

2.4.7.2 ÄLTERE TERRASSENRESTE IM ENNS-, MUR- UND MÜRZTAL

Beidseitig der größeren Flussläufe können stellenweise Reste älterer pleistozäner Terrassen vorhanden sein, denen keine überregionale wasserwirtschaftliche Bedeutung beizumessen ist.

2.4.8 TÄLER MIT EINZUGSGEBIETEN IN ÜBER- WIEGEND TERTIÄREN ABLAGERUNGEN

Im Allgemeinen ist die Mächtigkeit der quartären Talfüllung in den Flusstälern im Ost- und Weststeirischen Becken nur gering. Die Sedimente weisen zudem einen hohen Verlehmungsgrad und damit nur geringe Durchlässigkeiten auf. Die nur geringe Grundwasserüberdeckung, hohe Eisen-, Mangan- und Nitratgehalte schränken die Grundwassernutzung weiter ein.

2.4.8.1 RAABTAL ÖSTLICH GLEISDORF

Die Kiesmächtigkeit im Raabtal östlich von Gleisdorf beträgt durchschnittlich 3–6 m, wobei allerdings lokal größere Schottermächtigkeiten eventuell auf das Vorhandensein von Tiefenrinnen hinweisen können.

Generell sind starke Sedimentinhomogenitäten gegeben, wobei die Schotter auch stärker verlehmt sind. Sie werden von einer durchschnittlich 3–5 m mächtigen Aulehmschichte überlagert. Im Allgemeinen ist das seichtliegende Grundwasser von minderer Qualität und weist hohe Eisengehalte auf. Die Grundwasserüberdeckung ist nur sehr gering.

2.4.8.2 KAINACHTAL/GRADENERBACH

Im bis zu 2 km breiten Kainachtal zwischen St. Johann ob Hohenburg und Weitendorf besteht die quartäre Talfüllung aus durchschnittlich 3–6 m mächtigen sandigen Schottern mit zu meist größeren bindigen Anteilen, die von einer durchschnittlich 2 m mächtigen Aulehmschichte überlagert werden.

Eine Ausnahmestellung hat das Tal des Gradenerbaches, ein Seitental des Oberen Kainachtals, in welchem eine bis zu 10 m mächtige Schotterfüllung vorhanden ist, die durch Karstwasserzutritte alimentiert wird und aus der bedeutende Wassermengen hervorgehen.

3 NIEDERSCHLAG UND VERDUNSTUNG

3.1 NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE

3.1.1 EINLEITUNG

Die allgemeinen Aussagen aus Kapitel 2.1.1 „Typisierung der Niederschläge der Steiermark“ aus dem Wasserversorgungsplan Steiermark⁶ aus dem Jahr 2002 sind nach wie vor gültig und wurden unverändert übernommen. Aktualisiert wurde die Karte der Niederschlagsverteilung in der Steiermark auf die Periode 1987–2012 (Abbildung 12).

Zusätzlich wird die Veränderung der Niederschlagsverteilung, die sich für die Periode 1987–2012 im Vergleich zu der im ursprünglichen Wasserversorgungsplan verwendeten Periode 1971–1996 ergeben hat, dargestellt (Abbildung 13).

⁶ Wasserversorgungsplan Steiermark 2002

3.1.2 TYPISIERUNG DER NIEDERSCHLÄGE DER STEIERMARK

Der Steiermark steht dank ihrer günstigen geographischen Lage in der Regel ganzjährig eine ausreichende Menge Niederschlag zur Verfügung. Es können jedoch auf relativ engem Raum große Unterschiede auftreten. Die Niederschlagsverteilung der Periode 1987–2012 ist aus *Abbildung 12* ersichtlich.

Bedingt durch den gebirgigen Charakter des Landes und die vorherrschenden Wetterlagen differiert die mittlere Jahressumme des Niederschlages mit über 2400 mm im Nordwesten und weniger als 700 mm im Südosten des Landes um mehr als 300 % (*Abbildung 12*).

Unterschiedlich ist auch die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge. Fallen z. B. im Norden 50 % bis über 60 % der Jahresniederschläge in den Wintermonaten, bleibt der Süden meist arm an Winterniederschlägen. Sind es im Norden überwiegend Stauniederschläge, die ganzjährig zu reichlich Niederschlag führen, ist der Süden während der Sommermonate besonders häufig von Gewittern betroffen und bringen Adriatiefs oft auch ergiebige Herbstregen.

Die Änderungen, die sich in der Niederschlagsverteilung in der Periode 1987–2012 im Vergleich zur Periode 1971–1996 ergeben haben, sind in *Abbildung 13* dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass es in den ohnehin schon sehr niederschlagsarmen südlichen Teilen der Ost-

und Weststeiermark zu weiteren Abnahmen in den Jahresniederschlagssummen kam. In den nordöstlichen Teilen des Landes (Mariazellerland) zeigte sich dagegen eine recht deutliche Zunahme (> 10 %) in den Niederschlägen.

Desgleichen bewegt sich das Jahresmittel der Lufttemperatur zwischen 8 °C bis über 9 °C im „Steirischen Becken“ und bis zu unter 0 °C in Gebirgsregionen, wobei lokale Unterschiede häufig an die herbstlichwinterliche Temperaturumkehr in Beckenlagen gebunden sind.

Aus dem Zusammenspiel zwischen der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Niederschläge und der temperaturabhängigen Speicherung in Form von Schnee in den Gebirgsregionen ergibt sich in Verbindung mit dem daraus resultierenden Abflussverhalten ein Bild unterschiedlicher „Hydrologischer Landschaften“.

Niederschlagsreichstes Gebiet der Steiermark sind mit Jahressummen von 1500 mm bis über 2400 mm die sich vom Ausseer-Land bis in das Mariazeller-Land erstreckenden „Nord-Alpen“. Als Staugebiet für alle nordwestlichen Strömungen kommt es hier während aller Jahreszeiten, besonders aber auch während des Winters zu ergiebigen Niederschlägen. Typisch ist wechselhaftes Wetter mit markanten, ungebremst einfallenden Wetterstürzen, doch sind auch mehrere Tage anhaltende Schlechtwetterperioden häufig. Deshalb liegen auch die Temperaturen 1–2 °C unter dem für die Ostalpen typischen Mittel.

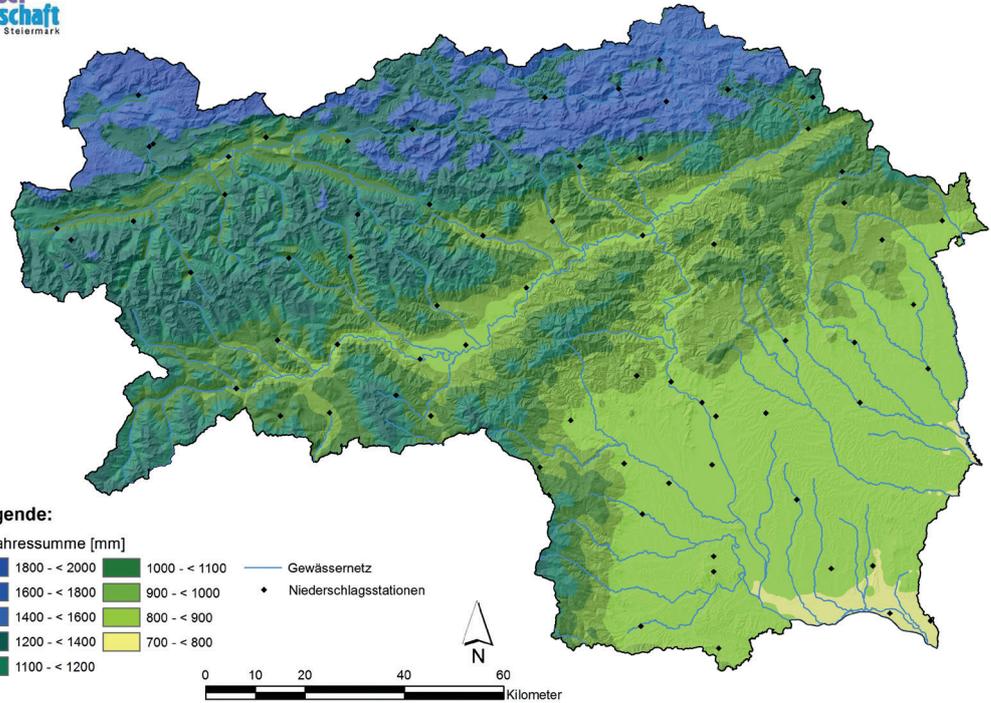


Abbildung 12:
Verteilung der
mittleren Jahres-
niederschlags-
summe der Steir-
mark (1987–2012).

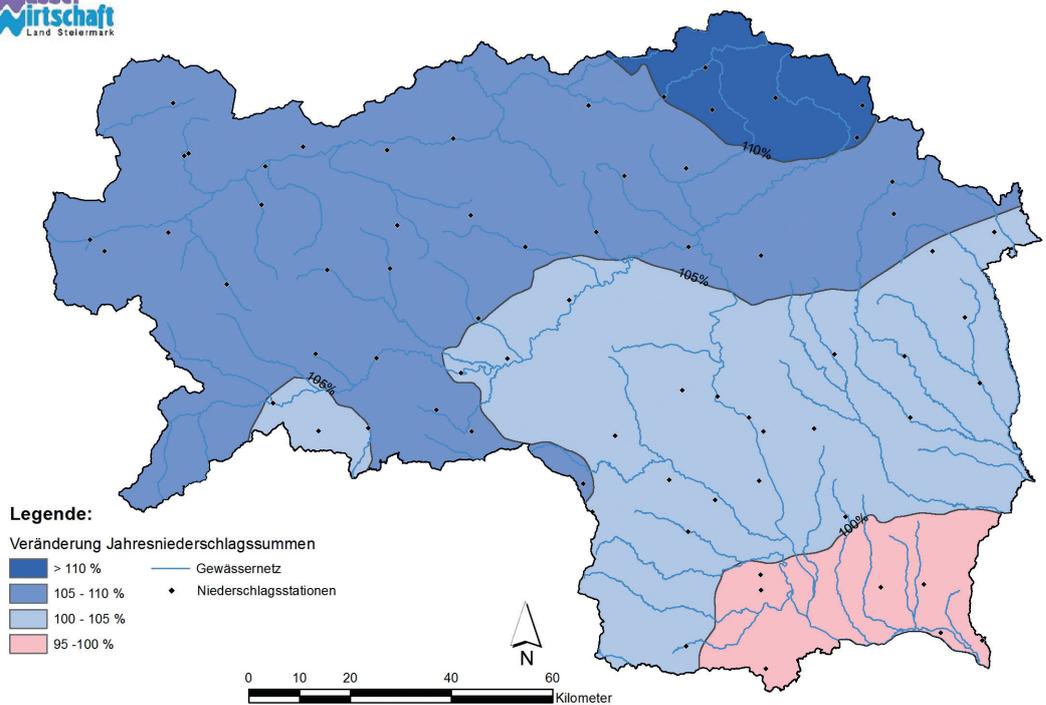


Abbildung 13:
Änderungen in der
Niederschlagsver-
teilung in der
Periode 1987–2012
im Vergleich zur
Periode 1971–1996.

Südliche Strömungen bewirken hingegen föhniges Schönwetter. Hochwässer sind dank günstiger geologischer und morphologischer Voraussetzungen eher selten und zum Donauraum hin orientiert.

Das Ennstal liegt bis zum Gesäuse deutlich im Regenschatten der Nordalpen. Abgesehen von einer merklich niedrigeren Jahressumme des Niederschlages konzentrieren sich die Einträge auf die Sommermonate (57 % Schlechtwettertage) und der Herbst bleibt relativ stabil. Infolge der Beckenlage sinken die Wintertemperaturen stark ab und Jahresschwankungen bis 20 °C werden erreicht.

Die quer zur vorherrschenden Strömungsrichtung stehenden Niederen Tauern sind wieder typisch Staugebiet und Wetterscheide für alle nordwestlichen Strömungen. Während bei Nordstau die Niederschlagstätigkeit häufig noch über die Kammregion hinaus reicht, werden Südströmungen meist von vorgelagerten Gebirgen abgefangen und kaum wirksam.

Mit rund 600 mm Niederschlag und 76 % der Schlechtwettertage erreichen die Sommermonate ein ausgeprägtes Maximum.

Ausgeprägter als das Ennstal liegt das Längstal der Mur-Mürzfurche im Lee der abschirmenden Gebirgsketten. Mit bis unter 800 mm gehenden Jahressummen des Niederschlages zeigt sich hier ein autochthoner, inneralpiner Klimatyp mit geringer Niederschlagsbereitschaft im Winter und ausgeprägtem Sommermaximum.

Niederschläge werden vorwiegend durch Tiefdrucklagen, in geringem Maße durch nordwestliche oder südliche Strömungen ausgelöst. Typisch sind kurzdauernde Schauer. Gegen das nordwestliche Mürztal lässt der Abschirmeffekt nach. Typisch für Beckenlagen sind tiefe Wintertemperaturen (z. B. Zeltweg).

Das Steirische Randgebirge wirkt hauptsächlich als Staugebiet für südliche Strömungen, die

jedoch besonders während der Wintermonate kaum wirksam werden. Von Bedeutung sind jedoch zyklonale Strömungen, vor allem die berühmte „Zugstraße Vb“, eines von der Adria über Ungarn gegen Polen abziehenden Mittelmeertiefs, welches vor allem im Herbst zu mehrtägig anhaltenden Niederschlägen führen kann.

Während der Sommermonate können vor allem Nord- und Nordwestwetterlagen teils heftige Gewitter auslösen, welche letztlich zu einem ausgeprägten Sommermaximum der Niederschläge führen.

Das Ost- und Weststeirische Hügelland (Steirische Bucht) ist gegen Norden und Westen durch Gebirge abgeschirmt und nur gegen Osten geöffnet. Hier kommen somit fast nur zyklonale und thermisch turbulente Vorgänge, insbesondere bei Frontdurchgängen, zur Geltung. Diese führen im Frühsommer und Sommer zu teils heftigen Wärmegewittern, welche diesen Landesteil als gewitterreichste Region Österreichs ausweisen. Anhaltende Südwestströmungen können aber auch zu langanhaltenden Trockenperioden (zuletzt 1992, 1993) führen, die meist von heftigen Gewittern beendet werden. Während Gewitter und Starkregen häufig lokale Überschwemmungen und Murenabgänge zur Folge haben, bewirken die langanhaltenden, meist Summen von 100 mm deutlich überschreitenden Herbstregen, wie sie durch Mittelmeertiefs (Zugstraße Vb) ausgelöst werden, häufig großflächig wirksame Hochwasserereignisse.

Die Winter sind hingegen ausgesprochen niederschlagsarm, oft langanhaltend trüb und kalt (Temperaturumkehr), das Frühjahr ist eher wechselhaft und windig.

Erwähnenswert sind die gegen Jahresende häufig auftretenden durch Südströmungen bewirkten „Weihnachtstauwetter“, die im Zusammenwirken von Niederschlag und Schneeschmelze zu Hochwasser führen können.

3.2 LUFTTEMPERATUR

3.2.1 TEMPERATURWERTE ABSOLUT

Für die Erstellung von Temperaturkarten der Perioden 1971–1995 bzw. 1987–2012 standen die in *Tabelle 2* dargestellten Messstationen des

Hydrographischen Dienstes bzw. der ZAMG zur Verfügung. Basierend auf den 38 Stationswerten wurde für beide Perioden eine Regressionsanalyse durchgeführt.

MESSTELLENNAME	HOEHE [müA]	Wert 1971-1995 [°]	Wert 1987-2012 [°]	ΔT [°]	ΔT [%]
Wildalpen_NLV	610	6.006	6.181	0.175	102,91
Irdning_ZAMG	702	7.024	7.316	0.292	104,16
St.Johann bei Herberstein	450	8.628	9.127	0.499	105,78
Mautern	710	7.019	7.480	0.461	106,57
Neumarkt in Steiermark	872	6.077	6.481	0.404	106,65
Graz-Andritz	360	9.010	9.623	0.613	106,8
Laßnitzhöhe	524	8.739	9.350	0.611	106,99
Bruck an der Mur	482	8.002	8.625	0.623	107,79
Weiz	465	8.953	9.653	0.700	107,82
Admont_NLV	700	6.596	7.113	0.517	107,84
Waltra	380	9.534	10.284	0.750	107,87
Murau	814	6.436	6.956	0.520	108,08
Graz (Universität)	366	9.338	10.109	0.771	108,26
St.Peter am Ottersbach	270	8.813	9.563	0.750	108,51
Stainz_NLV	340	8.517	9.251	0.734	108,62
Preiner Gscheid	890	5.282	5.740	0.458	108,67
Bad Aussee_ZAMG	665	7.204	7.829	0.625	108,68
Zelting	200	9.231	10.048	0.817	108,85
Gößl	710	6.777	7.391	0.614	109,06
Maria Lankowitz	530	8.442	9.213	0.771	109,13
Mürzzuschlag_ZAMG	700	6.203	6.792	0.589	109,5
Kraubath an der Mur	605	7.639	8.368	0.729	109,54
Rohr an der Raab	306	8.522	9.336	0.814	109,55
Pleschkogel	910	6.879	7.538	0.659	109,58
Liezen	670	7.393	8.103	0.710	109,6
Sajach	340	8.426	9.243	0.817	109,7
Bad Mitterndorf	808	5.853	6.423	0.570	109,74
Aigen im Ennstal	640	6.593	7.236	0.643	109,75
Aflenz Kurort	784	6.196	6.814	0.618	109,97
Zeltweg_ZAMG	669	6.572	7.299	0.727	111,06
Unterpurkla	220	9.131	10.155	1.024	111,21
Sinabelkirchen	330	8.477	9.512	1.035	112,21
Obdach	875	6.131	6.909	0.778	112,69
Graz (Flugplatz)	340	8.554	9.795	1.241	114,51
Planai	1820	2.449	2.838	0.389	115,88
Pusterwald-Hinterwinkel	1260	4.056	4.755	0.699	117,23
Grubegg	790	5.439	6.388	0.949	117,45
Hohentauern	1265	4.179	5.236	1.057	125,29

Tabelle 2:
Temperaturstationen
(Quelle: Abt.14/Hydro-
graphie und ZAMG)

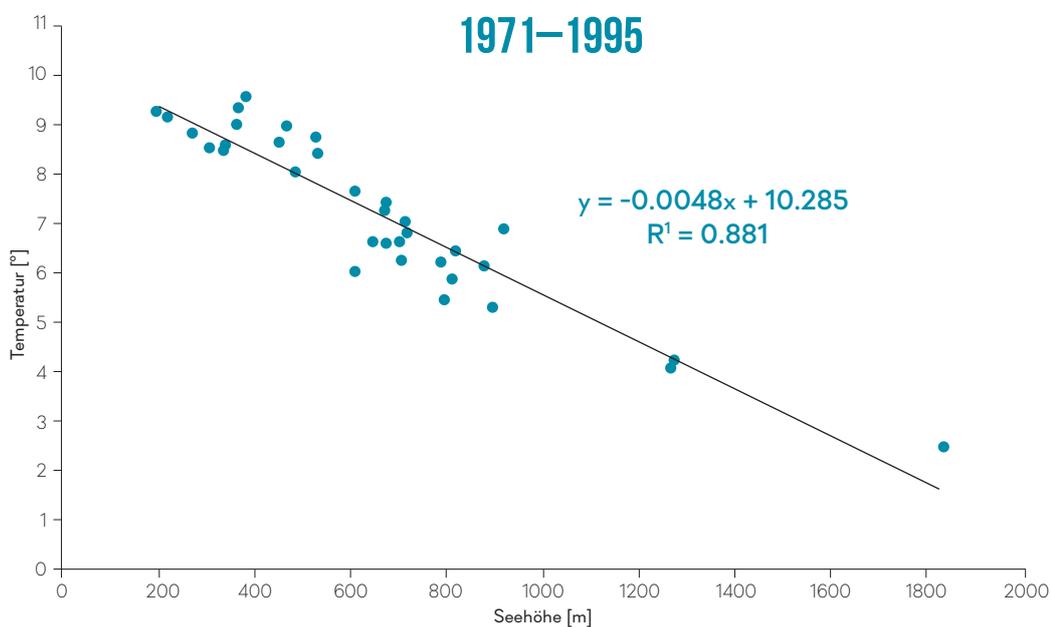


Abbildung 14:
Regressionsanalysen der Temperaturstationen in Abhängigkeit von der Seehöhe – Zeitraum 1971–1995. (Quelle: Abt.14/Hydrographie)

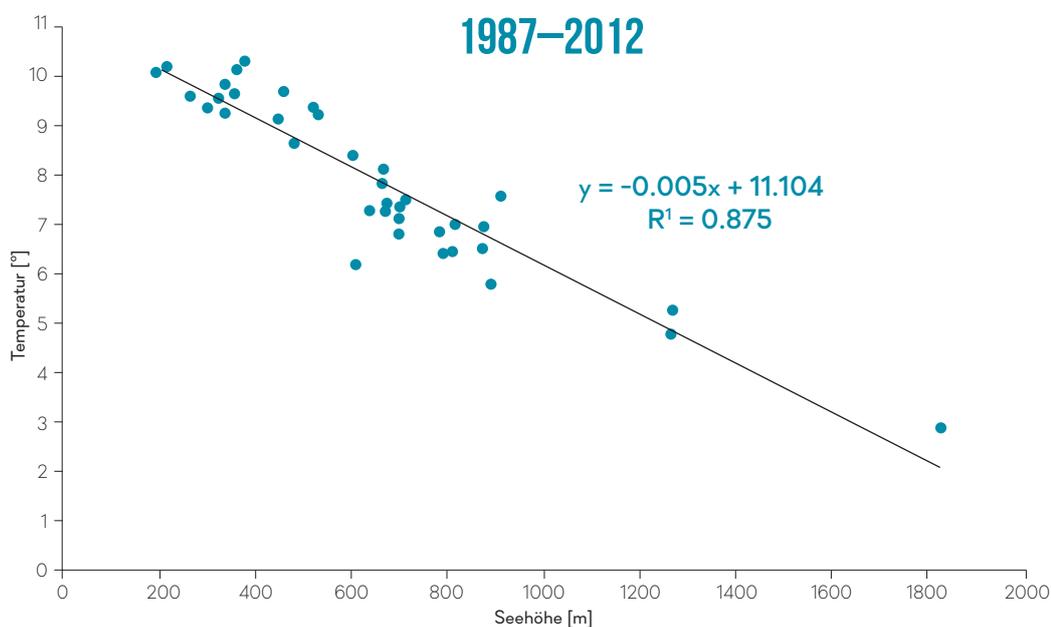


Abbildung 15:
Regressionsanalysen der Temperaturstationen in Abhängigkeit von der Seehöhe – Zeitraum 1987–2012. (Quelle: Abt.14/Hydrographie)

Für beide Perioden zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Temperatur von der Seehöhe (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

- 1971–1995: Bestimmtheitsmaß: 0,881, Regressionskoeffizient: 0,938, Temperaturänderung: 4,8 °/1000 m
- 1987–2012: Bestimmtheitsmaß: 0,875, Regressionskoeffizient: 0,935, Temperaturänderung: 5 °/1000 m

Auf Basis dieser Regressionsanalyse wurde die Karte der durchschnittlichen Jahrestemperatur für die Periode 1987–2012 erstellt (Abbildung 16). Aus der Karte ist zu erkennen, dass die durchschnittlich wärmsten Regionen (durchschnittliche Jahrestemperaturen zwischen 8 °C und 10 °C) in der südlichen Ost- bzw. Weststeiermark liegen, die kältesten Regionen in den Zentralalpen und nördlichen Kalkalpen (unter 0 °C).

Durchschnittliche Jahrestemperatur
Periode 1987 - 2012

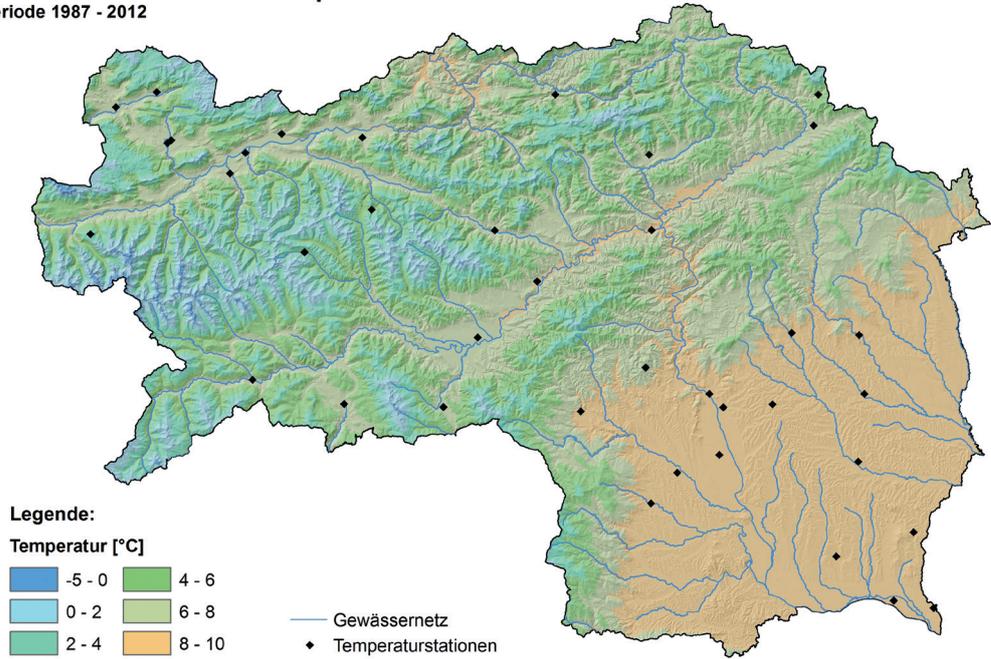


Abbildung 16:
Karte der durchschnittlichen Jahrestemperatur in der Steiermark für die Periode 1987–2012. (Quelle: Abt.14/Hydrographie)

3.2.2 TEMPERATURWERTE RELATIV

Verglichen wurden die durchschnittlichen Jahrestemperaturen der Perioden 1971–1995

und 1987–2012 auf Basis der Stationswerte aus Tabelle 2 (siehe Abbildung 17).

Änderung der durchschnittlichen Jahrestemperatur
Vergleich der Perioden 1971-1995 zu 1987-2012

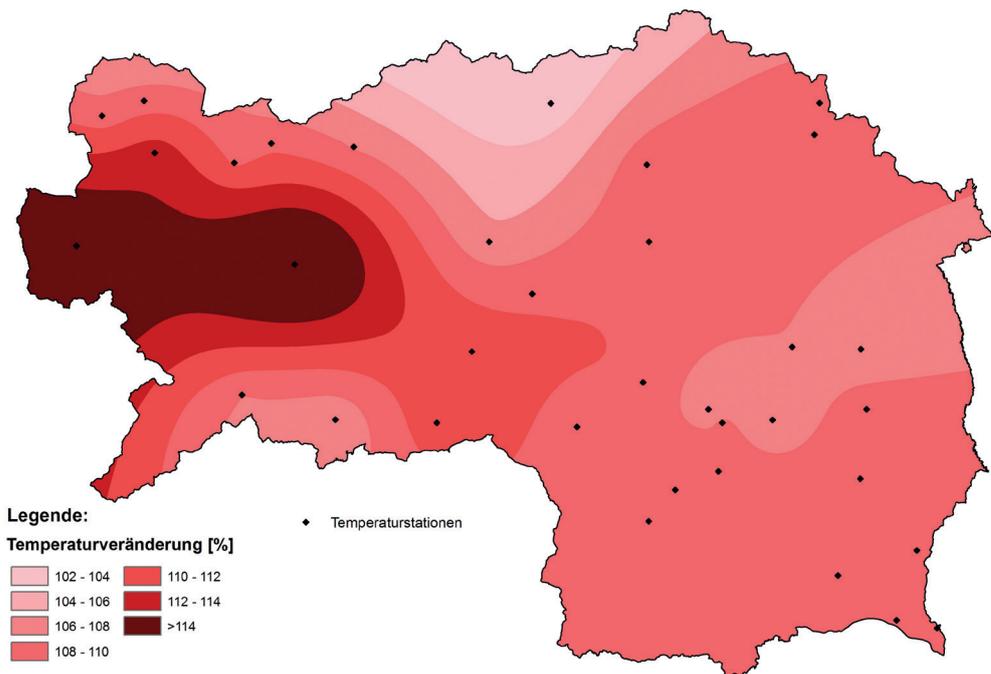


Abbildung 17:
Prozentuelle Änderung der durchschnittlichen Lufttemperatur in der Periode 1987–2012 im Vergleich zur Periode 1971–1995. (Quelle: Abt.14/Hydrographie)

Dabei zeigte sich landesweit eine Zunahme der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, beson-

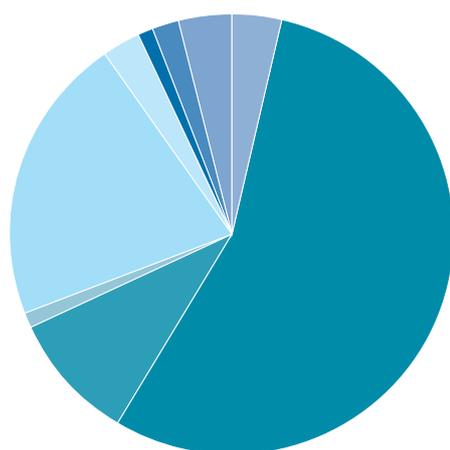
ders deutlich im westlichen Teil der Steiermark, insbesondere in den Niederen Tauern (> 15 %).

3.3 LANDNUTZUNG

Auf Basis der Angaben zur Flächennutzung in der Digitalen Katastralmappe (DKM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit Stand Oktober 2014 stellt sich die aktuelle Landnutzung (siehe *Abbildung 18*) in der Steiermark wie folgt dar:

Rund 57 % der Landesfläche sind waldbedeckt. Zählt man die alpinen Bereiche sowie die Gewässer hinzu, so können rund 2/3 der Steier-

mark als Nicht-Dauersiedlungsraum klassifiziert werden. Im Dauersiedlungsraum (Bauflächen + landwirtschaftliche Nutzung + Gärten + Verkehrsflächen + Betriebsflächen + Abbauf Flächen + Freizeitflächen) dominieren die landwirtschaftlichen Nutzflächen mit einem Anteil an der Gesamtfläche von rund 22 %. Summiert man die Gebäude und Betriebsflächen mit den Verkehrsanlagen, so kann grob von 3 % versiegelten Flächen ausgegangen werden.



- 57% Wald
- 10% Alpine Bereiche (Alpen, Krummholz, Fels, Gletscher)
- 1% Gewässer
- 22% Landwirtschaftlich genutzt
- 3% Dauersiedlungsraum unbefestigt (Baufläche begrünt, Garten, Erholung)
- 1% Dauersiedlungsraum befestigt (Gebäude, Baufläche befestigt, Betriebsfläche)
- 2% Verkehr (Straße, Bahn, Parkplatz)
- 4% Sonstige

Abbildung 18: Flächenanteil von Nutzungskategorien an der Gesamtfläche der Steiermark (Quelle: Digitale Katastermappe Stand 10.2014, GIS Land Steiermark, BEV)

Die räumliche Verteilung der Nutzungen (siehe *Abbildung 20*) spiegelt die topographischen Verhältnisse der Steiermark wider. Inneralpin konzentriert sich der Dauersiedlungsraum auf die Tal- und Beckenlagen. Hier befinden sich die Siedlungs- und Verkehrsflächen, der Großteil wird landwirtschaftlich genutzt. Größere zusammenhängende Waldbereiche sind praktisch nicht mehr existent. Die steileren Hanglagen sind dagegen durchwegs bis zur Waldgrenze Wald bestanden, darüber finden sich die Almen und alpinen Matten sowie in den höchsten Lagen Fels und Geröll.

Im Bereich der süd- und oststeirischen Becken ergibt sich ein weitaus heterogeneres Bild, da

auch die Hügellandschaften zwischen den großen, massiv genutzten Talräumen meist intensiv genutzt werden. Der Dauersiedlungsraum wird hier nur durch einzelne größere Waldgebiete unterbrochen, vorherrschend ist ein kleinräumiger Wechsel zwischen landwirtschaftlichen Nutzflächen und kleineren Waldbeständen. Im Übergangsbereich zu den Abhängen der Randgebirge nimmt die Waldbedeckung sukzessive zu und wird in höheren Lagen dominant.

Die Darstellung einer zeitlichen Entwicklung der Flächennutzung ist nur bedingt möglich. Dies hat mehrere Ursachen, so beispielsweise die sehr grobe räumliche Auflösung von Satellitendaten oder die mehrfache Definitionsänderung

bei den Nutzungskategorien der DKM im Laufe der letzten Jahrzehnte. Zuletzt wurden diese im Jahr 2012 mit der Benützungsarten-Nutzungen-Verordnung (BANU-V) 2010 (BGBl. II Nr. 116/220) neu festgelegt.

Auf Grundlage der aktuell vorliegenden Daten sind eigene Auswertungen über einen aussagekräftigen Zeitraum derzeit nicht sinnvoll durchführbar. Das Umweltbundesamt (UBA) stellt jedoch auf seinen Internetseiten (www.umweltbundesamt.at) Auswertungen zur Flächeninanspruchnahme ab dem Jahr 2006 zur Verfügung. Weiters wird im zehnten Umweltkontrollbericht⁷ zu diesem Thema unter anderem die Entwicklung der Bau- und Verkehrsflächen im Zeitraum 2001–2012 dar-

gestellt (Abbildung 19). Beide Quellen zeigen österreichweit einen eindeutigen Trend hin zu einer Zunahme der Bau- und Verkehrsflächen und damit zu einer fortschreitenden Bodenversiegelung.

Diese Entwicklung ist generell auch in der Steiermark zu beobachten, wobei es regional aber erhebliche Unterschiede gibt. So kam es laut Umweltkontrollbericht vor allem in einigen Gemeinden südlich und südöstlich von Graz seit der Jahrtausendwende zu einer signifikanten Zunahme des Anteils der Bau- und Verkehrsflächen am Dauersiedlungsraum von bis zu über 50 %. Demgegenüber stagnieren diese Werte in manchen inneralpinen Tal- und Beckenlandschaften.

Entwicklung der Bau- und Verkehrsflächen 2001 - 2012 (nach Gemeinden)

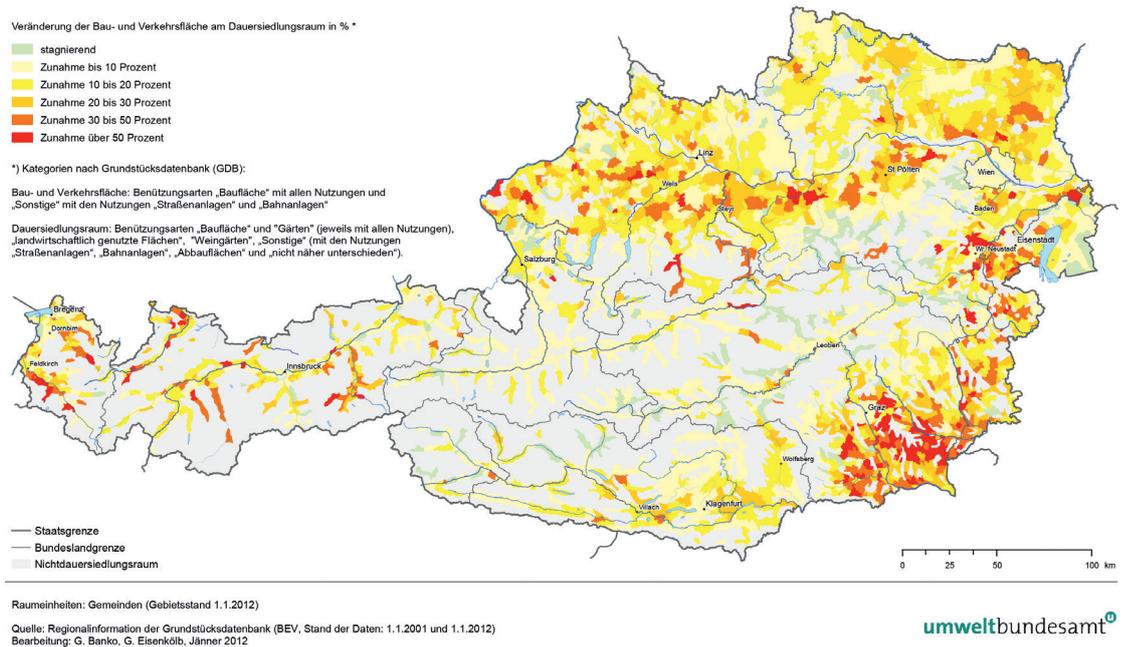


Abbildung 19:
Entwicklung der Bau- und Verkehrsflächen 2001–2012 nach Gemeinden (Quelle: Umweltbundesamt 2013)

⁷ Zehnter Umweltkontrollbericht, Umweltsituation in Österreich, Umweltbundesamt, Wien, 2013

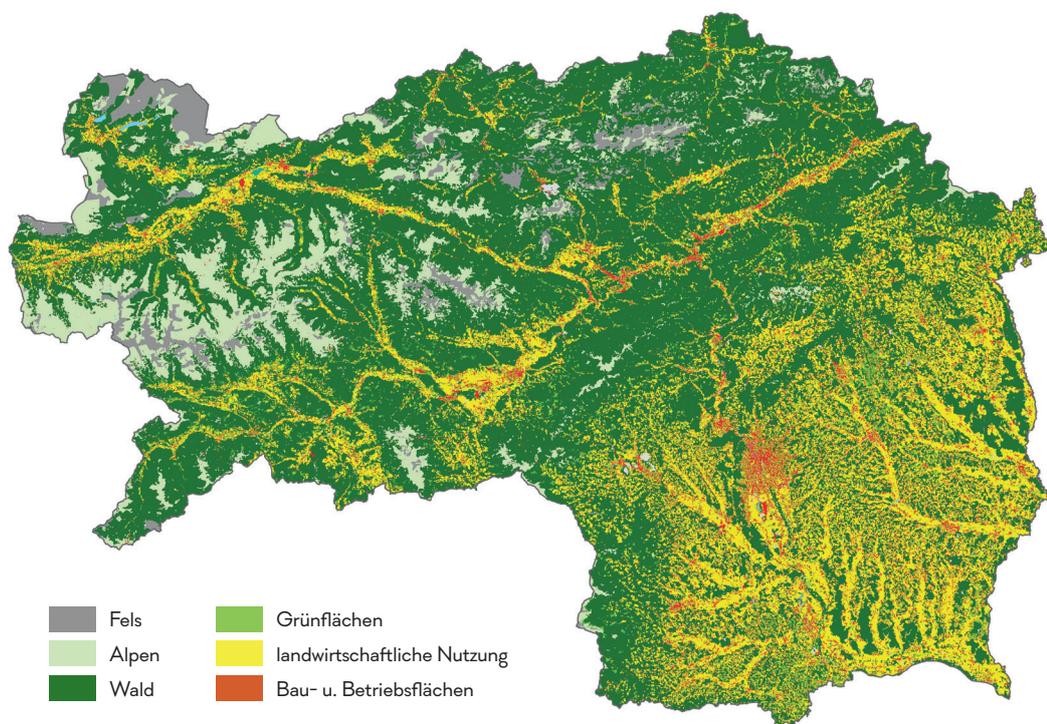


Abbildung 20:
Flächennutzung der
Steiermark (Quelle:
Digitale Katastermappe
Stand 10.2014, GIS Land
Steiermark, BEV)

3.4 VERDUNSTUNG

3.4.1 METHODIK⁸

Evapotranspiration ist ein wichtiger Bestandteil des Wasserhaushalts und beschreibt die Verdunstung der mit Vegetation bewachsenen Erdoberfläche. Sie setzt sich aus Verdunstung über offenem Boden (Evaporation) und der durch pflanzlichen Stoffwechsel bedingten Verdunstung (Transpiration) zusammen, wobei in unseren Breiten der Anteil der Transpiration oft überwiegt.

Die gesamte Verdunstungsmenge hängt von meteorologischen Bedingungen, der Art der Pflanzenbedeckung und der Verfügbarkeit von Wasser im Boden ab. Die Bestimmung der Wasserverfügbarkeit, aber auch eine hinreichend genaue Spezifikation des Bewuchses machen die Berechnung dieser Größe zu einer

komplexen hydrologischen Modellierung, die mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Insbesondere ist auch eine direkte Messung der aktuellen Evapotranspiration sehr aufwändig (Lysimetermessungen) und wird in der Steiermark nicht im ausreichenden Maße durchgeführt, um eine flächige Information daraus abzuleiten.

Es ist aber durchaus möglich, die bei unlimitiertem Wasserangebot mögliche („potentielle“) Evapotranspiration für einen Referenzbewuchs (Referenz-Evapotranspiration, ET_0) aus rein meteorologischen Daten abzuleiten. Die Dichte des meteorologischen Messnetzes in Österreich ermöglicht dabei nicht nur punktuelle Berechnungen, sondern auch eine Interpolation in die Fläche (siehe Kap. 3.4.3).

⁸ Von der Abteilung 14 bei der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Auftrag gegebene und noch nicht veröffentlichte Studie

Zur Berechnung von ET_0 wird die von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) empfohlene Variante der Penman-Monteith Gleichung⁹ verwendet. Sie gibt die potentielle Evapotranspiration für eine hypothetische Oberfläche mit vollständiger Grasbedeckung und einer Wuchshöhe von 12 cm an.

Aus ET_0 kann die reale aktuelle Verdunstung (ET_a) abgeschätzt werden. Dazu wird ET_0 mit sogenannten Pflanzenfaktoren („crop coefficients“) den Bedingungen des jeweiligen

Bewuchses angepasst und in Folge durch einen Wasserstresskoeffizient, der das Niveau der Wasserknappheit angibt, an die aktuellen Bedingungen zu einem bestimmten Zeitpunkt angepasst¹⁰ und es findet eine Beschränkung auf die klimatologische Darstellung von ET_0 statt.

Die FAO-Formel (siehe *Formel 1*) berechnet ET_0 auf Tagesbasis und benötigt Messwerte oder aus Messwerten abgeleitete Werte für Nettostrahlung, Lufttemperatur, Wasserdampfdruck und Windgeschwindigkeit:

Formel 1:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273.15)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)}$$

ET_0	Referenz-Evapotranspiration	[mm pro Tag]
R_n	Nettostrahlung an der Oberfläche	[MJ/m ² pro Tag]
G	Bodenwärmeflussdichte	[MJ/m ² pro Tag]
T	Tagesmitteltemperatur	[°C]
u_2	Windgeschwindigkeit 2 m über Grund	[m/s]
e_s	Sättigungsdampfdruck	[kPa]
e_a	Wasserdampfdruck	[kPa]
Δ	Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve	[kPa/K]
γ	Psychrometerkonstante	[kPa/K]

Direkt aus Messungen steht davon meist nur T zur Verfügung. Die Bodenwärmeflussdichte G ist im Vergleich zur Nettostrahlung R_n klein und wird vernachlässigt. u_2 wird aus der standardmäßig in 10 m Höhe gemessenen Windgeschwindigkeit u_{10} reduziert, wobei eine Bodenrauigkeit entsprechend der angenommenen Referenzoberfläche verwendet wird. e_s und Δ ergeben sich aus einer vereinfachten Form der Clausius-Clapeyron Gleichung und e_a kann aus der direkt gemessenen relativen Feuchte RH und e_s über die Formel $e_a = e_s \cdot RH/100$ berechnet werden. γ ist in der hier verwendeten Form nur vom ebenfalls standardmäßig gemessenen Druck abhängig.

Am problematischsten ist die Ableitung der Nettostrahlung R_n aus tatsächlich gemessenen

Werten. Sie kann unter Einbeziehung der Albedo der angenommenen Referenzoberfläche (0.23), Temperatur und Sonnenscheindauer auf die Messung oder Schätzung der Globalstrahlung R_s reduziert werden. R_s wird entweder direkt gemessen oder ebenfalls anhand von Sonnenscheindauer abgeschätzt (siehe *Formel 2*). In weiteren Vereinfachungsstufen ist auch eine Abschätzung von R_s rein aus Minimum- und Maximumtemperatur möglich. Diese grobe Vereinfachung wurde aber aus Qualitätsgründen und wegen der seit einigen Jahren guten Datenlage in Österreich (siehe Kap. 3.4.2) nicht eingesetzt. Details und konkrete Werte zu den verwendeten Gleichungen und Konstanten sind in der umfangreichen Beschreibung von FAO (1998) zu finden.

⁹ Allen, R.G. et al., Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998.

¹⁰ ebenda

Die Abschätzung der Globalstrahlung R_s aus gemessener Sonnenscheindauer geschieht

anhand der sogenannten Angström-Formel¹¹:

$$R_s = R_a \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right)$$

R_s	Globalstrahlung	[MJ/m ² pro Tag]
n	gemessene Sonnenscheindauer	[h]
N	maximal mögliche Sonnenscheindauer	[h]
n/N	relative Sonnenscheindauer	[1]
R_a	extraterrestrische kurzwellige Strahlung	[MJ/m ² pro Tag]
a_s, b_s	Regressions-Konstanten	

Formel 2:

Dabei lassen sich R_a , N , a_s und b_s nach dem Ansatz von FAO (1998) bestimmen. Etwas problematisch ist die maximal mögliche Sonnenscheindauer N , welche üblicherweise aus einer einfachen astronomischen Formel abgeleitet wird und die Effekte der Geländeüberhöhung vernachlässigt. Dadurch wird insbesondere an von Süden orographisch abgeschatteten Standorten die Globalstrahlung stark über und in Folge ET_0 unterschätzt¹². In gebirgigen Regionen wie der Steiermark können dadurch beträchtliche Fehler auftreten. Um derartige Fehler zu vermeiden, wurde ein empirischer Ansatz gewählt, der die standortbezogene effektiv mögliche Sonnenscheindauer aus den zur Verfügung stehenden Daten selbst abschätzt, indem für jeden Standort und jeden Monat die maximale gemessene Sonnenscheindauer der gesamten Messperiode als N angenommen wurde. Dadurch konnte eine verbesserte Abschätzung von ET_0 und insbesondere eine besser definierte Höhenabhängigkeit (siehe Kap. 3.4.3) erreicht werden.

3.4.2 DATENMATERIAL

Die in Kap. 3.4.4 dargestellten Ergebnisse beruhen auf der neuesten Generation des Messnetzes der ZAMG (TAWES-neu), welches ab 2008 Daten liefert. Nach dem Vollausbau im Jahr 2007 stehen seit 2008 allein in der Steiermark 35 Stationen für die vorliegende Studie zur Verfügung.

Demgegenüber wären für frühere Perioden wegen Datenlücken und fehlenden Sonnenscheindauerdaten nur 14 Stationen effektiv nutzbar gewesen. Eine wesentliche Qualitätsverbesserung ergab sich ab 2008 auch durch die Einführung des Datenprüfsystems Qualimet. Zusätzlich ist der Datensatz ab 2008 im Unterschied zu früheren Perioden homogen, da insbesondere um 1990 und 2007 sowohl gravierende messtechnische Änderungen, als auch Stationsversetzungen, Stationsauffassungen und die Installation neuer Standorte zu verzeichnen waren. Seit 2008 gab es keine derartigen Änderungen und es sind in Zukunft auch keine zu erwarten.

Somit steht seit 2008 qualitativ sehr hochwertiges Datenmaterial mit guter räumlicher Auflösung zur Verfügung. Das ist der Grund, warum diese Studie auf einer relativ kurzen Periode von 2008 bis 2014 beruht, statt auf eine in der Klimatologie eher übliche Periode von 30 Jahren (etwa 1981–2010). Natürlich können daher etwaige Unterschiede zu früheren Studien, welche auf einer anderen Datenbasis und anderen Perioden beruhen, nicht als Klimatrend interpretiert werden.

Konkret wurden 35 Stationen aus der Steiermark verwendet (Tabelle 3) und die daraus berechneten klimatologischen Mittel von ET_0 für die Periode 2008–2014 tabellarisch dargestellt.

¹¹ Angstrom, A.: Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation, Q.J.R. Meteorol. Soc., 50 (210), 121–126, doi:10.1002/qj.49705021008, 1924.

¹² siehe auch Schaumberger, A., Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland, Irnding, 2011.

Zusätzlich wurden die Jahressummen auch räumlich verteilt in einer Karte dargestellt, wozu zusätzlich 31 Stationen aus den umliegenden

Bundesländern (siehe *Tabelle 3*) verwendet wurden, um die räumliche Interpolation in den Grenzgebieten der Steiermark zu verbessern.

MESSTATIONEN ZAMG (TAWES-NEU)

STATIONEN IN DER STEIERMARK		STATIONEN IN ANGRENZENDEN BUNDESLÄNDERN		
NAME	Seehöhe [m]	NAME	Seehöhe [m]	Bundesland
Bad Radkersburg	201	Mariapfarr	1.151	Szbg
Wagna-Leibnitz	268	Obertauern	1.772	Szbg
Bad Gleichenberg	269	Bad Goisern	502	OÖ
Fürstenfeld	271	Bad Ischl	507	OÖ
Feldbach	232	Windischgarsten	600	OÖ
Hartberg	330	Feuerkogel	1.618	OÖ
Deutschlandsberg	354	Wr. Neustadt/Flugh.	275	NÖ
Graz/Strassgang	357	Pottschach	416	NÖ
Graz/Universität	367	Aspang	454	NÖ
Gleisdorf	377	Reichenau/Rax	488	NÖ
Köflach	463	Krumbach	545	NÖ
Bruck/Mur	482	Puchberg	583	NÖ
Kapfenberg	505	Lunz/See	612	NÖ
Laßnitzhöhe	530	Hohe Wand/Hochkogel	937	NÖ
Mooslandl	530	Semmering	988	NÖ
Hall/Admont	637	Mönichkirchen	991	NÖ
Aigen/Ennstal	641	Hirschenkogel	1.318	NÖ
Zeltweg	678	Rax/Seilbahn	1.547	NÖ
Irdning-Gumpenstein	697	St. Andrä/Lavanttal	403	Ktn
St. Radegund	726	St. Veit/Glan	463	Ktn
Bad Aussee	743	Feldkirchen	546	Ktn
Kalwang	744	Friesach	640	Ktn
Gröbming	766	Weitensfeld	704	Ktn
Aflenz	783	Arriach	890	Ktn
Bad Mitterndorf	814	Preitenegg	1.034	Ktn
Murau	816	Flattnitz	1.437	Ktn
Oberwölz	842	Kanzelhöhe	1.520	Ktn
Mariazell/St. Sebastian	864	Katschberg	1.635	Ktn
Neumarkt	869	Bad Tatzmannsdorf	347	Bgld
Seckau	872	Wörterberg	404	Bgld
Fischbach	1.034	Bernstein	631	Bgld
Ramsau	1.207			
Präbichl	1.215			
Stolzalpe	1.291			
Schöckl	1.443			

Tabelle 3:
Verwendete Stationen
in der Steiermark (links)
und umliegenden
Bundesländern.
(Quelle: ZAMG)

3.4.3 HÖHENABHÄNGIGKEIT UND RÄUMLICHE INTERPOLATION

Die Bestimmung der Höhenabhängigkeit von ET_0 ist die Grundlage für eine räumliche Interpolation. In *Abbildung 21* ist die logarithmische Regression der Jahressumme von ET_0 aller in *Tabelle 3* beschriebenen Stationen mit ihrer Seehöhe dargestellt. Es zeigt sich eine bemerkenswert starke Höhenabhängigkeit, ausgedrückt durch einen hohen Wert für das

Bestimmtheitsmaß R^2 (0,70). Tiefliegende Stationen unter 400 m Seehöhe weisen bei geringer Streuung Werte über 600 mm auf. Mit zunehmender Seehöhe sinkt die mittlere Jahressumme bei 1000 m Seehöhe auf etwa 550 mm und in 1700 m auf 530 mm. Es ist allerdings zu beachten, dass die Streuung über 1000 m stark zunimmt. Diese Streuung ist keine rein zufällige, sondern weist ein räumliches Muster mit höheren Werten im Süden und geringeren Werten im Norden auf (ohne Abbildung).

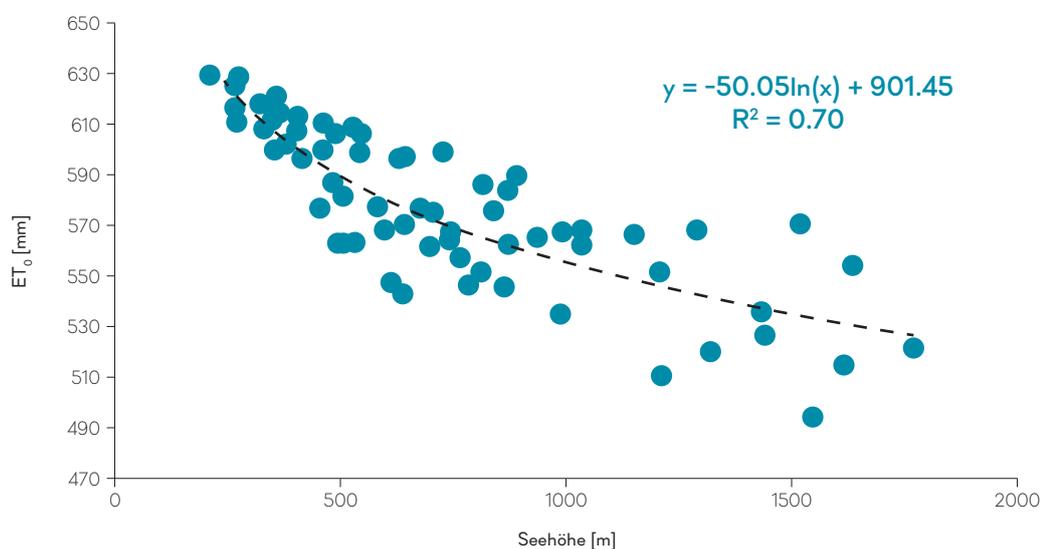


Abbildung 21: Höhenabhängigkeit von ET_0 in der Steiermark und angrenzenden Regionen. (Quelle: ZAMG)

Für die räumliche Interpolation und Kartenerstellung wurde sowohl die geschätzte Höhenabhängigkeit (strichlierte Linie in *Abbildung 21*) als auch die Streuung der einzelnen Stationswerte (Punkte in *Abbildung 21*) um diese geschätzte Höhenabhängigkeit als Informationsquelle verwendet. Letztere spiegelt regionale Effekte, welche nicht rein von der Seehöhe abhängen, wider. Basis für die Kartenerstellung ist ein digitales Höhenmodell der Steiermark mit einer horizontalen Auflösung von 50 Meter. Damit erhält man mittels der berechneten Höhenabhängigkeit von ET_0 (siehe *Formel 3*) die höhenabhängige geographische Verteilung.

Formel 3: $ET_0(h) = -50.05 \ln(h) + 901.45$

Um auch nicht höhenabhängige Effekte miteinzubeziehen, wurden an den Stationsstandorten Residuen berechnet, mit inversen Distanzen gewichtet auf den 50 Meter Raster interpoliert und zur rein höhenabhängigen Verteilung addiert. Dadurch konnte insbesondere der oben angesprochene Nord-Süd-Gradient von ET_0 berücksichtigt werden.

3.4.4 ERGEBNISSE

In *Tabelle 4* sind als Basisergebnis die Monats- und Jahressummen der Referenz-Evapotranspiration ET_0 an den 35 steirischen Stationsstandorten angegeben. Die Jahressummen spannen einen Bereich von 511 mm (Präbichl, 1215 m Seehöhe) bis 630 mm (Bad Radkersburg, 210 m Seehöhe) auf, wobei, wie schon in Kap. 3.4.2 beschrieben, höhere Summen in tieferen Lagen

auftreten. Weiters ist in den Monatssummen ein ausgeprägter Jahresgang mit Maxima bis über 100 mm im Juli und Minima meist unter 10 mm im Dezember und Jänner zu sehen.

STATION	Höhe	Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Bad Radkersburg	201	630	9.5	17.9	41.5	64.9	90.0	104.8	110.9	90.9	52.9	27.5	11.8	7.2
Wagna-Leibnitz	268	616	8.6	16.8	40.6	64.3	87.5	102.7	109.3	90.4	52.0	26.9	11.0	6.2
Bad Gleichenberg	269	625	8.6	16.6	39.8	65.6	89.3	104.9	111.9	91.8	52.6	26.8	10.9	6.4
Fürstenfeld	271	612	9.7	17.8	41.6	64.7	85.7	100.6	107.1	88.2	51.8	26.4	11.1	7.2
Feldbach	232	619	8.9	17.7	41.3	65.1	87.2	102.8	108.7	89.8	52.3	26.6	11.4	7.0
Hartberg	330	609	9.9	18.0	41.4	65.3	85.0	99.3	105.9	87.5	51.5	26.4	11.2	7.5
Deutschlandsberg	354	600	7.9	16.3	39.6	62.8	85.5	100.1	106.2	88.6	51.1	26.3	10.4	5.4
Graz/Strassgang	357	621	9.3	17.7	41.4	65.2	88.1	102.2	109.0	90.7	52.7	27.2	10.9	7.0
Graz/Universität	367	615	9.9	18.5	42.4	65.2	86.4	99.8	106.1	87.6	52.5	27.7	11.3	7.7
Gleisdorf	377	603	8.1	16.1	40.9	64.1	84.8	100.5	106.0	87.8	51.5	26.0	10.4	6.2
Köflach	463	600	7.1	16.3	40.3	63.6	86.3	100.0	106.2	88.3	51.5	25.8	9.6	5.0
Bruck/Mur	482	587	8.2	17.3	40.1	62.9	83.5	96.1	102.2	84.3	50.2	25.8	10.2	6.5
Kapfenberg	505	582	7.8	16.3	38.5	62.4	83.2	96.5	102.2	84.7	49.3	25.4	9.9	6.1
Laßnitzhöhe	530	609	9.4	18.2	41.1	63.7	84.9	99.9	106.2	87.6	51.5	27.0	11.1	8.1
Mooslandl	530	564	9.2	16.8	37.3	60.3	77.8	91.1	95.7	82.3	48.1	26.5	10.6	8.0
Hall/Admont	637	544	6.9	15.1	35.6	58.9	77.0	88.3	94.2	80.8	46.8	24.9	9.6	5.7
Aigen/Ennstal	641	571	10.6	18.1	39.7	59.9	79.4	91.5	95.7	81.3	48.1	26.1	10.5	9.7
Zeltweg	678	577	8.8	17.7	40.4	60.3	80.9	94.0	98.9	83.4	49.0	26.4	10.7	6.9
Irdning-Gumpenstein	697	562	8.1	16.6	37.9	60.1	78.6	91.6	95.2	82.8	48.8	25.9	9.9	6.6
St. Radegund	726	599	11.1	19.1	41.2	62.3	82.8	96.7	103.5	84.5	49.9	26.5	12.0	10.1
Bad Aussee	743	565	9.0	17.0	37.2	60.3	79.4	91.3	94.2	82.8	49.2	26.5	10.8	7.1
Kalwang	744	568	12.1	20.4	39.3	57.9	76.4	88.1	95.7	79.9	47.6	26.2	12.6	11.5
Gröbming	766	558	8.6	16.7	38.6	60.5	78.5	89.0	93.2	82.3	48.1	25.9	9.8	6.6
Aflenz	783	547	8.0	16.2	36.1	57.7	77.0	89.9	96.2	78.8	46.3	24.6	9.8	6.3
Bad Mitterndorf	814	552	8.4	15.8	36.1	58.4	77.3	89.5	95.0	81.2	47.7	25.6	10.0	7.1
Murau	816	587	9.6	18.8	40.1	61.1	82.7	94.9	100.3	84.4	50.3	27.2	11.0	6.6
Oberwölz	842	576	8.2	17.1	38.6	60.2	82.8	93.9	100.2	84.5	50.1	26.0	9.3	5.6
Mariazell/St. Sebast.	864	547	13.5	19.3	36.2	55.8	71.1	84.8	89.9	77.1	45.6	26.9	14.9	11.7
Neumarkt	869	584	11.4	21.1	41.6	59.7	80.8	92.4	98.3	81.7	49.7	27.6	11.4	8.6
Seckau	872	563	9.6	18.0	38.7	58.0	78.3	91.0	97.1	80.6	47.5	25.7	11.1	7.6
Fischbach	1.034	563	12.1	19.5	37.9	58.9	76.3	88.0	95.0	78.5	47.7	26.0	11.9	11.1
Ramsau	1.207	552	10.3	17.2	36.5	57.4	75.9	86.9	93.6	80.9	47.4	26.5	11.2	8.1
Präbichl	1.215	511	9.4	15.3	32.4	51.2	70.2	82.2	89.3	74.6	43.5	24.5	10.7	7.5
Stolzalpe	1.291	569	12.8	22.3	41.1	57.8	76.3	85.9	93.4	79.2	49.3	27.9	12.0	10.9
Schöckl	1.443	527	17.2	20.2	37.1	52.3	65.4	77.6	84.3	71.0	41.1	27.4	16.6	17.1

Tabelle 4:
Jahres- und Monatssummen der mittleren Referenz-Evapotranspiration ET_0 in der Steiermark [mm].
Periode: 2008–2014.
(Quelle: ZAMG)

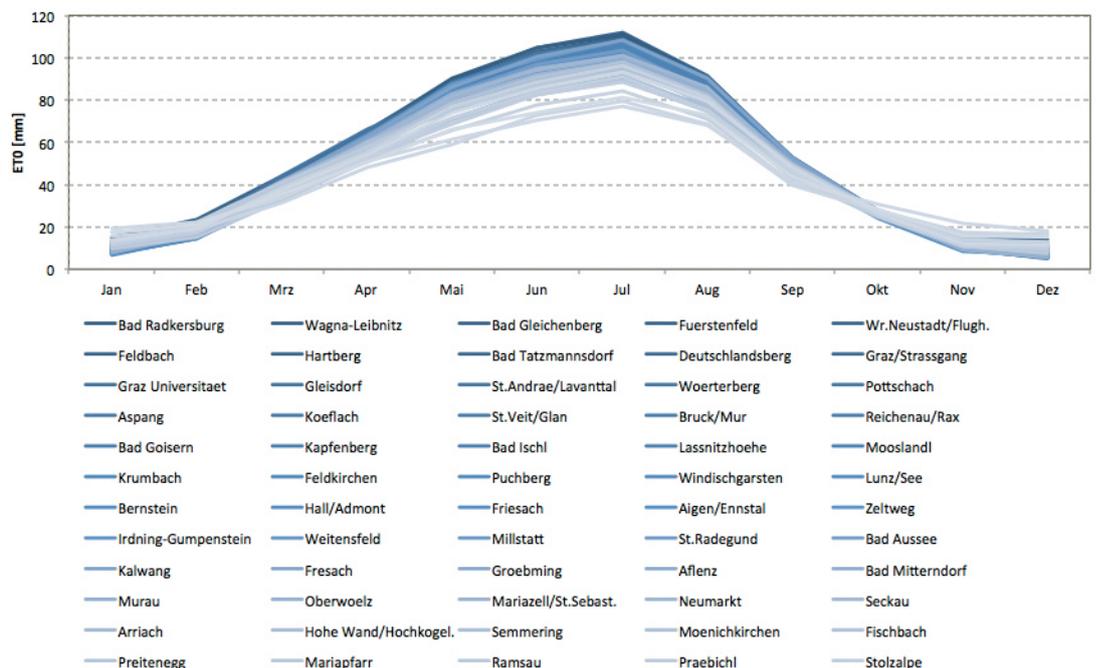


Abbildung 22:
Mittlerer Jahresgang von ET_0 an allen verwendeten Stationen [mm].
Dunkle Farben entsprechen tiefliegenden Standorten, helle Farben hochliegenden Standorten.
Periode: 2008–2014.
(Quelle: ZAMG)

Abbildung 22 zeigt diese Jahrgänge für alle verwendeten Stationen, wobei tiefliegende Stationen in dunklen Farben und höher liegende Stationen in helleren Farben dargestellt sind. Es ist deutlich zu sehen, dass nicht nur jeder Standort für sich einen starken Jahrgang aufweist, sondern auch die Höhengradienten einem Jahrgang unterworfen sind. Wäh-

rend von März bis September ET_0 mit der Höhe deutlich abnimmt, tritt in den Wintermonaten ein weit geringerer und entgegengesetzter Gradient mit tendenziell höheren Werten in höheren Lagen auf. Im Jahresmittel ergibt sich daraus der in *Abbildung 21* dargestellte negative Höhengradient.

Durchschnittliche Jahressumme der potentiellen Verdunstung (ET_0)

Periode 2008 bis 2014

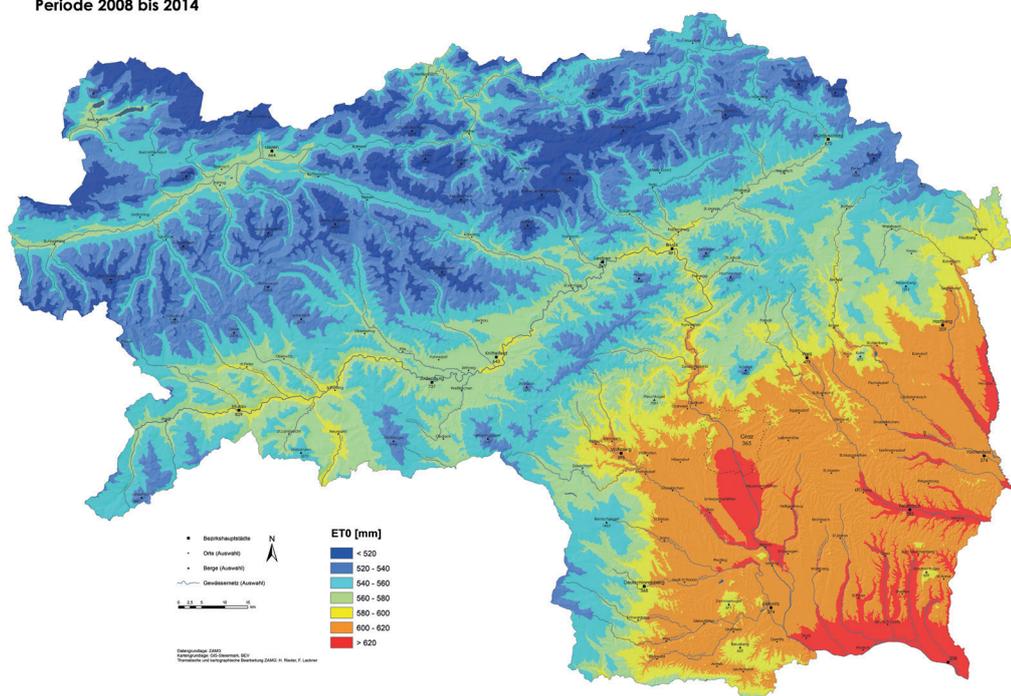


Abbildung 23:
Räumliche Verteilung der mittleren Jahressumme von ET_0 in der Steiermark [mm].
Periode: 2008–2014.
(Quelle: ZAMG)

In *Abbildung 23* ist das Hauptergebnis der Studie, die räumliche Verteilung der mittleren Jahressumme der Referenz Evapotranspiration ET_0 in der Steiermark für die Periode 2008–2014 dargestellt. Die Jahressummen bewegen sich im Bereich von

510 mm bis 630 mm und weisen neben der starken Höhenabhängigkeit auch einen positiven Nord-Süd-Gradienten auf, was beispielsweise durch geringere Werte im Oberen Ennstal als im Oberen Murtal zum Ausdruck kommt.

4 OBER- UND UNTERIRDISCHER ABFLUSS

4.1 TYPISIERUNG DER ABFLUSSREGIME

Im Gewässernetz der Steiermark wurden 5 Pegelmessstellen, welche durchgehende Abfluss-

messreihen von mindestens 40 Jahren aufweisen, für eine Abflusstypisierung herangezogen.