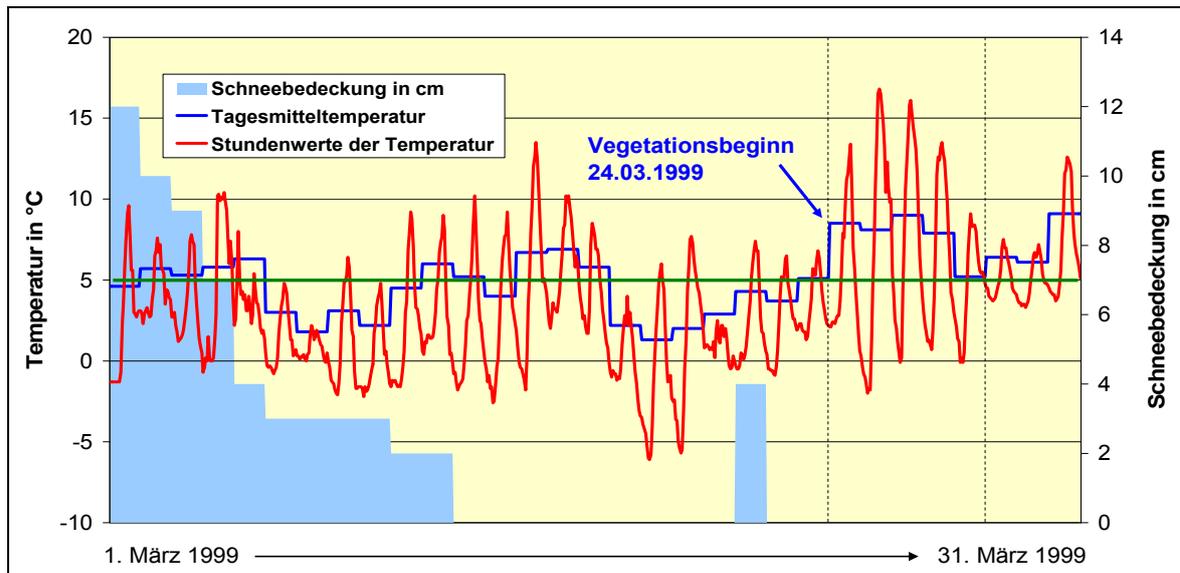


Abbildung 1: Temperaturverlauf im März 1999 am Standort Gumpenstein und Beginn der thermischen Vegetationsperiode am 24.03.1999

Die Problematik, sämtliche Tage eines Jahres ohne Berücksichtigung eines zusammenhängenden Zeitraums als Definition für die Vegetationsperiode heranzuziehen, wird an Hand eines weiteren Beispiels in *Abbildung 2* dargestellt. Hier befinden sich einige Tage in einer Jahreszeit, welche definitiv in die Ruhephase fällt. Werden die Tage in diesem Beispiel nach dem Kriterium (1) aufsummiert, ergibt sich eine Länge der Vegetationsperiode von 270 Tagen. Nach Anwendung des Kriteriums (2) ist die thermische Vegetationsperiode 252 Tage lang (06.03. bis 12.11.).

Nach den Vorgaben in Böttcher *et al.* (2009) findet eine Beeinträchtigung und damit eine Abgrenzung von benachteiligten Gebieten dann statt, wenn die Dauer der Vegetationsperiode (Anzahl der Tage mit Temperaturen über 5°C) höchstens 180 Tage beträgt. Alternativ dazu können auch die Grad-Tage (degree-days) herangezogen werden. Dabei handelt es sich um die akkumulierte Temperatur > 5 °C eines ganzen Jahres. Der Schwellwert für die Abgrenzung der Vegetationsperiode hierfür liegt bei mindestens 1500 degree-days.

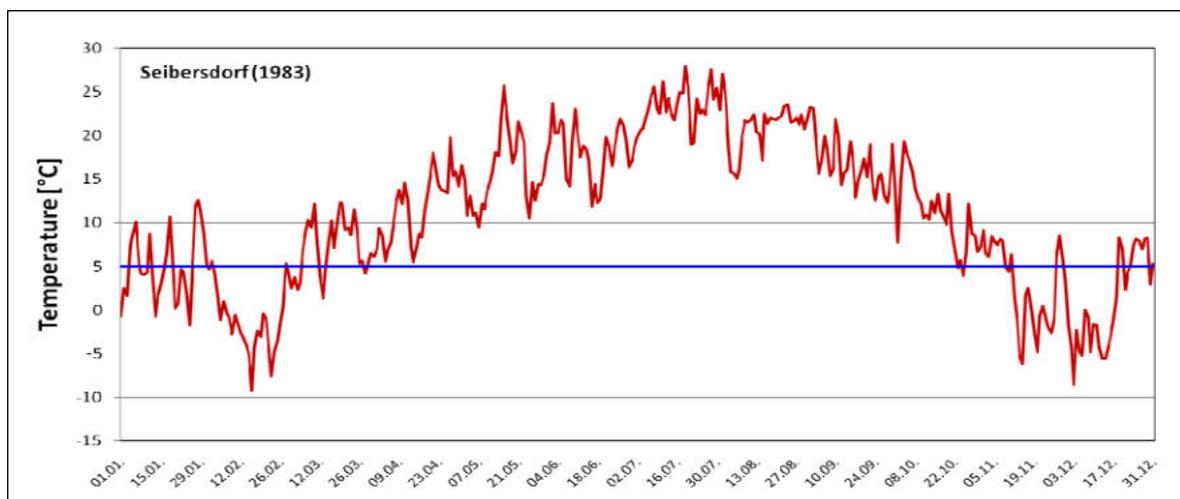


Abbildung 2: Temperaturverlauf an der Station Seibersdorf im Jahr 1983

2.2 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Die Untersuchung der Kriterien wird für das gesamte Bundesgebiet vorgenommen. Da „Berggebiet“ und „Kleines Gebiet“ bereits abgegrenzt sind, die hier erarbeiteten Ergebnisse jedoch nur für das „Nicht benachteiligte Gebiet“ bzw. für die Neuabgrenzung des „(Sonstig) Benachteiligten Gebietes“ relevant sind (in weiterer Folge Abgrenzungsgebiet genannt), liegt der Focus der Untersuchung auf den zwei letztgenannten Gebieten, dem Abgrenzungsgebiet. In *Abbildung 3* sind die jeweiligen Gebietsabgrenzungen geographisch dargestellt und mit den für die Klimaparameter erforderlichen Wetterstationen der ZAMG kombiniert. Diese Stationen bilden die Basis für die Voruntersuchung auf Erfüllung des Kriteriums (1).

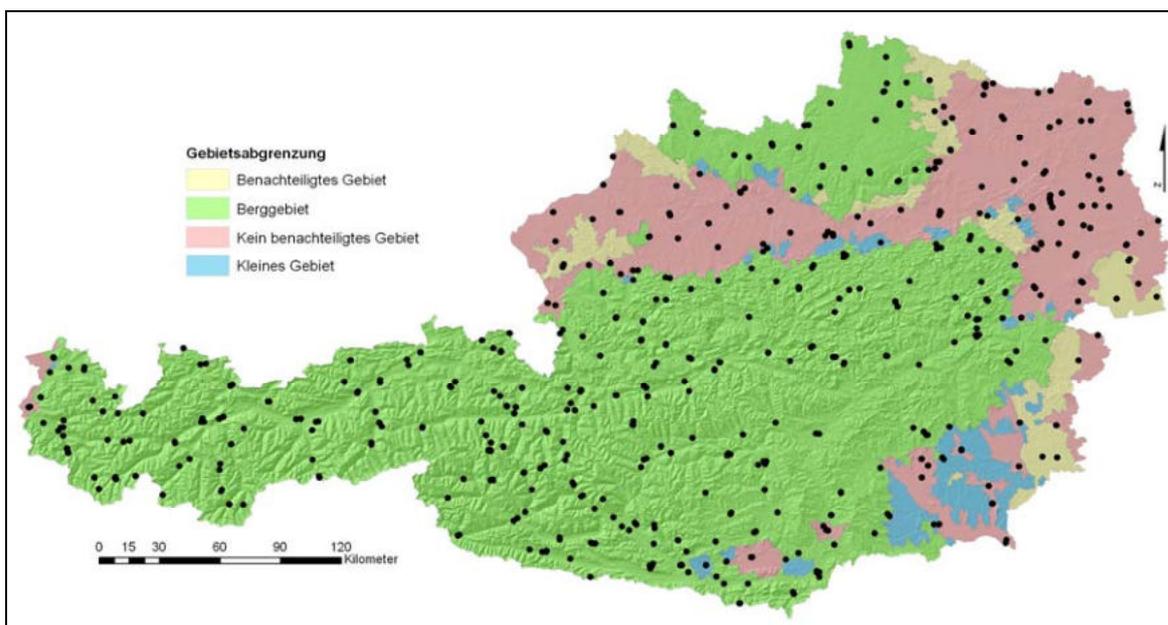


Abbildung 3: Darstellung der Klassen des Benachteiligten Gebietes und der ZAMG-Wetterstationen

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob aufgrund der Temperaturverhältnisse im Abgrenzungsgebiet eine Erfüllung des Kriteriums (1) überhaupt möglich ist. Erfüllt im Abgrenzungsgebiet keine Station dieses Kriterium, erübrigt sich die aufwendige Interpolation der täglichen Temperaturwerte. Da die dort befindlichen Wetterstationen als Stützstellen der Interpolation zu interpretieren sind, können nur solche Gebiete mit Erfüllung des Abgrenzungskriteriums (1) ermittelt werden, an denen es deutlich mehr kühlere Tage als im regionalen Umfeld gibt. Dies ist nur dann denkbar, wenn aufgrund der Topographie eine signifikante Zunahme der Seehöhe festzustellen ist und damit die Anzahl an Tagen mit niedrigen Temperaturen in diesen höheren Lagen soweit steigt, dass eine Abgrenzung theoretisch möglich wird. Da die Temperatur in den Monaten der Vegetationsperiode einen starken Zusammenhang mit der Seehöhe aufweist, ist die Beurteilung des Höhengradienten für diese Stationen wichtig. Von den im Laufe des Untersuchungszeitraums 1971 bis 2000 einbezogenen 545 Wetterstationen befinden sich 171 im Abgrenzungsgebiet (vgl. *Abbildung 3*). Sie befinden sich zwischen 117 und 660 Meter Seehöhe und weisen eine durchschnittliche Höhe (arithmetisches Mittel) von 293 Meter auf; der Median beträgt 265 Höhenmeter. Bei einer höhenabhängigen Interpolation muss das Gelände im Abgrenzungsgebiet für die Anwendung des Höhengradienten der Temperatur herangezogen werden. Die

Analyse des Digitalen Höhenmodells (DHM) ergibt einen Wertebereich von etwa 115 bis 800 Meter Seehöhe mit einem Mittelwert von 318 und einem Median von 310 Meter Höhe.

Da sowohl die Wertebereiche von Stationsdaten als auch jene des DHM ähnlicher Ausprägung sind und auch die Mittelwerte bzw. Mediane nicht extrem voneinander abweichen, kann angenommen werden, dass bei einer höhenabhängigen Interpolation der Temperatur auf Basis dieser 171 Stationen keine Gebiete festgestellt werden, welche dem Kriterium (1) entsprechen. Lediglich bei 833 Zellen (5.200 ha) in wenigen Randbereichen des Abgrenzungsgebietes liegt die Höhe über 800 und geht bis 2130 Meter. Hier würde die höhenabhängige Temperaturinterpolation wahrscheinlich Bereiche ergeben, welche das Kriterium (1) erfüllen. Bei einer Verschneidung des betroffenen Gebietes mit der landwirtschaftlichen Nutzfläche ergibt sich lediglich eine Summe von 1.370 ha, die sich auf 24 Gemeinden verteilt. Eine Möglichkeit der Abgrenzung aufgrund der interpolierten Temperatur ist hier auszuschließen und rechtfertigt den enormen Aufwand der Berechnung nicht.

Da an vielen Wetterstationen keine durchgehenden Messreihen vorliegen, wurden nur jene Stationen berücksichtigt, welche mindestens 300 Tage innerhalb eines Jahres Beobachtungen aufweisen. *Abbildung 4* zeigt eine Übersicht der in jedem Jahr einbezogenen Anzahl an Wetterstationen. Für alle 30 Jahre sind das 545 unterschiedlichen Stationen, die im Rahmen dieser Auswertung verwendet wurden.

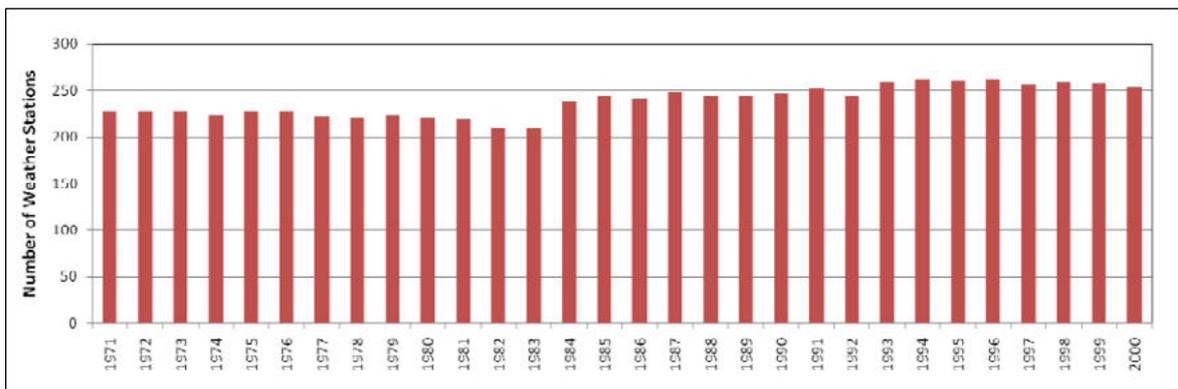


Abbildung 4: Wetterstationen mit mindestens 300 täglichen Temperaturmessungen innerhalb eines Jahres

Von den berücksichtigten Stationen gibt es im Untersuchungszeitraum 1971 bis 2000 nicht für alle Jahre Messungen. Im Fall der vorliegenden Arbeit spielt die Anzahl an Jahren eine Rolle, in denen das Abgrenzungskriterium erfüllt ist. Wenn in mehr als 20 % der 30jährigen Untersuchungsreihe, das sind mehr als 6 Jahre, das Kriterium gültig ist, kann ein Gebiet als benachteiligt gelten.

Leider sind an den in die Untersuchung einbezogenen ZAMG-Wetterstationen nicht in allen Jahren Beobachtungen vorhanden. Die Verteilung der Häufigkeiten ist sowohl für das Abgrenzungsgebiet als auch für alle anderen Gebiete der *Abbildung 5* zu entnehmen. Der Grund liegt unter anderem darin, dass innerhalb des Untersuchungszeitraums Stationen deaktiviert und neue aktiviert wurden. Die in diesem Bericht getätigten Aussagen sind diesem Sachverhalt entsprechend zu beurteilen. Es befinden sich allerdings im Untersuchungsgebiet genügend Stationen mit mehr als 10jährigen Messungen (vgl. *Abbildung 6*), die den begründeten Schluss zulassen, dass sich an den gewonnen Erkenntnissen nichts ändern kann.

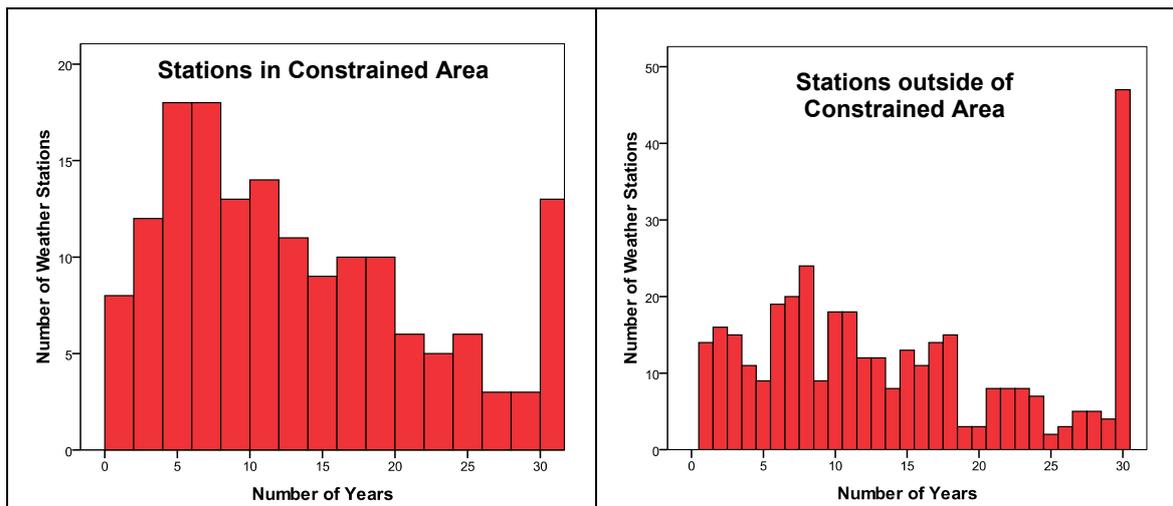


Abbildung 5: Anzahl der Jahre von berücksichtigten Stationen im Abgrenzungsgebiet und außerhalb davon

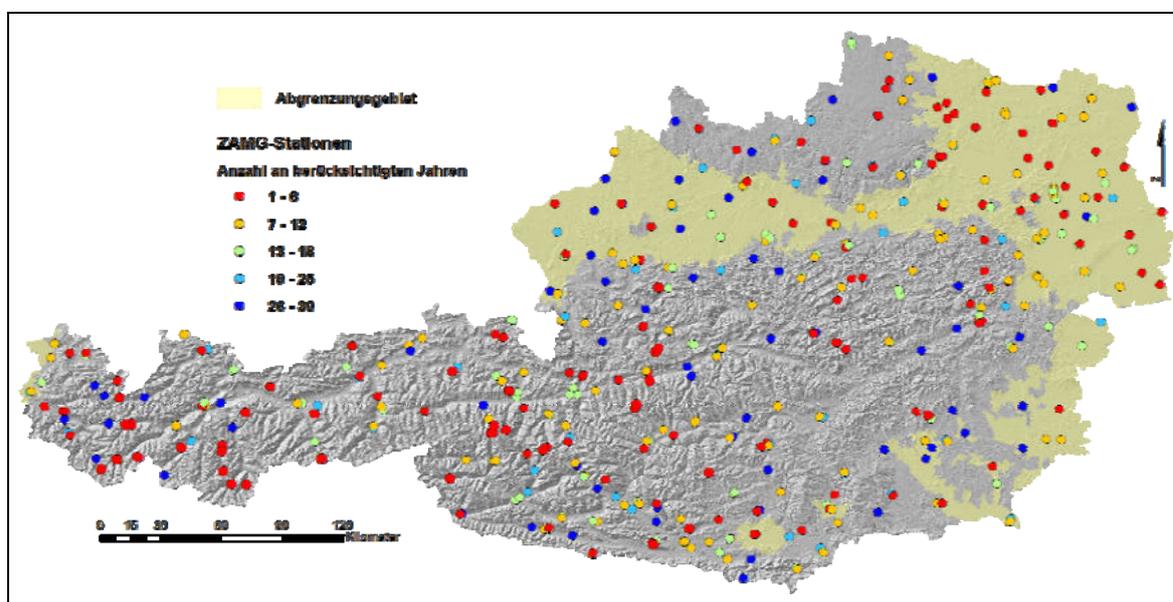


Abbildung 6: Geographische Verteilung der Stationen, klassifiziert nach der Anzahl der einbezogenen Jahre

Alle stationsbasierten Untersuchungen wurden datenbankorientiert am aktuellen Datensatz der ZAMG-Wetterdaten für die Periode 1971 bis 2000 auf Tagesbasis vorgenommen. Als Temperaturwert wurde die Tagesmitteltemperatur der ZAMG, gemessen in zwei Meter über Boden) verwendet. Für die Bestimmung der thermischen Vegetationsperiode analog dem Kriterium (2) sind jedoch tägliche Temperaturoberflächen zu generieren, deren methodische Grundlage die im nachfolgenden Abschnitt dargestellte räumliche Interpolation bildet.

2.3 Räumliche Interpolation der Temperatur und Implementierung der thermischen Vegetationsperiode

Die geostatistische Interpolation unter Einbeziehung zusätzlicher Information, in diesem Fall der Seehöhe, erfährt in der Literatur eine besondere Aufmerksamkeit. Goovaerts

(2000) beschreibt drei multivariate geostatistische Algorithmen für die räumliche Schätzung von Niederschlag unter Einbeziehung eines DHM, die aber ebenso auf die Temperatur anwendbar sind. Eine ausführliche methodische Auseinandersetzung zu diesem Thema findet sich in Goovaerts (1997). Die auch als Georegression bezeichnete Methode wird von Blöschl und Merz (2002) ebenfalls für die Niederschlagsinterpolation mit Höhenabhängigkeit angewendet.

In einem ersten Schritt wird eine Regression der zu interpolierenden Größe (in diesem Fall der Temperatur) mit der Zusatzvariablen (z.B. Seehöhe) aufgestellt. Die Regressionsgleichung liefert die Werte für alle Positionen der Zusatzinformation (z.B. DHM bei der Seehöhe). Anschließend werden die Residuen, welche an den Messpunkten durch die Differenz zwischen Regressions- und Messwert bestimmt sind, geostatistisch mittels Kriging interpoliert und hinzugezählt. Eine ausführliche Beschreibung der Georegression kann einer Arbeit von Clark und Clausen (1981) entnommen werden. Im Rahmen von COST 719 „The use of geographical information systems in climatology and meteorology“ wurde die Methode von Tveito *et al.* (2006) als Residual Kriging oder Detrended Kriging beschrieben.

Ausgehend von den Temperaturmessstellen wird unter Ausnützung der Höhenabhängigkeit die Tagesmitteltemperatur zu flächendeckenden Rasterdaten mit 250 Meter Auflösung interpoliert. Der in den Monaten der Vegetationsperiode ausgeprägte Zusammenhang zwischen Temperatur und Seehöhe wird für die Anwendung der Georegression genutzt. Mit der Gleichung

$$\hat{T}_m = a_m \cdot z + b_m \quad (1-1)$$

werden die Koeffizienten a_m und b_m der Regressionsgeraden mit der Tagesmitteltemperatur T [°C] als abhängiger sowie der Seehöhe z [m] an der Wetterstation als unabhängiger Variablen aus den Beobachtungsdaten eines gesamten Monats m berechnet. Die Residuen e [mm] als Differenz zwischen der jeweiligen Tagesmitteltemperatur eines Tages i und den Werten der Monate m , wobei die Tage i innerhalb des aktuell zu berechnenden Monats liegen, werden in der Form

$$e_i = T_i - \hat{T}_m \quad (1-2)$$

errechnet. *Abbildung 7* zeigt ein Beispiel mit konkreten Temperaturdaten. Das im ersten Schritt aus den Monatswerten ermittelte lineare Modell der Höhenabhängigkeit (Gleichung (1-1)) wird im zweiten Schritt zur Residuenbestimmung für die Temperaturmesswerte aller im Untersuchungsgebiet gelegenen Wetterstationen eines bestimmten Tages, in diesem Fall ist es der 10. Mai 1999, herangezogen. In *Abbildung 8* ist der Temperatur-Höhen-Raster, gebildet nach Gleichung (1-1) und als Raster implementiert nach Gleichung (1-3) geographisch dargestellt. Es handelt sich um den höhenabhängigen Anteil der Temperatur am Beispiel des Monats Mai 1999.

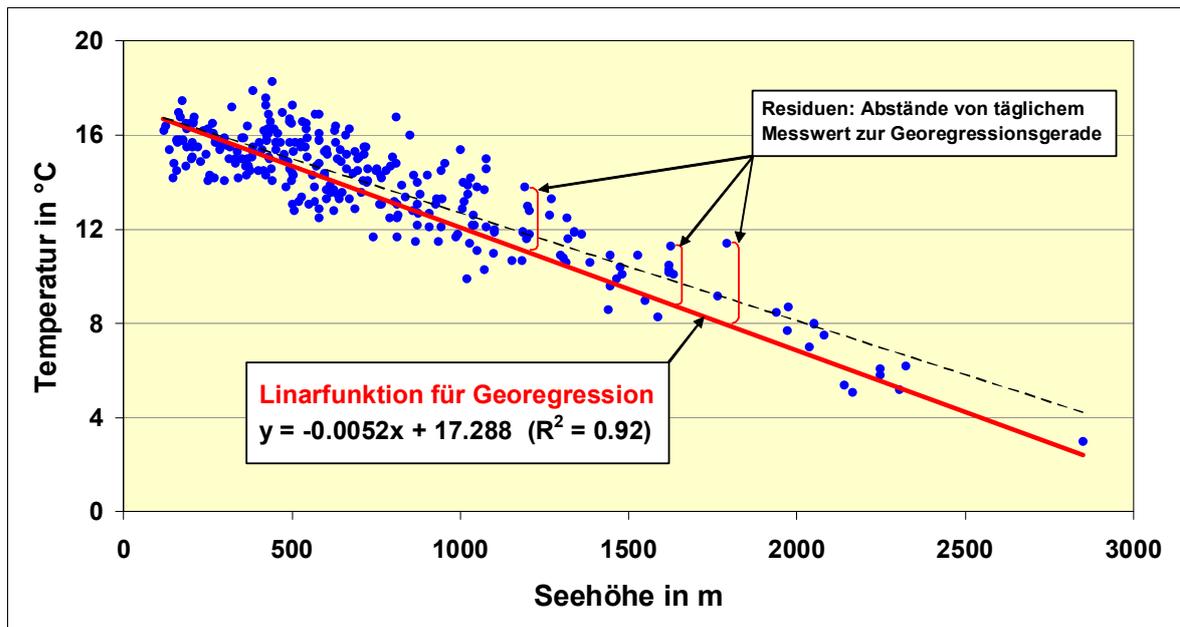


Abbildung 7: Temperatur am 10. Mai 1999 in Kombination mit der Regressionsgeraden für den Monat Mai 1999 als Grundlage für die Anwendung der Georegression

Die als Residuen verbleibenden Wertedifferenzen können nicht durch die Seehöhe erklärt werden, zeigen jedoch einen Zusammenhang mit der räumlichen Verteilung, welcher geostatistisch genutzt werden kann. Der Grund für die Ermittlung der Höhenabhängigkeit aus Monatsdaten liegt darin, dass besondere Wettersituationen an bestimmten Tagen möglicherweise nur einen schwachen Zusammenhang von Temperatur und Höhe erkennen lassen. Der Trend in der Werteverteilung eines einzelnen Tages kann daher nicht auf einen aussagekräftigen Höhengradienten zurückgeführt werden, vielmehr sind es andere, nicht höhenabhängige Einflüsse, welche durch die geostatistische Interpolation der Residuen ihre Berücksichtigung finden müssen.

Die täglichen Residuen werden daher mittels Ordinary Kriging zu einer kontinuierlichen Oberfläche $Raster(e_i)$ interpoliert. Aus dem höhenabhängigen Anteil der Temperatur wird unter Verwendung der in (1-1) ermittelten Koeffizienten a_m und b_m und mit den Seehöhen z [m] des Digitalen Höhenmodells DEM in der Form

$$Raster(T_m) = a_m \cdot z_{DEM} + b_m \quad (1-3)$$

ebenfalls eine kontinuierliche Oberfläche $Raster(T_m)$ für den Monat m erzeugt (Abbildung 8). Für die Berechnung einer täglichen Temperaturoberfläche werden die täglichen Residuen (Gleichung (1-2) und Abbildung 9) zum monatlich ermittelten, höhenabhängigen Anteil addiert (Abbildung 10):

$$Raster(T_i) = Raster(T_m) + Raster(e_i) \quad (1-4)$$

Die Temperaturraster sind die Datengrundlage, welche nach zu definierenden Kriterien miteinander kombiniert werden, um den Beginn und das Ende der thermischen Vegetationsperiode zu bestimmen.

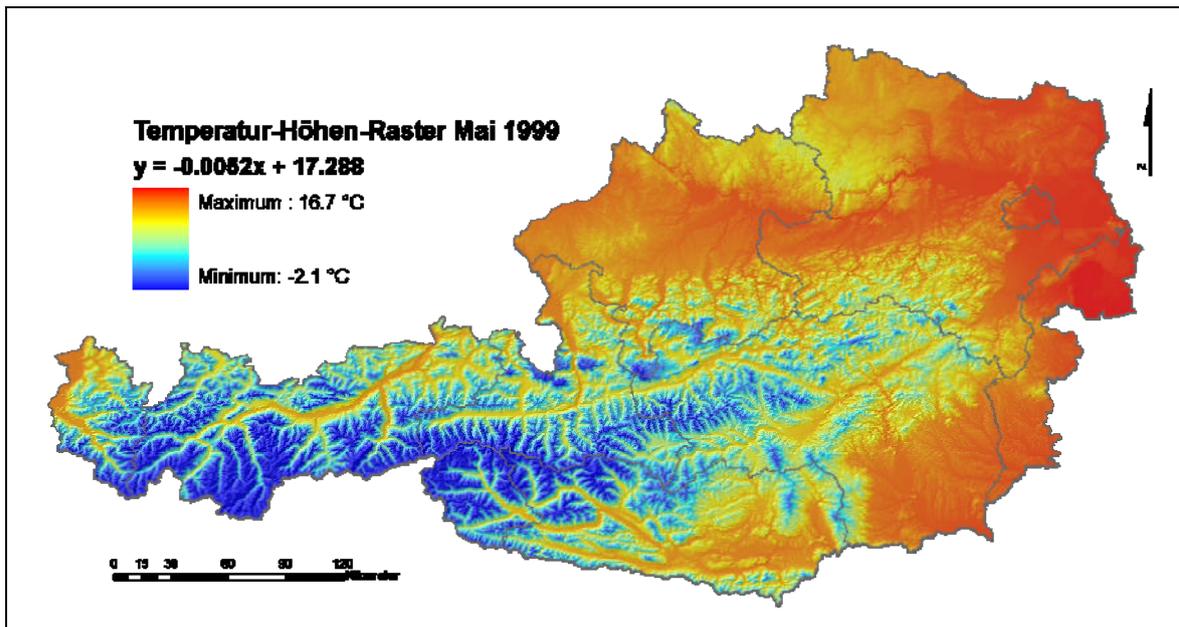


Abbildung 8: Höhenabhängiger Anteil der Temperatur im Mai 1999

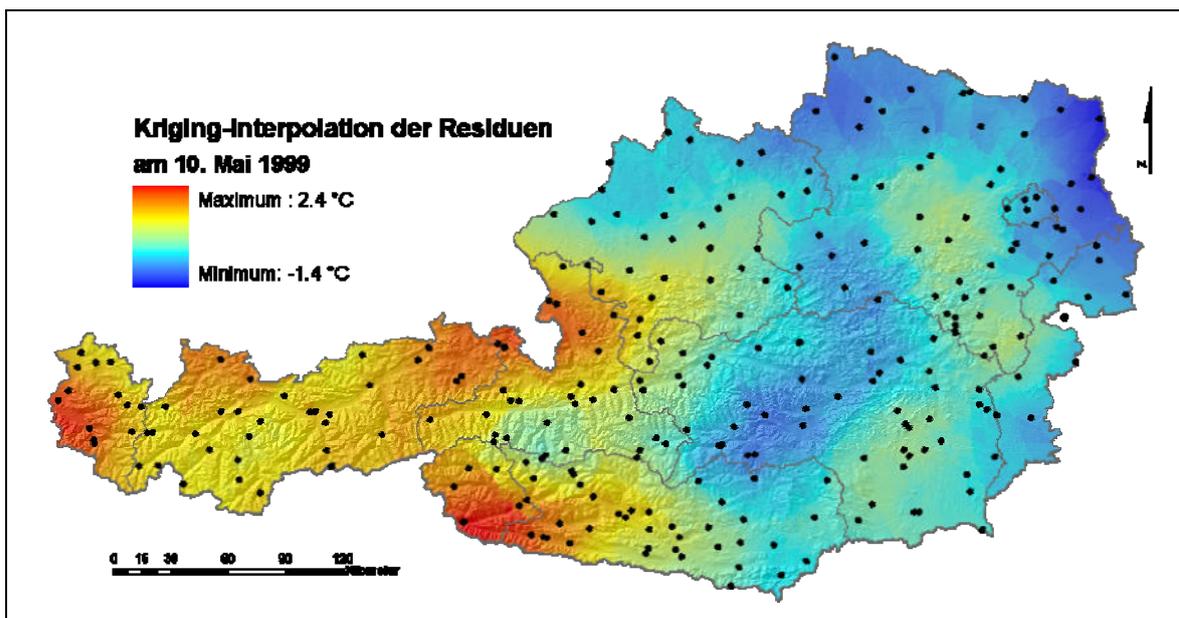


Abbildung 9: Residuen als der nicht höhenabhängige Anteil an der Temperatur am 10. Mai 1999

Die täglichen Temperaturraster werden auf das Kriterium für den Vegetationsbeginn, ≥ 5 °C für mindestens fünf aufeinander folgende Tage (vgl. *Abbildung 1*), bzw. für das Vegetationsende mit < 5 °C für mindestens fünf aufeinander folgende Tage Zelle für Zelle geprüft. Bei Erfüllung der Bedingung wird das Datum des ersten dieser fünf Tage in die entsprechenden Zellen des Ergebnisrasters eingetragen, das sich im Lauf des Berechnungszeitraums von März bis Mai bzw. September bis November vervollständigt.

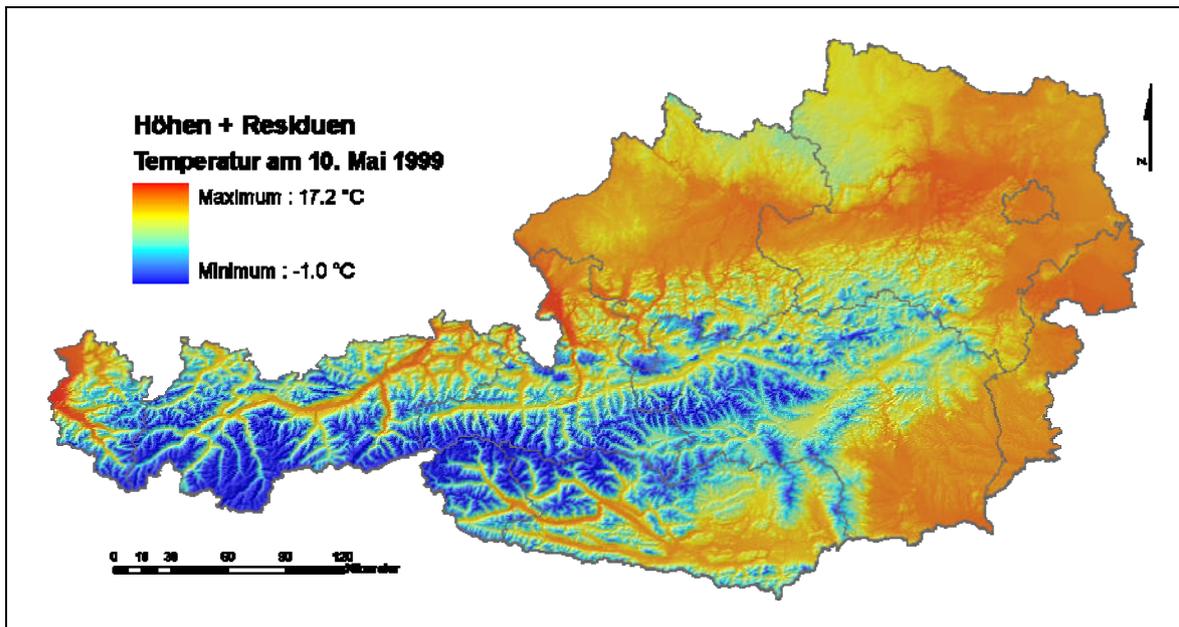


Abbildung 10: Kontinuierliche Temperaturoberfläche für den 10. Mai 1999 als Ergebnis der Georegression

Die geographische Repräsentation der so ermittelten thermischen Vegetationsperiode (Beginn, Ende und Dauer) wird in den *Abbildung 11* bis *13* am Beispiel des Jahres 1999 dargestellt.

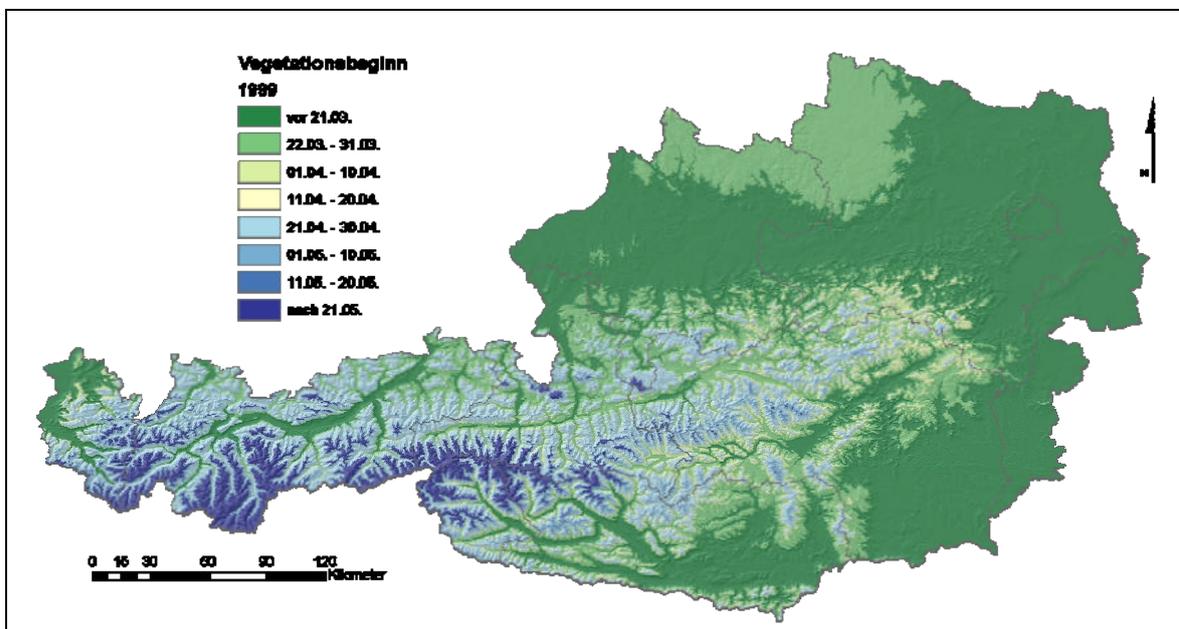


Abbildung 11: Beginn der thermischen Vegetationsperiode im Jahr 1999

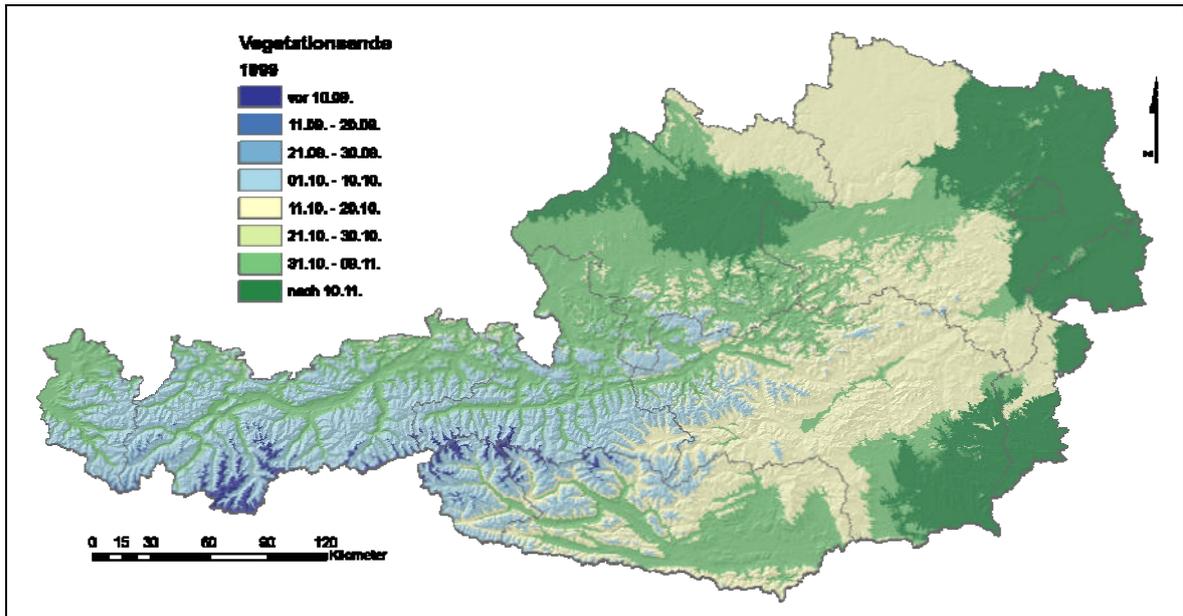


Abbildung 12: Ende der thermischen Vegetationsperiode im Jahr 1999

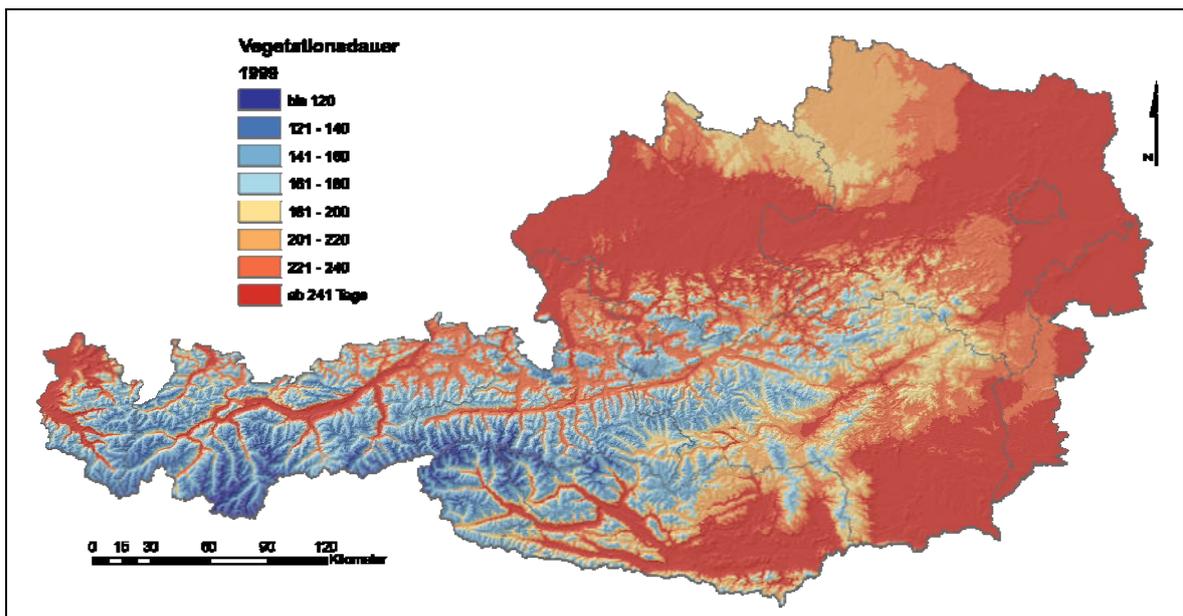


Abbildung 13: Dauer der thermischen Vegetationsperiode im Jahr 1999

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertungen wurden in zweierlei Hinsicht vorgenommen. Zum einen wurde das Kriterium (1) an den Stationen geprüft, um festzustellen, ob eine räumliche Implementierung sinnvoll ist. Zum anderen wurde die thermische Vegetationsperiode implementiert (Kriterium (2)) und untersucht, ob es im Abgrenzungsgebiet Standorte gibt, welche eine Vegetationsdauer von höchstens 180 Tagen aufweisen können.

3.1 Standortbasierte Untersuchung des Abgrenzungsgebietes

An alle ZAMG-Wetterstationen mit mindestens 300 Beobachtungstagen pro Jahr wurde die Anzahl an Tagen ermittelt, welche eine mittlere Tagestemperatur von $< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufwiesen. Anschließend wurde die Anzahl an Jahren im Untersuchungszeitraum 1971 bis 2000 festgestellt, an denen dieses Kriterium erfüllt wurde. In *Abbildung 14* sind sämtliche Stationen angeführt, welche an mindestens einem Jahr das Kriterium (1) aufweisen. In *Abbildung 15* sind diese Stationen geographisch dargestellt. Es wird nochmals betont, dass alle hier nicht aufgeführten Stationen in keinem einzigen Jahr des Untersuchungszeitraums das Kriterium (1) erfüllt haben.

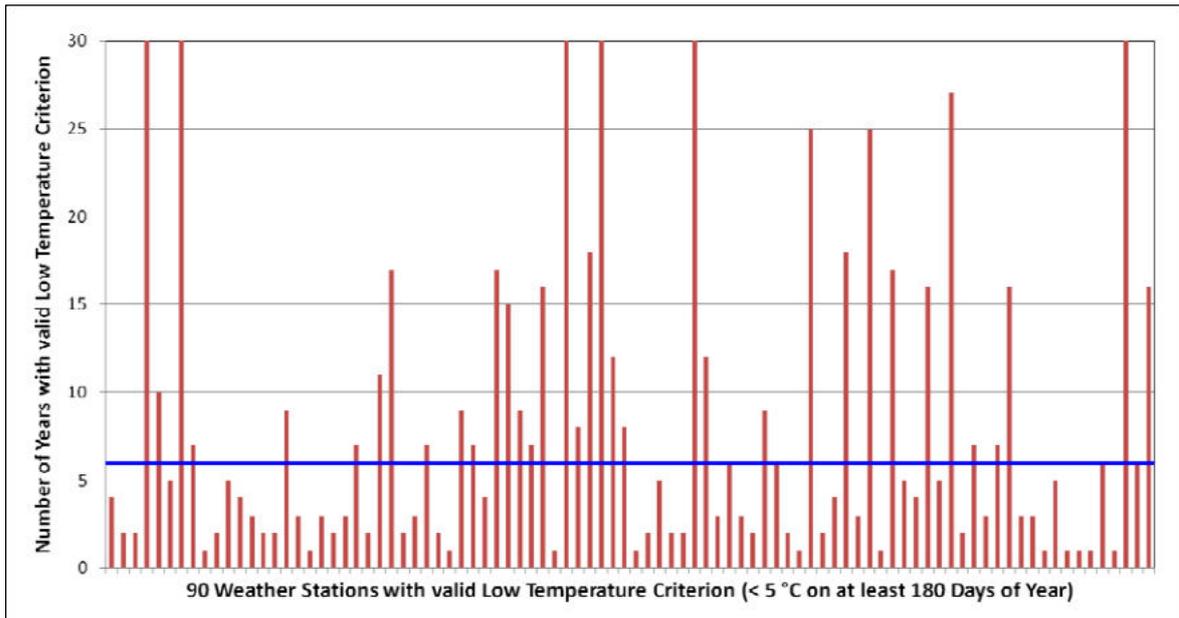


Abbildung 14: Stationen im Zeitraum 1971 bis 2000 mit Erfüllung des Kriteriums „Anzahl der Tage“

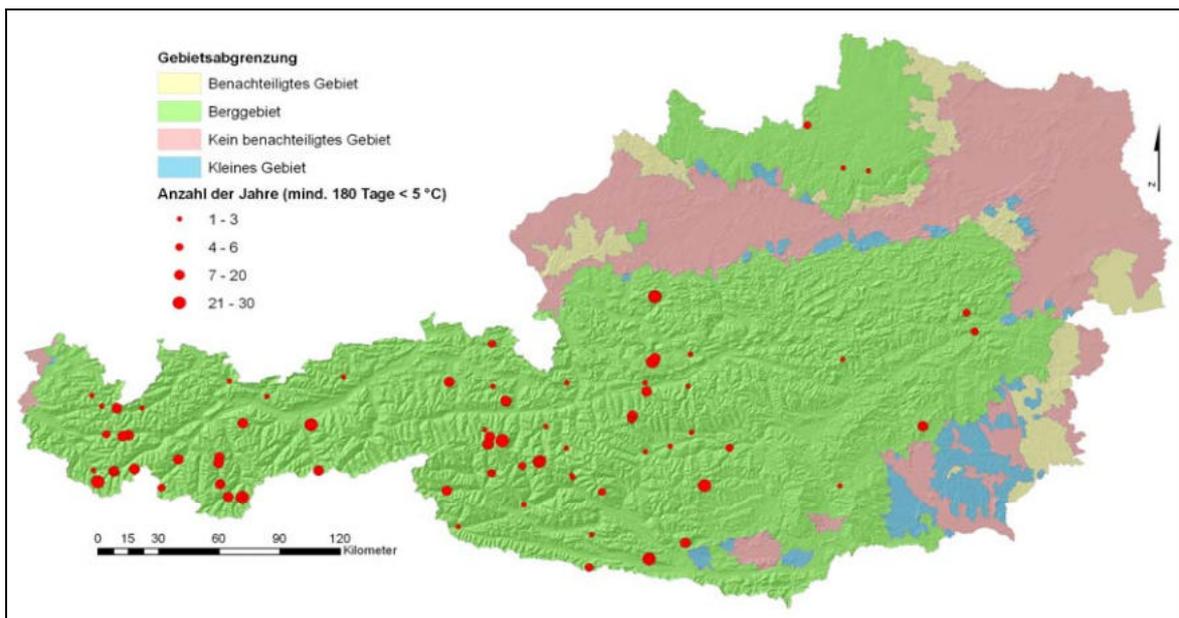


Abbildung 15: Geographische Lage der Stationen mit Erfüllung des Kriteriums „Anzahl der Tage“

An 36 Stationen ist die Vegetationsperiode über mindestens 6 Jahre (20 % des 30jährigen Untersuchungszeitraums) kürzer als 180 Tage. Diese Stationen erfüllen das Abgrenzungskriterium (1), allerdings liegen sie ausschließlich im Berggebiet und können nicht für eine Aktualisierung der Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes herangezogen werden. Bei Anwendung des Grenzwertes für die Grad-Tage ist ähnliches zu beobachten. *Abbildung 16* zeigt wieder die Stationen mit der jeweiligen Anzahl an Jahren, welche das Kriterium (1) erfüllen. In *Abbildung 17* ist die dazugehörige geographische Stationsverteilung ersichtlich.

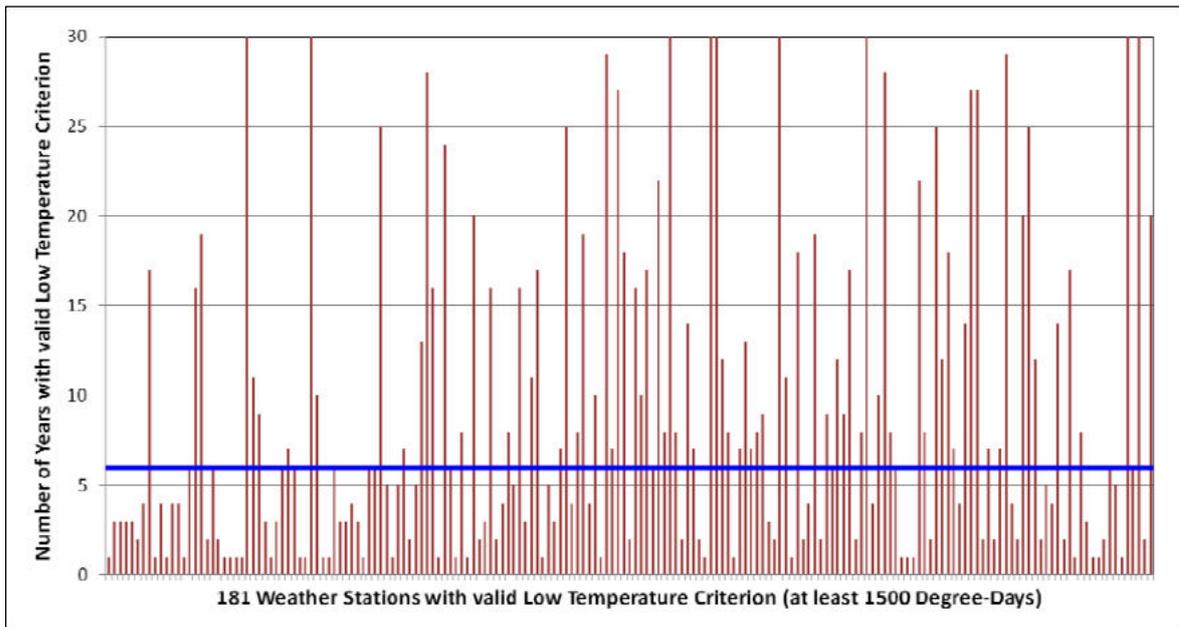


Abbildung 16: Stationen im Zeitraum 1971 bis 2000 mit Erfüllung des Kriteriums „Grad-Tage“

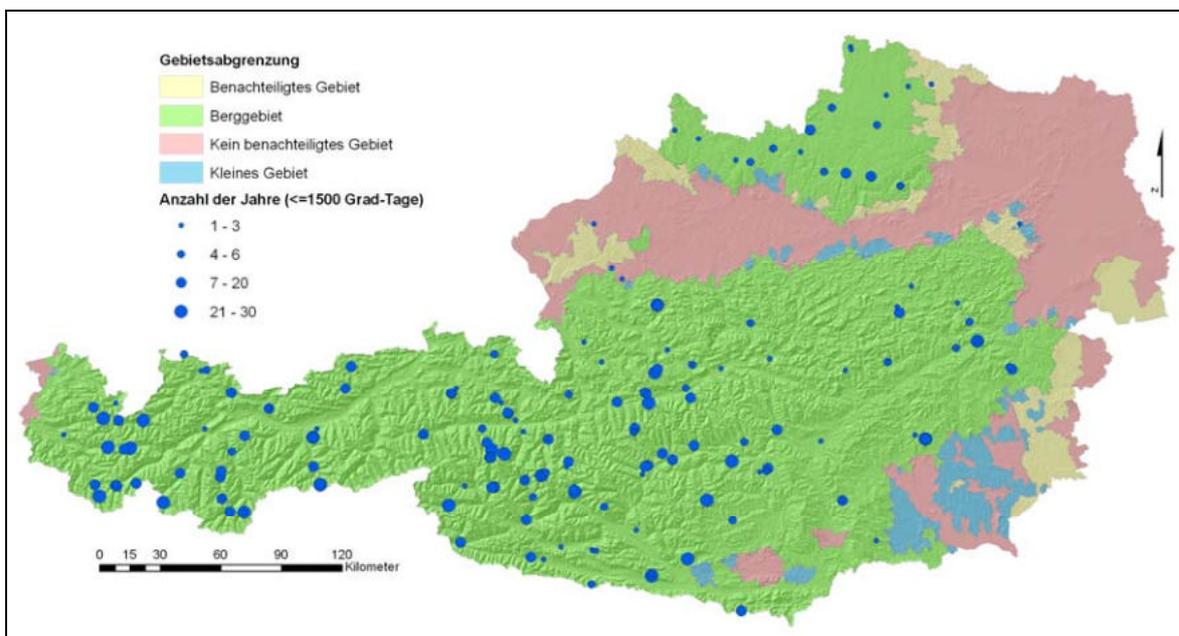


Abbildung 17: Geographische Lage der Stationen mit Erfüllung des Kriteriums „Grad-Tage“

Bei dieser Abgrenzungsmethode fällt auf, dass die Anzahl der Stationen etwa doppelt so hoch ist, wie bei der Erhebung nach Anzahl an Vegetationstagen (vgl. *Abbildung 14*). Hier erfüllen deutlich mehr Stationen, nämlich 83, das Abgrenzungskriterium (1). Auch befinden sich davon fünf Stationen im Abgrenzungsgebiet. Diese haben jedoch lediglich in höchstens drei Jahren der gesamten Untersuchungsperiode 1971 bis 2000 eine geringere Grad-Tag-Summe als 1500 und sind deshalb für eine Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes nicht relevant. In den *Abbildungen 18* und *19* sind nochmals jene Stationen angeführt, welche das Kriterium für mindestens 6 Jahre des Untersuchungszeitraums erfüllen. Sowohl im Fall der Tagessumme, als auch im Fall der Grad-Tage sind keine Stationen im Abgrenzungsgebiet.

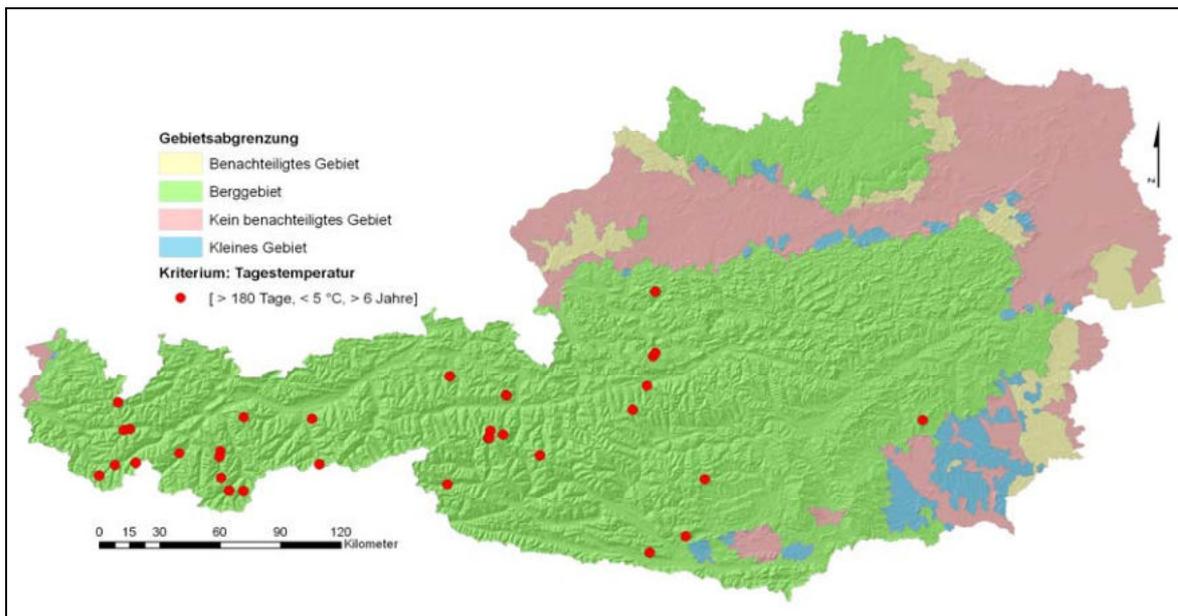


Abbildung 18: Stationen mit Erfüllung des Abgrenzungskriterium „Anzahl Tage“ für mehr als 6 Jahre

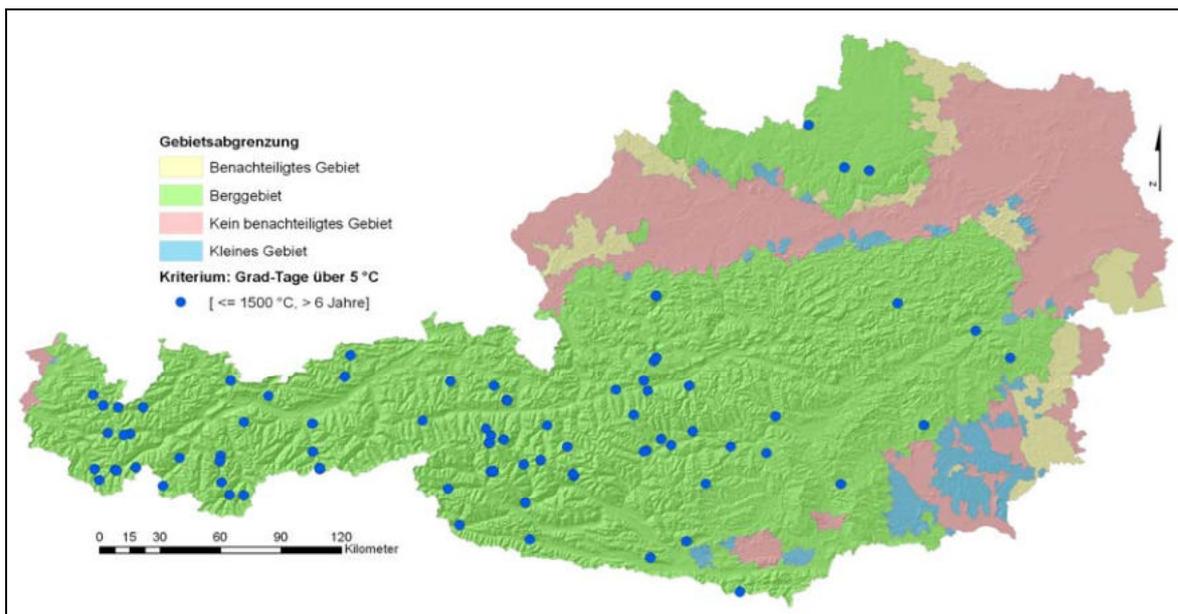


Abbildung 19: Stationen mit Erfüllung des Abgrenzungskriterium „Grad-Tage“ für mehr als 6 Jahre

Aufgrund dieser Untersuchungen und der Berücksichtigung der topographischen Rahmenbedingungen (vgl. Abschnitt 2.2) wird festgestellt, dass eine räumliche Interpolation der Temperatur zu keinen anderen Ergebnissen bezüglich der Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes führt. **Eine Aktualisierung der Abgrenzung ist nach eingehender Analyse der Daten und der Anwendung des Kriteriums (1) nicht möglich.**

3.2 Untersuchung der thermischen Vegetationsperiode zur Abgrenzung

Für die zweite Variante der Abgrenzung (Kriterium (2)) wurde der enorme rechnerische Aufwand unternommen, mit Hilfe von etwa 11.000 Tageskarten der Temperatur, die Dauer der thermischen Vegetationsperiode für die 30 Jahre des Untersuchungszeitraums 1971 bis 2000 zu ermitteln. Die Methodik der räumlichen Interpolation, welche dafür notwendig ist, wurde ausführlich in Abschnitt 2.3 erläutert. Das Ergebnis sind jährliche Rasterdaten mit der Information über die Dauer der Vegetationsperiode. Im Durchschnitt dieser 30 Jahre verhält sich die Vegetationsdauer entsprechend der kartographischen Darstellung in *Abbildung 20*.

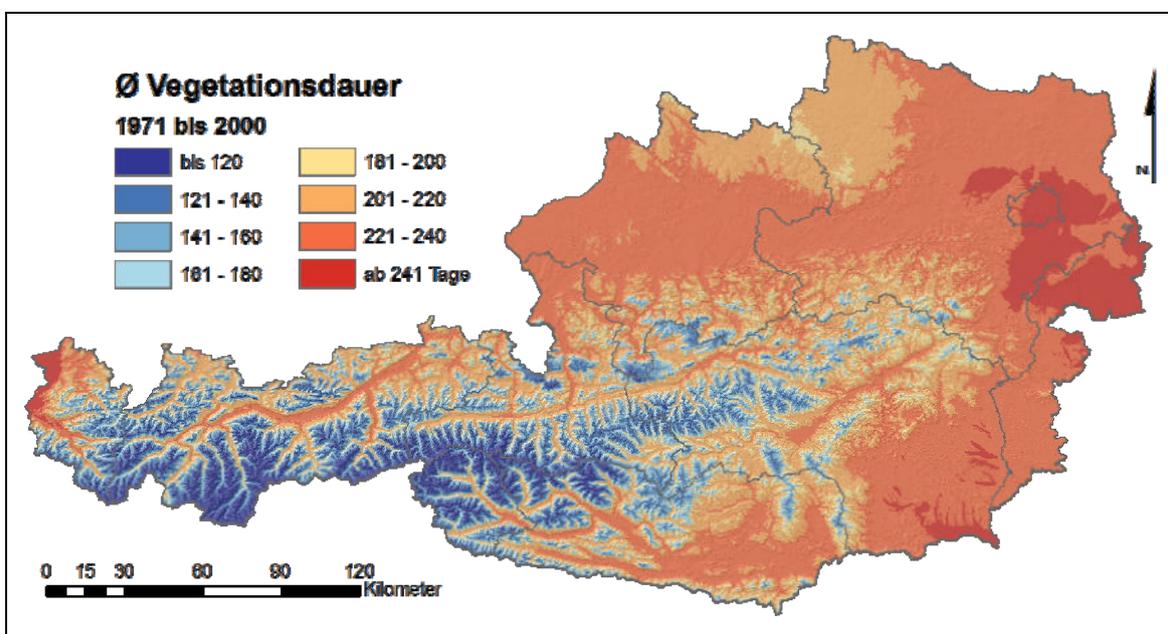


Abbildung 20: Dauer der Vegetationsperiode im Durchschnitt der Klimanormalperiode 1971 bis 2000

Wird für die einzelnen Jahresergebnisse der Schwellwert von mindestens 180 Tagen an Vegetationsdauer angewendet, ergibt sich eine nach Anzahl an Jahren mit Erfüllung dieses Kriteriums abgestufte Karte, wie sie in *Abbildung 21* dargestellt ist. Die eingezeichneten Grenzen des nicht abgegrenzten Gebietes bzw. des Sonstig Benachteiligten Gebietes machen deutlich, dass keine Bereiche mehr als 6 Jahre das Kriterium einer Vegetationsperiode mit weniger als 180 Tagen erfüllen.

Eine Ausnahme davon ist in der in *Abbildung 21* blau markierten Gemeinde St. Andrä ersichtlich. Im äußerst westlichen und östlichen Bereich befindet sich ein Gebiet mit Erfüllung des Kriteriums. Eine Vergrößerung dieses Ausschnittes ist in *Abbildung 22* dargestellt. Bezogen auf die hier eingezeichnete landwirtschaftliche Nutzfläche sind davon insgesamt 1,92 ha betroffen (siehe schwarze Markierung). Diese Flächengröße kann in Hinblick auf die räumliche Ausdehnung der Gemeinde für eine Abgrenzungsmöglichkeit ver-

nachlässigt werden. Ansonsten befindet sich im gesamten Abgrenzungsgebiet keine weitere Rasterzelle für eine Anwendung des Kriteriums (2).

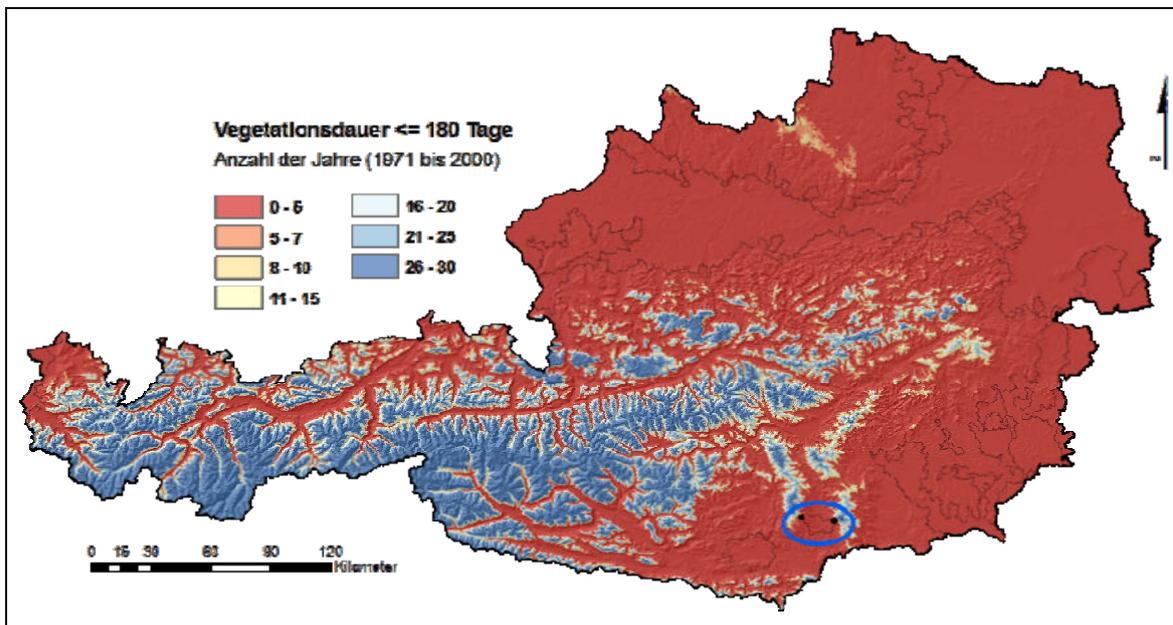


Abbildung 21: Anzahl der Jahre im Untersuchungszeitraum 1971 bis 2000 an denen die Vegetationsdauer höchstens 180 Tage beträgt

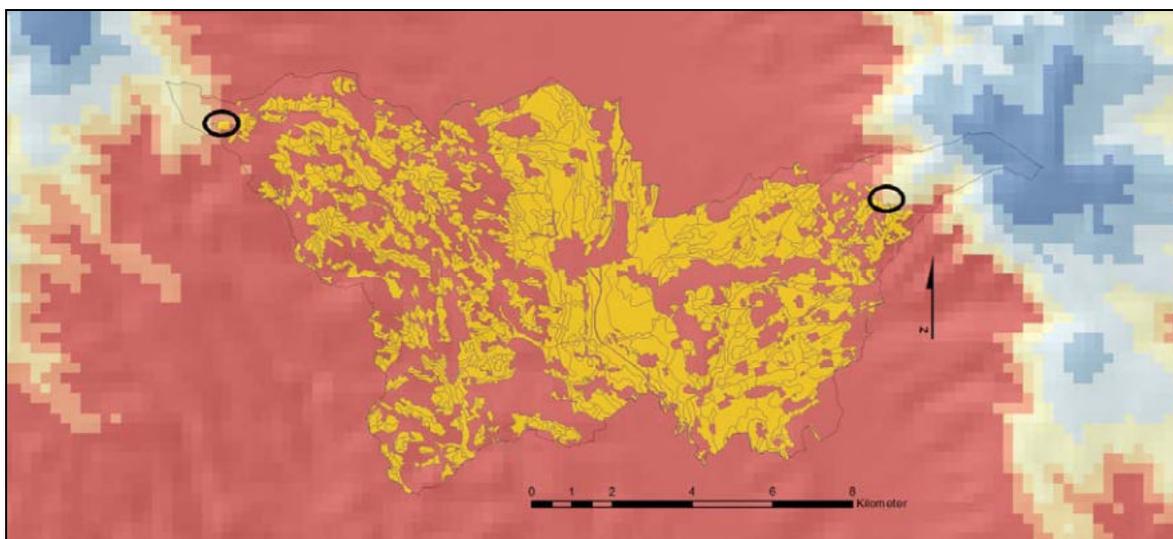


Abbildung 22: Ausschnitt der Gemeinde St. Andrä mit den landwirtschaftlichen Nutzflächen

Auch die Untersuchung des Kriteriums (2) ergab keine Möglichkeit für eine Aktualisierung der Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes. Aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse wurde auf die sehr aufwendige Erhebung der Grad-Tage für das Abgrenzungskriterium (2) verzichtet, da hier keine anderen Ergebnisse zu erwarten sind.

Die Untersuchungen ergaben eindeutig, dass das biophysikalische Kriterium „Low Temperature“ für eine Abgrenzung des Sonstig Benachteiligten Gebietes in Österreich

nicht herangezogen werden kann. Sämtliche Gebiete, auf welche dieses Kriterium anwendbar wäre, befinden sich im bereits abgegrenzten Berggebiet.

Die Auswertungen, wie sie in den *Abbildungen 15* und *17* dargestellt sind, können eindeutig dahingehend interpretiert werden, dass die Problematik der an manchen Stationen oft zu gering berücksichtigten Anzahl an Jahren (vgl. *Abbildungen 5* und *6*) keine Rolle spielt. Bei der Methode nach Bestimmung der Anzahl von Vegetationstagen tritt kein einziges Jahr mit Erfüllung des Kriteriums (1) im Abgrenzungsgebiet auf (vgl. *Abbildung 15*). Bei der Methode der Grad-Tage weisen von insgesamt fünf Stationen im Abgrenzungsgebiet vier nur ein Jahr und eine Station (Japons mit einer durchgehenden Messreihe von 29 Jahren) drei Jahre ein erfülltes Kriterium (1) aus (vgl. *Abbildung 17*).

Teil 2: Untersuchung des Kriteriums „Soil Moisture Balance“

1 Einleitung

Das für das Pflanzenwachstum notwendige Wasser wird in den Bodenschichten gehalten und spielt für die Landwirtschaft eine zentrale Rolle. In diesem Projekt wird die verfügbare Wassermenge über die gesamte Vegetationsperiode berechnet. Die Menge an Bodenwassers wird zum einen von den Eigenschaften des Bodens, das Wasser entgegen der Schwerkraft zu halten, bestimmt, zum anderen von den klimatischen Bedingungen. Der Niederschlag sorgt für die Nachlieferung an Wasser, die Verdunstung für den klimatisch bedingten Wasserentzug. Aufgrund der starken Vereinfachung der Rechenprozeduren werden der Oberflächenabfluss sowie der Kapillarhub nicht berücksichtigt. Eine Einschränkung der Landwirtschaft findet dann statt, wenn die Anzahl der Tage mit ausreichender Bodenwasserverfügbarkeit einen bestimmten Wert, in diesem Fall mindestens 90 Tage unterschreitet.

2 Material und Methoden

Da sich die Beschreibung der Abgrenzung des Benachteiligten Gebietes auf sämtliche landwirtschaftlichen Nutzflächen bezieht, wurde im vorliegenden Projekt ein flächendeckender Berechnungsansatz mittels GIS gewählt. Die vom JRC geforderten Daten beziehen sich auf die Bodeneigenschaften (Durchwurzelungstiefe und nutzbare Feldkapazität) und die Wetterdaten Niederschlag sowie den aggregierten Wert für die Verdunstung, berechnet nach Penman-Montheith unter Einbeziehung von Temperatur, relativer Luftfeuchte, Wind und Globalstrahlung. Die Berechnung der potenziellen Verdunstung (Referenz-Evapotranspiration) für einen 30jährigen Zeitraum (1971 bis 2000) sowie für ganz Österreich (ca. 84.000 km²) erfordert eine umfangreiche Implementierung, welche im nachfolgenden Kapitel dargestellt wird.

2.1 Berechnung und Interpolation der potenziellen Evapotranspiration

Die Schwierigkeit bei der Anwendung von komplexen, physikalisch basierten Modellen liegt in der hohen Anforderung im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Wetterdaten, welche besonders bei den Messwerten hinsichtlich der Globalstrahlung häufig räumliche und zeitliche Datenlücken aufweist. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Modellierung und Schätzung von Parametern, um diese Lücken bestmöglich zu schließen und durch eine hohe Dichte an Stützstellen eine optimale Voraussetzung für die räumliche Interpolation zu schaffen.

Bei der Berechnung der potenziellen Evapotranspiration einer bewachsenen Oberfläche – diese wird auch als Referenz-Evapotranspiration bezeichnet, zumal sie immer auf eine bestimmte Vegetationsdecke mit konstanter Albedo und konstantem Verdunstungswiderstand bezogen ist – wird die Betrachtung auf den zeitlich variablen Witterungseinfluss reduziert und vorausgesetzt, dass für die Verdunstung des angenommenen Pflanzenbestandes stets ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Die potenzielle Evapotranspiration stellt somit jene Wassermenge dar, welche bei unlimitierter Wasserverfügbarkeit verdunsten könnte. Ausschlaggebend dafür sind der für den Verdunstungsprozess notwendige Energieeintrag

in Form von Strahlung und Temperatur sowie der Feuchtigkeitstransfer durch Wind und Luftfeuchtigkeit in der bodennächsten Atmosphärenschicht (Brown, 2000).

Die potenzielle Evapotranspiration wird nach FAO-Penman-Monteith stationsbezogen und auf Tagesbasis errechnet. Als Berechnungszeitraum werden die Monate März bis November (hypothetische Vegetationsperiode) herangezogen. Grundlage für die Interpolation bilden die Wetterstationen der ZAMG. Sie sind zufällig verteilt und weisen eine mittlere Nachbarschaftsdistanz von etwa 10 km mit einer Standardabweichung von etwa 5 km auf. Der Nearest Neighbour Index beträgt 0,8. Die Messung des für die Evapotranspiration wichtigsten Parameters, und zwar der Globalstrahlung, erfolgte in den Jahren 1971 bis 2000 jedoch an wesentlich weniger Stationen. Damit möglichst viele Wetterstationen als Interpolationsstützstellen dienen können, wird die potenzielle Evapotranspiration bzw. die Globalstrahlung mit den nachfolgend vorgestellten Methoden geschätzt. Die für die Interpolation vor allem im Bergland wichtige Stationsdichte bleibt dadurch erhalten.

Für die technische Umsetzung und Implementierung der einzelnen Modellrechnungen wurde die Entwicklungsumgebung Microsoft Visual Studio 2005 mit der Programmiersprache C# verwendet. Die für die räumliche Modellierung erforderlichen Klassen stammen aus der ESRI-Bibliothek ArcObjects.

Die hier dargestellten Methoden wurden den Berechnungsempfehlungen der FAO (Allen *et al.*, 1998) entnommen. Die FAO-Penman-Monteith-Gleichung (2-1) wird bei Verfügbarkeit der notwendigen Wetterdaten auf Tagesbasis angewandt und hat die Form

$$ET_0 = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot vpd}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}, \quad (2-1)$$

wobei ET_0 die potenzielle bzw. Referenz-Evapotranspiration der definierten Grasoberfläche [mm d^{-1}] darstellt, R_n die Strahlungsbilanz an der Referenzoberfläche [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$], G die Bodenwärmestromdichte [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$], welche hier aufgrund der im Vergleich zu R_n geringen Größe vernachlässigt wird, T die Lufttemperatur in 2 m Höhe [$^{\circ}\text{C}$], u_2 die Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe [m s^{-1}], vpd das Sättigungsdefizit [kPa], Δ die Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$] und γ die Psychrometerkonstante [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$].

Der Wind wird an meteorologischen Stationen in 10 Meter Höhe gemessen. Um auf die in (2-1) geforderte Höhe von 2 Meter über Grund zu kommen, wird in (2-2) ein logarithmisches Windgeschwindigkeitsprofil der Form

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8 \cdot z - 5.42)} \quad (2-2)$$

zur Anpassung verwendet, wobei z die Messhöhe über dem Boden [m] und u_z die Windgeschwindigkeit [m s^{-1}] in z Meter Höhe angibt.

Die Beziehung zwischen Sättigungsdampfdruck und Temperatur wird durch die Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve Δ [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$] ausgedrückt und wie folgt berechnet:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot 0.6108 \cdot e^{\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3}}}{(T + 237.3)^2}. \quad (2-3)$$

Für die Berechnung der Psychrometerkonstante γ [kPa °C⁻¹] wird in der vorliegenden Arbeit der atmosphärische Druck als Funktion der Seehöhe z herangezogen:

$$\gamma = 0.665 \cdot 10^{-3} \cdot 101.3 \cdot \left(\frac{293 - 0.0065 \cdot z}{293} \right)^{5.26} \quad (2-4)$$

Der Berechnung des Sättigungsdefizits vpd [kPa] geht die Bestimmung des Sättigungsdampfdrucks e_s [kPa] nach Deutscher Wetterdienst (1976) voraus:

$$e_s = 0.61078 \cdot e^{\left(\frac{17.08085 \cdot T}{234.175 + T} \right)} \quad (T > 0) \quad e_s = 0.61078 \cdot e^{\left(\frac{17.84362 \cdot T}{245.425 + T} \right)} \quad (T < 0) \quad (2-5)$$

Weiters wird der aktuelle Dampfdruck e_a [kPa] benötigt, welcher näherungsweise aus der relativen Luftfeuchtigkeit RH in der Form $e_a = e_s \cdot (RH/100)$ abgeleitet werden kann. Die Differenz aus e_s und e_a ergibt das Sättigungsdefizit vpd :

$$vpd = e_s - e_a \quad (2-6)$$

Modellierung der Globalstrahlung und Strahlungsbilanz

Vor allem bei den Daten für Globalstrahlung und Sonnenscheindauer gibt es sowohl räumlich als auch zeitlich erhebliche Datenlücken. Aus diesem Grund wird bei fehlender Globalstrahlung das Modell nach Angström verwendet (Allen *et al.*, 1998), das auch in einem Methodenvergleich von Trnka *et al.* (2005) in der Form

$$R_s = \left(a_s + b_s \cdot \frac{n}{N} \right) \cdot R_a \quad (2-7)$$

empfohlen wird, wobei R_s die Globalstrahlung [MJ m⁻² d⁻¹] ist, die Konstanten a_s mit dem Wert 0,25 und b_s mit 0,50 von Allen *et al.* (1998) vorgeschlagen werden und n die aktuelle Sonnenscheindauer [h] sowie N die maximal mögliche Sonnenscheindauer [h] bezeichnen. R_a bezeichnet die extraterrestrische Strahlung [MJ m⁻² d⁻¹]. R_a wird auf Tagesbasis berechnet und hat die Form

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{SC} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)], \quad (2-8)$$

wobei G_{SC} die Solarkonstante 0,0820 [MJ m⁻² min⁻¹], d_r die inverse relative Distanz Erde-Sonne [rad] (2-9), δ die Sonnendeklination [rad] (2-10), ω_s den Stundenwinkel der Sonne bei Sonnenuntergang [rad] sowie φ die geographische Breite [rad] bezeichnen. Die inverse relative Distanz Erde-Sonne d_r sowie die Sonnendeklination δ sind gegeben durch

$$d_r = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J \right) \quad (2-9)$$

$$\delta = 0.409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1.39 \right) \quad (2-10)$$

wobei J den Tag des Jahres im Wertebereich von 1 bis 365 bzw. 366 bezeichnet.

Der in (2-8) verwendete Stundenwinkel ω_s [rad] ist gegeben durch

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (2-11)$$

Die astronomisch mögliche Sonnenscheindauer N [h] ergibt sich aufgrund der Beziehung

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (2-12)$$

Als astronomisch mögliche Sonnenscheindauer wird N ohne Berücksichtigung der Abschattung durch die Topografie bestimmt und hat deshalb bei hoher Reliefenergie eine Unterschätzung der in (2-7) berechneten Globalstrahlung zur Folge.

Die in Gleichung (2-1) einzusetzende Strahlungsbilanz R_n ermittelt man als Differenz von kurzwelliger Nettostrahlung R_{ns} und langwelliger Nettostrahlung R_{nl} gemäß der Beziehung $R_n = R_{ns} - R_{nl}$.

Die Berechnung von R_{ns} [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$] erfolgt gemäß der Beziehung $R_{ns} = (1-\alpha) \cdot R_s$, wobei α den Albedowert 0,23 für die hypothetische Grasreferenzoberfläche darstellt. Die langwellige Nettostrahlung R_{nl} [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$] wird in der Form

$$R_{nl} = \sigma \cdot \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \cdot (0.34 - 0.14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1.35 \cdot \frac{R_s}{R_{SO}} - 0.35 \right) \quad (2-13)$$

berechnet, wobei σ die Stefan-Boltzmann-Konstante [$4.903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$] darstellt. Die Maximum- und Minimumtemperaturen T_{\max} bzw. T_{\min} sind in Kelvin umzurechnen. R_{SO} beschreibt die potenzielle Strahlung (clear-sky radiation) [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$] und wird unter Berücksichtigung der Seehöhe z gemäß der Beziehung $R_{SO} = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot R_a$ bestimmt.

Für die Gleichung (2-1) wird die Globalstrahlung R_s als Parameter der Strahlungsbilanz R_n verwendet, sofern sie als Messwert vorhanden ist, andernfalls wird sie unter Heranziehung von Gleichung (2-7) geschätzt. Dafür sind jedoch Daten der Sonnenscheindauer n notwendig. Fehlt diese, wird die Evapotranspiration aus dem Sättigungsdefizit geschätzt. Da zwischen Sättigungsdefizit (vpd) und potenzieller Evapotranspiration innerhalb der Beobachtungen eines Monats ein starker quadratischer Zusammenhang besteht (Schaumberger, 2005), sind die für die einzelnen Monate abgeleiteten quadratischen Regressionsgleichungen mit dem Sättigungsdefizit als unabhängiger Variable und der potenziellen Evapotranspiration als abhängiger Variable herangezogen worden, um die potenzielle Evapotranspiration für jene Tage und jene Stationen zu ermitteln, an denen weder Globalstrahlungs- noch Sonnenscheindauerdaten verfügbar gewesen sind.

Räumliche Interpolation der Evapotranspiration

Wie bereits im Teil 1 bei der Interpolation der Temperatur beschrieben, wird auch für die Referenz-Evapotranspiration in gleicher Weise vorgegangen. Zunächst wird eine Regression der zu interpolierenden Größe (z.B. Referenz-Evapotranspiration) mit der Zusatzvariablen (z.B. Seehöhe) aufgestellt. Die Regressionsgleichung liefert die Werte für alle Positionen der Zusatzinformation (z.B. DHM bei der Seehöhe). Anschließend werden die Residuen, welche an den Messpunkten durch die Differenz zwischen Regressions- und Messwert bestimmt sind, geostatistisch mittels Kriging interpoliert und hinzugezählt. Die Methode wird in einer Arbeit von Li *et al.* (2003a) als *Elevationally Detrended Ordinary Kriging* bezeichnet und setzt sich explizit mit der räumlichen Repräsentation der Referenz-Evapotranspiration auseinander und zeigt die Möglichkeit der Implementierung im GIS (Li *et al.*, 2003b).

Im vorliegenden Projekt wird gemäß der in der Literatur angegebenen Methodik ein in den Monaten der Vegetationsperiode starker linearer Zusammenhang zwischen Referenz-Evapotranspiration und Seehöhe genutzt (Schaumberger, 2005). Man ermittelt zunächst die Koeffizienten a_m und b_m der Regressionsgeraden mit der Referenz-Evapotranspiration ET_0 [mm d^{-1}] als abhängiger sowie der Seehöhe z [m] an der Wetterstation als unabhängiger Variablen aus den Beobachtungsdaten eines gesamten Monats m in der Form

$$\hat{ET}_{0_m} = a_m \cdot z + b_m \quad (2-14)$$

und berechnet danach die Residuen e [mm], also die Differenz zwischen der jeweiligen Referenz-Evapotranspiration eines Tages i und jenen Werten, welche man aufgrund des Regressionsmodells für das Monat m erhält, wobei die Tage i innerhalb des aktuell zu berechnenden Monats liegen. Die monatlich ermittelte Höhenabhängigkeit wird auf die täglichen Evapotranspirationswerte in der Form

$$e_i = ET_{0_i} - \hat{ET}_{0_m} \quad (2-15)$$

angewendet. Die so errechneten täglichen Residuen werden im Anschluss mittels Ordinary Kriging zu einer kontinuierlichen Oberfläche $Raster(e_i)$ interpoliert. Aus dem höhenabhängigen Anteil der Referenz-Evapotranspiration wird unter Verwendung der in 10 ermittelten Koeffizienten a_m und b_m und mit den Seehöhen z [m] des Digitalen Höhenmodells DEM in der Form

$$Raster(ET_{0_m}) = a_m \cdot z_{DEM} + b_m \quad (2-16)$$

ebenfalls eine kontinuierliche Oberfläche $Raster(ET_0)$ für den Monat m erzeugt. Für die Erzeugung einer Rasteroberfläche, welche die täglichen Werte der Referenz-Evapotranspiration enthält und damit das Ergebnis des räumlichen Interpolationsprozesses darstellt, werden der höhenabhängige Anteil mit den Werten der täglichen Residuen addiert:

$$Raster(ET_{0_i}) = Raster(ET_{0_m}) + Raster(e_i) \quad (2-17)$$

Um die Oberfläche der täglichen Referenz-Evapotranspiration zusätzlich mit Informationen über die topographischen Parameter Exposition und Hangneigung zu kombinieren, wird ein Strahlungsfaktor R_f verwendet, welcher aus der Berechnung der potenziellen Globalstrahlung abgeleitet wird.

Die Berechnung der Globalstrahlung für Oberflächen wird durch die Extension „Spatial Analyst“ mit dem Tool „Solar Radiation“ der GIS-Software ArcGIS unterstützt. Die methodische Grundlage basiert auf einer Arbeit von Fu und Rich (1999). Unter Einbeziehung eines Digitalen Höhenmodells kann für zu definierende Zeiträume ein Ergebnisrasterdatensatz erzeugt werden, der in den Rasterzellen die jeweilige Summe an Globalstrahlungsenergie für den angegebenen Zeitraum enthält. Dabei wird für jede Rasterzelle in der Auflösung des zugrundeliegenden DHM die Horizontabschattung ermittelt, die diffuse und direkte Strahlung in Abhängigkeit der topographischen Ausprägung und der Sonnenstandswinkel in 30-Minuten-Abständen gerechnet und miteinander kombiniert. Einstellungen hinsichtlich des Verhältnisses von direkter und diffuser Strahlung bzw. der Transmittivität der Atmosphäre variieren monatlich und wurden in Schaumberger (2005) durch Vergleich von Modellergebnissen und einem Durchschnitt von monatlichen Maximumwerten aus Beobachtungen angepasst.

Das ArcGIS-Tool bietet grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die Globalstrahlung für ein definiertes Gebiet zu ermitteln. Eine Variante bezieht die aus dem DHM abgeleitete Expo-

sition und Neigung jeder Zelle in die Analyse ein (R_{topo}), beim zweiten Ansatz werden diese beiden Parameter auf null gesetzt (R_{flat}). Die topographische Abschattung hingegen wird in jedem Fall berücksichtigt. Die Veränderungen im Einstrahlungswinkel aufgrund der verschiedenen Oberflächenstruktur führen auch zu unterschiedlichen Ergebnissen in den Strahlungssummen. Die Ergebnisse aus beiden Berechnungsvarianten unterscheiden sich lediglich in ihrer Abhängigkeit von der Topographie. Für die Berechnung des Strahlungsfaktors R_f , also jenes Faktors, der die topographiebedingte Änderung in der Strahlungsinformation repräsentiert, werden diese beiden Datensätze in der Form

$$R_f = \frac{R_{topo}}{R_{flat}} \quad (2-18)$$

miteinander in Beziehung gesetzt. Andere topographische Eigenschaften wie Abschattungseffekte, die geographische Lage sowie die Seehöhe sind in beiden Rasterdaten gleich gesetzt und beeinflussen den Strahlungsfaktor nicht.

Damit kann die in Gleichung (19) beschriebene räumliche Interpolation der Referenz-Evapotranspiration um den Raster des Strahlungsfaktors R_f erweitert werden und damit die topographischen Unterschiede Berücksichtigung finden. Die Gleichung zur täglichen (i) Berechnung dafür lautet:

$$Raster(ETr_{0_i}) = Raster(ET_{0_i}) + Raster(R_{f_i}) \quad (2-19)$$

Für jede Rasterzelle der kontinuierlichen Oberfläche $Raster(ETr_{0_i})$ wird so eine der Abhängigkeit von Exposition und Neigung entsprechende Gewichtung durchgeführt. Da die gesamte Fläche Österreichs in einer Auflösung von 250 Meter auf Tagesbasis gerechnet werden muss, bedeutet dies einen erheblichen Rechenaufwand und besondere Performanceanforderungen an die eingesetzte Hardware und an die dafür entwickelte Software.

2.2 Räumliche Interpolation des Niederschlags

Für die Änderung des verfügbaren Bodenwassers spielt der Niederschlag eine wichtige Rolle und muss ebenfalls als kontinuierliche Werteoberfläche aufbereitet werden, um mit den Geodaten der Referenz-Evapotranspiration räumlich kombiniert werden zu können. Im Gegensatz zu Temperatur bzw. Evapotranspiration herrscht beim Niederschlag bei der Berechnung auf Tagesbasis kein Zusammenhang mit einer Zusatzvariablen wie beispielsweise der Seehöhe. Die Interpolation beschränkt sich deshalb auf die Anwendung von rein geostatistischen Methoden wie Ordinary Kriging. Um die räumliche Verteilung des Niederschlags dennoch realitätsnah abbilden zu können, besteht die Forderung, möglichst viele Interpolationsstützstellen, sprich Niederschlagsmessstellen einzubeziehen. Aus diesem Grund wurden zu den Wetterstationen der ZAMG auch die Niederschlagsmessstellen des Hydrographischen Zentralbüros (HZB) verwendet. Die mittlere Nachbarschaftsdistanz verringert sich deshalb von etwa 10 km zwischen den ZAMG-Stationen auf etwa 5 km bei der zusätzlichen Berücksichtigung der HZB-Niederschlagsmessstellen.

2.3 Durchwurzelungstiefe und nutzbare Feldkapazität

Die Eigenschaften des Bodens beschreiben im Wesentlichen das Bodenwasserhaltevermögen und sind für die Bodenwasserbilanzierung entscheidend. Die Durchwurzelungstiefe wurde der Gründigkeit gleichgesetzt und als Geodaten vom Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft aufbereitet. Aus den

Gründigkeitsklassen wurden die Klassenmittelwerte als Grundlage für die Berücksichtigung der Durchwurzelungstiefe herangezogen. Die nachfolgende Aufstellung zeigt eine Übersicht über den Zusammenhang zwischen den Klassen und den verwendeten Werten und deren Anwendung auf den Geodatensatz der Digitalen Bodenkarte (*Abbildung 23*).

Klasse	Range [mm]	Gründigkeit [mm]	Beschreibung
0	0 – 1000	500	stark schwankend
1	0 – 350	175	seichtgründig
2	0 – 700	350	seicht- bis mittelgründig
3	350 – 700	525	mittelgründig
4	350 – 1000	675	mittel- bis tiefgründig
5	700 - 1000	875	tiefgründig

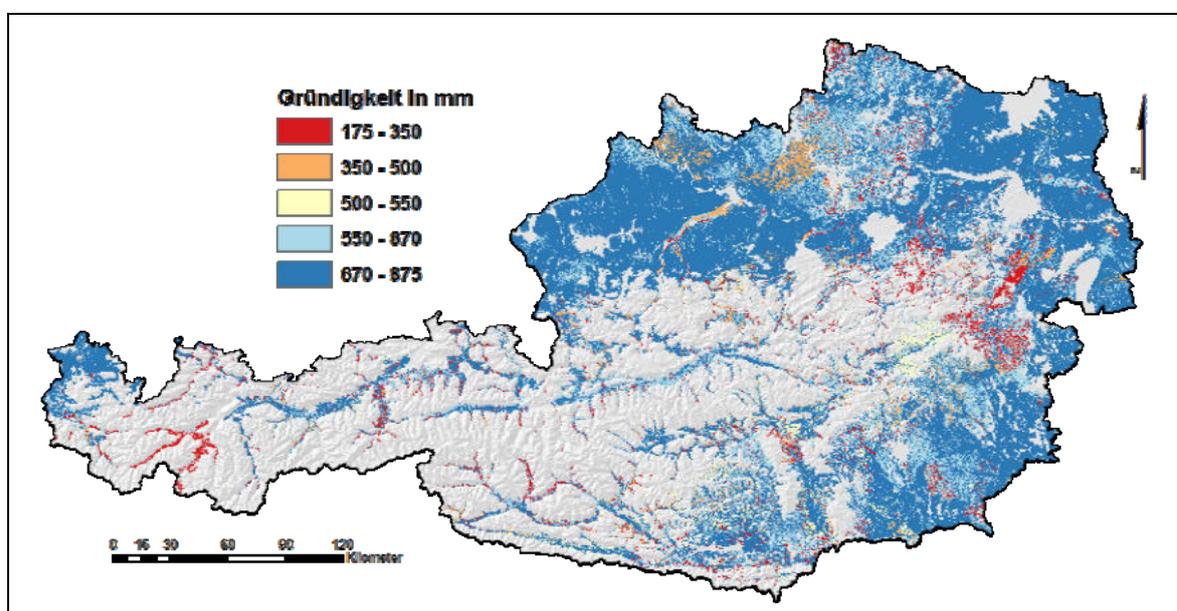


Abbildung 23: Räumliche Verteilung der Gründigkeit auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen

Die Werte der nutzbaren Feldkapazität (Feldkapazität – Welkepunkt) wurden vom Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt mit Hilfe von Pedotransferfunktionen nach MURER et al. (2004) gerechnet. Die Grundlage dafür bilden Kennwerte über Korngrößenverteilung, Humus- und Kalkgehalt, sowie pH-Wert aus der Österreichischen Bodenkartierung in digitaler Form. Die Berechnung bezieht sich auf die mineralischen Bodenformen der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Murer, 2009).

Gründigkeit bzw. Durchwurzelungstiefe (*RD*) werden mit den Daten der nutzbaren Feldkapazität (*FC – WP*) für die weiteren Berechnungsschritte zu *SWAP* (Soil Water Available to Plants) kombiniert:

$$SWAP = RD \cdot (FC - WP) \quad (2-20)$$

Die räumlichen Daten für die Verteilung der nutzbaren Feldkapazität und dem daraus errechneten *SWAP* sind in den beiden folgenden *Abbildungen 24* und *25* dargestellt.

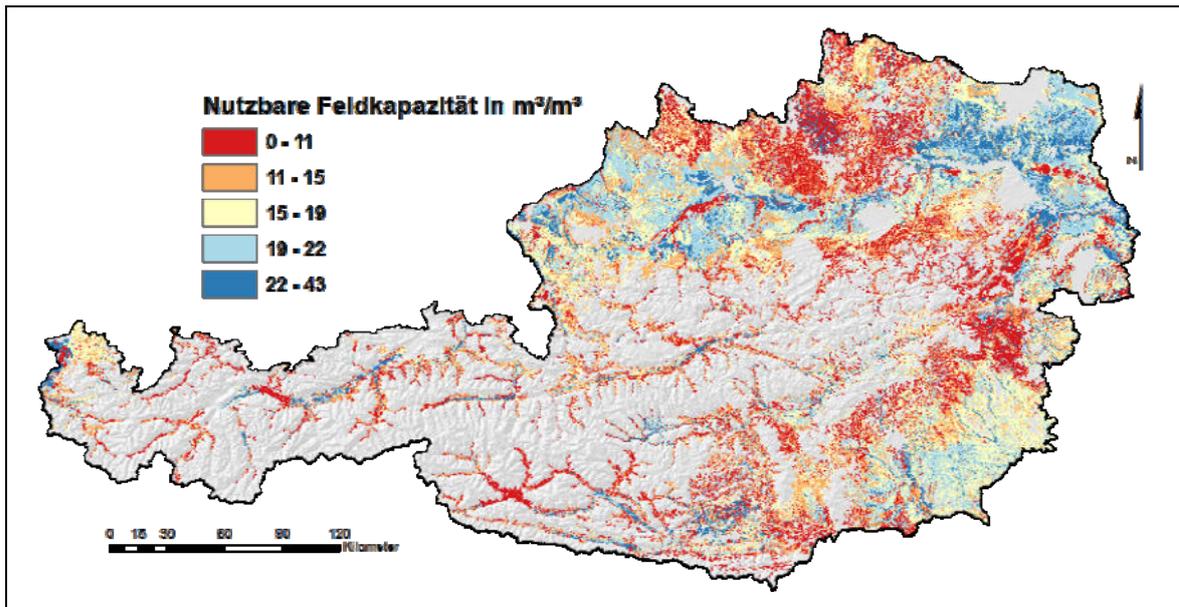


Abbildung 24: Räumliche Verteilung der nutzbaren Feldkapazität (Differenz von Feldkapazität und Welkepunkt) auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen

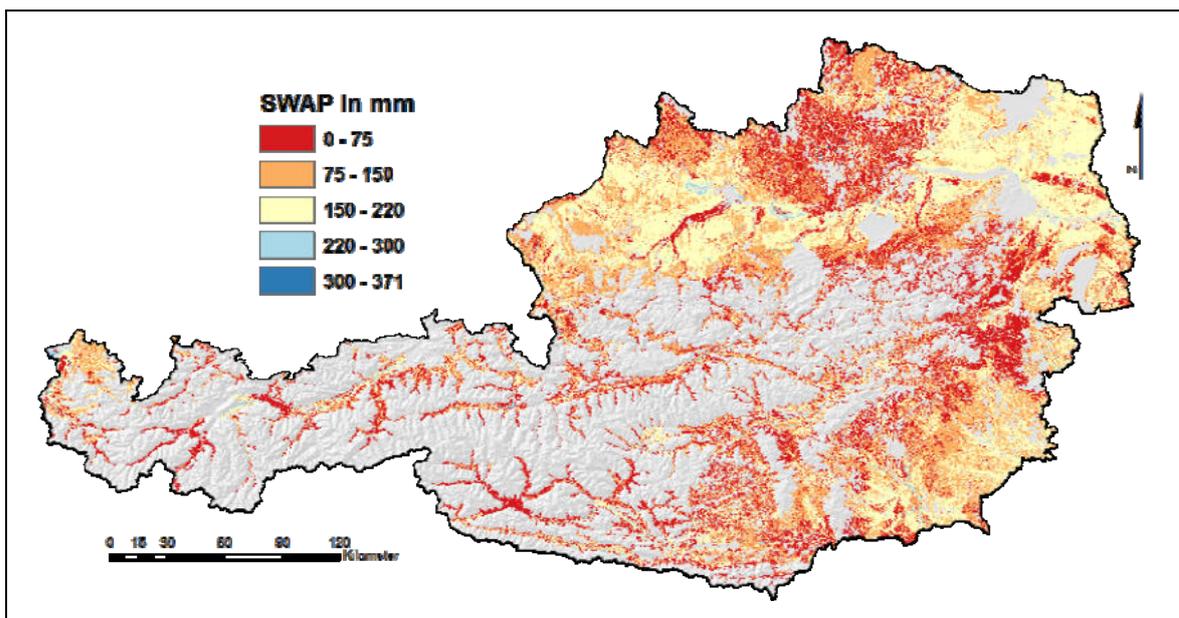


Abbildung 25: Räumliche Verteilung der maximal für Pflanzen verfügbaren Bodenwassermenge (SWAP) auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen

2.4 Berechnung der Wasserverfügbarkeit

Der Wassereintrag in den Boden wird aus der täglichen (i) Differenz zwischen Niederschlag (P) [mm] und potenziellen Verdunstung (PET) [mm] gerechnet:

$$\Delta P_i = P_i - PET \quad (2-21)$$

Dabei wird unterschieden, ob dieser Wert ein positives oder negatives Vorzeichen einnimmt. Entsprechend erfolgt die Berücksichtigung bei der kumulativen Berechnung des

Bodenwassergehaltes. Wenn $\Delta P \geq 0$ ist, wird entweder *SWAP* berücksichtigt oder der bereits durch Trockenheit verminderte Bodenwassergehalt. Im Fall von *SWAP*, d.h. der Boden ist mit Wasser gesättigt, wird angenommen, dass überschüssiges Wasser durch Oberflächenabfluss bzw. Tiefenversickerung nicht Bestandteil des verrechneten Bodenwassergehaltes ist.

$$AW_i = \min(SWAP; AW_{i-1} + \Delta P_i) \quad (2-22)$$

Wird an einem Tag i mehr verdunstet als Wasser in Form von Niederschlag nachgeliefert wird, kommt es zu einer Absenkung des Bodenwassergehaltes und wird durch die jeweilige Berücksichtigung des Vortages ($i-1$) über die ganze Vegetationsperiode kumuliert.

$$AW_i = AW_{i-1} \exp\left(\frac{\Delta P_i}{SWAP}\right) \quad (2-23)$$

Die hier angewandte Methode zur Berechnung des Bodenwassergehaltes ist vom JRC vorgegeben und steht im vorliegenden Projekt nicht zur Diskussion.

Neben der statischen Bodeninformation (*SWAP*) sind hier für die Klimanormalperiode 1971 bis 2000 die Werte für die potenzielle Evapotranspiration sowie für den Niederschlag auf Tagesbasis zu rechnen. Als zeitlicher Rahmen für die Vegetationsperiode wurde einheitlich der 1. März bis 30. November eines jeden Jahres herangezogen. Dies entspricht zwar nicht der tatsächlichen Vegetationsperiode, eine Akkumulation des Bodenwassergehaltes muss jedoch durchgehend erfolgen und wird für diese neun Monate eines jeden Jahres vorgenommen.

In Österreich liegt, wie aus den Berechnungen zum Teil 1 „Low Temperature“ hervorgeht, die thermische Vegetationsperiode mit dem Kriterium 5°C für durchgehende 5 Tage ausschließlich in diesen neun Monaten. Eine statische Berücksichtigung von 275 Tagen (März bis November) spielt bei der Ermittlung von trockenen Tagen (dry-days) eine untergeordnete Rolle, da diese hauptsächlich in den Sommermonaten auftreten. Allerdings verringert sich bei der Eingrenzung des Berechnungszeitraums durch die Berücksichtigung der thermischen Vegetationsperiode die Anzahl an non-dry-days.

Die vom JRC vorgegebene Grenze von „non-dry-days“ ≤ 90 Tage bedeutet, dass sich in einem gesamten Jahr (365 Tage), wenn dieses einer hypothetischen Vegetationsperiode entsprechen würde, mindestens 275 trockene Tage ergeben müssen. Mit der Einschränkung der Vegetationsperiode auf einen plausiblen, aber statischen Wertebereich zwischen März und November ergibt dies bei 275 Tagen einen Threshold für die Abgrenzung als benachteiligtes Gebiet von 185 dry-days. Die Wahrscheinlichkeit, dass trockene Tage im Sinne der JRC-Definition im Dezember, Jänner und Februar auftreten, ist gleich null. Dieses Beispiel zeigt, dass sich eine Verringerung der Dauer der Vegetationsperiode (von den hypothetischen 12 Monaten auf 9 Monate) hauptsächlich auf eine Verringerung der non-dry-days auswirkt.

In den Ergebnissen werden die einzelnen Berechnungsschritte mit Beispielkarten dargestellt. Um zeitliche Verläufe innerhalb eines Jahres darzustellen, wurden die Werte der täglichen Rasterkarten an bestimmten Validierungspunkten entnommen und zeitlich geordnet dargestellt. Damit ist zwar kein räumlicher Überblick gegeben, jedoch kann der zeitliche Verlauf an repräsentativen Punkten evaluiert werden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Mit Hilfe einer eigens erstellten Software wurden für die einzelnen Modellparameter kontinuierliche Rasteroberflächen (geographische Karten) erstellt und miteinander gemäß den Vorgaben des JRC kombiniert. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse anhand von Beispielen dargestellt.

3.1 Räumliches Modell der Evapotranspiration

Die Berechnung der Referenz-Evapotranspiration stellt den umfangreichsten Arbeitsschritt dar. Wie im Abschnitt Methoden dargestellt, werden zunächst Datenlücken an den Wetterstationen (sämtliche ZAMG-Stationen Österreichs) geschlossen, die Referenz-Evapotranspiration an diesen Standorten berechnet und anschließend mittels geeigneter geostatistischer Interpolationsverfahren in kontinuierliche Oberflächen überführt.

In *Abbildung 26* wird der zeitliche Verlauf anhand dreier Beispielstandorte im Bergland (Gumpenstein), im Osten (Korneuburg) und im Süden (St. Veit/Glan) für das Vegetationsjahr 1995 gezeigt. Abhängig von Temperatur, Strahlung, Wind und Luftfeuchtigkeit steigt die Evapotranspiration im Frühjahr von 1 mm auf bis zu 7 mm im Sommer an und fällt dann bis zum Beginn des Winters wieder ab. Je nach Klimaregion und besonderen Wetterlagen variiert diese Kurve, die Charakteristik ist jedoch immer ähnlich. Alleine aus der Betrachtung dieses Verlaufs kann geschlossen werden, dass sich dry-days im Wesentlichen nur in den Sommermonaten Juni, Juli und August ergeben können. Die vom JRC vorgegebene Grenze von maximal 90 non-dry-days wird demzufolge entweder durch lange Trockenperioden in diesen Monaten oder, wie es in Österreich hauptsächlich der Fall ist, durch die Einschränkung des betrachteten Zeitraums erreicht. Dies bedeutet, dass die Dauer der Vegetationsperiode in nicht trockengefährdeten Gebieten entsprechend kurz sein muss, um diesen Schwellwert zu erreichen. Wie auch bereits im Teil 1 beschrieben, wird dies in der Regel nur im Berggebiet erreicht.

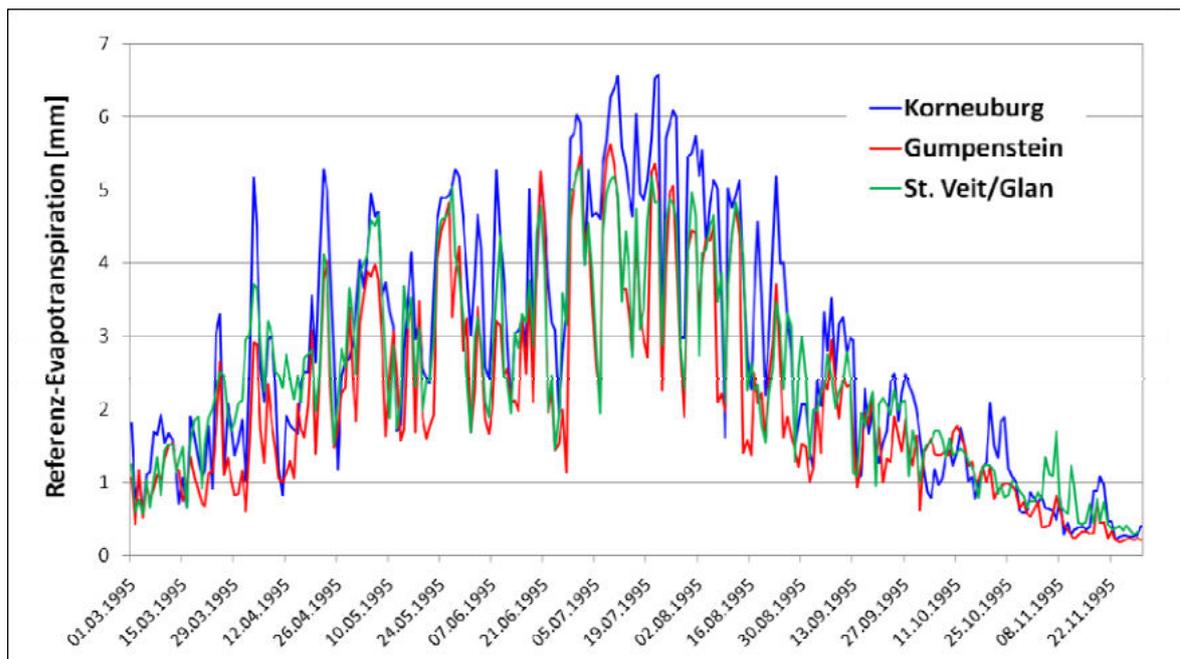


Abbildung 26: Referenz-Evapotranspiration an drei ausgewählten Stationen im Jahr 1995

Die *Abbildung 26* zeigt ebenfalls, dass die Werte der Evapotranspiration im November bereits so weit fallen, dass eine vom JRC definierte Trockenperiode in diesem Zeitraum extrem unwahrscheinlich ist.

Für die räumliche Darstellung wurden ausgewählte Tage im Frühjahr, Sommer und Herbst des Jahres 1995 verwendet. Auch hier ist der Jahresgang der Evapotranspiration anhand des Wertebereichs gut zu erkennen. Die Differenzierungen ergeben sich neben den klimatischen und topographischen Bedingungen noch zusätzlich durch die Wettersituation an den ausgewählten Tagen.

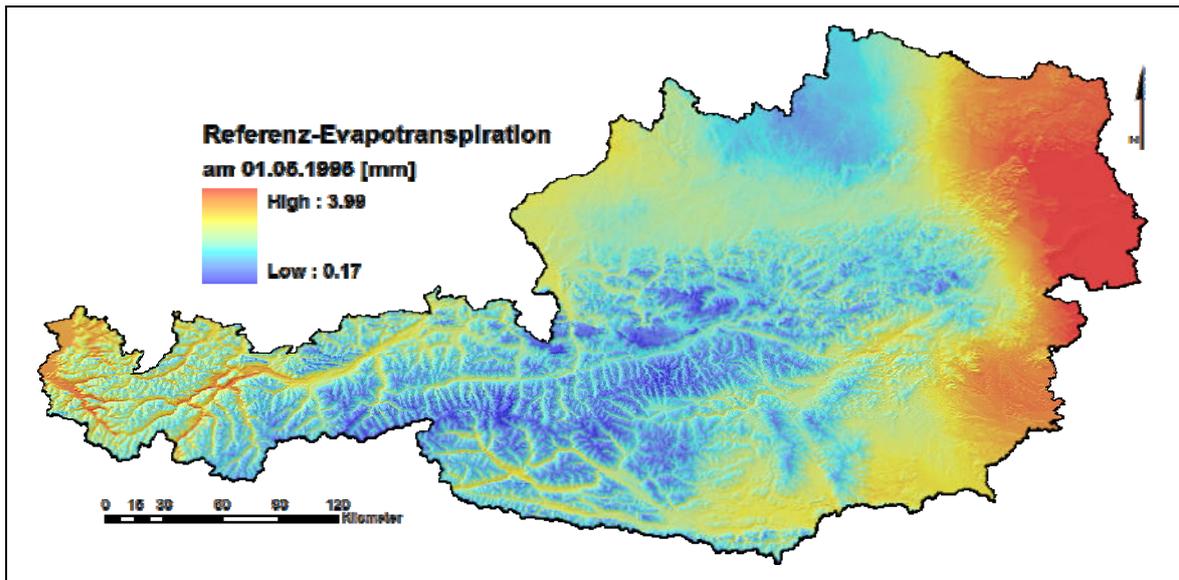


Abbildung 27: Oberfläche der Referenz-Evapotranspiration am 01.05. 1995

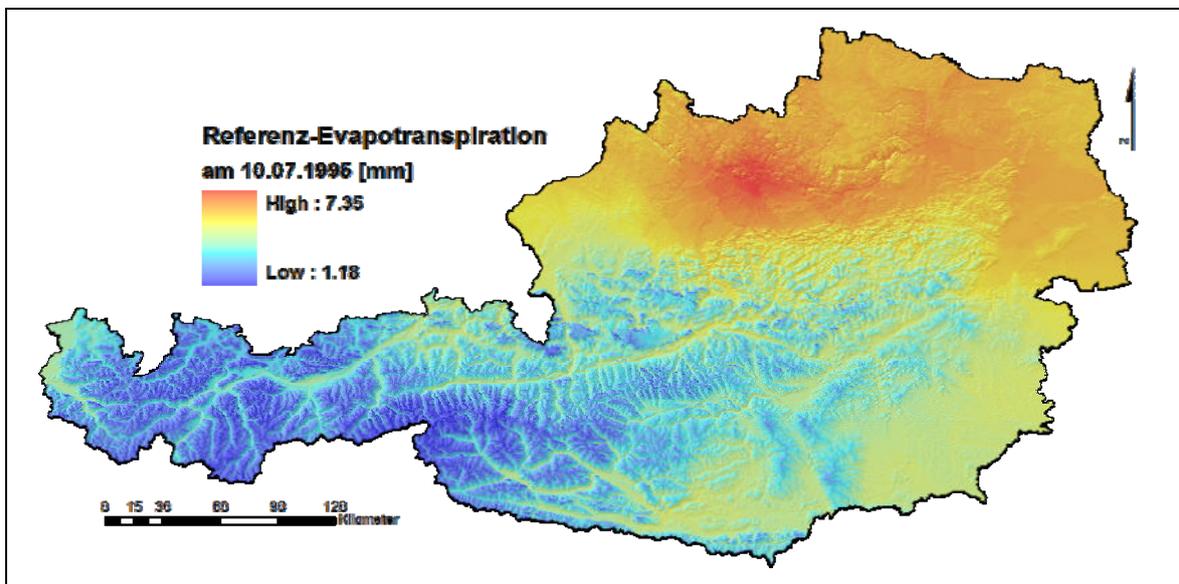


Abbildung 28: Oberfläche der Referenz-Evapotranspiration am 10.07. 1995

Die räumliche Verteilung der Evapotranspiration am 30. September 1995 zeigt deutlich den Einfluss des Strahlungsfaktors. Um diese Jahreszeit ist der bereits niedrige Sonnenstand für die etwas höheren Evapotranspirationswerte an den südlich exponierten Flächen

verantwortlich. Das Wertenniveau ist allerdings insgesamt sehr niedrig, sodass die Unterschiede in der Mitte Österreichs aufgrund kartographischer Darstellungsoptionen besonders augenscheinlich sind.

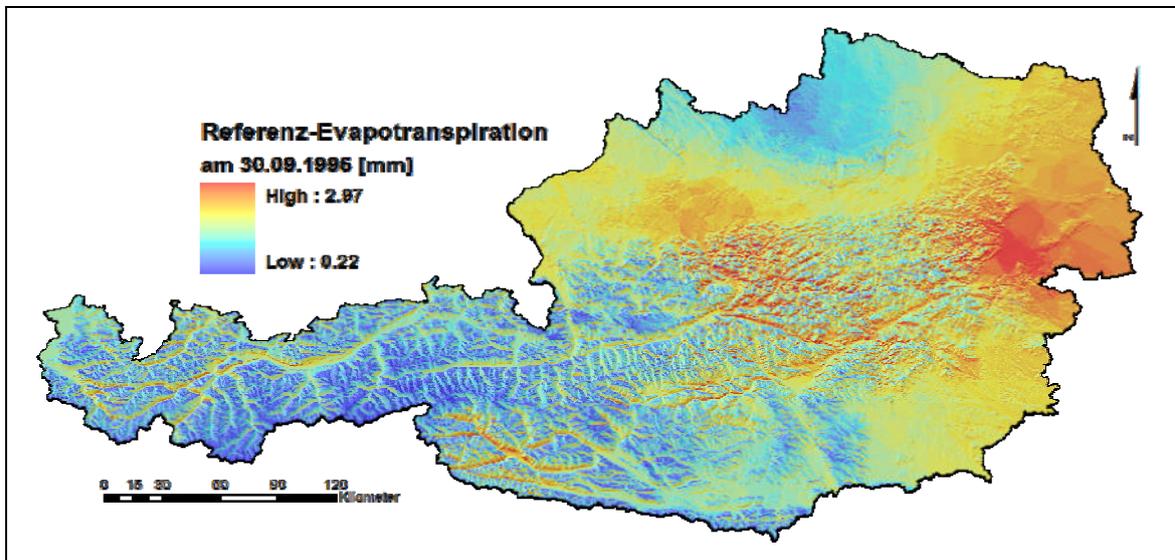


Abbildung 29: Oberfläche der Referenz-Evapotranspiration am 30.09. 1995

Im Zuge der Berechnung auf Tagesbasis im Beobachtungszeitraum der Klimanormalperiode 1971 bis 2000 wurden 8.250 Karten von Österreich in der Art, wie sie in den *Abbildungen* 27 bis 29 dargestellt sind, mit einer Auflösung von 250 Metern generiert.

3.2 Räumliches Modell des Niederschlags

Wie die Evapotranspiration wird der Niederschlag ebenfalls aus Stationsmessungen (Beispiele in *Abbildung 30*) der ZAMG und des HZB in kontinuierliche Oberflächen überführt.

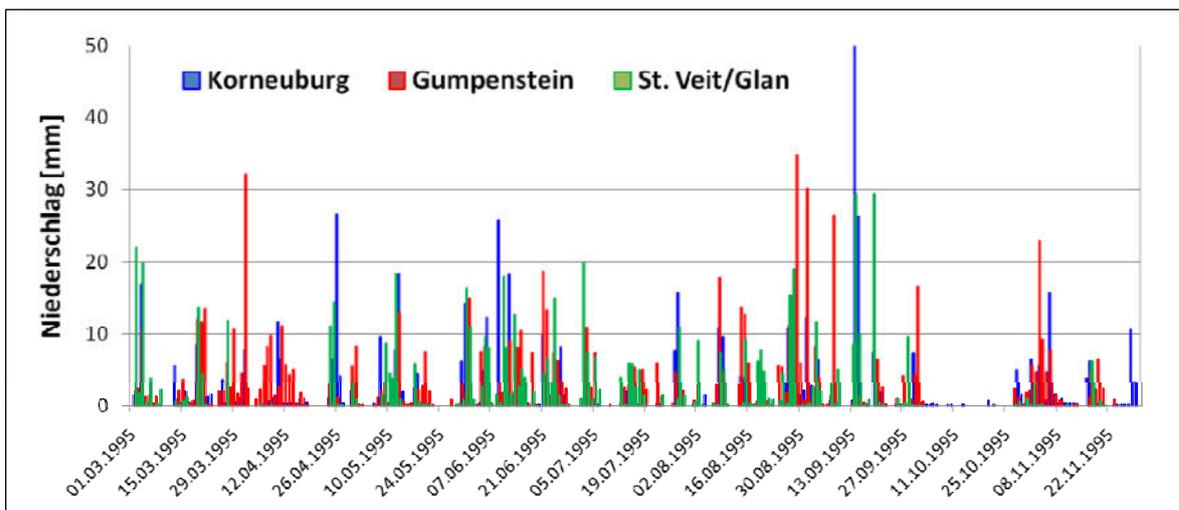


Abbildung 30: Niederschlag an drei ausgewählten Stationen im Jahr 1995

Der Niederschlag als Wassereintrag für die Bodenwasserbilanz ist der wichtigste Parameter für ausgeglichene Wasserverhältnisse bzw. für das Auftreten von Trockenheit bei ent-

sprechend hohen Verdunstungswerten. Wird die Niederschlagsmenge über ein ganzes Jahr betrachtet, sind Klimaräume deutlich zu differenzieren. Beispielsweise weist der Standort in Korneuburg im Jahr 1995 deutlich weniger Niederschlag auf als die Berglandstation Gumpenstein oder die südlich gelegene Station St. Veit/Glan (vgl. *Abbildung 30*). Momentaufnahmen für Beispieltage, wie es in der *Abbildung 31* für den 1. Mai 1995 gezeigt wird, lassen naturgemäß keine Rückschlüsse auf Klimaregionen zu. Allerdings wird in dieser Karte das Ergebnis der räumlichen Interpolation für diesen Tag sichtbar.

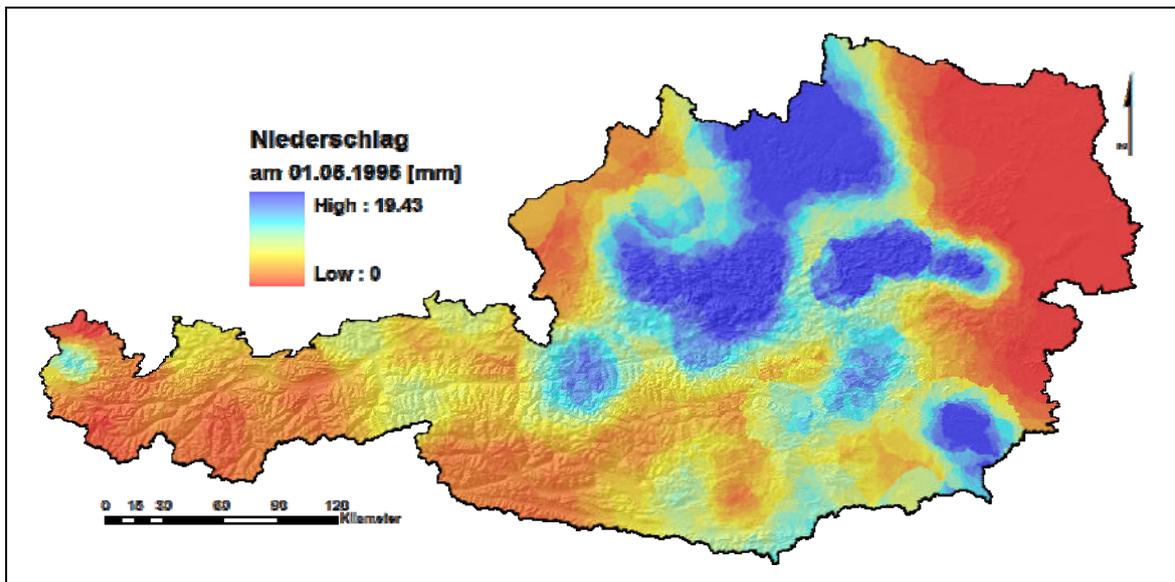


Abbildung 31: Oberfläche des Niederschlags am 01.05. 1995

Ebenso wie bei der Evapotranspiration sind für die 30jährige Klimanormalperiode 1971 bis 2000 Niederschlagsraster auf Tagesbasis anzufertigen. Dies sind in Summe 8.250 Karten von Österreich in der Art, wie sie in *Abbildung 31* dargestellt ist.

3.3 Räumliches Modell der Wasserverfügbarkeit

Gemäß den Gleichungen (2-22) und (2-23) wird auf Basis von Referenz-Evapotranspiration und Niederschlag die verfügbare Bodenwassermenge berechnet. In den Gleichungen werden auch die Bodeneigenschaften (nutzbare Feldkapazität und Durchwurzelungstiefe bzw. Gründigkeit) berücksichtigt. Alle Ergebnisse beziehen sich demnach auf jene Flächen, für welche die Bodenparameter verfügbar sind. Für die Unterscheidung von dry-days und non-dry-days wird folgendes Verhältnis untersucht:

$$a_i = \frac{AW_{i-1} + P_i}{PET_i} \quad (2-24)$$

$$nonDryDay_i = a_i > 0.5 \quad (2-25)$$

Das Abgrenzungskriterium a zum Tag i wird aus dem Verhältnis von Wasserverfügbarkeit (AW), Niederschlag (P) und der Referenz-Evapotranspiration (PET) bestimmt. Bei allen Tagen mit ausreichender Wasserversorgung ($nonDryDay$) ist der Wert $a > 0.5$ (2-25).

Für die Bestimmung der Wasserverfügbarkeit und letztendlich des Abgrenzungskriteriums ist eine durchgängige Zeitreihe zu bilden. Diese wurde für alle Untersuchungsjahre von 1. März bis 30. November gerechnet. Innerhalb dieses Zeitraums befindet sich die thermische Vegetationsperiode. Für die Initialisierung am 1. März wird von einem wassergesättigten Zustand (= *SWAP*) ausgegangen, der sich dann entsprechend entwickelt und ab dem Vegetationsbeginn für die Abgrenzung wirksam wird. Beginn und Ende der Vegetationsperiode wurden, wie im Teil 1 dargestellt, flächendeckend mit Hilfe des 5 °C-Kriteriums definiert.

In den nachfolgenden Abbildungen werden an den Evaluierungsstandorten beispielhaft die zeitlichen Verläufe der errechneten Parameter für das Jahr 1995 dargestellt. Wie bereits bei den Verlaufsdarstellungen von Referenz-Evapotranspiration und Niederschlag handelt es sich um die Extraktion der Werte aus den täglichen Ergebnisrastern.

Der in *Abbildung 32* gezeigte Standort Gumpenstein weist im Jahr 1995 eine ausreichende und optimal verteilte Niederschlagsmenge auf. Aufgrund der guten Bodenverhältnisse liegt das Wasserverfügbarkeitsniveau relativ hoch und wird lediglich im Hochsommer (August) etwas abgesenkt. Wie die Kurve des Abgrenzungskriteriums zeigt, ist in diesem Jahr kein einziger Tag als dry-day zu klassifizieren, da die Bodenwasserabsenkung die geforderte halbe Höhe der Evapotranspiration (vgl. *Abbildung 26*) bei weitem nicht unterschreitet (vgl. Gleichung (2-25)).

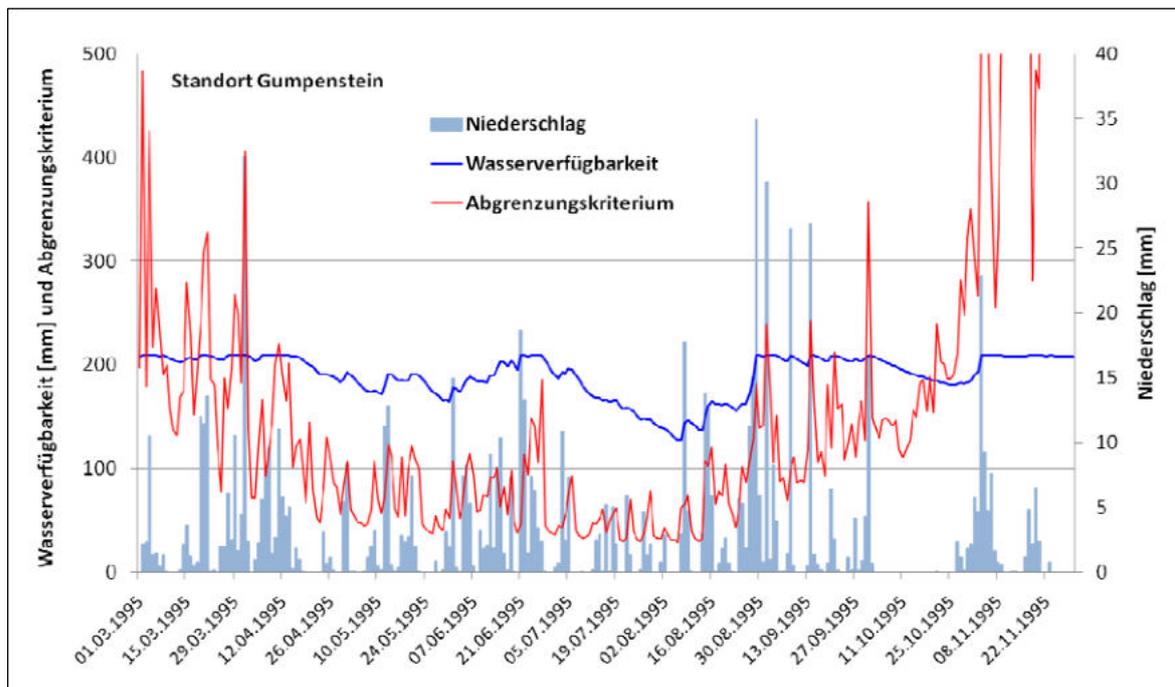


Abbildung 32: Verlauf von Wasserverfügbarkeit und Abgrenzungskriterium mit Visualisierung des Niederschlags am Standort Gumpenstein im Jahr 1995

Die beiden anderen Beispielstandorte (*Abbildungen 33* und *34*) weisen ähnliche Verläufe auf, wobei hier die Bodenwasserabsenkung im Sommer gegenüber dem Bergland (Gumpenstein) um einiges deutlicher ausfällt. Die Bodenqualität und damit das Niveau der Wasserverfügbarkeit ist in etwa gleich – mit ein Grund für den ähnlichen Verlauf der Abgrenzungskurve. In allen Fällen ist ein Erreichen des Schwellwertes laut Definition in (2-25) jedoch nicht gegeben. Die Minimumwerte der Abgrenzungskurve liegen um ein Vielfaches über dem geforderten Kriterium eines dry-days.

Der Zusammenhang des Verlaufes der Wasserverfügbarkeit mit den Niederschlagsereignissen ist deutlich zu erkennen. Wird der Boden durch den Wassereintrag wieder aufgefüllt reagiert auch die Kurve des Abgrenzungskriteriums entsprechend.

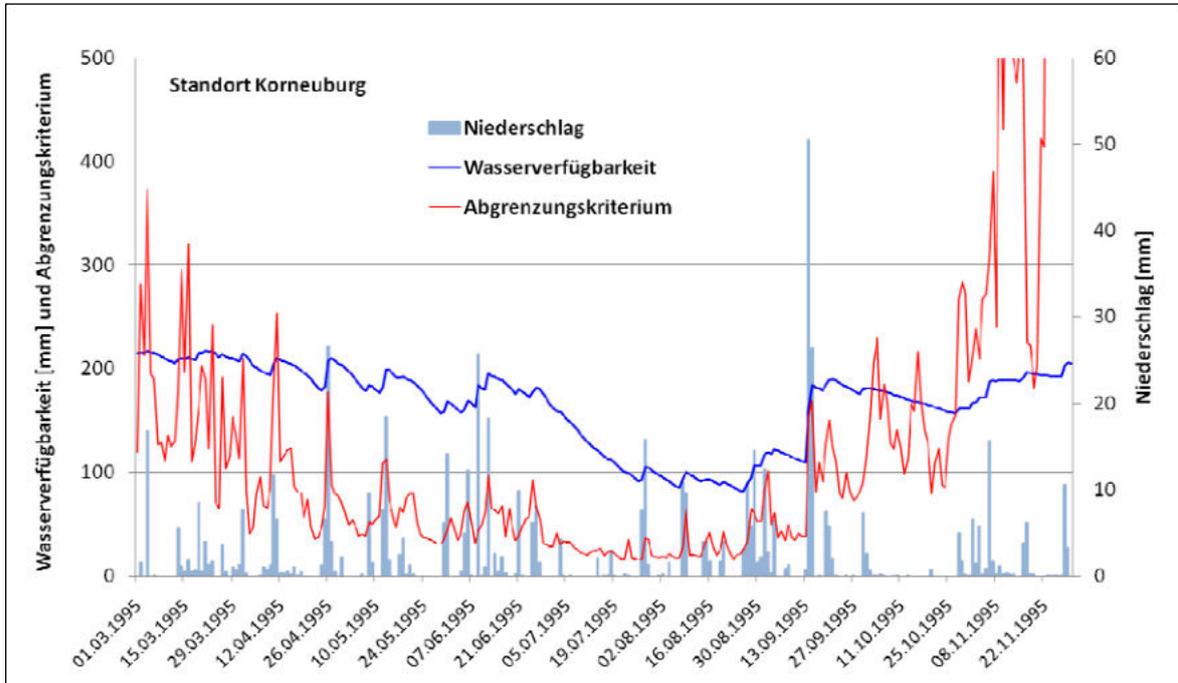


Abbildung 33: Verlauf von Wasserverfügbarkeit und Abgrenzungskriterium mit Visualisierung des Niederschlags am Standort Korneuburg im Jahr 1995

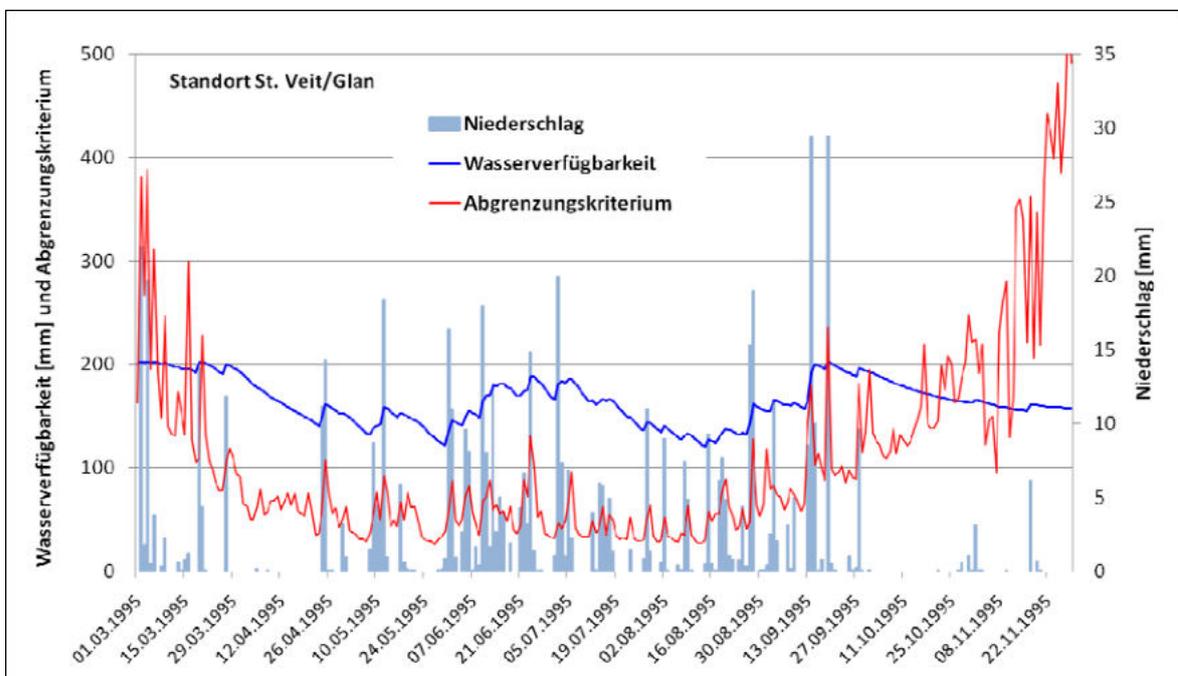


Abbildung 34: Verlauf von Wasserverfügbarkeit und Abgrenzungskriterium mit Visualisierung des Niederschlags am Standort St. Veit/Glan im Jahr 1995

Zu Demonstrationszwecken wurde ein weiterer Standort (Peisching/Steinfeld) untersucht (vgl. *Abbildung 35*), der durch extrem schlechte Bodenwerte gekennzeichnet ist. Die nutzbare Feldkapazität beträgt hier nur $5,34 \text{ m}^3/\text{m}^3$ und ergibt bei einer geringen Gründigkeit von 175 mm einen *SWAP*-Wert von 9.35 mm. Da die Pufferkapazität dieses Bodens sehr beschränkt ist, reagiert die Wasserverfügbarkeit und damit auch die Kurve des Abgrenzungskriteriums sehr sensibel auf die Niederschlagsereignisse.

Die in *Abbildung 35* dargestellte Abgrenzungskurve erfüllt an insgesamt 47 Tagen das Kriterium nach Gleichung (2-25). Da in diesem Gebiet jedoch die Vegetationsdauer relativ lang ist, wirkt sich dies auf eine abgrenzungswirksame Anzahl von non-dry-days (≤ 90) nicht aus.

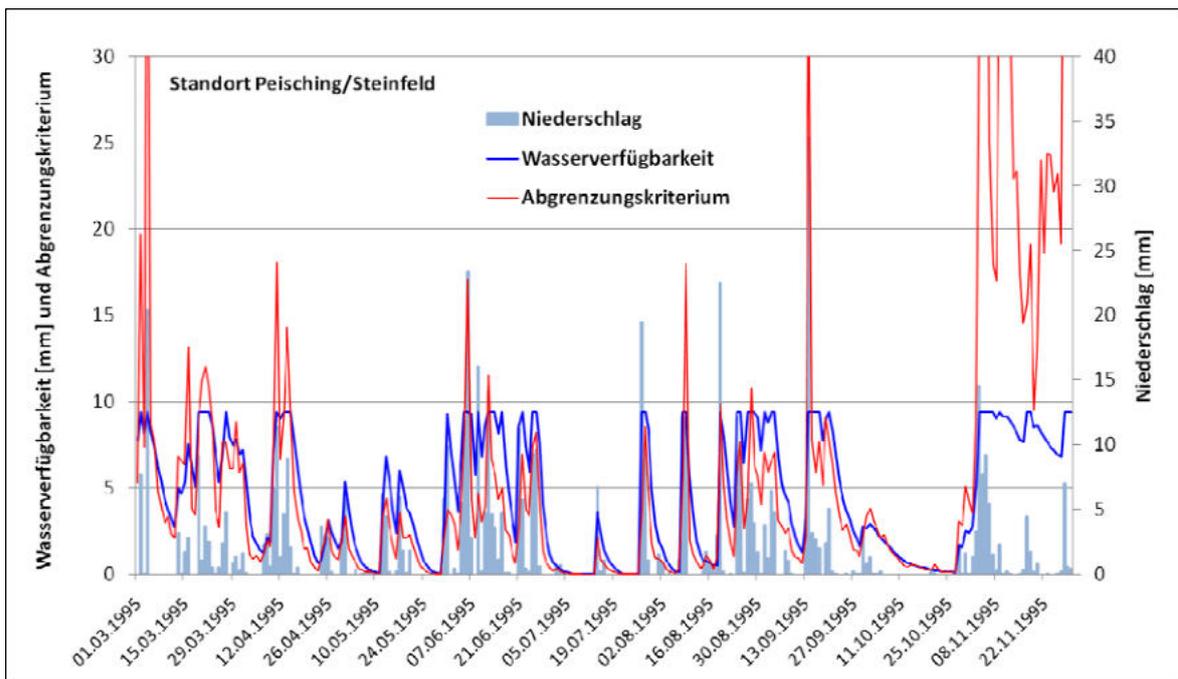


Abbildung 35: Verlauf von Wasserverfügbarkeit und Abgrenzungskriterium mit Visualisierung des Niederschlags am Standort Peisching/Steinfeld im Jahr 1995

Die räumliche Modellierung der Wasserverfügbarkeit wird wieder an Hand von drei ausgewählten Tagen in den *Abbildungen 36 bis 38* gezeigt. Das sehr heterogene Bild wird hauptsächlich durch die stark variierenden Bodeneigenschaften (vgl. *Abbildung 25*) bestimmt. In *Abbildung 37* ist auch deutlich die Bodenwasserabsenkung im Sommer (10.07.1995) vor allem in den östlichen Gebieten zu sehen.

Für die Berechnung der Wasserverfügbarkeit und des Abgrenzungskriteriums sind wiederum tägliche Karten zu generieren, die mit jeweils 8.250 Österreichkarten, also insgesamt 16.500 Rasteroberflächen einen bedeutenden Anteil der Rechenkapazitäten einnehmen.

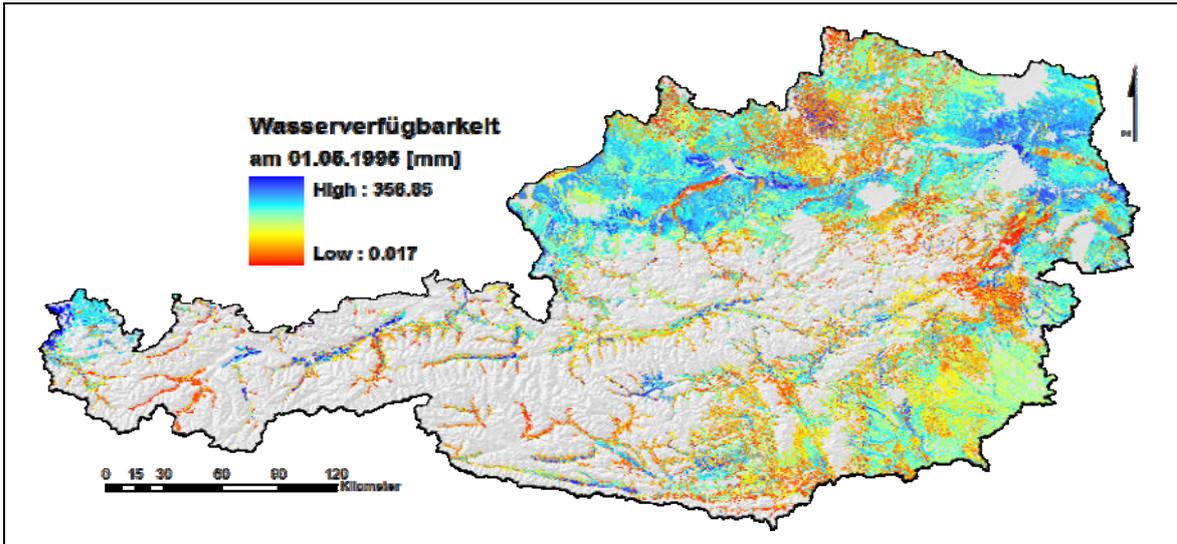


Abbildung 36: Wasserverfügbarkeit auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen am 01.05. 1995

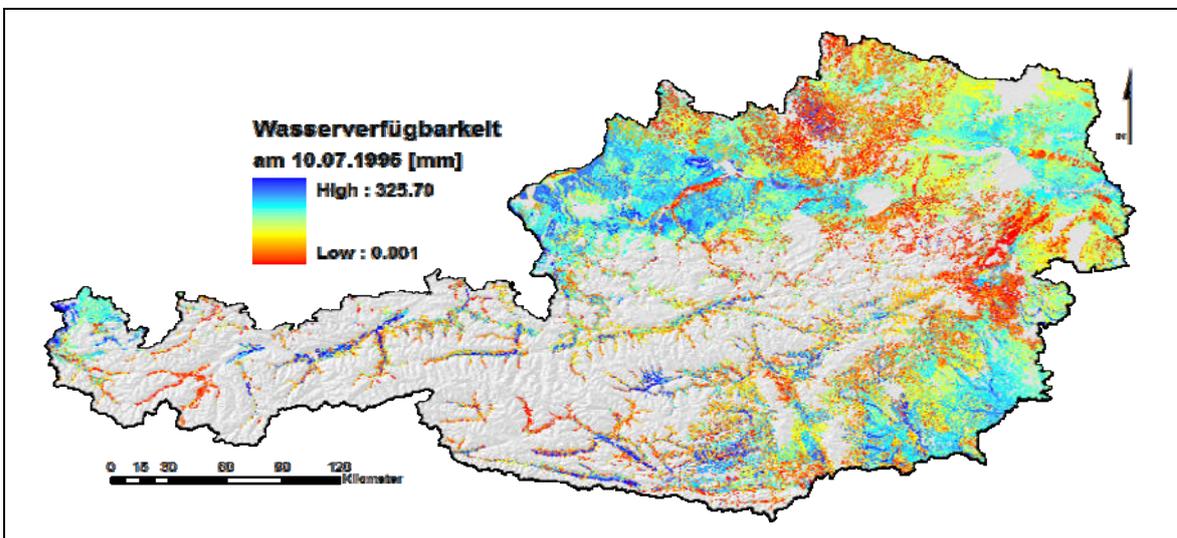


Abbildung 37: Wasserverfügbarkeit auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen am 10.07. 1995

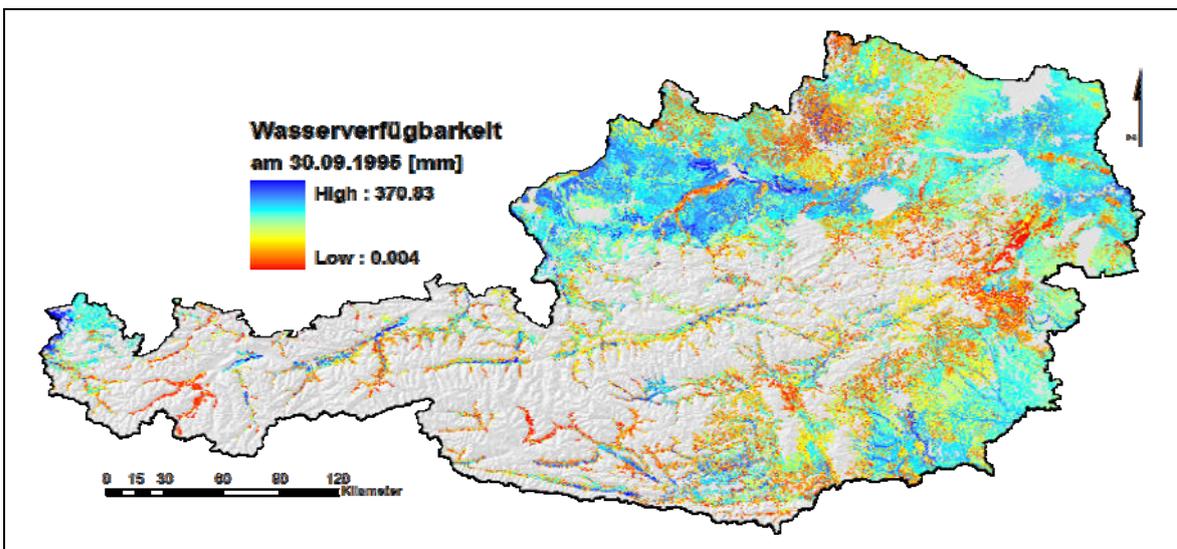


Abbildung 38: Wasserverfügbarkeit auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen am 30.09. 1995

3.4 Räumliche Modellierung der Abgrenzung von non-dry-days

Unter Berücksichtigung von Beginn ($vBeg$) und Ende ($vEnd$) der thermischen Vegetationsperiode wird die Summe an *nonDryDays* für das jeweilige Jahr y ermittelt:

$$c_y = \sum_{i=vBeg}^{vEnd} nonDryDay_i \quad (2-26)$$

$$A_y = c_y \leq 90 \quad (2-27)$$

Gemäß den Vorgaben des JRC ist ein Gebiet als benachteiligt abzugrenzen, wenn die Bedingung in Gleichung (2-27) in mehr als 20 % der 30 untersuchten Jahre erfüllt wird, d.h. A_y für mindestens 7 Jahre den Wert „wahr“ annimmt.

Auf Grundlage der Wasserverfügbarkeit und den davon abgeleiteten Werten für die tägliche Abgrenzung (Gleichungen (2-24) und (2-25)) ergibt sich bei der räumlichen Implementierung ein Wertebereich aller im Untersuchungsgebiet enthaltenen Zellen, die in *Abbildung 39* für jedes Jahr dargestellt sind. Im Zeitraum von 1971 bis 2000 wird in insgesamt 6 Jahren die Bedingung $non-dry-days \leq 90$ ($A_y = \text{wahr}$) erfüllt.

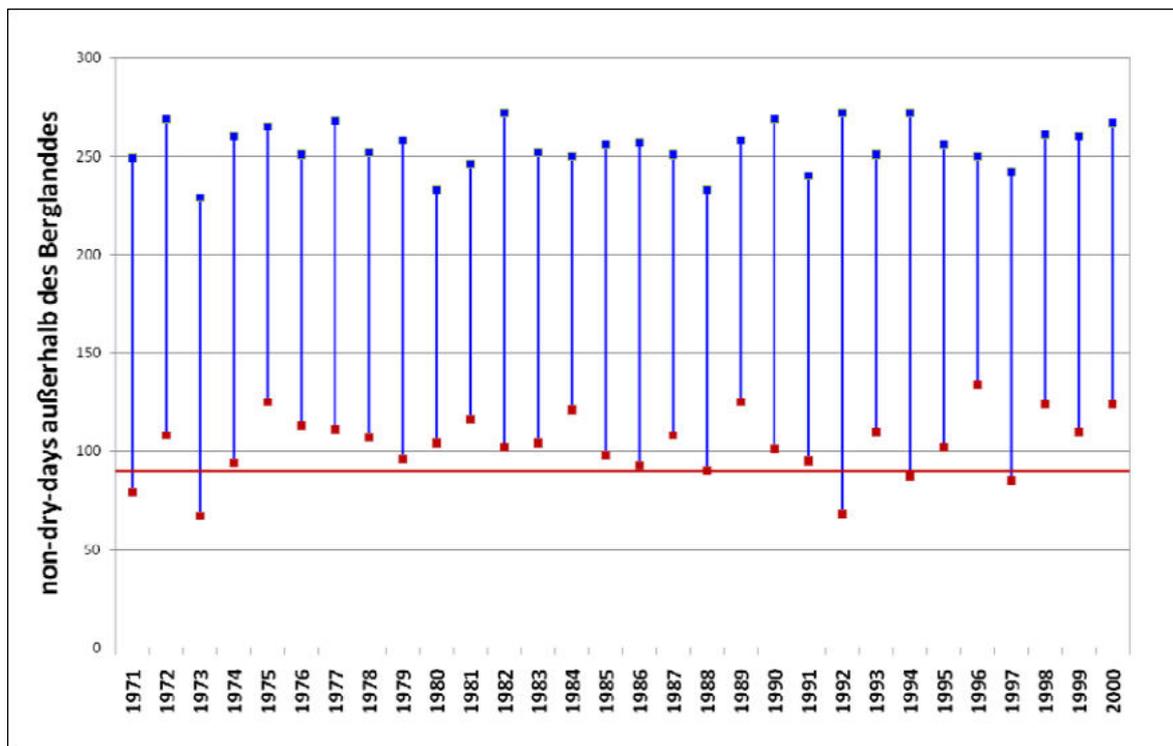


Abbildung 39: Wertebereiche der Zellen für die Summe an non-dry-days eines jeweiligen Jahres außerhalb des Berggebietes

Die durchgeführte Untersuchung ergibt damit, dass eine Abgrenzung für das Sonstig Benachteiligte Gebiet mit Hilfe des Kriteriums „Soil Moisture Balance“ nicht möglich ist. Die Unterschreitung des Schwellwertes von 90 Tagen ist auch in den betroffenen 6 Jahren minimal: für 1971 erfüllen 101 Zellen die Bedingung, 1973 633 Zellen, 1988 1 Zelle, 1992 82 Zellen, 1994 2 Zellen und 1997 44 Zellen. Die Verschneidung der betroffenen 6 Jahre ergibt, dass keine Zelle das Kriterium erfüllt. Die *Abbildung 40* bis *41* zeigen die jährlichen Ergebnisse.

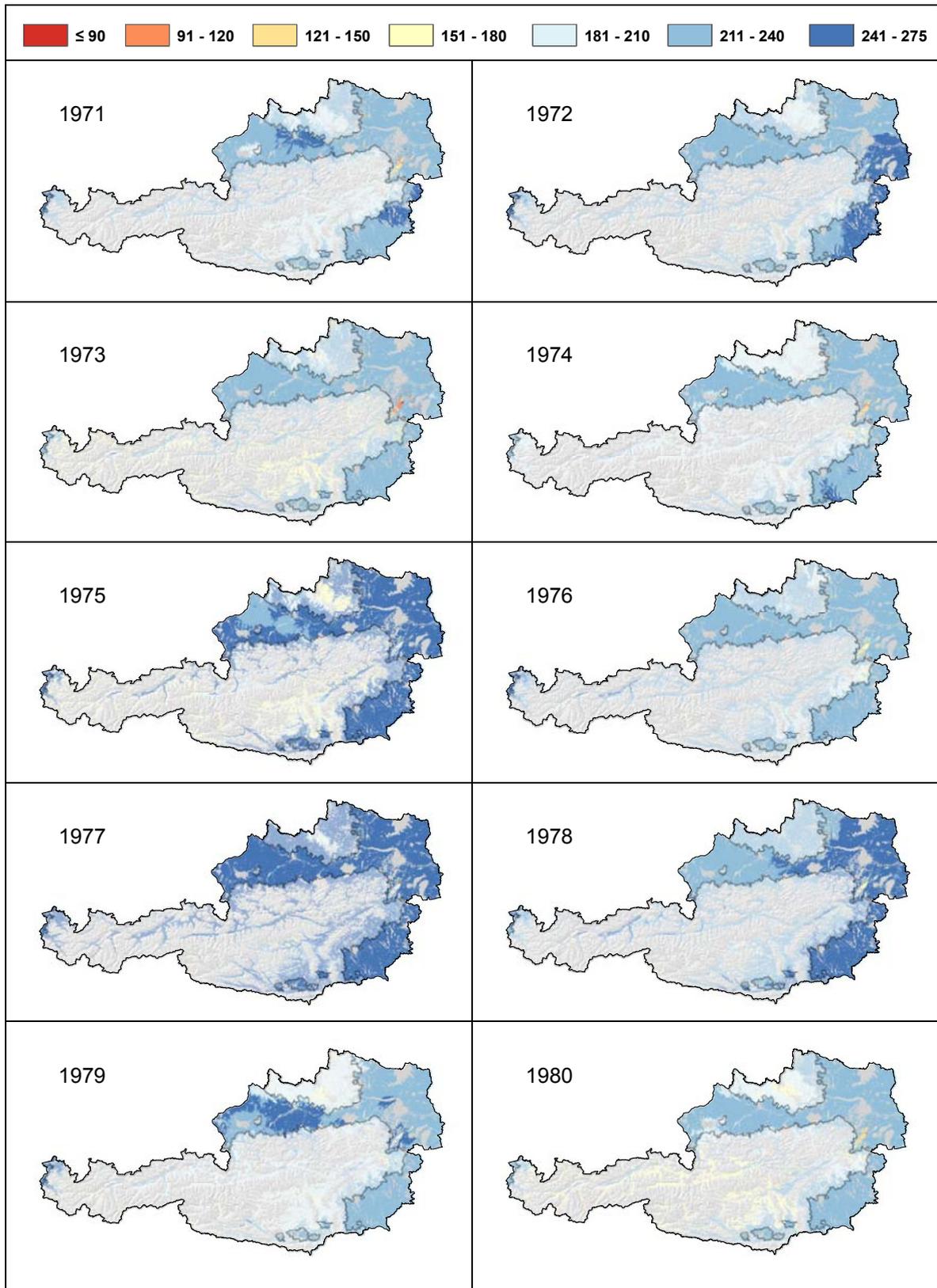


Abbildung 40: Anzahl an non-dry-days außerhalb des Berggebietes in den Jahren 1971 bis 1980

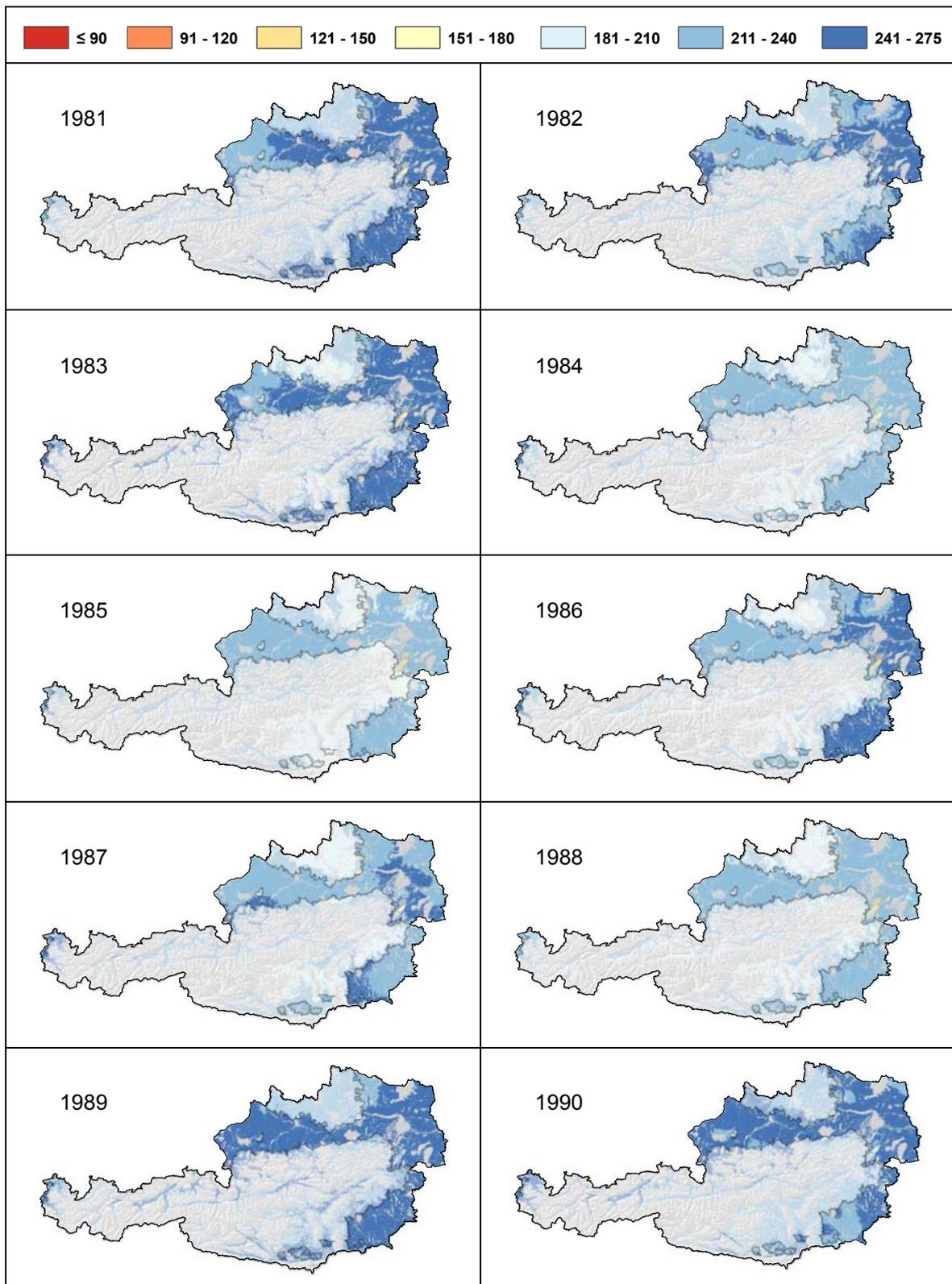


Abbildung 41: Anzahl an non-dry-days außerhalb des Berggebietes in den Jahren 1981 bis 1990

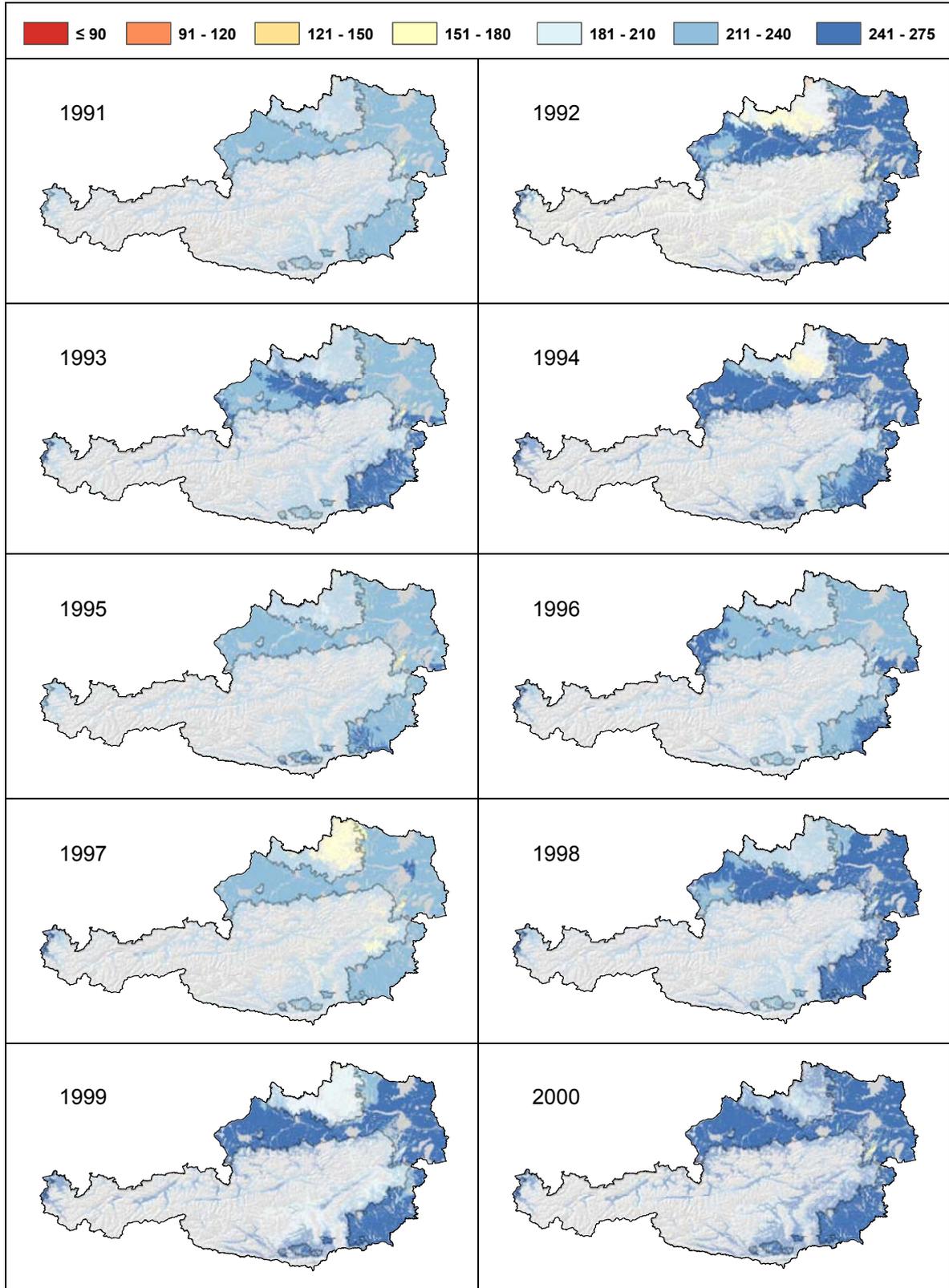


Abbildung 42: Anzahl an non-dry-days außerhalb des Berggebietes in den Jahren 1991 bis 2000

Zusammenfassung und Ausblick

Die klimatischen Bedingungen, abgeleitet aus den detaillierten Untersuchungen für die Klimanormalperiode 1971 bis 2000, ergeben für Österreich weder mit dem Kriterium „Low Temperature“ noch mit dem Kriterium „Soil Moisture Balance“ eine Möglichkeit für die Abgrenzung von Sonstig Benachteiligten Gebieten.

Alle jene Gebiete, für welche eines dieser beiden Kriterien in Frage kommen würde, liegen im bereits abgegrenzten Gebiet der Klasse „Berggebiet“. Die Flächen rund um die Alpen sind geprägt von längeren Vegetationsperioden und, zumindest nach den Vorgaben des JRC, zu kurzen Trockenperioden. Der in manchen Jahren auftretende Wasserstress im Osten und Süden des Landes ist zwar Faktum und spielt eine wichtige Rolle für die Landbewirtschaftung, die vom JRC vorgegebenen Schwellwerte und die einfachen Berechnungsmethoden erlauben jedoch nicht, diese Gebiete entsprechend abzugrenzen und als benachteiligt auszuweisen.

In anderen Projekten mit der Fragestellung der Wasserverfügbarkeit (BAL2953, GT Hartberg) wurden die letzten Jahre (2002 bis 2007) intensiv untersucht. Hier ergaben sich auf Basis von anderen, genaueren Berechnungsmethoden (Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements) der FAO (Allen *et al.*, 1998) deutliche Beeinträchtigungen durch Wasserstress in den östlichen und südlichen Landesteilen. Da eine Diskussion der im vorliegenden Projekt verwendeten Methodik nicht relevant ist, wurde auf eine vergleichende Untersuchung verzichtet, zumal sich auch der Untersuchungszeitraum unterscheidet.

Die klimatische Entwicklung in den letzten Jahrzehnten zeigt zum einen eine deutliche Verlängerung der Vegetationsperiode und zum anderen auch eine Zunahme von Trockenperioden. Da bei Anwendung der Methodik des JRC zur Berechnung des Kriteriums „Soil Moisture Balance“ beide Effekte wirken, sind aus den dargestellten Jahresergebnissen keine Trends ablesbar. Nimmt die Dauer der Vegetationsperiode aufgrund höherer Temperaturen zu, erhöht sich auch die Anzahl an non-dry-days, da in den zeitlichen Randbereichen (März und November) in Österreich kein Wasserstress auftritt und dies somit ausschließlich zu einer höheren Anzahl von non-dry-days führt. Mit den höheren Temperaturen in den Sommermonaten geht gleichzeitig auch eine Verminderung der Wasserverfügbarkeit einher, die sich aber aufgrund der Ausdehnung der Vegetationsperiode jedoch nicht wesentlich auf die Verminderung von non-dry-days auswirkt.

Es ist anzumerken, dass die angenommene Zunahme der globalen Mitteltemperatur in den nächsten Jahrzehnten, wie sie aus der bisherigen Klimaentwicklung und insbesondere aus zukünftigen Klimaszenarien hervorgeht, auch zu einer Veränderung der Abgrenzungsbedingungen führen könnte.

Die tägliche Berechnung von Modellparametern über einen 30jährigen Zeitraum stellt eine große Herausforderung für die effiziente Programmierung von Algorithmen und für die Speicherung der Ergebnisse dar. Die räumliche Umsetzung der beiden Kriterien „Low Temperature“ und „Soil Moisture Balance“ erfordern die Berechnung von 41.250 Karten von Österreich in einer Auflösung von 250 Metern. Dies entspricht der Manipulation von 118,67 Milliarden Einzelwerten. Die Implementierung erfolgte in Visual C# unter Einbindung der ESRI-Programmbibliothek ArcObjects.

Literaturverzeichnis

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; und Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers Paper No 56, FAO, Rome, 326 S.
- Blöschl, G. und Merz, R. (2002): Methoden der hydrologischen Regionalisierung im Zusammenhang mit der Niederschlags-Abflussmodellierung. In Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser - Gewässer, 164 S.
- Boons-Prins, E. R., de Koning, G. H. J., van Diepen C. A. and Penning de Vries, F. W. T. (1993). Crop specific simulation parameters for yield forecasting across the European Community. Simulations Reports CABO-TT no. 32, Wageningen, Netherlands.
- Böttcher, K., Eliasson, Å., Jones, R., Le Bas, C., Nachtergaele, F., Pistocchi, A., Ramos, F., Rossiter, D., Terres, J.-M., Van Orshoven, J. and Van Velthuizen, H. (2009): Guidelines for Application of Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Handicaps. JRC Technical Notes. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Brown, P. (2000): Basics of Evaporation and Evapotranspiration. University of Arizona, Tucson, 4 S., <http://cals.arizona.edu/pubs/water/az1194.pdf>, (14.10.2009).
- Clark, I. und Clausen, F.L. (1981): Simple alternative to disjunctive kriging. Trans. Inst. Min. Metall. 90, 13-24.
- COM(2009)161. Communication of 21 April 2009 adopted by the Commission: *“Towards a better targeting of the aid to farmers in areas with natural handicaps”*.
- Eliasson, Å. (2007). Review of Land Evaluation Methods for Quantifying Natural Constraints to Agriculture. The Institute for Environment and sustainability, Joint Research Centre, Ispra, Italy. EUR 22923 EN-2007. 50 pp.
- Eliasson, Å., Bamps, C., Terres, J.-M. (2006). Land quality assessment for the definition of the EU less favoured Areas focusing on natural constraints, proceedings from expert meeting, 16th-17th May 2006, The Institute for Environment and sustainability, Joint Research Centre, Ispra, Italy. JRC Technical note, 26 pp.
- Eliasson, Å., Terres, J.-M., and Bamps, C. (2007). Common Biophysical Criteria for Defining Areas which are Less Favourable for Agriculture in Europe. Proceedings from the Expert Meeting 19-20th of April, 2007. The Institute for Environment and sustainability, Joint Research Centre, Ispra, Italy. EUR 22735EN -2007. 80 pp.
- FAO (1992). Report on Expert Consultation on Revision of FAO Methodologies for Crop Water Requirements. Land and Water Development Division, FAO, Rome, Italy.
- Fu, P. und Rich, P.M. (1999): Design and Implementation of the Solar Analyst: an ArcView Extension for Modeling Solar Radiation at Landscape Scales. Environmental Systems Research Institute (ESRI), ESRI International User Conference, San Diego, 23 S.
- Goovaerts, P. (1997): Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Applied Geostatistics Series, Oxford University Press, New York, Oxford, 483 S.

- Goovaerts, P. (2000): Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228 (1-2), 113-129.
- Hall, D.G.M., Reeve, M.J., Thomasson, A.J., Wright, V.F., (1977). Water retention, porosity and density of field soils. *Soil Survey Technical Monograph No. 9*, Harpenden, UK, 75 pp.
- IPCC (2007). *Climate change 2007: Climate change impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policymakers.* <http://www.ipcc.ch/>.
- Li, S.; Tarboton, D.; und McKee, M. (2003a): GIS-based temperature interpolation for distributed modelling of reference evapotranspiration. 23rd AGU Hydrology Days, Fort Collins, Colorado, AGU Hydrology Days 2003, Colorado State University, 2 S.
- Li, S.; Tarboton, D.; und McKee, M. (2003b): Development of an ArcMap Toolbar for Regional Evapotranspiration Modeling. ESRI, ESRI International User Conference, San Diego, 12 S.
- Murer, E. (2009): Überprüfung und Verbesserung der Pedotransferfunktion zur Ermittlung der Wasserspeicherkapazität im Boden, Abschlussbericht, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, 54 S.
- Murer, E.; Wagenhofer, J.; Aigner, F.; und Pfeffer, M. (2004): Die nutzbare Feldkapazität der mineralischen Böden der landwirtschaftlichen Nutzfläche Österreichs. In BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT: Schriftenreihe BAW, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen, 72-78 S.
- Schaumberger, A. (2005): Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. *Veröffentlichungen 42*, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 66 S.
- Scheinost, A. C., Sinowski, W., Auerswald, K. (1997). Regionalisation of soil water retention curves in a highly variable soilscape: I. Developing a new pedotransfer function. *Geoderma* 78, 129-143.
- Terres, J.-M. (2009): Persönliche Mitteilung (30.06.2009).
- Tveito, O.E.; Wegehenkel, M.; Van der Wel, F.; und Dobesch, H. (2006): The use of Geographic Information Systems in Climatology and Meteorology, Final Report, COST Action 719, 245 S.
- Van Orshoven, J., Terres, JM., and Eliasson, Å. (2008). Common bio-physical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe. The Institute for Environment and sustainability, Joint Research Centre, Ispra, Italy. EUR23412 EN - 2008. 60 pp.
- Wösten, J. H. M., Lilly, A., Nemes, A., Le Bas, C. (1999). Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90, 169-185.
- Wösten, J. H. M., Pachepsky, Y. A., Rawls, W. J. (2001). Pedotransfer functions: bridging gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. *Journal of Hydrology* 251, 123-150.