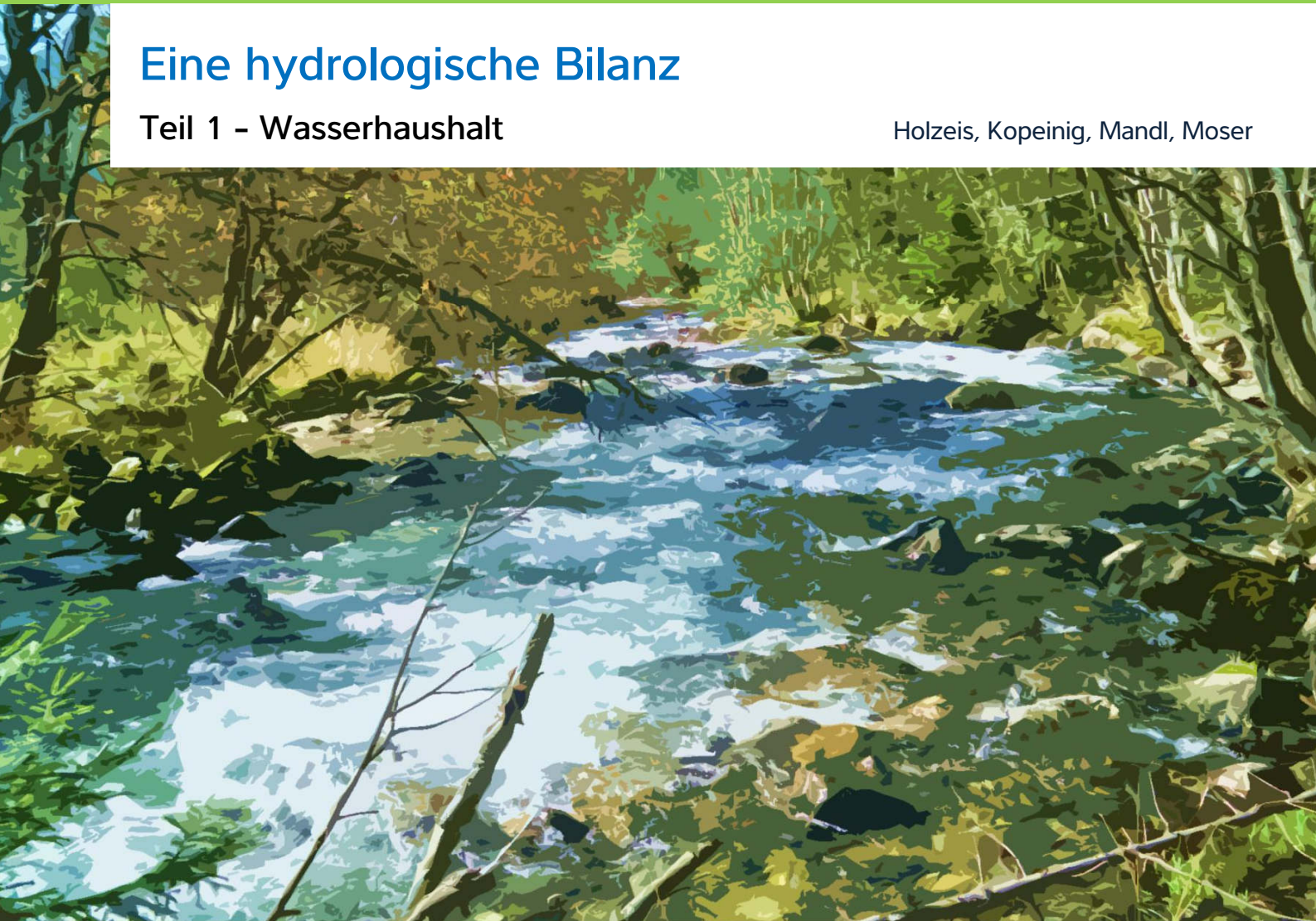


# Wasser in Kärnten

## Eine hydrologische Bilanz

Teil 1 - Wasserhaushalt

Holzeis, Kopeinig, Mandl, Moser





# Wasser in Kärnten

eine hydrologische Bilanz (1981 - 2010)

## **Teil 1: Wasserhaushalt**

Teil 2: Hydrologische Bemessungsgrundlagen

## Impressum

Eine Kooperation des Instituts für Geographie und Regionalforschung der Alpen-Adria Universität Klagenfurt und der Abteilung 8 – Umwelt, Wasser und Naturschutz / Hydrographie des Amtes der Kärntner Landesregierung

Eigentümer, Herausgeber  
und Copyright:

Amt der Kärntner Landesregierung  
Abt. 8 Kompetenzzentrum  
Umwelt, Wasser und Naturschutz  
Unterabteilung Wasserwirtschaft/Hydrographie  
Flatschacher Straße 70, 9020 Klagenfurt

Projektleitung:

Dipl. Ing. Johannes Moser, Ass.-Prof. Mag. Dr. Peter Mandl

Bearbeitung / Redaktion:

Mag. Florian Holzeis, Dipl.-Ing. Christian Kopeinig,  
Ass.-Prof. Mag. Dr. Peter Mandl, Dipl.-Ing. Elisabeth Gutschl  
Dipl.-Ing. Johannes Moser

Daten / Datenkorrektur /

Auswertungen:

Ing. Helmut Malle, Vittorio Ljuba, Hannes Wutte,  
Hubert Poschl, Markus Schretter, Mario Jauffer,  
Andreas Rachoinig, Christian Wernegger,  
Markus Kotschitsch, Helge Vithanage,  
Mag. Florian Holzeis, DI Christian Kopeinig,  
DI Johannes Moser

Modellrechnungen /  
Darstellungen:

DI Christian Kopeinig, Mag. Florian Holzeis

Klagenfurt im Oktober 2014

---

# VORWORT

---

**Wasser ist Lebensmittel und Lebensgrundlage. Wir nutzen es täglich. Wasser benötigt man in nahezu allen Sparten des Lebens. Bei der Produktion von Gütern, im Haushalt, in der Landwirtschaft, zur Energieversorgung, im Freizeit- und Tourismusbereich, im Sport, und so weiter. Wasser kann zur Gefahr werden, wenn es in Übermaß auftritt und Wasser - vor allem Trinkwasser – kann knapp werden, wenn der Regen ausbleibt. Die Ressource Wasser ist begrenzt verfügbar. Umso mehr ist das Wissen über die vorhandenen Mengen an Wasser in unserem Land von Bedeutung: Zur Bewusstseinsbildung, zur Bemessung von technischen Anlagen und zur Abwehr von Hochwasser.**

Diese Leitgedanken sollen uns bewusst machen, dass Wasser ein wertvolles und kostbares Gut ist. Die Qualität des Wassers ist zu schützen wo sie gut ist, und zu verbessern wo sie durch die Einwirkungen des Menschen verschlechtert wurde. Auch der Umgang mit der Ressource Wasser ist von Bedeutung. Wasser ist nicht jederzeit im gewünschten Ausmaß verfügbar. Wir sind letztendlich der Natur ausgeliefert. Der natürliche Wasserkreislauf, vom Regen, der Verdunstung, bis hin zum ober- und unterirdischen Abfluss ist der Regulator des Wasserhaushaltes im Land.

Die zur Verfügung stehende Wassermenge hängt davon ab, wie viel es örtlich regnet oder schneit, welche Temperaturen vorherrschen und wieviel Wasser damit wieder verdunstet und welche Böden und Vegetationseigenschaften vorliegen. Aber auch davon, wie es vom Menschen erschlossen und verfügbar gemacht wurde.

Bleibt der Regen aus, macht sich Dürre und Wasserknappheit bemerkbar. Regnet es in Strömen, so droht Hochwassergefahr.

Wir haben uns das Wasser mit vielen technischen Maßnahmen verfügbar gemacht. Die Trinkwasserversorgung des Landes ist hervorragend, und auch für den Hochwasserschutz wird viel getan.

Dennoch wartet die Natur, wenn auch selten, mit Extremen auf, die unsere technischen und baulichen Anlagen überfordern.

Wie viel Wasser steht zur Verfügung? Welche Hochwassermengen können auftreten? Wie gering kann die Quellschüttung werden? Das sind häufige Fragestellungen, wenn es darum geht Trinkwasserversorgungen, Wasserkraftnutzungen, Hochwasserschutzanlagen, Wasserentnahmen oder ähnliches zu bemessen und rechtlich zu genehmigen.

Die Antworten können objektiv nur durch Auswertungen von Mess- und Modelldaten des Wasserkreislaufs gegeben werden.

In dieser Publikation (Teil 1 und 2) können Sie eine Menge an Grundlagen und Auswertungen über unser Wasser in Kärnten finden. Machen Sie sich ein Bild davon.

**Landesrat Rolf Holub, DI Kurt Rohner (Abt. 8 / Wasserwirtschaft)**



# KURZFASSUNG

---

## Was wäre Kärnten ohne seinen Reichtum an Wasser?

Dazu zählen 1270 stehende Gewässer, davon 200 Badeseen, 8000 Kilometer Fließgewässer, 43 Gletscher als wertvolle Süßwasserspeicher und tausende glasklare Quellen sowie einige Heilquellen (siehe Kapitel 1) mit tiefgreifendem Einfluss auf Wirtschaft, Tourismus, Erholung und Umwelt.

## Welche Mengen an Wasser stehen Kärnten zur Verfügung?

Die den Wasserkreislauf beeinflussenden Faktoren wie Temperatur, Niederschlagsmenge oder auch die geologischen Verhältnisse sind in Kärnten lokal und regional sehr komplex und variabel ausgeprägt (siehe Kapitel 2 und 3). Eine Erfassung dieser Parameter erfolgt an einer großen, aber doch begrenzten Anzahl von Messstationen. Eine Aussage zu unbeobachteten Gebieten ist nur auf der Basis von Modellberechnungen möglich. Dazu sind viele langfristige und fehlergeprüfte Messdaten erforderlich. Die Durchführung dieser Modellberechnungen und weitere Nutzung, auch anhand aktueller Daten, war eine zentrale Aufgabe des Projektes.

Die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse für Parameter wie Niederschlag, Lufttemperatur, Verdunstung, Abflussmengen der Fließgewässer, Wasserstände der Seen und des Grundwassers sind in dieser Arbeit zusammengefasst.

## Gibt es Veränderungen?

Ein anhaltender Trend der globalen Erwärmung muss aufgrund des derzeitigen Wissensstandes zum Klimageschehen angenommen werden. In Bezug auf den Niederschlag sind Vorhersagen schwieriger, ein eindeutiger langfristiger Trend kann derzeit nicht angegeben werden. Ein Anstieg der Lufttemperatur bewirkt aber auch bei annähernd gleichen Niederschlagsverhältnissen nicht nur ein Abschmelzen der Gletscher, sondern auch eine Verminderung der Bodenfeuchte und eine Reduktion der Grundwasserneubildung. Das Grundwasser steht in unmittelbarer Verbindung mit Flüssen und Seen. Sinkt der Grundwasserspiegel, so sinken auch die Gewässerpegel und die Ergiebigkeit der Quellen.

In der Tat litten in den letzten Jahren Teile Unterkärntens mehrmals unter Wassermangel und der Aufruf zur Einsparung des kostbaren Guts wurde medial kund gemacht: *„Wegen der vorherrschenden Trockenheit wird in manchen Gemeinden, vor allem im Lavanttal, zum Wassersparen aufgerufen. Die Feuerwehren sind täglich unterwegs, um die Bevölkerung mit Trinkwasser zu versorgen. Nicht nur die Gefahr von Wald- und Wiesenbränden beschäftigt derzeit die Feuerwehren. Sie müssen derzeit auch immer öfter zu Wassertransporten ausrücken“* (kaernten.orf.at, März 2012).

Aus Dekadenvergleichen von Abflussganglinien geht vor allem bei den Hochgebirgsflüssen wie Drau und Gail eine Verlagerung des Abflusses vom Frühjahr in den Herbst hervor. Das kann durch ein Ansteigen des Regenanteils und ein Abfallen des Schneeanteils am Gesamtniederschlag erklärt werden. Die Schneeschmelze setzt aufgrund der Erwärmung im Jahreslauf früher ein.

Ähnlich der Lufttemperatur, ist in Kärnten im Analysezeitraum auch eine Erwärmung der

Seen zu beobachten. Im Mittel sind sowohl der Wörthersee, als auch der Weißensee in der Dekade 2001-2010 um 1,3° C wärmer als noch in der Dekade 1981-1990.

## Modellierte hydrologische Daten

Auf Basis der Eingangsmessdaten für Lufttemperatur, Niederschlag und Abfluss können mit dem physikalisch basierten **Niederschlags-Abflussmodell HBV** rasterbasierte Werte für die Verdunstung, die Bodenfeuchte, das Schneewasseräquivalent (die in Schnee gebundene Wassermenge) und die Abflussspende berechnet werden (siehe Kapitel 4).

Die höchsten jährlichen **Verdunstungsmengen** (absolute Menge) berechnete das Modell im Gailtal mit Mengen zwischen 600 und 850 mm. Ähnlich hohe Werte sind im Raum Villach und im Bereich zwischen dem Wörthersee und dem Ossiacher See zu finden. In Prozent des gefallenen Niederschlags ist die Verdunstung jedoch im Gurk-, Glan-, und Lavanttal deutlich höher (ca. 65-80 %) als vergleichsweise im Gailtal (40-50%). Die Verdunstung wird dort im Sommer durch die fehlende Feuchtigkeit limitiert. Hohe Verdunstungsmengen können nur dann erreicht werden, wenn die Gegend warm und feucht ist und der Boden Wasser gut speichern kann. Bei geringerer Bodenfeuchte, wie zum Beispiel im Bergsturzgebiet des Dobratsch, kann nur wenig Wasser verdunsten.

Im Jahresmittel sind die **Böden Kärntens gut mit Wasser versorgt**. Aufgrund der Zunahme der Niederschlagsmengen mit der Höhe und der geringeren Temperaturen sind die vegetationsbedeckten Gebirgsböden meist feuchter als die Talböden. Auf den Talböden Oberkärntens und den Ebenen Unterkärntens macht sich ein leichtes Süd-Nord-Gefälle, bezogen auf die Bodenfeuchte, bemerkbar.

Auch die **Abflussspenden** sind im Gebirge höher. In den Bergen beträgt die Wassermenge, die der Grundwasserneubildung und dem Abfluss zukommt ein Vielfaches der Menge in den Tälern. Es zeigen sich Werte über 60 l/s/km<sup>2</sup> in den Randgebirgen Kärntens und Werte zwischen 5 und 10 l/s/km<sup>2</sup> in den niederen Lagen. Die Hochgebirgsflüsse Isel, Möll und Malta sind von Gletschern beeinflusst und haben hoch gelegene Einzugsgebiete mit großen Abflussspenden. Hochwässer treten dort häufig im Sommer auf, wenn die Niederschläge bis in die Gipfelregionen als Regen fallen. Sinkt die Schneefallgrenze im Herbst wieder, wird nur die Fläche unterhalb der Schneefallgrenze sofort abflusswirksam. Oberhalb der Grenze wird das Wasser als Schnee gespeichert und die Hochwassergefahr nimmt ab.

Hohe Spenden verzeichnen auch die Einzugsgebiete der Gail und die der Karawankenbäche. Diese Gewässer haben ihre Hochwässer zumeist im Herbst, wenn feuchte Luftmassen aus dem Mittelmeerraum sich an den Randgebirgen stauen. Die Einzugsgebiete von Gurk und Lavant haben wegen der geringen Niederschläge und relativ hohen Verdunstung geringe Abflussspenden.

**In Summe ist das natürliche Dargebot an Wasser in Kärnten jedoch recht hoch. Österreichweit betrachtet liegt Kärnten mit 1200 mm mittleren Jahresniederschlags im Mittelfeld.**

Der **natürliche Wasserhaushalt** ist generell **von „normalen“ und extremen Verhältnissen geprägt** (siehe Kapitel 5). Trockenheit, Dürre, kleinste Abflüsse bis hin zur Austrocknung von Quellen und Gewässern, aber auch Hochwässer, treten immer wieder auf. Wir bleiben von diesen elementaren Naturereignissen trotz allgemein guter Wasserhaushaltverhältnisse nicht verschont. Daher wurden umfangreiche Analysen zur



Ermittlung von **hydrologischen Kennwerten** für Extremereignisse (siehe Kapitel 7) durchgeführt, die für wasserwirtschaftliche, energiewirtschaftliche und ökologische Bemessungsfragen zur Verfügung stehen.

Diese Arbeit besteht aus einem Teil 1 „Wasserhaushalt“, in dem hydrologische Parameter anhand ausgewählter Diagramme und Karten beschrieben und analysiert werden und einem Teil 2 „Hydrologische Bemessungsgrundlagen“. Im Teil 2 finden sich detaillierte Stationsdiagramme, flächige Kartendarstellungen und Tabellen mit Nieder-, Mittel- und Hochwasserkennwerten wieder.

Nahezu jedes Projekt, das mit Wasser zu tun hat, erfordert hydrologische Kennwerte, auf die letztendlich die Maßnahme ausgelegt bzw. bemessen wird. So sind zum Beispiel bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenzonenplänen die Hochwasserkennwerte vordergründig von Interesse, bei Kraftwerken, ökologischen Beurteilungen und Pflichtwasservorschreibungen bilden häufig die Nieder- und Mittelwasserkennwerte eine Grundlage des Projekts, und bei allgemeinen Umwelt-Fragestellungen sind zumeist auch allgemeine Wasserhaushaltsdaten, wie jährliche und monatliche Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflussmengen als auch Temperaturdaten relevant.

Die hydrologischen Daten und statistischen Kennwerte werden für die unterschiedlichsten Gewässerstellen, Orte, Gebiete und Regionen in Kärnten, vom Tal bis zum Berg, benötigt. Der Wasserhaushalt des Landes ist jedoch regional und je nach Höhenlage sehr unterschiedlich. Je nach Einzugsgebietsgröße des Gewässers, Topographie und klimatischer Region gelten unterschiedlichste Kennwerte. Die vorhandenen Messstationen decken zwar Kärnten flächenmäßig, im Überblick ab, es gibt jedoch viele Stellen von denen es keine Messdaten gibt.

Die Auswertungen basieren daher auf den Messdaten der Messstellen des hydrographischen Dienstes in Kärnten. Für unbeobachtete Gebiete wurden die Messdaten von nahegelegenen Messstellen mit Regionalisierungsverfahren und Modellberechnungen übertragen. Die dargestellten Auswertungen beinhalten daher je nach Datengrundlage, Verfahren und Modellgenauigkeit auch Unschärfen bzw. Unsicherheiten. Die Wahl bzw. Festlegung des Bemessungswertes liegt letztendlich in der Verantwortung der planenden Person bzw. richtet sich auch nach den jeweiligen Vorgaben von regionalen Institutionen und Behörden bzw. Fachabteilungen.

Es wird daher von der Hydrographie keine Gewähr für die Vollständigkeit, Richtigkeit und Genauigkeit der dargestellten Daten übernommen. Gewährleistungs- und Haftungsansprüche werden ausdrücklich ausgeschlossen!

Bei Detailfragen macht es natürlich Sinn, die Hydrographie direkt zu kontaktieren bzw. die jeweilig ermittelten/festgelegten Werte mit der Hydrographie abzustimmen.



# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1</b>	<b>NATURRÄUMLICHE KURZBESCHREIBUNG KÄRNTENS.....</b>	<b>1</b>
1.1	Geographische Raumeinheiten.....	1
1.2	Geologischer Überblick .....	3
<b>2</b>	<b>DER WASSERKREISLAUF .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>ANALYSE HYDROLOGISCHER MESSDATEN DER PERIODE 1981-2010.....</b>	<b>13</b>
3.1	Lufttemperatur.....	13
3.1.1	<i>Messdatenerfassung der Lufttemperatur.....</i>	<i>15</i>
3.1.2	<i>Auswertung der Lufttemperatur.....</i>	<i>18</i>
3.2	Niederschlag.....	32
3.2.1	<i>Messdatenerfassung des Niederschlags.....</i>	<i>35</i>
3.2.2	<i>Auswertung des Niederschlags.....</i>	<i>38</i>
3.3	Wasserstände und Abflüsse.....	49
3.3.1	<i>Messdatenerfassung der Wasserstände und Abflüsse .....</i>	<i>63</i>
3.3.2	<i>Auswertung der Wasserstände und Abflüsse .....</i>	<i>68</i>
3.4	Seetemperaturen.....	72
3.4.1	<i>Messdatenerfassung der Seetemperaturen .....</i>	<i>74</i>
3.4.2	<i>Auswertung der Seetemperaturen .....</i>	<i>76</i>
3.5	Quellschüttungen .....	79
3.5.1	<i>Messdatenerfassung der Quellschüttungen .....</i>	<i>80</i>
3.5.2	<i>Auswertung der Quellschüttungen .....</i>	<i>84</i>
3.6	Grundwasserstände.....	88
3.6.1	<i>Messdatenerfassung der Grundwasserstände .....</i>	<i>89</i>
3.6.2	<i>Auswertung der Grundwasserstände .....</i>	<i>91</i>
<b>4</b>	<b>AUSWERTUNGEN AUF BASIS VON MODELLBERECHNUNGEN.....</b>	<b>93</b>
4.1	Informationen zu den modellierten Daten.....	93
4.1.1	<i>Das Niederschlags-Abflussmodell HBV.....</i>	<i>93</i>
4.2	Bodenfeuchte.....	97
4.3	Verdunstung.....	98
4.4	Schneewasseräquivalent.....	104
4.5	Wasserdargebot minus Verdunstung.....	108
4.6	Abflusspende.....	114
<b>4.7</b>	<b>Wasserbilanz Kärnten.....</b>	<b>120</b>
<b>5</b>	<b>EXTREMEREIGNISSE .....</b>	<b>122</b>
5.1	Hochwasserereignisse.....	122

5.1.1	Zur Hochwasserchronik Kärnten.....	123
5.1.2	Einige Auszüge aus der Hochwasserchronik des Landes Kärnten.....	123
5.2	Niederwasserereignisse.....	134
<b>6</b>	<b>KLIMATISCHE VERÄNDERUNGEN.....</b>	<b>138</b>
6.1	Dekadenauswertung.....	139
6.1.1	Auswertung der Lufttemperatur nach Dekaden.....	139
6.1.2	Auswertung der Seetemperatur nach Dekaden.....	142
6.1.3	Auswertung des jahreszeitlichen Abflusses nach Dekaden.....	144
6.2	Langzeitreihen.....	147
6.2.1	Auswertung der Lufttemperatur anhand von Langzeitreihen.....	148
6.2.2	Auswertung des Niederschlags anhand von Langzeitreihen.....	151
6.2.3	Auswertung der Grundwasserstände anhand von Langzeitreihen.....	155
<b>7</b>	<b>HYDROLOGISCHE KENNWERTE ALS BEMESSUNGSGRUNDLAGE.....</b>	<b>157</b>
7.1	Bemessungsniederschläge.....	157
7.2	Abflusskennwerte.....	160
7.2.1	Niederwasserkennwerte (NQ).....	168
7.2.2	Mittelwasserkennwerte (MQ).....	175
7.2.3	Hochwasserkennwerte (HQn).....	181
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>217</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>225</b>

# 1 NATURRÄUMLICHE KURZBESCHREIBUNG KÄRNTENS

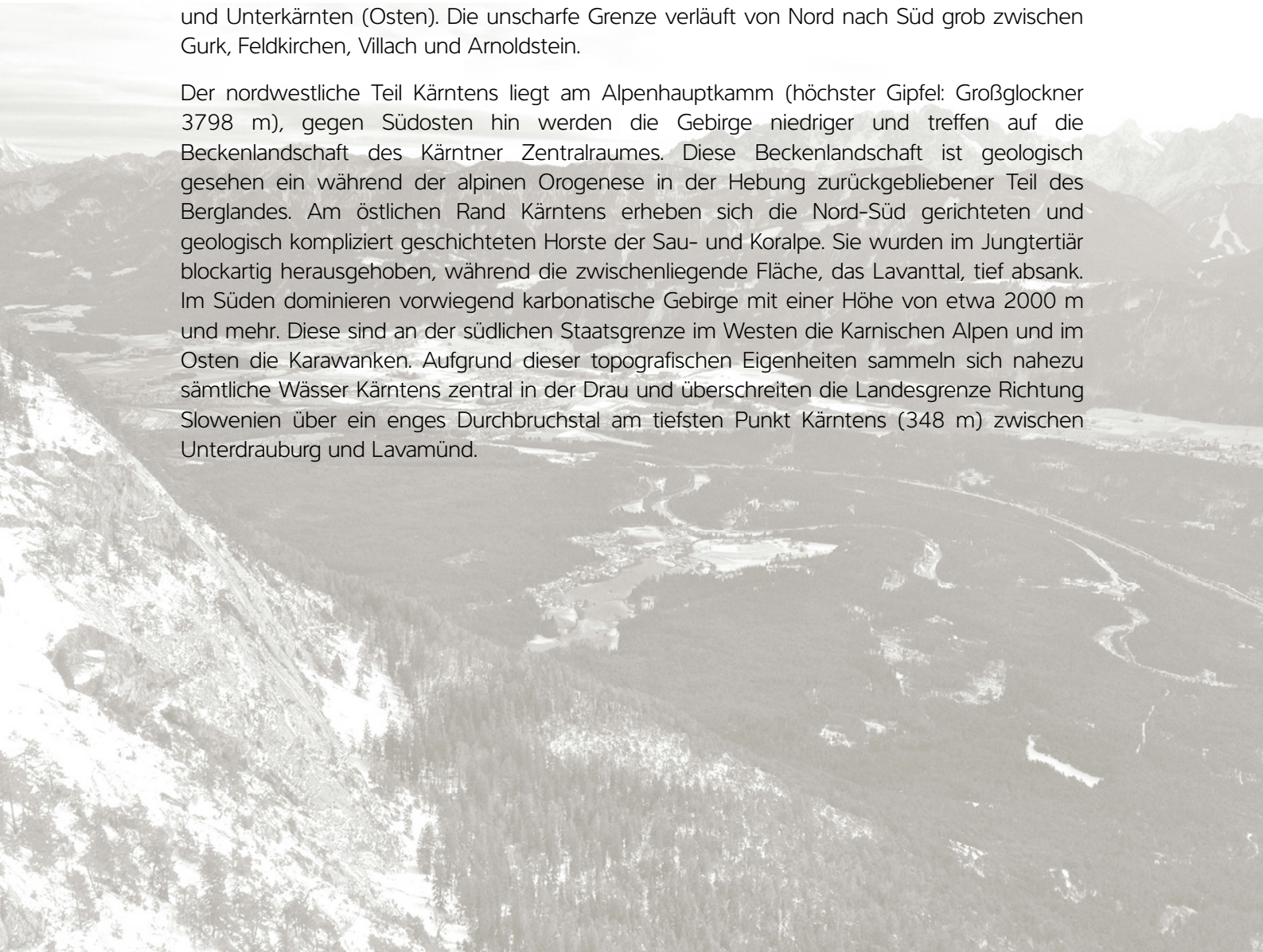
---

In diesem ersten Kapitel werden die großen geographischen Raumeinheiten Kärntens und die geologische Situation im groben Überblick vorgestellt. Viele hydrologische Gegebenheiten sind auf diesen geographisch/geologischen Grundrahmen zurückzuführen und durch diesen bedingt.

## 1.1 Geographische Raumeinheiten

Das Bundesland Kärnten grenzt im Norden an Salzburg, im Norden und Osten an die Steiermark, im Süden an Slowenien sowie Italien und im Westen an Osttirol. Es zählt rund 556.000 Einwohner, wovon 95.000 in der Hauptstadt Klagenfurt wohnen (Statistik Austria, Stand Okt. 2012). Die 9536 km<sup>2</sup> große Landesfläche, welche mehr als zur Hälfte mit Wald bedeckt ist, hat eine West-Ost Erstreckung von rund 180 km und eine Breite von etwa 70 km in nord-südlicher Richtung. Die Breite reduziert sich in der Mitte Kärntens auf lediglich 44 km und ergibt auch anhand der Geländeformen eine Gliederung in Oberkärnten (Westen) und Unterkärnten (Osten). Die unscharfe Grenze verläuft von Nord nach Süd grob zwischen Gurk, Feldkirchen, Villach und Arnoldstein.

Der nordwestliche Teil Kärntens liegt am Alpenhauptkamm (höchster Gipfel: Großglockner 3798 m), gegen Südosten hin werden die Gebirge niedriger und treffen auf die Beckenlandschaft des Kärntner Zentralraumes. Diese Beckenlandschaft ist geologisch gesehen ein während der alpinen Orogenese in der Hebung zurückgebliebener Teil des Berglandes. Am östlichen Rand Kärntens erheben sich die Nord-Süd gerichteten und geologisch kompliziert geschichteten Horste der Sau- und Koralpe. Sie wurden im Jungtertiär blockartig herausgehoben, während die zwischenliegende Fläche, das Lavanttal, tief absank. Im Süden dominieren vorwiegend karbonatische Gebirge mit einer Höhe von etwa 2000 m und mehr. Diese sind an der südlichen Staatsgrenze im Westen die Karnischen Alpen und im Osten die Karawanken. Aufgrund dieser topografischen Eigenheiten sammeln sich nahezu sämtliche Wässer Kärntens zentral in der Drau und überschreiten die Landesgrenze Richtung Slowenien über ein enges Durchbruchstal am tiefsten Punkt Kärntens (348 m) zwischen Unterdrauburg und Lavamünd.



Zur tiefergehenden Orientierung in den Landschaftsräumen Kärntens ist in der folgenden Tabelle und in Abb. 1 eine morphologische Raumgliederung nach Gebirgsgruppen und Talräumen von Martin Seger (vgl. SEGER 1999) wiedergegeben.

Gebirgsmassive	Beckenräume und Talzonen
<p>Hohe Tauern mit Glockner- und Schobermassiv, Goldberggruppe, Ankogel-Hochalmgruppe, Hafner- und Sadniggruppe</p> <p>Reißeck- und Kreuzeckgruppe zu beiden Seiten des unteren Mölltals</p> <p>Drauzug mit Lienzer Dolomiten, Gailtaler Alpen, Goldeck-Latschurgruppe und Dobratschmassiv</p> <p>Karnische Alpen südlich des Lesach- und Gailtals bis zur Pforte bei Thörl-Maglern</p> <p>Karawanken mit südlichen Kalkalpen und Südalpenanteil, getrennt durch die Periadriatische Naht, zugezählt der österreichische Anteil an den Steiner Alpen</p> <p>Gurktaler Alpen zwischen Liesertal und Seetaler Alpen, gegliedert nach Hohen (westlichen) und Niederen (östlichen) Gurktaler Alpen, zusammen die „Nockberge“ bildend, und Wimitzer Berge (Schneebauerzug) sowie Mödringbergzug und Metnitzer Alpen (auch als Teil der Murtaler Berge bekannt) einschließend, ebenso das Guttaringer Bergland</p> <p>Saualpe inklusive dem Kärntner Anteil an den Seetaler Alpen (nördlich des Klippitztörls)</p> <p>Koralpe und Kärntner Anteil an der Pack und Stupalpe, beide als Teil der steirischen Randgebirge, in diesem Sinne den Kömmelberg mit einschließend</p>	<p>Klagenfurter Becken zwischen Villach und Lavamünd, zwischen dem Rosental und dem Nordrand der Beckenlandschaft bei Treibach-Althofen</p> <p>Verebnungen und Niederungen wie östlich von Klagenfurt (Klagenfurter Feld), Zollfeld, Krappfeld und Jauntal, um Villach sowie Glantal und Rosental</p> <p>Hügelland: Gebiete mit stärkeren Reliefunterschieden um Feldkirchen und Moosburg, Maria Saal und St. Veit – Völkermarkt und Klopein (Rückersdorfer Seenplatte) sowie um Velden und um den Faaker See</p> <p>Berggebiete im Becken stellen die Ossiacher Tauern und das Glantaler Bergland (Ulrichsberg), der Sattnitz-Zug und der Magdalensberg sowie die St. Pauler Berge dar</p> <p>Talzonen Oberkärntens sind die langgestreckten Talräume von Gailtal und Drautal, das erste inklusive dem Lesach- und Gitschtal, das zweite mit einschließend das Mölltal (und Mallnitztal) sowie Liesertal (und Maltatal). Daneben sind die Durchgangszonen des Gegendtales, der Kleinkirchheimer Senke, des Millstätter Tales und des oberen Gurktales zu nennen</p> <p>Übrige Talräume stellen in Mittelkärnten das Gurk- und Metnitztal dar, sowie die Verebnungsfläche des Friesacher Feldes, und weiter östlich das Becken des Lavanttales einschließlich des oberen Lavanttales und der Enge von Twimberg</p>

Geographische Raumeinheiten Kärntens

M. Seger 1992

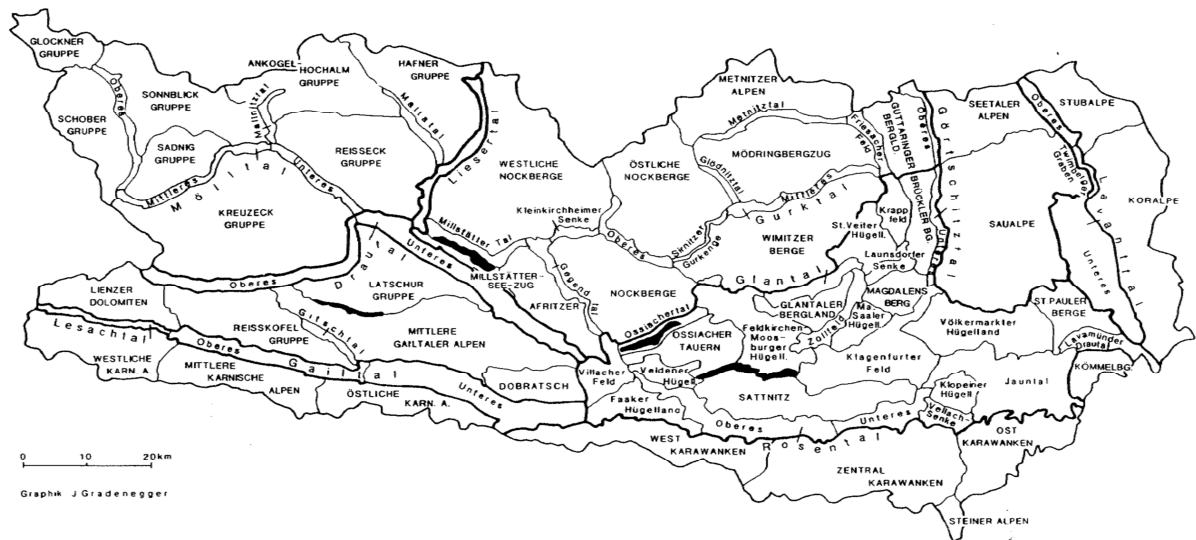


Abb. 1: Geographische Raumeinheiten Kärntens (Tabelle und Karte); [Entwurf: M. Seger, Graphik: J. Gradenegger] (Vgl. SEGER 1999)

## 1.2 Geologischer Überblick

Das Bundesland Kärnten birgt eine hohe Gesteinsvielfalt bei komplexen Lagerungsverhältnissen. Es liegt in den Ostalpen mit großtektonischen Einheiten wie dem Penninikum, Ostalpin, Südalpin, Tertiär und dem Quartär (siehe Abb. 7:).

Nördlich der Drau dominieren kristalline und schiefriige Gesteine, südlich der Drau karbonatische und schiefriige Gesteine. Die Becken und Täler haben eine Auflage quartärer Ablagerungen, welche im Zentralraum mit dem Jungtertiär vermenget sind. „Man kann sich Mittelkärnten als eine große tektonische Mulde zwischen den westlichen und nördlichen Gurktaler Alpen, der Saualpe und den Karawanken vorstellen, in der auf dem Kristallin noch andere jüngere Gesteinspakete übereinander liegen“ (PASCHINGER 1976). Im Osten des Klagenfurter Beckens sind glaziale Formen wie Endmoränen und Sanderflächen vorherrschend.

Kärntens geologische Einheiten lassen sich folgendermaßen näher charakterisieren (vgl. PASCHINGER 1976, KRAINER 1988, Wikipedia):

**Helvetikum und Penninikum:** Das Helvetikum und das Penninikum gehören zu den untersten Schichten im Deckensystem der Alpen. Durch die Konvergenz des europäischen Kontinents und der adriatischen Platte kam es im Neogen zur Gebirgshebung und zu einer Freilegung sogenannter Fenster in den Ostalpen. Das Tauernfenster gewährt einen Einblick in die tiefer gelegenen Gesteinsschichten des Helvetikums und des Penninikums. Es liegt in den Zentralalpen und erstreckt sich über 176 km zwischen dem Brennerpass im Westen und Schladming sowie Mauterdorf im Osten. Nördlich reicht es bis Mittersill und südlich bis

Matrei, mit einer Spanne von 30 – 50 km. Nördlich des Mölltals im Nordwesten Kärntens befindet sich die aus variszischen Graniten hervorgegangene Zentralgneiszone, verkörpert durch Bereiche des Sonnblicks, des Ankogels, der Hochalm Spitze und des Reißbecks. Um die Gneiskerne liegen zwiebelschalenförmig Schieferhüllen. Die untere Schieferhülle besteht aus Phylliten, Granatglimmerschiefern, Quarziten, hellen Dolomiten und Grauwacken mit eingelagerten Amphiboliten, Serpentin und Chloritschiefern. Die obere Schieferhülle besteht vorwiegend aus Chloritschiefern und aus weichen braunen Kalkglimmerschiefern. Sie sind einige tausend Meter mächtig und vor allem für das Glockner Gebiet bezeichnend. Einige Geologen vertreten die Meinung, dass die untere Schieferhülle und die Gneiskerne dem Helvetikum, die obere Schieferhülle dem Penninikum zuzuordnen sind.

Die Gneiskerne haben ihren Ursprung vor etwa 240 Millionen Jahren (Perm). Der spätere Gneis drang als Schmelzfluss in die bereits vorhandene untere Schieferhülle ein und kristallisierte sich als Granit, Tonalit, Migmatit und Granosyenit aus. Erst durch den hohen Druck sowie die beträchtlichen Temperaturen der Deckenüberschiebung der alpidischen Gebirgsbildung wurde das Gestein metamorph in Gneis umgewandelt. Hierbei schoben sich von Süden her kalkreiche Gesteine (insbesondere Triaskalke) Richtung Norden und schufen die nördlichen Kalkalpen. Dabei blieben Gesteinsreste hängen und bildeten die obere Schieferhülle. Auch zahlreiche Kalkeinschlüsse hinterließ die Deckenverschiebung im kristallinen Gestein. Die metamorphe Überprägung der unteren Decke wird als Tauernkristallisation bezeichnet, bei der Fossilinhalte der Schichten größtenteils zerstört wurden.

Ein schmaler Gesteinsstreifen aus tektonisch beanspruchten Schiefen, Quarziten, Dolomiten und Kalken ist als Matreier Zone bekannt. Die Gesteine wurden in der Kreide abgelagert und später metamorph überprägt. Die Zone benachbart die untere Schieferhülle und verläuft von Matrei in Osttirol nach Döllach, Flattach und Obervellach über das Liesertal bis hin zum Katschberg.



Abb. 2: Links: Großglockner (Foto: HOLZEIS); Rechts: Blick aus dem Großelendtal auf die Hochalm Spitze (Foto: KOPEINIG 2013)



**Mittelostalpin:** Im Süden und Osten schließt das Altkristallin an das Penninikum an. Dieses prägt die Schobergruppe, den Süden der Sadniggruppe, die Kreuzeckgruppe, die Goldeckgruppe, Teile der Gurktaler Alpen, sowie Teile der Sau und Koralpe. Es ist auch partiell



im Klagenfurter Becken, etwa beim Kreuzbergl und dem Bereich der Sieben Hügel anzutreffen. Das Altkristallin entstammt paläozoischen Schiefen, Kalken und vulkanischen Gesteinen und wurde metamorph während der kaledonischen, größtenteils aber während der variszischen Gebirgsbildungsphase überprägt.

Abb. 3: Kreuzeckgruppe (Foto: HOLZEIS 2006)

**Oberostalpin:** Das Oberostalpin überlagert das Altkristallin. Dazu gehören die Gurktaler Decke (metamorph überprägte altpaläozoische Sedimente z.B. Phyllite, Quarzite, Karbonate und Vulkanite wie Grünschiefer und Diabase) die Gailtaler Alpen (kristallines Grundgebirge mit einer Überlagerung von Sedimenten aus Perm bis Obertrias) und die Nordkarawanken (wo das kristalline Grundgebirge mit Sedimenten aus der Zeit zwischen Perm bis zur Unterkreide überlagert wird).

**Unterostalpin:** Das Unterostalpin schließt im Osten um das penninische Fenster als „Unterostalpinener Rahmen“ an. Dort im Bereich der Katschbergzone sind Phyllite zu finden.

**Südalpin:** Südlich der Drau befinden sich karbonatisch dominierte Gebirgszüge. Als kristalline Ausnahme sei hier das Goldeck zu erwähnen. Die Kalkalpen werden durch einen langen schmalen Streifen kristalliner Gesteine (Glimmerschiefer, Augengneise, Grüngesteine, granitische Gesteine, Tonalite) in einen nördlichen und südlichen Abschnitt geteilt (siehe Abb. 4). Zum südlichen Abschnitt (Südalpin) gehören die Karnischen Alpen (marine Sedimente aus Ordovizium bis Trias über einem altpaläozoischen Stockwerk aus Grauwacken und Quarziten) und die Südkarawanken (ordovizische bis karbonische Gesteine, darüber marine Ablagerungen der Trias). Diese Störungslinie wird als Periadriatische Naht bezeichnet und trennt die Ostalpen von den Südalpen.



Abb. 4: Bild links: Inmitten der Periadriatische Naht; Bild rechts: Südkarawanken  
(Fotos: HOLZEIS)

Sie ist in ihrem vollen Ausmaß etwa 700 km lang und zieht sich von Ivrea über Locarno, Sondrio, Meran, Brixen, durch das Puster- und Lesachtal, das Gailtal, durch Windisch Bleiberg und Zellpfarre und verläuft zwischen den nördlichen (meist Blockcharakter z.B. Hochobir) und den südlichen (meist Kettencharakter z.B. Koschuta) Karawanken hindurch. „Tektonisch gesehen, finden sich nördlich dieser Naht die Ostalpen und südlich davon die Dinariden mit z.T. verschiedener Fazies der Gesteine, d.h. gleich alte Schichten sind im N und S der Naht verschieden ausgebildet“ (PASCHINGER 1976).

**Tertiär:** Das Tertiär wurde von der alpidischen Orogenese geprägt, wodurch das Meer zurückgedrängt wurde. Durch die blockartigen Hebungsvorgänge der Kor- und Saualpe sank das Lavanttal ab, welches mit 1000 m mächtigen Sedimentschichten aufgefüllt wurde. Dabei entstanden Braunkohleflöze, wie etwa in der Gegend von St. Stefan. Im Miozän wurden die Karawanken stark herausgehoben. Südlich von Klagenfurt entstand aus den Sedimenten der nun bereits erodierenden Karawanken, vermengt mit Meerschlam, das Sattnitzkonglomerat und das Bärenalkonglomerat, welche das Klagenfurter Feld südlich begrenzen und als wichtige Grundwasserspeicher fungieren.

**Quartär:** Nicht nur tektonische Prozesse formten das Kärntner Landschaftsbild, sondern auch die glaziologischen Prozesse der letzten zwei Millionen Jahre, welche stets von Warmzeiten (Interglaziale) unterbrochen waren. Die letzte Eiszeit (Würm) begann vor rund 20.000 Jahren und endete vor rund 10.000 Jahren. Das Quartär war für die Morphologie und Seenbildung von großer Bedeutung.

In den Kaltzeiten waren weite Teile des Landes von mächtigen Eisschichten, vor allem jene des Draugletschers, zugedeckt. Hauptzubringer des Draugletschers waren der Isel- und der Möllgletscher, welche die großen Eismassen der Hohen Tauern abtransportierten. Es entstand ein Eisstromnetz, welches sich Richtung Osten bis hin zum Ostende des Klagenfurter Beckens (Griffen) ausbreitete. Oberkärnten war, abgesehen von einigen scharfen Graten und Gipfeln, völlig unter dem Eis begraben. Das Lavanttal im Osten Kärntens war eisfrei. Die Täler wurden aufgrund der Schurfwirkung des Eises von Kerb- zu Trogtälern ausgeweitet und in Warmzeiten mit Sedimenten aufgefüllt.

Es entstanden Terrassenlandschaften, welche sich im Unteren Drautal tief einschneiden (siehe Abb. 5:).

Auf den Bergen entstanden Kare, in den Tälern und Ebenen Drumlins und im Vorfeld der Gletscher Sanderflächen (siehe Abb. 6: und Abb. 8:). Die Seiten- und Endmoränen liegen bei Himmelberg vor Gnesau, nördlich des Glantales zwischen Glanegg und St. Veit, um den Längsee, am Südhang des Magdalensbergs und in der Gegend von Bleiburg. Seen entstanden nahe von Endmoränen, wurden jedoch häufig mit Deltaschottern und Seetonen zugeschüttet.



Abb. 5: Untere Drau tief eingeschnitten (Foto: HOLZEIS 2013)

Dies betrifft vor allem Seen in Flusstälern, während sich Seen in Mulden und Talzügen ohne größere fließende Gewässer eher erhalten konnten. Auch Toteislöcher schützten durch ihre Eismasse vor einer raschen Aufschüttung und erhöhten die Wahrscheinlichkeit einer Seenbildung

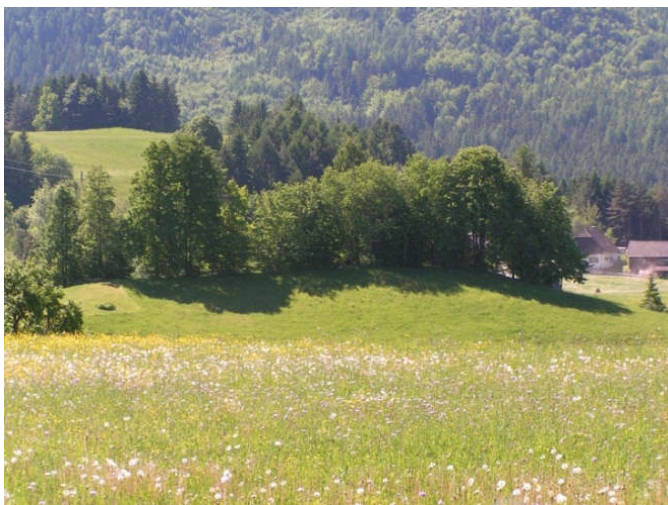


Abb. 6: Bild links: Drömling; Bild rechts: Schmelzwasseransammlung in einem Kar am Großglockner (Fotos: HOLZEIS 2007)

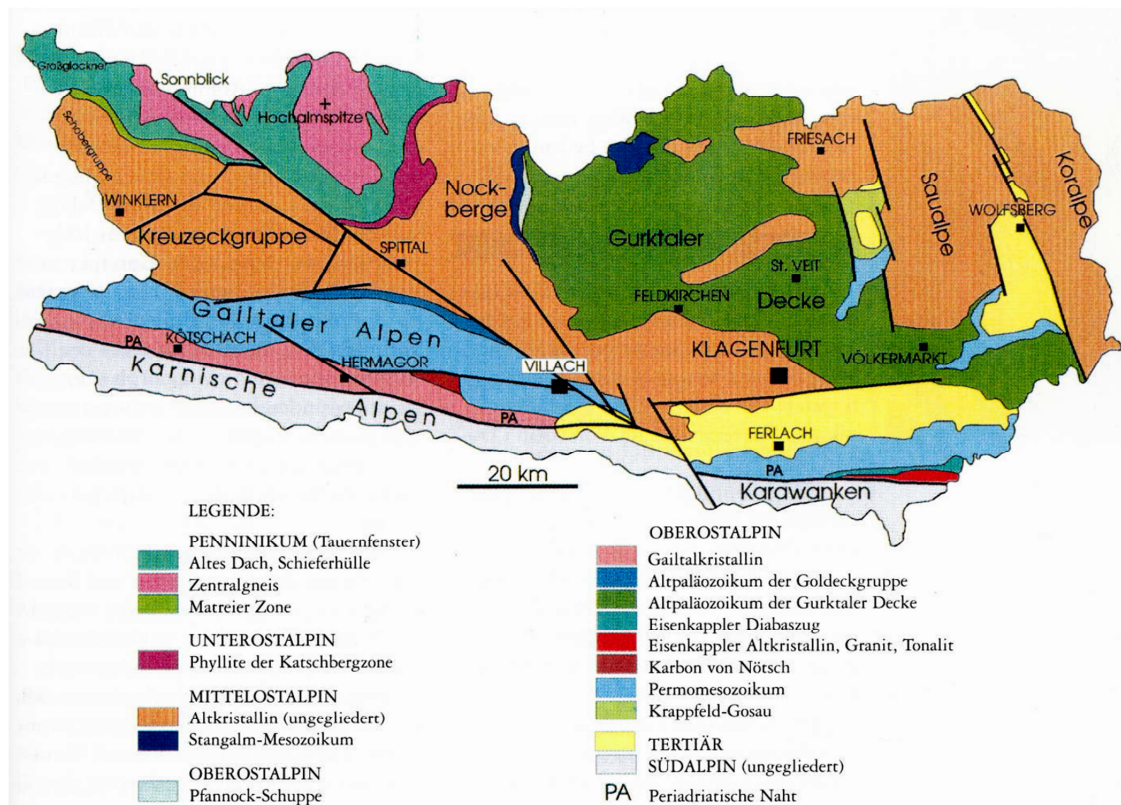


Abb. 7: Geologische Übersichtskarte von Kärnten (KRAINER 1999)

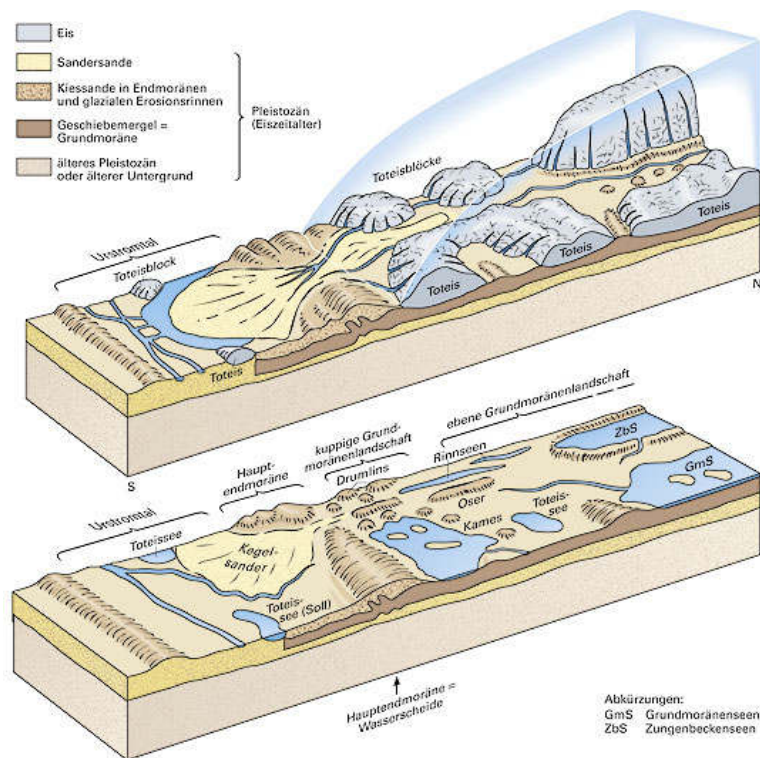


Abb. 8: Glaziale Serie (HAACK WELTATLAS-ONLINE 2013)

## 2 DER WASSERKREISLAUF

Unter dem Wasserkreislauf versteht man in der Hydrologie die Abfolge der Erscheinungsformen des Wassers als Niederschlag, Verdunstung und oberirdischen bzw. unterirdischen Abflüssen. Wasser geht nicht verloren, sondern verändert sich in den Erscheinungsformen sowohl zeitlich, als auch räumlich. Daher gilt für den Abfluss an Land vereinfacht die Bilanz: Niederschlag minus Verdunstung ist gleich dem Abfluss ( $N - V = Q$ ).

Der Wasserkreislauf ist ein komplexes System. Das System kann jedoch über diverse Parameter und Vorgänge annäherungsweise gut beschrieben werden (siehe Abb. 9: und Abb. 10:). Die wichtigsten davon sollen hier kurz erläutert werden.



Abb. 9: Der Wasserkreislauf (Vgl. USGS Georgia Water Science Center)

Über Verdunstung und vegetative Transpiration gelangt Wasserdampf in die Atmosphäre. Die höchsten Verdunstungsmengen entstehen über dem Meer und größeren Seen. Der Wasserdampf ist zunächst gasförmig und nicht sichtbar. Bei Abkühlung und Kondensation des Wasserdampfes bilden sich Wolken bzw. Nebel. Die feinen Wassertropfchen einer Wolke verbinden sich zu größeren Tropfen. Wenn das Gewicht der Tropfchen durch Luftströmungen nicht mehr gehalten werden kann, fallen sie als Tau, Regen, Schnee oder Hagel auf die Erdoberfläche herab. Erfolgt die Bewegung der Luftmassen eines Niederschlagsereignisses hauptsächlich horizontal, so spricht man auch von advektiven Niederschlägen (großflächige Niederschlagsfronten, Landregen), erfolgt sie überwiegend vertikal so spricht man von konvektiven Niederschlägen (kurze kleinflächige Niederschläge, Gewitter).

Der Niederschlag kann etwa auf einen unbedeckten Boden, auf eine Pflanzendecke, auf ein offenes Gewässer oder auf künstlich versiegelte Flächen fallen. Trifft Niederschlag auf eine vegetationsbedeckte Oberfläche, dann wird ein Teil an der Pflanzenoberfläche vorübergehend gespeichert. Diese Zwischenspeicherung wird Interzeption genannt und durch zu Boden fallende Tropfen, Stammabfluss oder Evaporation verringert. Ist das Wasser in Form von Schnee oder Eis gebunden, kann es durch die Schneeschmelze oder im geringen Umfang auch durch Sublimation (Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand, ohne sich zu verflüssigen) abgebaut werden. Regen bzw. Schneeschmelze infiltriert entweder sofort den Boden, oder wird in Mulden der Landoberfläche gespeichert und versickert verzögert, oder verdunstet. Die Summe aus Regen und Schneeschmelze wird auch als Wasserdargebot bezeichnet.

Ist die Oberflächensättigung der Vegetation oder des Bodens (Bodenfeuchte) erreicht, dann kommt es zum Landoberflächen- oder Sättigungsflächenabfluss in Gräben, Bächen und Flüssen. Das infiltrierte Wasser wird teilweise in der ungesättigten Bodenzone gespeichert. Dieser Speicher kann durch Evaporation, Entzug durch die Vegetation (in weiterer Folge kommt es zur Transpiration) und durch einen lateralen bodeninneren Abfluss entleert werden. Letzteres wird auch als Zwischenabfluss bzw. hypodermischer Abfluss bezeichnet und fließt dem Gewässernetz zu oder versickert in die oberen Horizonte der Grundwasserzone. Dabei kommt es zur Grundwasserneubildung. Aus der oberen Grundwasserzone fließt das Wasser mit entsprechender Verzögerung in Oberflächengewässer oder Quellaustritte. Ebenso ist ein kapillarer Anstieg in die ungesättigte Bodenzone oder Versickerung in tiefere Horizonte der Grundwasserzone möglich. Tiefere Grundwasserspeicher werden mit hoher Verzögerung erreicht. Letztendlich strömt der Großteil des abgeregneten Wassers einem Meer oder Ozean zu und der Kreislauf schließt sich. Ein kleiner Teil verdunstet bereits vorher wieder zu Wasserdampf (vgl. DYCK und PESCHKE 1995).

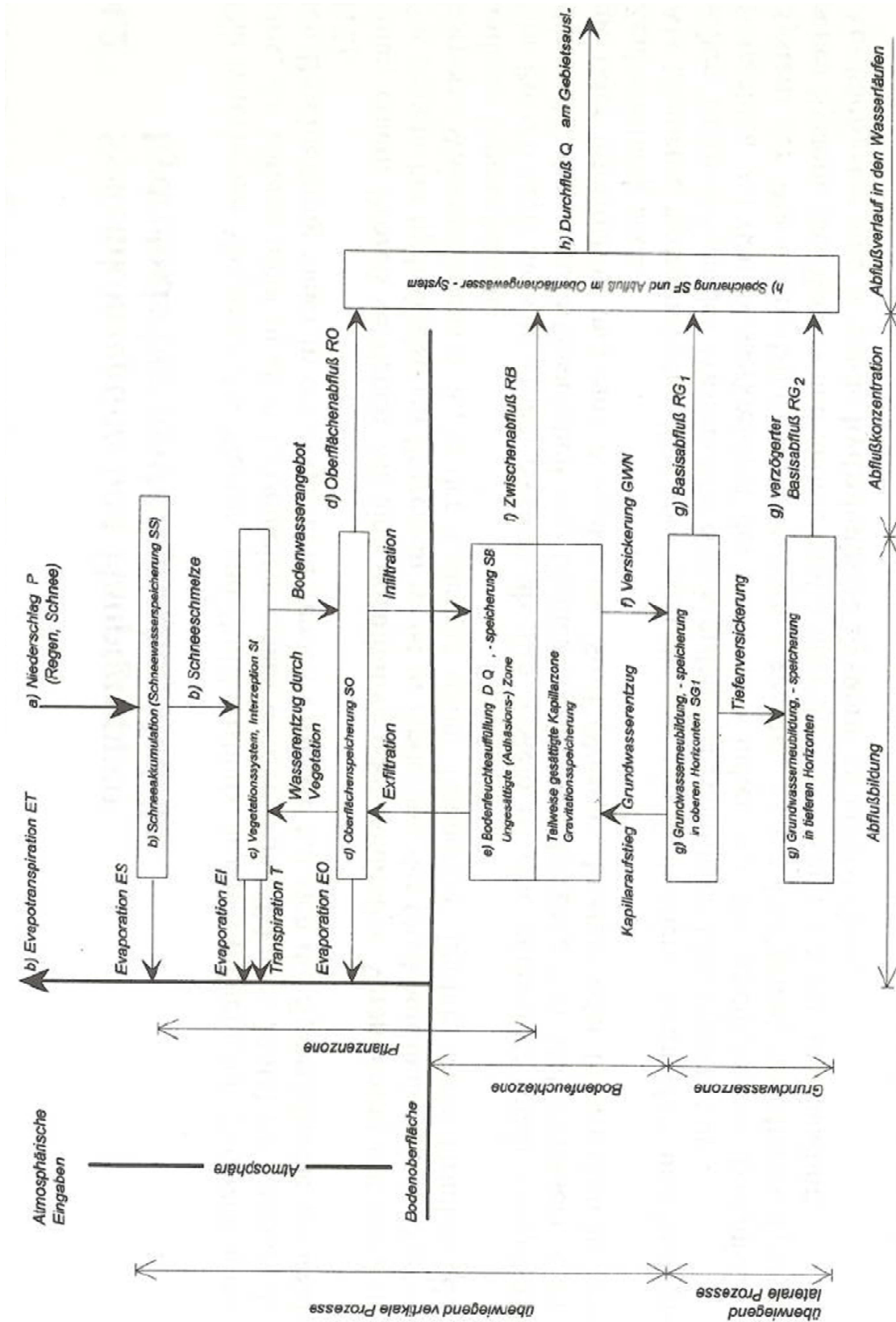


Abb. 10: Teilprozesse der Landphase im Wasserkreislauf (Vgl. DYCK und PESCHKE 1995)





## 3 ANALYSE HYDROLOGISCHER MESSDATEN DER PERIODE 1981-2010

Dieses Kapitel dokumentiert die Ergebnisse von Projektarbeiten des Hydrographischen Dienstes Kärnten. Es wurden dabei Messdaten der Periode 1981-2010 ausgewertet, welche für die Betrachtung des Wasserhaushalts in Kärnten bedeutsam sind.

Als Ausgangsdaten wurden Niederschlags-, Temperatur und Abflusswerte aus Kärnten und Osttirol verwendet, welche vor den Analysen auf Messfehler kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert worden sind. Aus den korrigierten Stationsmessdaten wurden einerseits Gangliniendiagramme erzeugt, zum andern bilden sie die Basis für interpolierte Flächendarstellungen (Karten) der Temperatur und des Niederschlags. Die Messdaten dieser Studie stammen von den Messstationen des HD (Hydrographischer Dienst) Kärnten, HD Steiermark, HD Tirol, von der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) und der VHP (VERBUND Hydro Power AG).

### 3.1 Lufttemperatur

Das Beckenklima des Kärntner Zentralraums präsentiert kontinentale Züge mit kalten Wintern und warmen, relativ trockenen Sommern. Die gebirgigen Randgebiete hingegen zeichnen sich, bis auf den Nordosten, durch hohe Niederschlags- und Schneemengen aus. Kärnten liegt klimatisch in der gemäßigten Zone. Doch aufgrund der vielfältigen Morphologie des Landes kommt es zu regionalen klimatischen Eigentümlichkeiten. Vom Hochgebirgs- bis zum Beckenklima reicht die klimatische Vielfalt, die sich in einer varietätsreichen Fauna und Flora widerspiegelt. Zudem sorgt die Exposition der zumeist W-O gerichteten Gebirgsketten für ausgeprägte Sonn- und Schattseitenlagen. Besondere Auswirkungen zeigt der Alpenhauptkamm, welcher Witterungseinflüsse aus dem Norden und Nordwesten oft stark abmindert (vgl. PASCHINGER 1976).

Die Temperatur nimmt je 100 m Höhenzunahme in unseren Breiten um etwa 0,5 °C bis 0,7 °C ab. Diese Abnahme variiert während der Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen. Am Rande eines großen Gebirgszuges ist die Abnahme höher, als etwa in einem zentralalpinen Hochgebirge, was an einer höheren natürlichen Waldgrenze in den Zentralalpen beobachtet werden kann. Die beckenotypische Inversionswetterlage führt zu Kaltluftseen und zu einer ansteigenden Temperatur bis zur Wolkenobergrenze (~1000 m). Danach sinkt die Temperatur wieder. Bei Inversionswetterlagen kann es oberhalb der Wolkengrenze um 15 °C wärmer sein, als am Beckenboden. Nur sehr kräftige Luftbewegungen dringen bis zum Boden und können die Kaltluft beseitigen, daher hält sich eine Inversionswetterlage oft über mehrere Tage.

Abb. 11: Leichte Inversionswetterlage über dem Klagenfurter Becken (HOLZEIS 2005)



Der Kältesee Kärntens übertrifft an Ausdehnung und Tiefe alle anderen Kälteseen der Ostalpen (Lungau, Judenburger Becken, Laibacher Becken). So hat der Hochobir (2044 m) dieselbe Jännertemperatur wie Tröpolach im Gailtal (593 m) mit  $-7,0^{\circ}\text{C}$  (PASCHINGER 1976). Aufgrund der Kaltluftseen des Beckens ist die Anzahl der Frosttage (Temperatur sinkt am Tag einmal unter  $0^{\circ}\text{C}$ ) in den Gunstlagen von 1000 m – 1300 m niedriger, als am Talboden.

**Sonnenscheindauer:** Die Sonnenscheindauer beschreibt die Dauer der Sonneneinstrahlung in Stunden oder in Prozent der theoretisch möglichen Dauer unter Berücksichtigung der horizontalen Abschirmung durch Berge. Sie ist ein Maß für die witterungsmäßige Begünstigung eines Ortes zu verschiedenen Zeiten des Jahres. Orte in Becken und Tälern sind oftmals durch Nebellagen und den Schattenwurf der Berge benachteiligt, wo hingegen jene oberhalb der Nebelschicht begünstigt werden. Hochgebirgsregionen und Gipfel erhalten aufgrund der ausgeprägten Wolkenbildung im Sommer weniger Sonneneinstrahlung.

Sonnenscheindauer im Jahresmittel (Quelle: ZAMG):

Klagenfurt	45%
Diex	50%
Kanzelhöhe	51%
Laas	55%
Obir	47%
Sonnblick	38%



Abb. 12: Sonnenuntergang am Tresdorfer Feld im Mölltal mit Blick Richtung Sadniggruppe (HOLZEIS 2008)

Im Winter verzeichnen viele Regionen Oberkärntens eine Sonnenscheindauer von über 50 %, das Becken nur 30-40 % und in Klagenfurt sind es lediglich 25-30 % (58% im Sommer). Die Schwankungen sind über ein Jahr betrachtet in den tiefer liegenden Regionen stärker als in den höher gelegenen (vgl. PASCHINGER 1976).

### 3.1.1 Messdatenerfassung der Lufttemperatur

Die Lufttemperatur  $LT$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] variiert mit der Höhe. Auch die Umgebung und der Boden nehmen Einfluss auf die Temperatur, zumal Vegetation einen kühlenden Effekt und die Bestrahlung einer dunklen Felswand einen erwärmenden und speichernden Effekt hat. Mikroklimatisch betrachtet können hierbei große Temperaturunterschiede festgestellt werden. Um die mikroklimatischen Umgebungseinflüsse zu mindern, wird die Temperatur im Schatten in einer Höhe von  $\sim 2$  m gemessen.

Häufig wird die Lufttemperatur auch als Durchschnittswert - oder Tagesmittel - angegeben. Aus den Tagesmitteln werden Monatsmittel und Jahresmittel errechnet.

#### 3.1.1.1 Messgeräte

Für die Messung der Lufttemperatur wird ein Thermometer bzw. Thermograph (analog) oder ein Lufttemperatursensor (digital) verwendet (siehe Abb. 13:). Durch eine Jalousieverkleidung wird die direkte Sonneneinstrahlung auf das Messgerät vermieden.

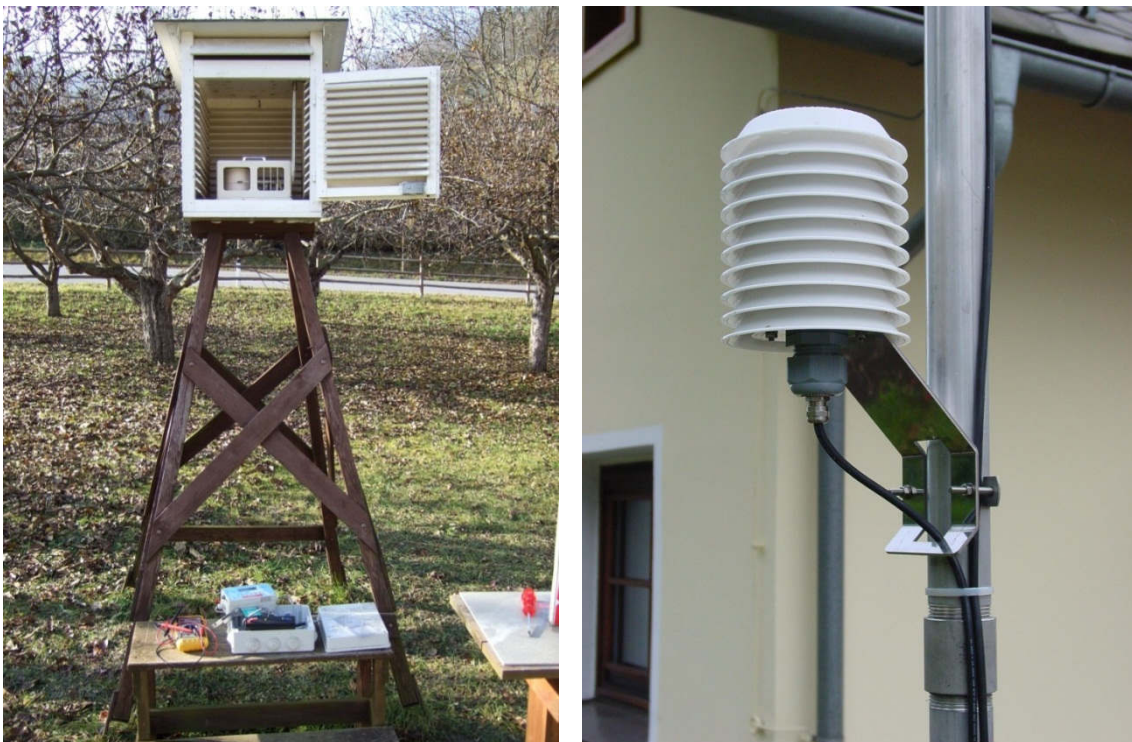


Abb. 13: Links: Landzerhütte mit einem Thermograph (analog), rechts: elektronischer Thermometer (digital) (Fotos: LJUBA, WERNEGGER)

Früher wurden die Messstationen von Beobachtern betreut, welche die Temperatur des Thermometers um 7h, 14h und um 21h ablasen und festhielten. Heute sind sie mit einem elektronischen Datensammler ausgestattet, der die Temperaturen im  $\frac{1}{4}$ -Stunden Takt misst und per Modem an den Hydrographischen Dienst (HD) Kärnten weiterleitet. Die Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert und von Messfehlern bereinigt.

Neben der Lufttemperatur werden an den Kärntner Messstationsanlagen Niederschlag und teilweise auch Windstärke und -richtung gemessen.



Abb. 14: Messstationen des HD Kärntens (Temperatur und Niederschlag). Die orange Umrandung markiert die Stationen, welche unter den Punkten Lufttemperatur und Niederschlag „Stationsdaten“ detailliert gezeigt werden.

### 3.1.1.2 Datenprüfung, Korrektur und Aggregation von Messdaten der Lufttemperatur

Die Messdaten der Stationen werden entweder vom Fachpersonal ausgelesen oder via Modem in die Datenbank der Hydrographie eingespeist. Danach müssen sie auf Fehler und Plausibilität geprüft werden. Für diese Studie wurden sämtliche Daten der Parameter Lufttemperatur, Seetemperatur und Niederschlag zwischen 1981 und 2010 mittels Flächen(Karten) und Stationsdarstellungen (Graphen) nochmals visuell auf Fehlwerte und Messungenauigkeiten untersucht. Erkannte Messfehler wurden aus der Zeitreihe entfernt.

Sind die Messdaten von Fehlern bereinigt, können sie ausgehend von ¼-Stundenwerten bei Datensammlern oder von den drei Beobachterwerten pro Tag zu Tageswerten zusammengefasst, also aggregiert werden. Niederschlagswerte müssen summiert, Temperatur und Abflusswerte hingegen gemittelt werden.

Bei der Darstellung der Lufttemperatur wurden Diagramme für Tageswerte und Lagepläne für Monats- und Jahreswerte verwendet.

Zu erwähnen sei, dass das Tagesmittel in Österreich von den Hydrographischen Diensten und der ZAMG unterschiedlich berechnet wird. Nach der Methode des Hydrographischen Dienstes wird die Temperatur um 7 Uhr, um 14 Uhr und um 21 Uhr gemessen, zusammengezählt und durch drei dividiert:  $(T_{7h} + T_{14h} + T_{21h}) / 3$ .

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) hingegen misst um 7 Uhr, 14 Uhr und 19 Uhr, addiert die minimale und die maximale Temperatur und dividiert sie durch zwei:  $(T_{Max} + T_{Min}) / 2$ .

Beide Methoden entstanden vor vielen Jahrzehnten, als der Umgang mit den großen Datenmengen von zeitlich hochaufgelösten Messreihen noch nicht möglich war (ca. 35.000 Werte bei 15-minütiger Speicherung pro Jahr!). Vergleicht man die Ergebnisse der zwei Methoden mit der heute möglichen Mittelbildung aus hochaufgelösten Daten, so neigt im Allgemeinen die Mittelungsmethode des Hydrographischen Dienstes zu leicht erhöhten, die Methode der ZAMG zu etwas zu niedrigeren Mittelwerten.

In dieser Studie wurden die Tagesmittel der Lufttemperatur nach der Methode des jeweiligen Betreibers berechnet. Da die Werte selbst zu unterschiedlichen Zeiten gemessen wurden, und die Berechnungsmethoden daran angepasst sind, macht es keinen Sinn das Tagesmittel bei allen Stationen nach derselben Methode zu berechnen. Die Karten der Monats- und Jahresmittel entstanden aus dem arithmetischen Mittel der flächig interpolierten Tagesmittel.

### *3.1.1.3 Flächige Interpolation der Lufttemperatur*

Aus den an den Messstationen gemessenen und gemittelten Temperaturwerten wurden mittels Kriging-Interpolation flächig, für ganz Kärnten, Temperaturwerte berechnet. Die Berechnung erfolgte für Rasterzellen von 1 km<sup>2</sup> Größe. Die Höhenabhängigkeit der Temperatur wurde mittels Höhengradienten in der Interpolation berücksichtigt. Der jeweils aktuell vorhandene Gradient wurde aus den Messwerten der auf unterschiedlicher Höhe liegenden Messstationen ermittelt.

In einem ersten Schritt wurden sämtliche Messwerte mit dem ermittelten Gradienten auf eine gemeinsame Berechnungshöhe „verschoben“. Auf dieser Berechnungshöhe, in unserem Fall 1000 m, erfolgte im zweiten Schritt die eigentliche Interpolation, indem für jede Rasterzelle von 1x1 km ein angenäherter Temperaturwert berechnet wird. Im dritten Schritt wurden die Werte der Berechnungsebene wieder an das Relief Kärntens angepasst. Dies erfolgt wieder mit dem in Schritt eins berechneten Höhengradienten und den aus dem digitalen Höhenmodell bekannten mittleren Höhenlagen aller Rasterzellen.

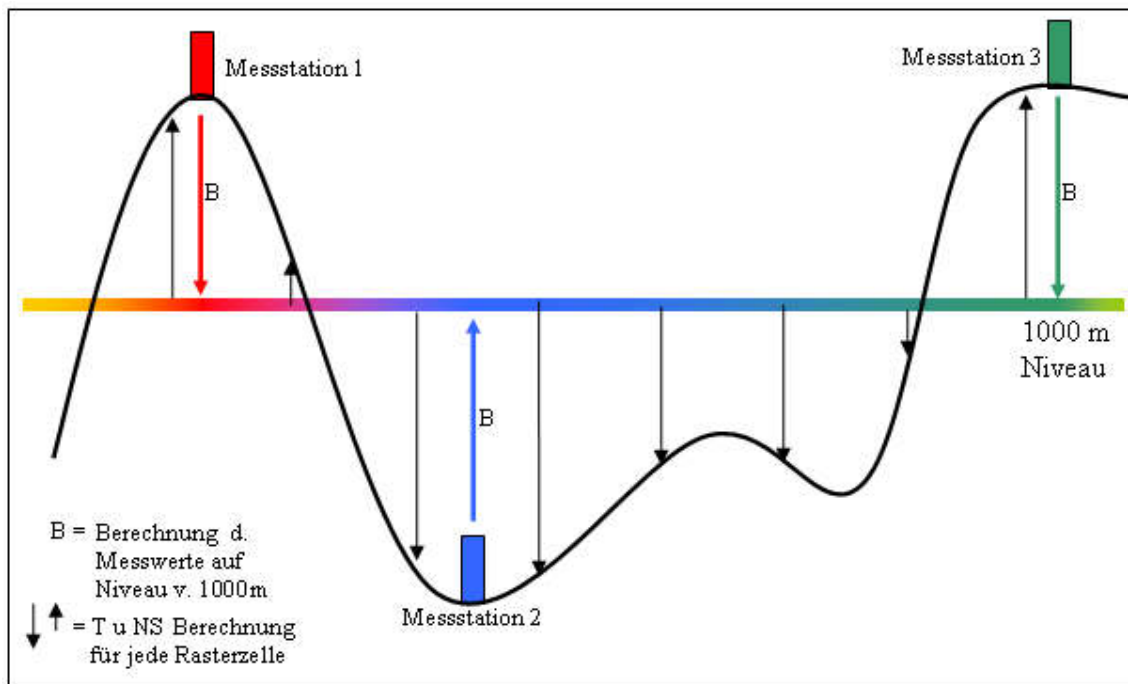


Abb. 15: Interpolation (Kriging) zwischen Messstationen

Nach der Interpolation, hat jede Rasterzelle der Karte, ausgehend von den Stationswerten, einen errechneten Wert. Aus Darstellungsgründen wird in den Karten nur jede 30. Rasterzelle numerisch dargestellt, die weiteren Werte sind entsprechend der Farbpalette dargestellt. Sämtliche Kartenwerke, darunter Jahres- und Monatsdurchschnitte sowie saisonale Auswertungen sind im Teil 2 dokumentiert.

### 3.1.2 Auswertung der Lufttemperatur

Die folgenden Diagramme von Stationsdaten, sowie die flächigen Darstellungen, beziehen sich auf die Auswertungsperiode 1981-2010.

#### 3.1.2.1 Stationsdaten

Die dargestellten Stationsdaten zeigen saisonale Verläufe und beschreiben das mittlere Temperaturgeschehen des Zeitraumes 1981 – 2010. Um die durchschnittliche Lufttemperatur der Periode darzustellen wurden für jeden Tag des Jahres der Mittelwert bzw. die Minima und Maxima der Auswertungsperiode ermittelt.

Die Tagesmittel werden mit einer dicken roten Linie dargestellt, Tagesmaxima mit einer dünnen roten Linie, Tagesminima mit einer dünnen blauen Linie.

## Flussgebiet Lieser - Messstation Malta

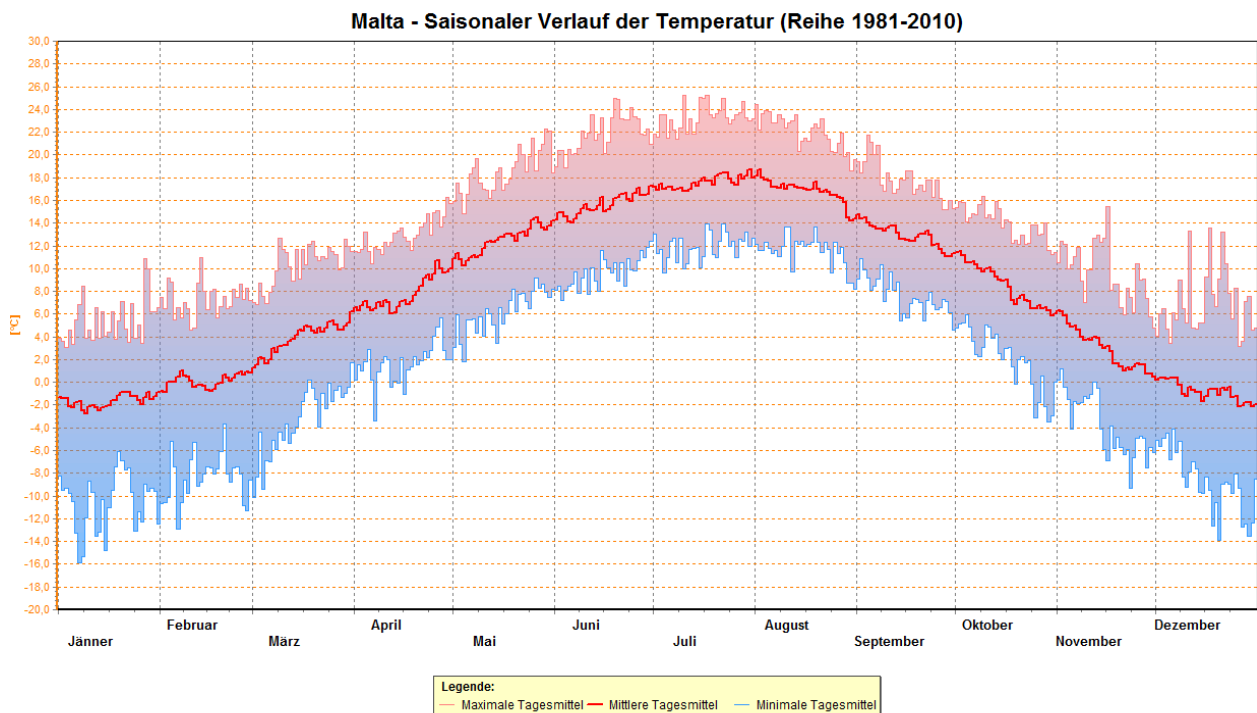


Abb. 16: Lufttemperatur Malta (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel)

**Beschreibung:** Malta liegt auf 843 m zwischen dem Reißbeck im Westen, dem Alpenhauptkamm im Norden und dem Reitereck im Osten. Ab Mitte Jänner beginnt hier in der Regel das mittlere Tagesmittel zu steigen. Besonders im März klettert die Temperatur spürbar nach oben. Ende Juli wird das höchste mittlere Tagesmittel von 18,7 °C erreicht. Das höchste maximale Tagesmittel von 25,2 °C zeigt die Grafik im Juli, ansonsten sind im Sommer maximale Tagesmittel zwischen 22 °C und 24 °C die Regel.

Ab August nimmt die Temperatur wieder langsam ab. Eine rasche Abkühlung von 6 °C kennzeichnet den Oktober und weitere 6 °C den November. Dies sind die Monate mit den stärksten Temperatursprüngen der mittleren Tagesmittel. Im Winter können Föhnwinde für große Temperaturunterschiede sorgen. Obwohl Malta höher liegt als Millstatt zeigt das Diagramm im Dezember wärmere maximale Tagesmittel als in Millstatt (Inversionswetterlagen). Die Temperaturunterschiede im Winter reichen in Malta von -16 °C bis knappe 14 °C und in Millstatt von -14 °C bis 10 °C.

Mittleres Tagesmittel: 8,1 °C (min. -2,8 °C, max. 18,7 °C)

Maximales Tagesmittel: 25,2 °C

Minimales Tagesmittel: -15,9 °C

## Flussgebiet Gail - Messstation Waidegg

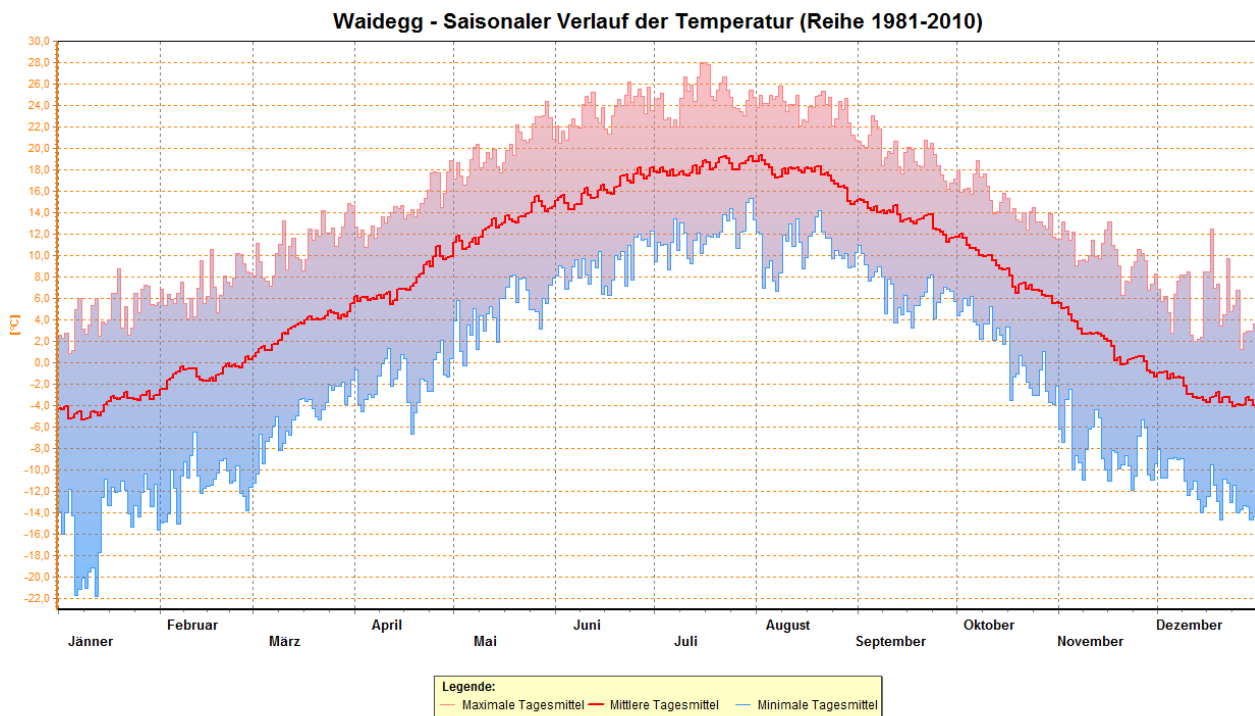


Abb. 17: Lufttemperatur Waidegg (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel)

**Beschreibung:** Waidegg liegt im Oberen Gailtal zwischen der Reißkofelgruppe im Norden und den Mittleren Karnischen Alpen im Süden auf 635 m Seehöhe. Kälteeinbrüche können zu jeder Jahreszeit für Temperaturstürze sorgen, wie Tagesmittel um die 7 °C im August oder rund -22 °C im Jänner zeigen.

Das mittlere Tagesmittel betrachtend ist bereits ab Mitte Jänner ein leichter Aufwärtstrend bemerkbar. Gegen Mitte des Aprils steigt das mittlere Tagesmittel rapide und ab Mai wurden kaum Tagesmittel unter 0 °C mehr gemessen. Das höchste mittlere Tagesmittel erscheint Ende Juli/Anfang August mit 19,3 °C, das höchste Tagesmittel im Juli mit heißen 28 °C.

Die Temperatur nimmt Ende August spürbar ab und sinkt daraufhin bis Mitte Jänner. Der stärkste Temperaturrückgang des mittleren Tagesmittels zeigt sich im Oktober und November, wo innerhalb von zwei Monaten das Mittel um 13 °C fällt und unter 0 °C taucht.

Mittleres Tagesmittel: 7,7 °C (min. -5,3 °C; max. 19,3 °C)

Maximales Tagesmittel: 28 °C

Minimales Tagesmittel: -21,8 °C



## Flussgebiet Gurk - Messstation Klagenfurt TZ

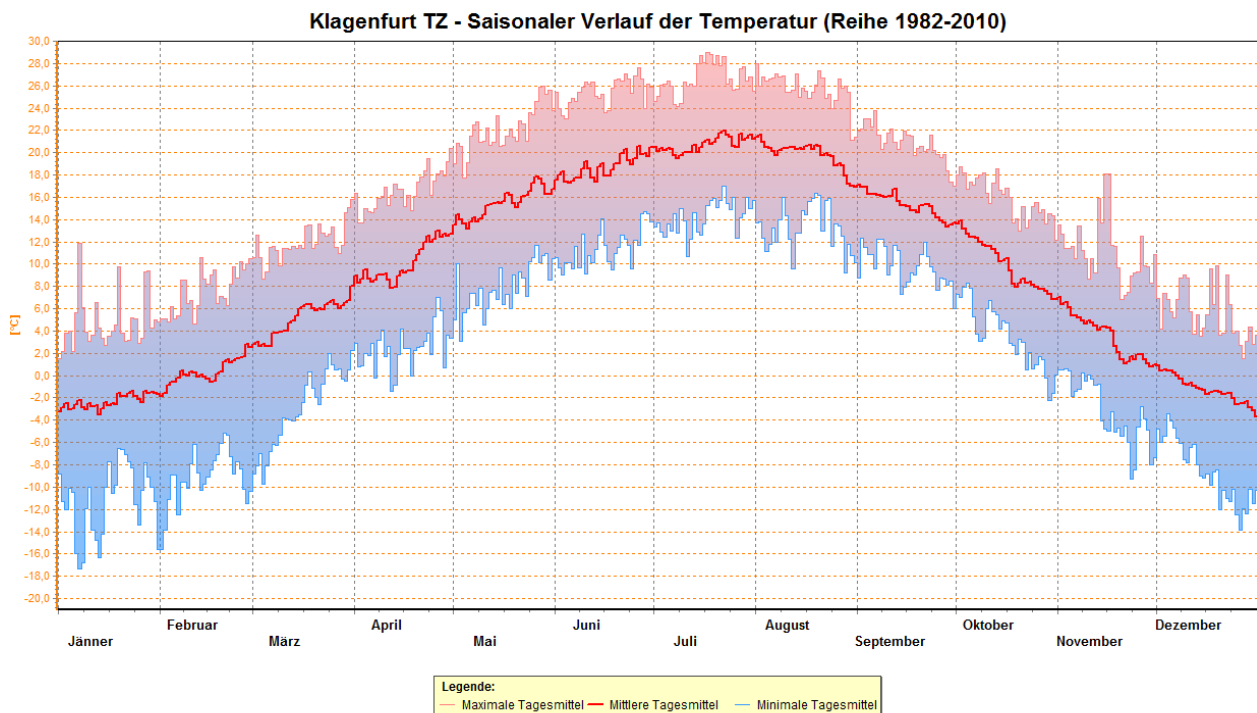


Abb. 18: Lufttemperatur Klagenfurt Technikzentrum (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel)

**Beschreibung:** Klagenfurt liegt am östlichen Ende des Wörthersees im Klagenfurter Becken auf 446 m Seehöhe. Durch die im Herbst becken-typischen Inversionswetterlagen verbirgt sich die Himmelsbläue oft wochenlang über der grauen Nebelschicht. Der Talboden ist oft kälter als die nahegelegenen Anhöhen über ~1000 m (die Nebelschicht verweilt erfahrungsgemäß auf einer Höhe zwischen 700 und 1500 m). Der Herbst wird bereits Anfang September eingeleitet, nachdem das mittlere Tagesmittel innerhalb von einem halben Monat um 4 °C gesunken ist. Einen deutlichen Rückgang zeigen ab September auch die maximalen Tagesmittel, welche sich knapp unter denen des Monats Mai befinden. Ab Oktober bilden sich allmählich Inversionswetterlagen, welche im November am stärksten ausgebildet sind. Die gefühlte Kälte ist aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit hoch. In den ersten Wochen des Dezembers sinkt das mittlere Tagesmittel unter 0 °C und erreicht den Tiefpunkt im Jänner bei rund -4 °C. Hohe Temperaturunterschiede zwischen -17 °C und 12 °C kennzeichnen den Jänner. Ab Mitte Jänner ist die Tendenz des mittleren Tagesmittels wieder aufsteigend. Vor allem ab Mitte Februar zeigt sich dieser Trend deutlich.

Auf sämtlichen hier gezeigten Stationsdiagrammen ist Ende März/Anfang April ein positiver Temperaturverlauf zu sehen. Kälteeinbrüche jedoch können den Ostern Kärntens bis ins Frühjahr mit Schnee bedecken. Das mittlere Tagesmittel steigt bis Mitte/Ende Juli auf 22 °C an. Das maximale Tagesmittel von 29 °C ist eines der höchsten in Kärnten und auch das mi-

nimalste Tagesmittel des Sommers von rund 10 °C ist bedeutend wärmer als z.B. jenes mit 4°C in Waidegg.

Mittleres Tagesmittel: 9,7 °C (min. -3,7 °C; max. 22 °C)

Maximales Tagesmittel: 29 °C

Minimales Tagesmittel: -17,3 °C

## Flussgebiet Lavant - Messstation Wolfsberg

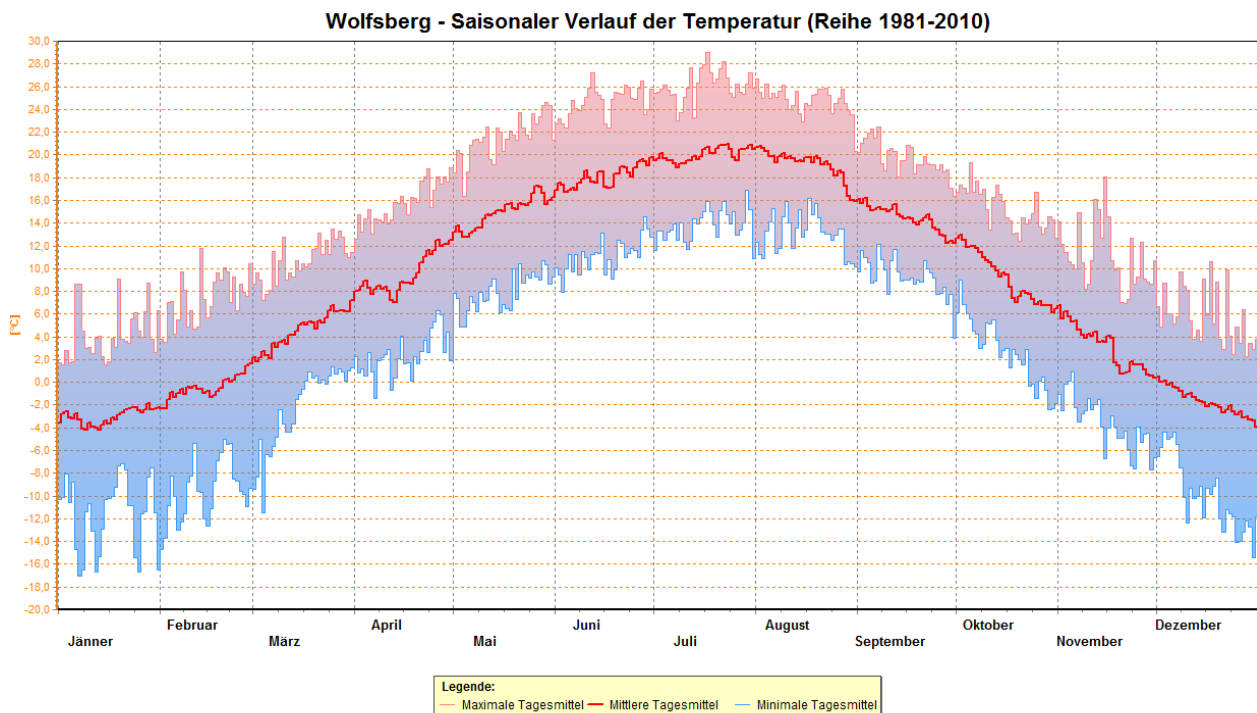


Abb. 19: Lufttemperatur Wolfsberg (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel)

**Beschreibung:** Wolfsberg liegt im Osten Kärntens im Lavanttal auf 463 m Höhe. Im Osten ragt die Koralpe empor, im Westen die Saualpe. Die Temperaturkurve von Wolfsberg ähnelt stark jener Klagenfurts. Ab Mitte Jänner beginnen die Temperaturen zu steigen, verzeichnen jedoch Mitte Februar einen kleinen Einbruch. Im Winter herrscht eine Spanne der Tagesmittel zwischen  $-17\text{ °C}$  und  $12\text{ °C}$ . Auch in Wolfsberg zeigt sich Ende März/Anfang April ein sprunghafter Anstieg des mittleren Tagesmittels, gefolgt von einer Stagnation, eventuell sogar von einem kleinen Temperaturrückgang, zur Mitte des Monats April. Die Temperaturen steigen fortan bis Ende Juli. Im Juli schwanken die Tagesmittel zwischen  $29\text{ °C}$  und  $11\text{ °C}$ , das Mittel kommt auf  $21\text{ °C}$ . Im August pendelt das mittlere Tagesmittel um die  $20\text{ °C}$  und sinkt gegen Ende des Monats um  $4\text{ °C}$ . Im Herbst fallen die Tagesmittel zügig. Der November überrascht in der 30-jährigen Messperiode mit maximalen Tagesmitteln bis zu  $18\text{ °C}$ . Selbiges wurde ebenso in Klagenfurt gemessen. Auch im Dezember ergeben Wärmephasen Werte bis zu  $10\text{ °C}$ .

Mittleres Tagesmittel:  $9\text{ °C}$  (min.  $-4,2\text{ °C}$ ; max.  $20,9\text{ °C}$ )

Maximales Tagesmittel:  $29\text{ °C}$

Minimales Tagesmittel:  $-17\text{ °C}$

### 3.1.2.2 Saisonale Auswertung interpolierter Lufttemperaturwerte

Aus den Messstationen wurden für den Zeitraum 1981-2010 die Stationswerte unter Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit in die Fläche interpoliert. Nähere Informationen zur Interpolation befinden sich im Kapitel 3.1.1.3 „Flächige Interpolation der Lufttemperatur“.

## Mittlere Frühlingstemperaturen – März, April, Mai

Mittlere Temperaturen im Frühling (Reihe 1981-2010)

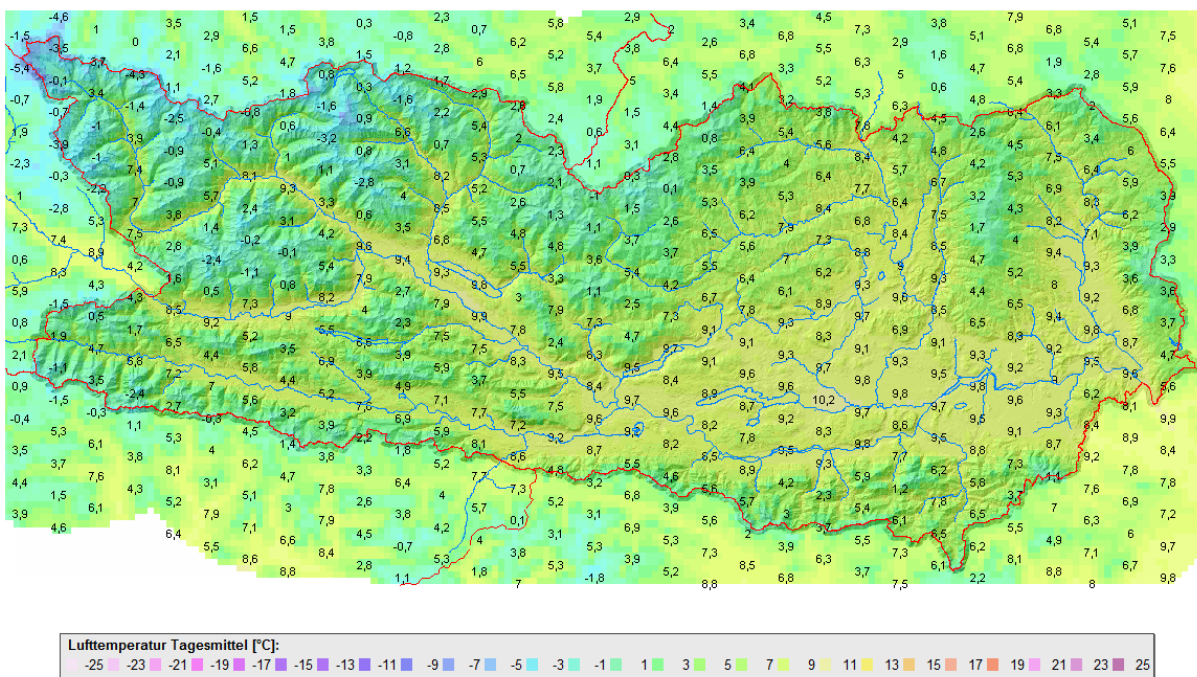


Abb. 20: Mittlere Frühlingstemperaturen

**Beschreibung:** Am wärmsten mit einer Durchschnittstemperatur von rund 10 °C sind von Westen nach Osten Rothenthurn, Villach und Umgebung bis zum Ossiacher See, die Region Wörthersee mit Klagenfurt, sowie die östlichen Gebiete bis Völkermarkt und weiter entlang der Drau bis nach Lavamünd. Auch der Süden des Lavantals zählt zu den wärmeren Gebieten.

Unter den Tälern Oberkärntens ist das Drautal das Wärmste (breiterer Talboden, weniger Schatten). Das Mölltal zeigt im Osten beim Übergang ins Lurnfeld die höchsten Temperaturen, das Gailtal am Südhang des Dobratsch. Die Täler Lesachtal, Maltatal, Liesertal und Oberes Mölltal sind im Vergleich dazu merklich kühler.

Die hochalpinen Berge im Nordwesten Kärntens (Glockner-, Schober-, Sonnblick-, Hochalm Gruppe) sind im Frühjahr unter dem 0-Grad Mittel. Südlich des Drautals und östlich ab den westlichen Nockbergen halten sich die Höhen im positiven Temperaturbereich.

## Mittlere Sommertemperaturen – Juni, Juli, August

Mittlere Temperaturen im Sommer (Reihe 1981-2010)

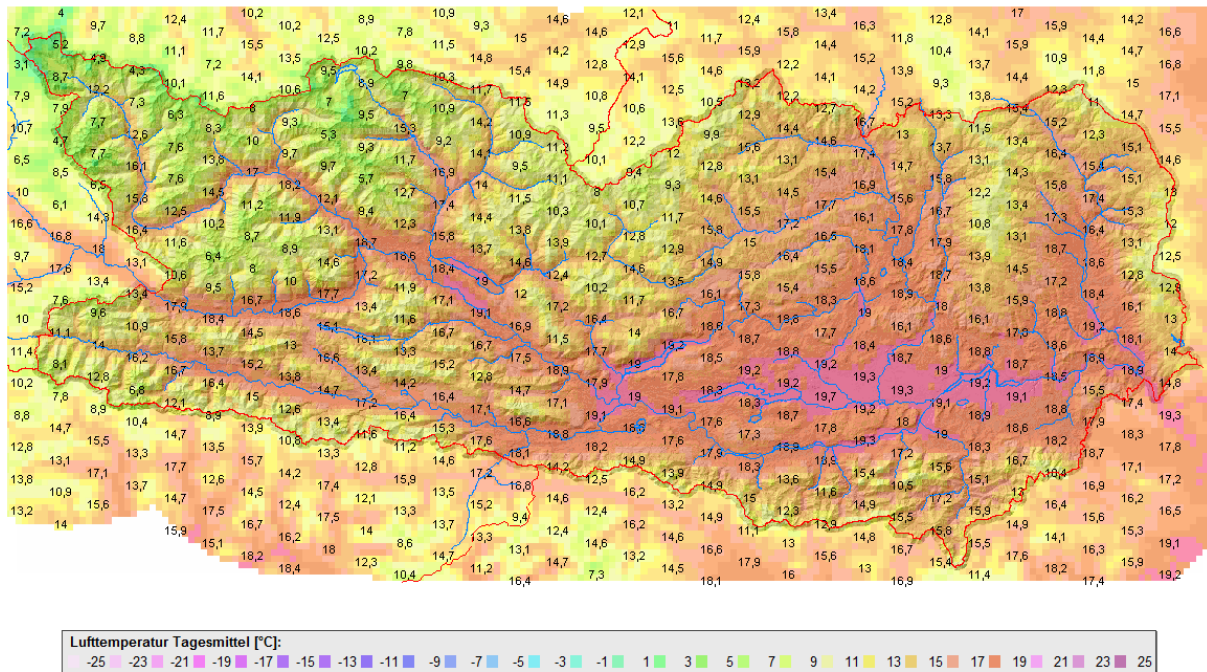


Abb. 21: Mittlere Sommertemperaturen

**Beschreibung:** Die Temperatur-Hotspots des Sommers sind in der Karte mit Lila Farbtönen dargestellt. Die Farbe kennzeichnet Temperaturmittel größer 19 °C. Durch die Mittelung über drei Monate erscheint die Temperatur gering, bedenkt man, dass das maximale Tagesmittel der Temperatur in Klagenfurt bei 29 °C liegt. Auch im Sommer sind es die Gegenden östlich von Spittal und des Millstätter Sees, Villach und der Ossiacher See, die Gegend des Wörthersees und das Klagenfurter Feld, sowie Völkermarkt weiter entlang der Drau bis Lavamünd, die am heißesten sind. Zu den warmen Gebieten zählen außerdem das östliche Rosental und das südliche Lavanttal. Das Lavanttal, Jauntal, Krappfeld, das untere Drautal sowie das obere Drautal bis Irschen und das Untere Mölltal bis Obervellach sind bei einem Mittel von guten 18 °C nur unmerklich kühler. Das Metnitztal, Gurktal, Glantal und Görtschitztal weisen im Sommer ein Mittel von 17 °C auf. Kühler sind die Talböden des mittleren und oberen Mölltals, die ab der Gößnitz unter 17 °C fallen (hier machen sich Talenge und Höhenlage bemerkbar, sodass vor allem die Abendtemperaturen das Mittel drücken). Das Gailtal sinkt ab St. Stefan im Gailtal unter das Mittel von 18 °C, das Malta- und Liesertal sind im Sommermittel bei 15 °C – 17 °C mit dem oberen und mittleren Mölltal vergleichbar.

Im Hochalpin halten sich die mittleren Temperaturen unter 10 °C. Am kühleren sind Glockner-, Schober-, Sonnblick- und Hochalmgruppe. Südlich des Drautals und östlich des Liesertals steigen die mittleren Temperaturen auf den Bergen fast überall auf über 10 °C an. Relativ warm sind im Sommer die Nockberge, die Sau- und Koralm, und die südlichen Gebirge. Am Osthang der Koralm ist der Einfluss des pannonischen Klimas spürbar, sodass in diesem Ge-

biet gerne Pfirsiche und Edelkastanien angebaut werden. An den Berghängen im Nordosten Kärntens sowie am Südhang der Saualpe steigen im Sommer die vom Talboden erhitzten Luftmassen auf und können für starke Gewitter sorgen.

## Mittlere Herbsttemperaturen – September, Oktober, November

Mittlere Temperaturen im Herbst (Reihe 1981-2010)

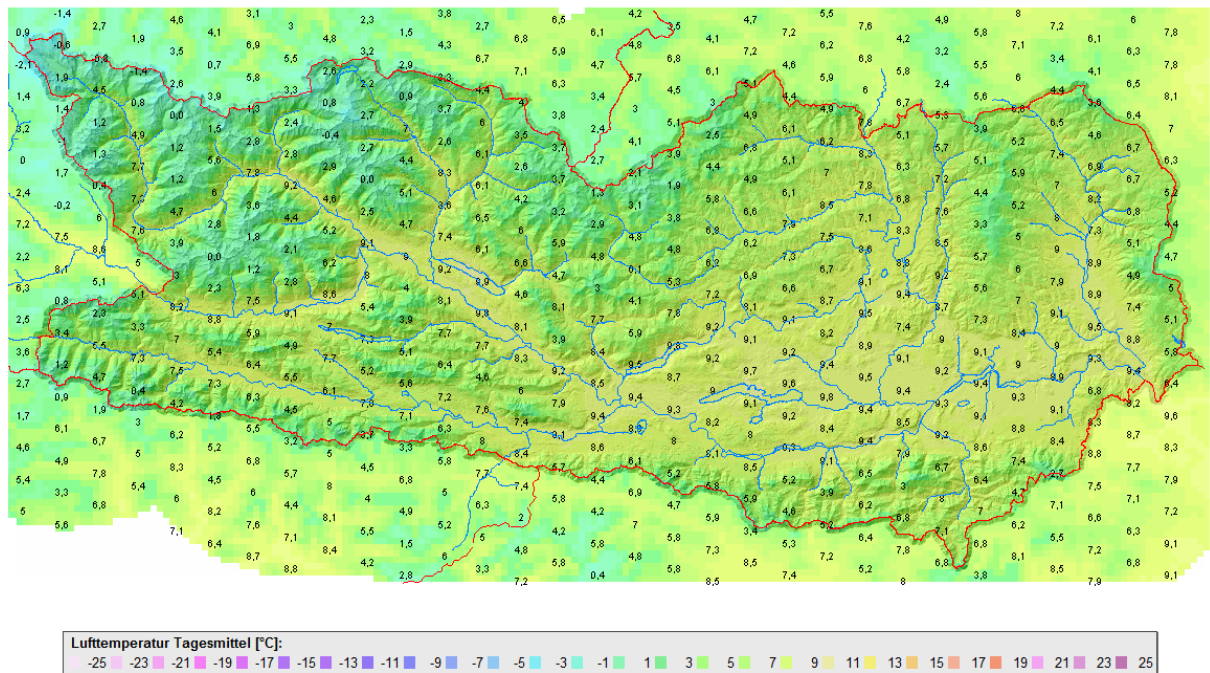


Abb. 22: Mittlere Herbsttemperaturen

**Beschreibung:** Während Klagenfurt im Frühjahr und im Sommer stets die heißesten Temperaturwerte lieferte, wird es im Herbst vom Millstätter See, vom Ossiacher See und Wörthersee westlich von Krumpendorf mit knapp über 10 °C (Klagenfurt 9,8 °C) übertroffen.

Die Täler Oberkärntens behalten ihre Reihenfolge bezüglich der Wärme bei: Drautal (am wärmsten), Gailtal, Mölltal, Malta- und Liesertal. Das Lesachtal ist am Talboden etwa mit dem Liesertal zu vergleichen.

Auf Kor- und Saualpe sinken die mittleren Temperaturen auf rund 3 °C, auf den Nockbergen auf 1-3 °C herab. Ein wenig wärmer zeigen sich die Temperaturen an der südlichen Landesgrenze. Unter dem 0 °C-Mittel liegen die Höhen der Großglockner-, Schober-, und Sonnblickgruppe.

## Vergleich der mittleren Herbst- und Frühlingstemperaturen

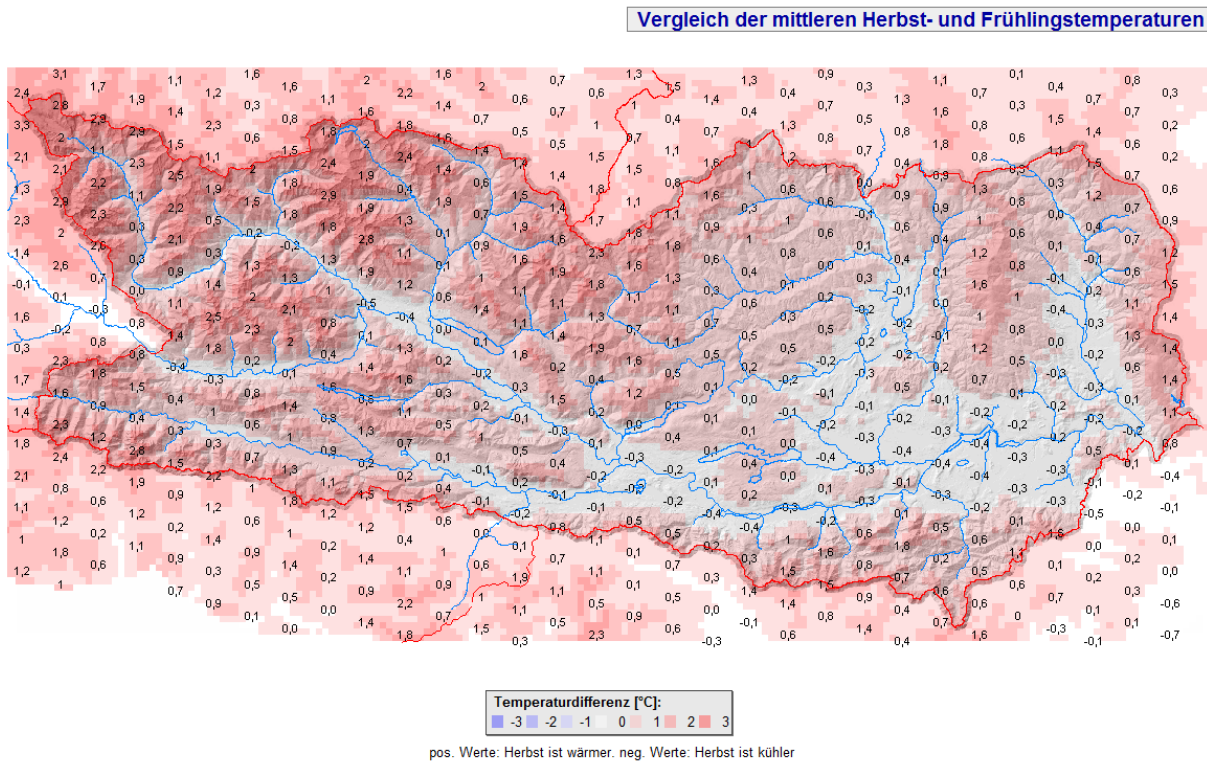


Abb. 23: Vergleich der mittleren Herbst- und Frühlingstemperaturen

**Beschreibung:** Diese Karte zeigt die Differenz der 30-jährigen Temperaturmittel der Frühlings- und Herbstkarte. Positive Werte zeigen Gebiete, in denen die Herbsttemperaturen wärmer, negative Werte wo die Herbsttemperaturen niedriger sind, als im Frühjahr. Diese kennzeichnen die vor allem im Herbst auftretenden Inversionswetterlagen.

Die Flachlandbereiche und Talböden sind um etwa 0,1-0,4 °C kühler. Hingegen sind höhergelegene Täler wie das Malta- und Liesertal oder das Lesachtal sowie das obere Mölltal wärmer. Mit zunehmender Höhe steigt in der Regel auch der positive Unterschied zum Frühjahr. Im Großglocknergebiet führt dies zu einem Plus von 3,9 °C, während die umliegenden Berge um immerhin 2-3 °C wärmer sind. Auf den südlichen Bergketten und den östlichen Nockbergen ist der Temperaturunterschied etwas geringer.



## Mittlere Wintertemperaturen - Dezember, Jänner, Februar

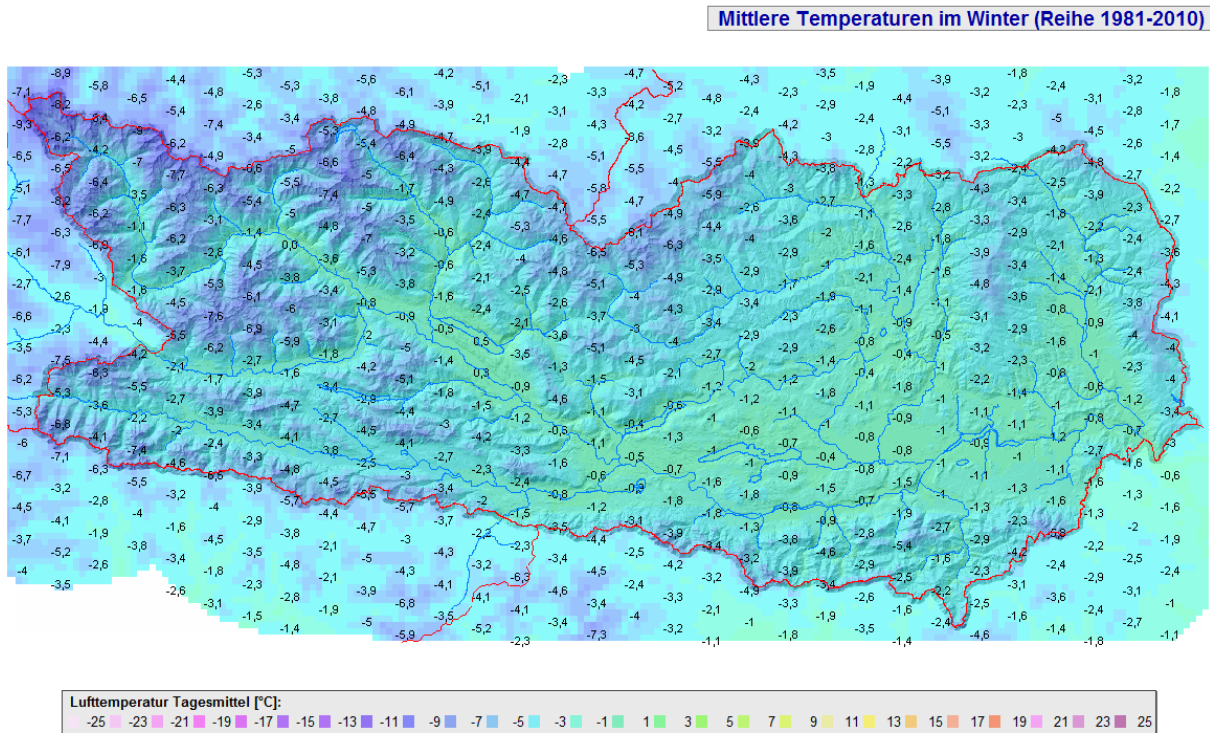


Abb. 24: Mittlere Wintertemperaturen

**Beschreibung:** Die einzigen Gebiete mit einem Temperaturmittel über Null sind im Umkreis des Millstätter Sees und von Rothenthurn zu finden (mit bis zu 0,8 °C). Knapp unter null Grad (-0,5 °C bis 0 °C) herrschen im Unteren Mölltal, im südlichen Teil des Lieser- und Maltals, in der Gegend um Villach und am Ossiacher See, am Wörthersee und in Klagenfurt, zwischen St. Veit a.d. Glan und Launsdorf und um Lavamünd.

Die Talböden des Mölltals und des Oberen Drautals sind ähnlich temperiert, das Gailtal ist geringfügig kühler. Am Weißensee sind Temperaturmittel zwischen -2,5 °C und -3 °C vorherrschend, sodass sich in der Regel eine dicke Eiskecke zum Schlittschuhlaufen bilden kann.

Auf den Bergkuppen der Sau- und Koralpe bewegen sich die Temperaturmittel um die -5 °C, ebenso in den Nockbergen. Minimal wärmer erscheinen die Karawanken über weite Teile, jedoch zeigen die höchsten Bergspitzen Temperaturmittel bis ca. -6 °C. Die Karnischen Alpen mit mittleren Werten zwischen -5 °C und -6 °C sind generell etwas kühler. Bis zu -8 °C sind es bei der Kellerwarte, südlich der Hohen Warte. Noch kühlere Werte zeigt die Karte in den Tauern. Bis zu -9,1 °C auf der Hochalmspitze, -10,3 °C in der Sonnblickgruppe und -10,5 °C am Großglockner.

## Mittlere Jahrestemperaturen

Mittlere Jahrestemperaturen (Reihe 1981-2010)

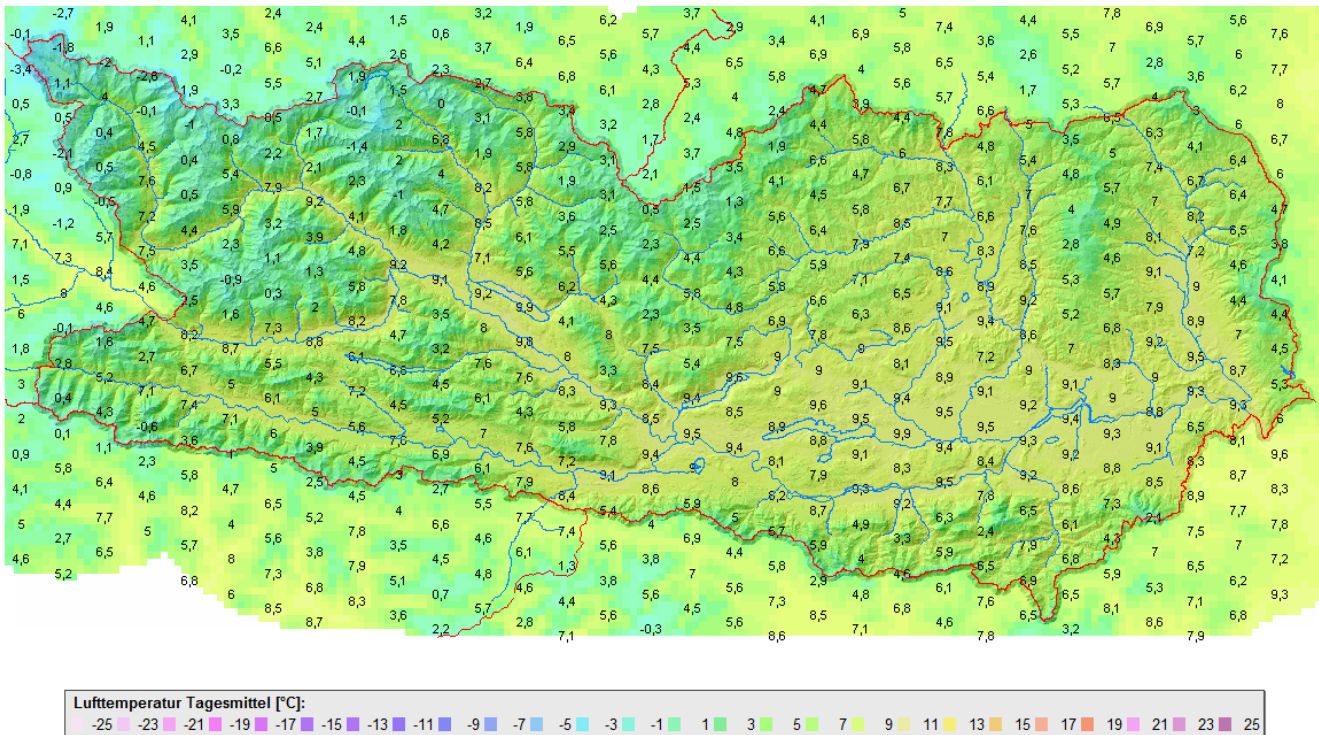


Abb. 25: Mittlere Jahrestemperaturen

**Beschreibung:** Über das gesamte Jahr betrachtet sind es der Millstätter See mit der Region um Rothenthurn (bis 10,2 °C), das Gebiet zwischen Villach und Ossiacher See (bis 9,8 °C), der Wörthersee sowie das Klagenfurter Becken (bis zu 9,9 °C) und Abschnitte an der Drau bis Lavamünd (bis 9,7 °C), welche am wärmsten sind. Die Ebenen des Kärntner Zentralraums, das Lavanttal, das südliche Görttschitztal, das Krappfeld und die Gegend südlich davon, das Untere Drautal und das Obere Drautal bis Dellach im Drautal und das Untere Mölltal sind mit Temperaturmittel um die 9 °C für Kärntner Verhältnisse relativ warm. Die restlichen Talböden zeigen, sofern sie nicht hoch gelegen sind, um die 8 °C.

Auf den Bergen sind das Glockner Gebiet mit bis zu -5,3 °C, die Sonnblickgruppe mit Temperaturmittel bis -4,2 °C und die Hochalmspitze mit -3,9 °C die kühlest Flecken Kärntens. Etwas südlicher, in der Kreuzeckgruppe mit dem Polnik (2784 m) als mächtigsten Vertreter verlaufen die kühlest Temperaturen nur mehr um die -0,9 °C. Noch weiter südlich, in den Karnischen Alpen, sind Minuswerte kaum mehr vorhanden. Die im Winter kalte Hohe Warte zeigt im Jahresmittel -1,4 °C. Diese Bergspitze ist laut Modelldaten der kühlest Ort der südlichen Gebirge. Der Großteil der Kärntner Berge hat ein positives Jahrestemperaturmittel.

## Mittlere Tagesmittel der Temperatur in Kärnten (Periode 1981-2010)

Zuletzt zeigt eine Tabelle die mittleren Tagesmittel, die sich aus dem Mittel sämtlicher Rasterzellen in Kärnten, ob Berg ob Tal, ergeben.

**Temperaturen in Kärnten**

<b>Monat</b>	<b>Min</b>	<b>Mittel</b>	<b>Max</b>
Jan	-8,54	-3,64	0,35
Feb	-7,68	-2,36	1,95
Mär	-4,24	1,19	5,33
Apr	2,54	5,06	9,07
Mai	6,20	10,25	12,81
Jun	10,83	13,50	17,54
Jul	13,09	15,58	18,70
Aug	12,05	14,96	18,67
Sep	7,41	10,98	14,03
Okt	3,47	6,59	9,78
Nov	-2,83	1,04	4,81
Dez	-5,92	-2,80	0,06
<b>Jahr</b>	<b>4,35</b>	<b>5,9</b>	<b>7,38</b>

Die mittlere Tagestemperatur in Kärnten für die Periode 1981 – 2010 beträgt 5,9 °C

## 3.2 Niederschlag

Kärnten hat sein mittleres Niederschlagsmaximum im Juli und August, mitunter auch durch zahlreiche kurze aber ergiebige Gewitter. Sein Niederschlagsminimum ist im Februar. In den südlichen Landesteilen wie den Karawanken, Karnischen Alpen und den Gailtaler Alpen ist ein zweites Niederschlagsmaximum im Oktober, bedingt durch Niederschlagsfronten vom Mittelmeerraum (Mittelmeer-/Adriatief), bemerkbar. Strömungen aus dem Süden und Westen bringen in der Regel feuchte Luftmassen, während vom Osten kontinentale, trockene Luftmassen zu erwarten sind. Witterungen aus dem Norden sind meist feucht und kalt und transportieren polare Luftmassen. Strömungen aus dem Norden sind vor allem im Winter und im Frühling zu beobachten.

Eine Wetterlage zeigt, aus welcher Himmelsrichtung sich eine Witterung annähert (via Hoch- und Tiefdruckgebieten), und welche morphologischen Geländeformen Einfluss auf die Luftmassen und die Witterungsdynamik nehmen. Die häufigsten Wetterlagen gehen auf westliche Strömungstendenzen (NW, W, SW) zurück (vor allem im Sommer). Bei etwa der Hälfte aller in Klagenfurt gemessenen Niederschläge ist ein Tief im oberitalienischen Raum ausschlaggebend. Bei einer Tagesniederschlagsmenge von mehr als 10 mm steigt der Prozentsatz auf 90 %. Dennoch darf nach Troschl dieses Tief nicht unbedingt als alleiniger Auslöser angenommen werden, es fungiert manchmal nur als Verstärker der Niederschläge. Häufig sind es sogenannte Höhentroglagen, die größere Niederschlagsereignisse bringen. Ein Höhentrog ist ein Gebilde tiefen Luftdrucks in hohen troposphärischen Schichten. Das Gebilde ist mit Kaltluft gefüllt, welches aufgrund des hohen Gewichts die darunter liegenden Schichten zusammendrückt und zyklonal krümmt. Eine südliche bis südwestliche Höhenströmung bringt feuchtlabile Warmluft, welche sich abkühlt und abregnet. In den bodennahen Schichten können Gegenströmungen aus dem Norden und Osten auftreten (vgl. <http://www.deutscherwetterdienst.de> und TROSCHL 1971).

Niederschlagsfronten aus W und NW werden häufig von den Hohen und Niederen Tauern abgefangen (Luvseite). Teile Kärntens können vom Regen verschont bleiben (Leeseite). Im Süden sind es die Karawanken, die Julischen- und die Karnischen Alpen, welche Fronten aus dem SW abfangen können. In der Regel schwappt jedoch der Niederschlag über die Luvseite hinüber, sodass nahe Gebiete der luftabgewandten Seite auch von reichlich Niederschlag gekennzeichnet sind. Durchbrüche finden die feuchtwarmen Luftmassen an den Tiefpunkten der südlichen Kalkalpen. Dies sind in den Karawanken der Seebergsattel und der Loiblpass, in den Julischen Alpen die Predil-Tarvis Furche, in der Karnischen Kette beim Nassfeld, beim Plöcken und am Westende der Kreuzbergsattel in der Piavetalfurche (vgl. TSCHADA 1971b).

Das nördlich der Karnischen Alpen gelegene, West-Ost verlaufende Gailtal zählt zu den niederschlagsreichsten Regionen Österreichs. Nirgends sind die Auswirkungen von Tiefdruckstörungen aus dem Adriagebiet so ausgeprägt wie hier. „Obwohl diese Störungen aus dem Süden vorzugsweise im Herbst auftreten, kann durchaus auch der Frühsommer beachtliche Niederschlagssummen aufweisen. Die großen Feuchtigkeitsmengen, die vom warmen Mittelmeer mit Winden aus südlicher Richtung den Gebirgen zuströmen und an der Leeseite abregnen, bewirken eine bedeutend höhere Überregnung des Gailtalsgebietes. Dementsprechend weisen die südlichen Zubringerbäche auch wesentlich höhere Abflussschwankun-

gen mit extremer Geschiefbeführung auf („torrenter Gewässertyp“) (WEISSEL 2004). Die herbstlichen Niederschläge reichen in der Höhe weit nach Norden: Selbst der Großglockner und der Sonnblick zeigen ein zweites Niederschlagsmaximum im Oktober. Ferdinand Tschada betrieb zahlreiche Studien zu meteorologischen und hydrologischen Verhältnissen in Kärnten und beschrieb das Wettergeschehen durch Wetterzugstraßen, wie sie in Abb. 26: zu sehen sind.

„Das maßgebende Wettergeschehen ist jenes aus der Biskaya und aus dem Golf von Genua, der Wetterzugstraße Vb, welches, gegen den Alpenrand geworfen, diese am Ostrand in der Richtung zum baltischen Raum umzieht und durch die Tiefpunkte der Umrahmung in das Draugebiet eindringt“ (TSCHADA 1971a).

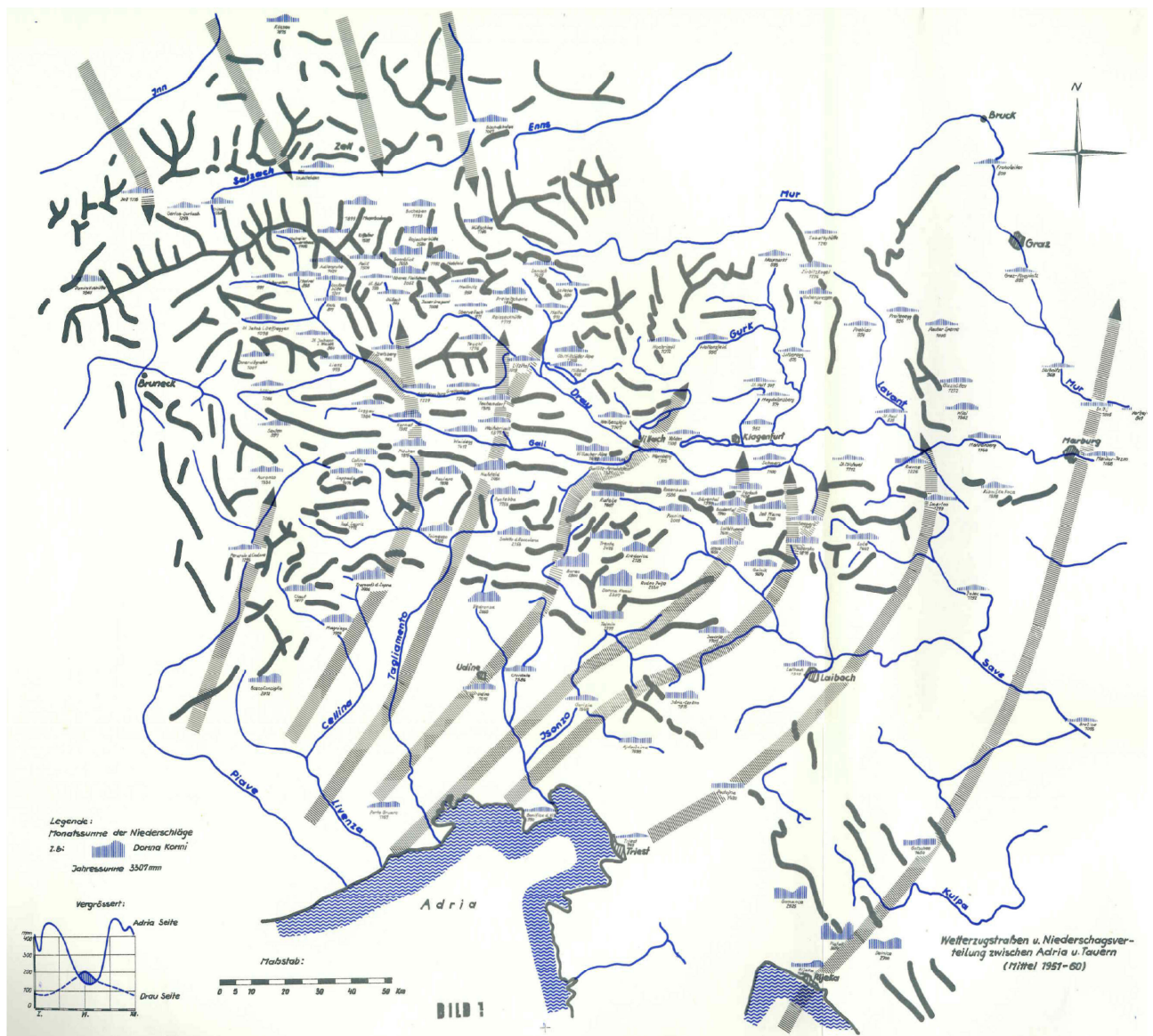


Abb. 26: Wetterzugstraßen nach Ferdinand Tschada 1971b

## Saisonale Wetterlagen

**Winter:** Erfahrungsgemäß ziehen im Winter Ausläufer eines russischen Hochs über die Ostalpen. Dies führt zu Windarmut sowie zu Kälte- und Nebelbildungen in den Tieflagen. Ostwinde bringen Kaltluft in den Ostalpinen Raum. Nördlich und südlich des Hochs ziehen Tiefdruckgebiete mit wärmeren Luftmassen heran und gleiten langsam auf die Kaltluft auf. Es kommt zum Wärmeaustausch. Die wärmere Luft kühlt sich ab, kann die mittransportierte Feuchtigkeit nicht mehr halten und Niederschläge setzen, oft in Form von Schneefällen, ein. Durch den Wärmeaustausch kann es jedoch auch zu einer Erwärmung kommen, welche besonders um Weihnachten herum Tauwetter bringt.

**Sommer:** Ausläufer des Azorenhochs beeinflussen unseren Sommer und bringen mit über dem Meer liegenden Hochdruckgebieten feuchte West- und Nordwestwinde, die sich am nördlichen Alpenrand abregnen. Die Leeseite (südlich des Alpenhauptkamms) ist in Bezug auf sommerliche Niederschläge etwas benachteiligt.

Im Sommer häufen sich auch die Gewitter in Kärnten. Die Zahl der Gewitter variiert je nach Gebiet. So gibt es in den Tälern Oberkärntens etwa 10-20 im Jahr, während am nördlichen Beckenrand zwischen 30 und 40 zu erwarten sind. Am Nordrand steigt die erhitze Luft auf und bildet mächtige Wolkenschichten, welche mit der NW-Strömung über das Becken nach SO wandern. Besonders gute „Heizflächen“ befinden sich im Glantal, im Krappfeld und im Gebiet um Völkermarkt. Seltene aber schwere Gewitter bringen SO-Winde in das Klagenfurter Becken. Am häufigsten treten Gewitter im Juli, dem heißesten Monat auf. Bei den Sommergewittern kann es auch hageln. Die gefährdetsten Gebiete sind das Obere Glantal, das Krappfeld und der Südhang der Saualpe. Auch Althofen und Völkermarkt sind anfällig für Hagelschlag.

**Frühling:** Im Frühjahr kommt es zum Abzug des winterlich russischen Hochs. Das Wetter ist mild und wechselhaft. Die Kälte meldet sich zurück, wenn polare Kaltluft eindringt und klare Nächte die Ausstrahlung begünstigen.

**Herbst:** Die gleichmäßige Druckverteilung über dem Land und über dem Meer kennzeichnet den September mit geringem Luftmassenaustausch, spärlicher Wolkenbildung und starker Ausstrahlung bei Nacht. Die angenehme Witterung (Altweibersommer) dauert in der Regel bis Mitte Oktober an. Anschließend machen sich Genua- und Adriatiefs über den Südalpen breit und leiten mittels feuchter Süd- und Südwestwinde den regnerischen Herbst ein (vgl. PASCHINGER 1976).

### 3.2.1 Messdatenerfassung des Niederschlags

Zum Niederschlag  $N$  [mm] zählen sämtliche Kondensationsprodukte, welche aus der Atmosphäre zum Boden gelangen. In erster Linie sind dies Regen, Schneefall und Hagel, aber auch Nebel, Reif und Tau können aufs Jahr gerechnet um die 30 mm Niederschlagshöhe ausmachen. Advective Niederschläge entstehen bei horizontalen Luftbewegungen und bilden große Niederschlagsgebiete mit mäßiger Intensität, jedoch langer Regendauer.



Konvektive Niederschläge entstehen bei vertikalen Luftbewegungen, zumeist im Sommer, hervorgerufen durch hohe Temperatur- und Verdunstungswerte. Die verhältnismäßig kleinen und scharf abgegrenzten Niederschlagsgebiete ( $30\text{--}200\text{ km}^2$ ) mit mächtigen Wolkenschichten neigen zu kurzen kräftigen Schauern mit hohen Niederschlagssummen, außerdem zu Gewitter und Hagel.

Abb. 27: Konvektiver Niederschlag über dem Mölltal (HOLZEIS 2013)

#### 3.2.1.1 Messgeräte

Der Niederschlag wird mit einem Ombrometer bzw. Ombrographen gemessen (siehe Abb. 28:). Beide Messgeräte haben einen Zylinder mit einem Trichter an der Oberseite, der den Regen einfängt. Unter dem Trichter befindet sich im Ombrometer ein Messgefäß, anhand dessen der Beobachter jeden Morgen um 7:00 die Menge an gesammeltem Wasser ablesen kann. Nachdem er oder sie die Menge notiert hat, wird das Gefäß wieder entleert. Einmal im Monat werden die Aufzeichnungen an den Hydrographischen Dienst gesendet. Beim Ombrographen befindet sich unter dem Trichter ein Behälter auf einer Waage. Die Waage misst in kurzen Zeitabständen das Gewicht des gesammelten Wassers und berechnet daraus die Menge an Niederschlag. Die minütlich-aufgezeichneten Niederschlagsmengen des Ombrographen werden per Datenfernübertrag viertelstündlich an den Hydrographischen Dienst geschickt. Dies gewährleistet eine schnelle und gute Erfassung von Niederschlagsereignissen und hilft bei der modellierten Prognose von Hochwässern.

Viele vom Hydrographischen Dienst (HD) Kärnten verwendeten Ombrographen sind mit einer Heizung ausgestattet, um festen Niederschlag wie Hagel oder Schnee zu schmelzen. Bei unbeheizten Niederschlagsmessgeräten wird durch Zugabe eines biologisch abbaubaren Frostschutzmittels der feste Niederschlag geschmolzen und flüssig gehalten. Der Niederschlag wird immer, unabhängig von seiner Form (Regen, Schnee, Tau, Hagel) als Wasseräquivalent in mm angegeben. Ein Millimeter Niederschlag entspricht einem Liter Wasser pro Quadratmeter.



Abb. 28: Zur Messung des Niederschlages links: ein Distrometer, rechts: ein Ombrometer und ein Ombrograph (Fotos: LJUBA, WERNEGGER)

Neben Ombrometern und Ombrographen gibt es Distrometer, eine weitere Form der Niederschlagsmessung, welche in Kärnten nicht weit verbreitet ist (Stand 2012). Ein Laser-optisches Distrometer besteht aus zwei gegenüberliegenden Sensoren (siehe Abb. 28:). Diese Sensoren messen die Abschattung der Niederschlagspartikel, wenn ein Laserband passiert wird. Mittels Größe und Fallgeschwindigkeit können Niederschlagsmenge und -intensität, die Sichtweite im Niederschlag, die kinetische Niederschlagsenergie und die äquivalente Radar-Reflektivität errechnet werden. Das Gerät ist aufgrund seiner Messempfindlichkeit bei Wind nur in windgeschützten Lagen einsetzbar.

Die Messstationen des HD Kärntens sind sowohl mit Thermometer/Thermographen, als auch mit Ombrometer/Ombrographen ausgestattet. Eine Übersichtskarte der Lufttemperatur zeigt die Abb. 14: im Kapitel 3.1.1.1.

### *3.2.1.2 Datenprüfung, Korrektur und Aggregation von Messdaten des Niederschlages*

Der Niederschlag wird in Summen, bezogen auf einen Zeitraum, gemessen (z. B. mm/Minute oder mm/Stunde oder mm/Tag usw.). Der Niederschlagstag beginnt um 7:00 Uhr und endet um 7:00 Uhr des nächsten Tages.



Bei der Messung durch einen Beobachter wird um 7:00 Uhr in der Früh der Füllstand seines Messgefäßes im Ombrometer notiert und das Gefäß anschließend entleert.

Automatisierte Messgeräte hingegen werden nicht täglich betreut. Exogene Einflüsse wie Verstopfung der Messanlage durch Blätter, Vereisung der Sensoren etc. könnten die Messung beeinflussen. Daher werden Beobachterwerte sowohl bei Niederschlags- als auch Temperaturmessungen gerne zur Kontrolle herangezogen.

Die Datenkontrolle und Korrektur von Niederschlagsdaten verläuft ähnlich wie bei den Temperaturdaten (s. 3.1.1.2) und soll deshalb hier nicht nochmals ausgeführt werden. Ein Unterschied besteht darin, dass bei der Aggregation von Temperaturdaten die Werte gemittelt und beim Niederschlag summiert werden.

Fällt Niederschlag in Form von Regen oder Schnee, wird der aufgefangene Wasseranteil wie beschrieben in einem Ombrometer gemessen. Beeinflusst jedoch Wind die Fallrichtung des Niederschlags, so wird vom Ombrometer nur mehr ein Teil des tatsächlich gefallenen Niederschlags aufgefangen. Zu geringe Niederschlagsmessungen sind die Folge. Dieses Phänomen ist vor allem in Bergregionen mit hohem Windaufkommen nicht zu vernachlässigen. Auf Grund dieser Problematik wurde bei windexponierten Messstationen ein Windkorrekturfaktor eingeführt. Dieser Faktor ist abhängig von der Expositur, Höhenlage und vom Windaufkommen. In der Literatur werden dazu folgende Korrekturfaktoren vorgeschlagen (Vgl. LEGATES 1993):

Windgeschwindigkeit	1	2	3	4	5	6	7	m/s
flüssiger Niederschlag	98	96	94	92	90	87	85	%
fester Niederschlag	63	53	45	38	32	27	23	%

Abb. 29: Gemessener- im Vergleich zum tatsächlichen Niederschlag in Abhängigkeit zum Wind (LEGATES 1993)

Neben den Verlusten durch Wind kommt es zu Fehlmengen durch Benetzungsverluste (Haftwasser an der Auffangfläche) von etwa 2-5 %, Verdunstung an der Sammelkanne 5-8 % und zu sonstigen Fehlern wie unbeabsichtigte Neigung der Sammelkanne, Form und Farbe des Regenmessers und Ableseungenauigkeiten (vgl. MANIAK 1992).

Nach der Datenaggregation, Korrektur und Homogenisierung wurden die Stationswerte zu flächigen Daten, in Abhängigkeit der Morphologie, interpoliert. Das Verfahren der Interpolation wurde bereits im Kapitel 3.1.1.3 erläutert.

Anmerkung: Mit den auf einem Raster von einem Quadratkilometer interpolierten Temperatur- und Niederschlagsdaten wurden in weiterer Folge mit dem Wasserhaushaltsmodell Kärnten für den Zeitraum 1981 bis 2010 die hydrologischen Prozesse Schneeakkumulation und Schneeschmelze, Verdunstung, Bodenfeuchte und Bodenspeicherung sowie letztendlich der Abfluss an ca. 80 Pegelmessstellen modelliert. Da sich in der Wasserbilanz der Abfluss aus Niederschlag minus Verdunstung ergibt, an den Pegelmessstellen der gemessene Abfluss als Kontrollwert vorliegt, lässt sich damit auch gut die Qualität des Eingangsparameters Niederschlag überprüfen.

## 3.2.2 Auswertung des Niederschlags

### 3.2.2.1 Stationsdaten

Die folgenden Diagramme zeigen die mittleren Monatssummen von ausgewählten Messstationen sowie die minimalsten, als auch die maximalsten Monatssummen der Periode 1981-2010.

### Flussgebiet Lieser - Messstation Malta

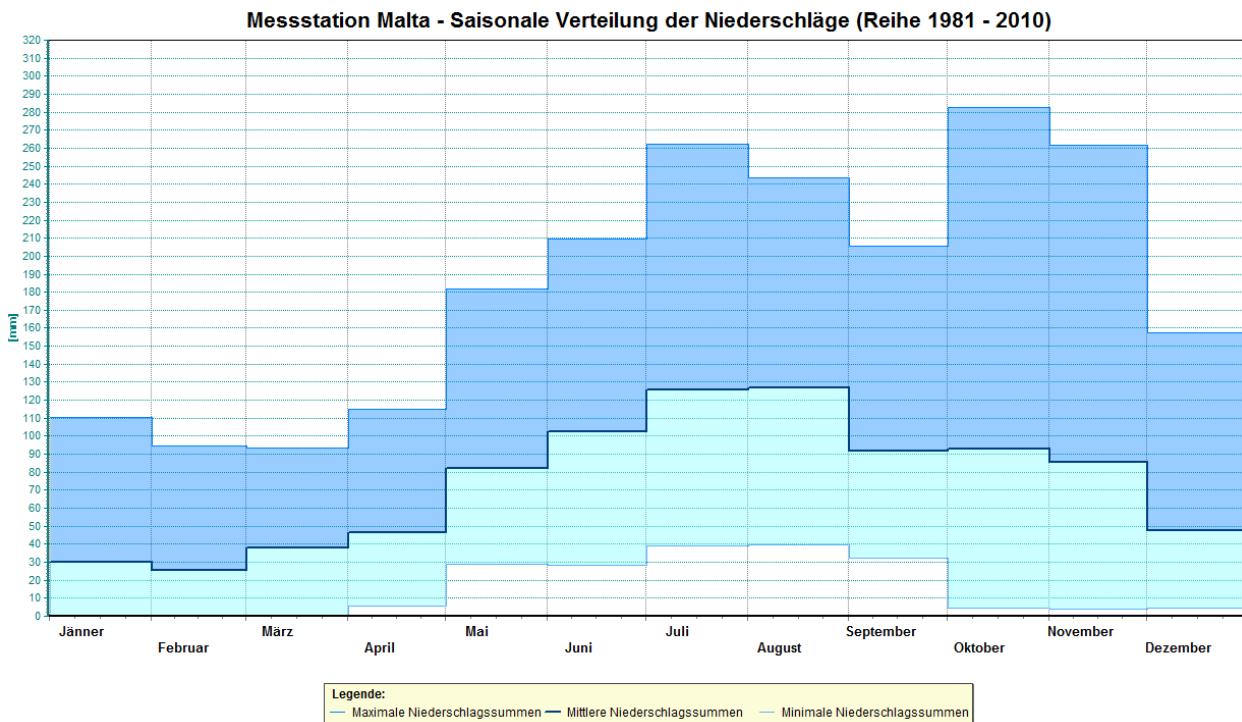


Abb. 30: Niederschlag Malta (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen)  
 Jahresmittel: 896 mm

## Flussgebiet Gail - Messstation Waidegg

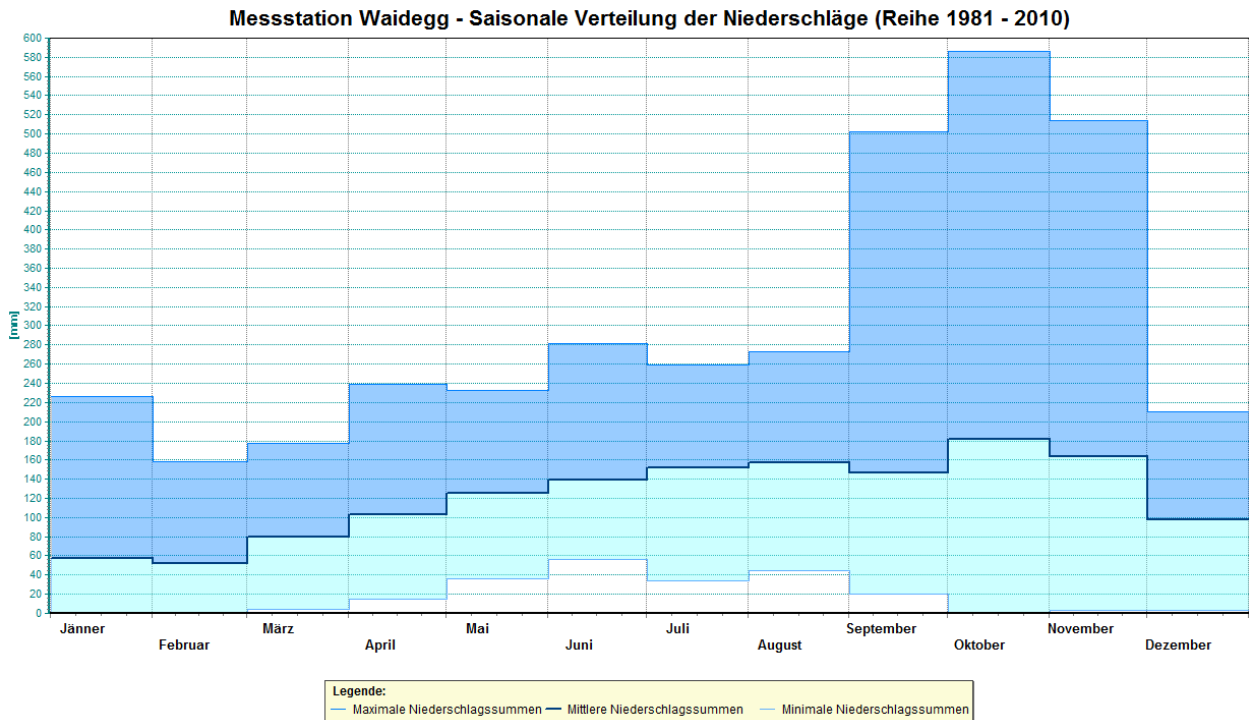


Abb. 31: Niederschlag Waidegg (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 1456 mm

## Flussgebiet Gurk - Messstation Klagenfurt TZ

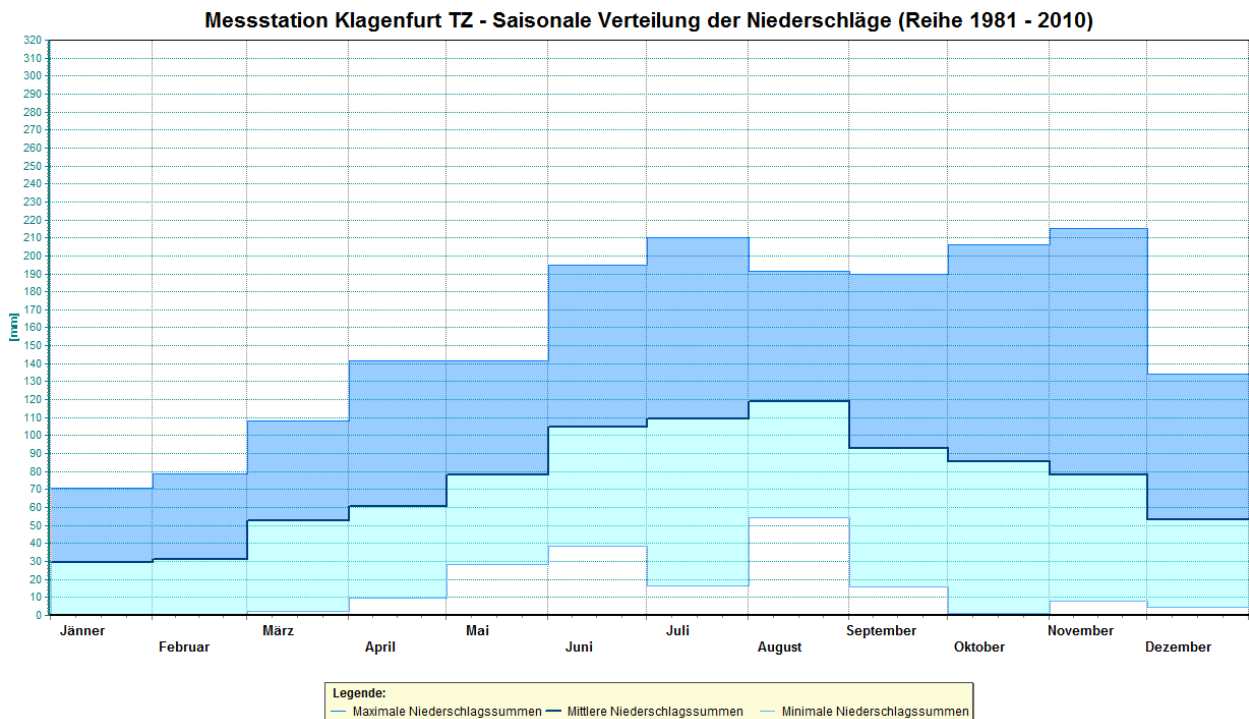


Abb. 32: Niederschlag Klagenfurt Technikzentrum (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 895 mm

## Flussgebiet Lavant – Messstation Wolfsberg

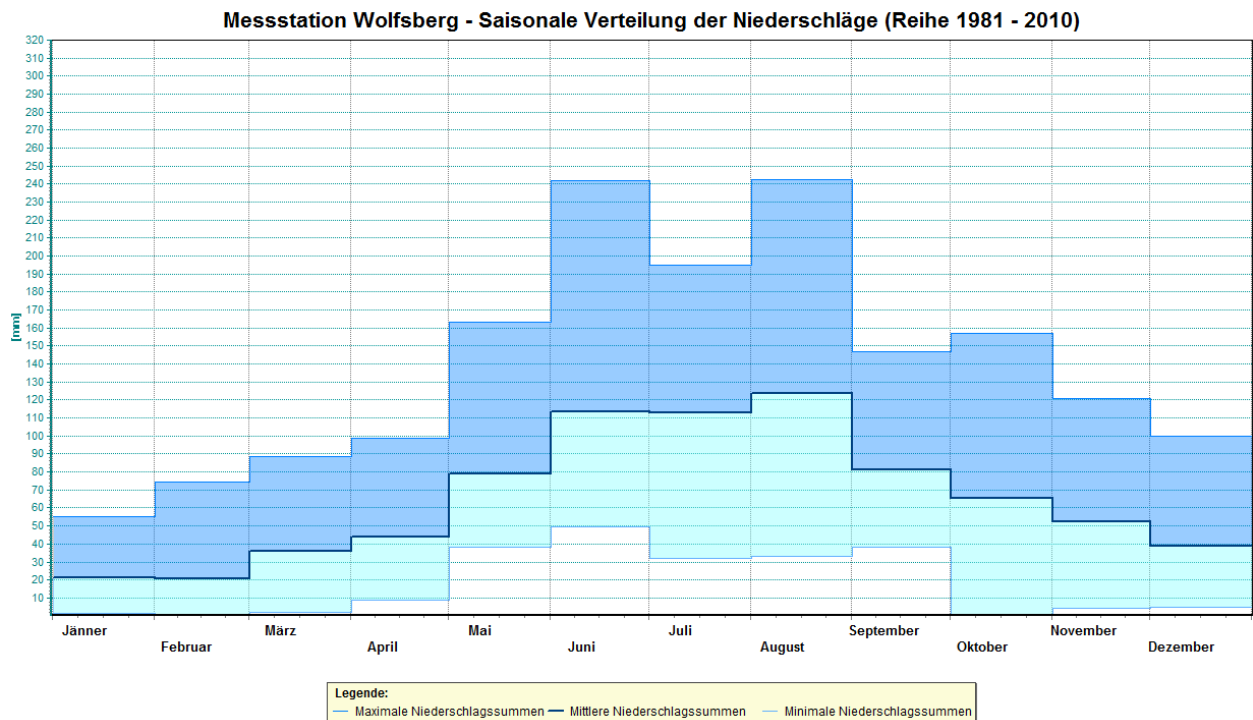


Abb. 33: Niederschlag Wolfsberg (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen)  
 Jahresmittel: 785mm

**Beschreibung:** Die höchsten Niederschlagssummen treten, mit Ausnahme der südlichen Landesteile, im Juli und August auf. Im Süden Kärntens zeigen die Messstationen hingegen im Herbst die höchsten Mengen, beeinflusst durch Tiefdruckgebiete im Herbst über dem westlichen Mittelmeer. Als Beispiel dafür wird Waidegg im Gailtal angeführt mit einer Oktobersumme von 181 mm gegenüber 157 mm im August. Die höchste maximale Monatsniederschlagssumme ist im November in Kötschach-Mauthen (siehe Teil 2 – Bemessungsgrundlagen) mit 802 mm verzeichnet, was einer Jahresniederschlagssumme trockenerer Gebiete Kärntens entspricht. Wolfsberg hat im Mittel lediglich 785 mm Jahresniederschlag.

Bei den hier angeführten Stationen liegen die höchsten Werte der mittleren monatlichen Niederschlagssummen in Klagenfurt bei 119 mm, in Wolfsberg bei 124 mm, in Malta bei 127 mm, jeweils im August, und in Waidegg im Oktober bei 181 mm. Die geringsten mittleren Summen treten meist im Jänner und Februar auf: 21 mm in Wolfsberg, 25 mm in Malta, 30 mm in Klagenfurt und 52 mm in Waidegg. Wie die minimalen Niederschlagssummen zeigen gab es in der Periode 1981 – 2010 auch Wintermonate ohne Niederschlag.

Die Tabelle rechts zeigt die Summe der mittleren monatlichen Niederschlagssummen, welche der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge entspricht.

NS-Summen:	Mittel
Malta	896
Waidegg	1456
Klagenfurt TZ	895
Wolfsberg	785

### 3.2.2.2 Flächige Interpolation des Niederschlags

Die Stationswerte des Niederschlags wurden nach einem ähnlichen Prinzip wie die der Temperatur auf die gesamte Fläche Kärntens interpoliert. Der Niederschlagsgradient ist aber im Gegensatz zum Temperaturgradienten ein prozentueller Wert, der sämtliche Niederschläge im Verhältnis zum Ausgangswert nach oben erhöht bzw. nach unten vermindert. Er ist lagemäßig variabel, wobei in den Staulagen an den Landesgrenzen höhere Werte auftreten.

Niederschlagsgradienten in Prozent pro 100 m Höhenzunahme

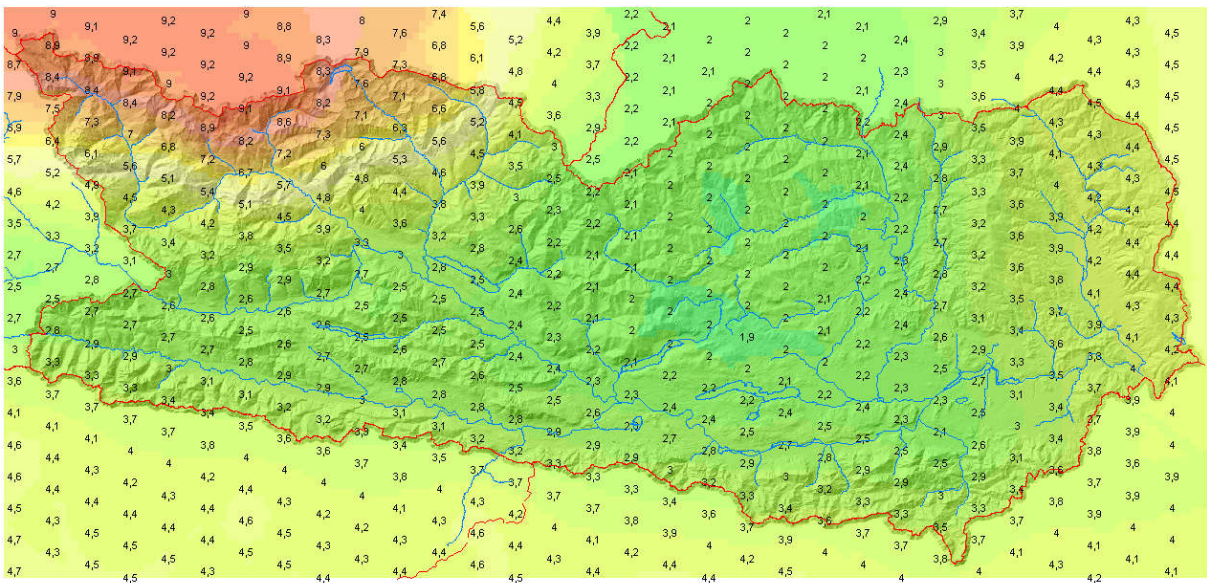


Abb. 34: Verwendete Niederschlagsgradienten in Prozent pro 100 m Höhenzunahme

Die Werte wurden aus Vergleichen von räumlich eng beieinander liegenden Niederschlagsstationen in Tal- und Berglage ermittelt.

### 3.2.2.3 Saisonale Auswertung interpolierter Niederschlagswerte

Die Karten der Monats-, 3-Monats- und Jahressummen des Niederschlages wurden durch Aufsummieren der interpolierten Tagesmittel gebildet.

## Mittlere Niederschlagssumme im Frühling – März, April, Mai

Mittlerer Niederschlag im Frühling (Reihe 1981-2010)

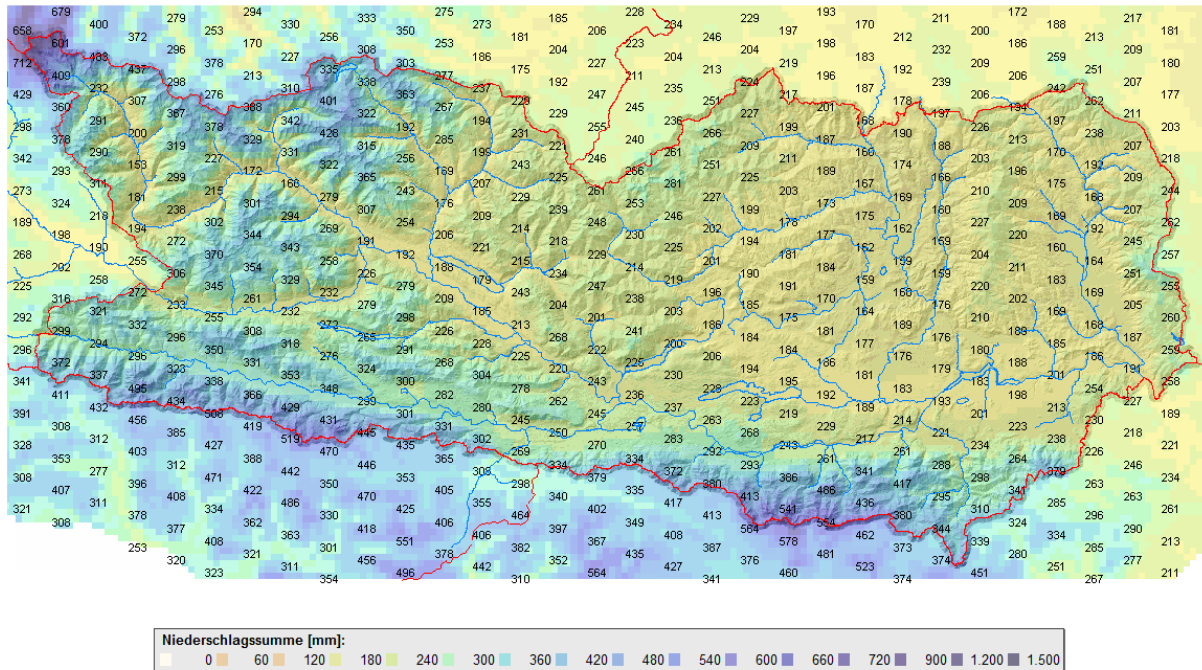


Abb. 35: Mittlere Niederschlagssumme im Frühling

**Beschreibung:** Aufgrund der Topographie und der Stauwirkung treten die höchsten Niederschläge in den höheren Gebirgszügen entlang der südlichen- und nördlichen Landesgrenze auf. Vor allem im Osten macht sich ein Süd-Nord Gefälle bemerkbar, mit hohen Niederschlagssummen im Bereich der Karawanken (bis zu 600 mm), mäßigem Niederschlag in den Gebieten südlich der Drau (bis zu 300 mm in der Ebene) und geringeren Mengen in den Becken und Tälern nördlich der Drau, insbesondere dem Lavanttal, dem Görtscitztal, der Gegend St. Veits, des Krappfelds und dem Glantal (zwischen 150 mm und 200 mm). Auf den Bergen nördlich der Drau haben wir bis zu 300 mm Niederschlag auf der Koralpe und den Nockbergen, bis zu 400 mm in der Hafner-, Kreuzeck-, Reisseck-, Sadnig-, und Schobergruppe, bis zu 500 mm in der Hochalm- und Sonnblickgruppe, sowie bis ca. 800 mm beim Großglockner.

## Mittlere Niederschlagssumme im Sommer – Juni, Juli, August

Mittlerer Niederschlag im Sommer (Reihe 1981-2010)

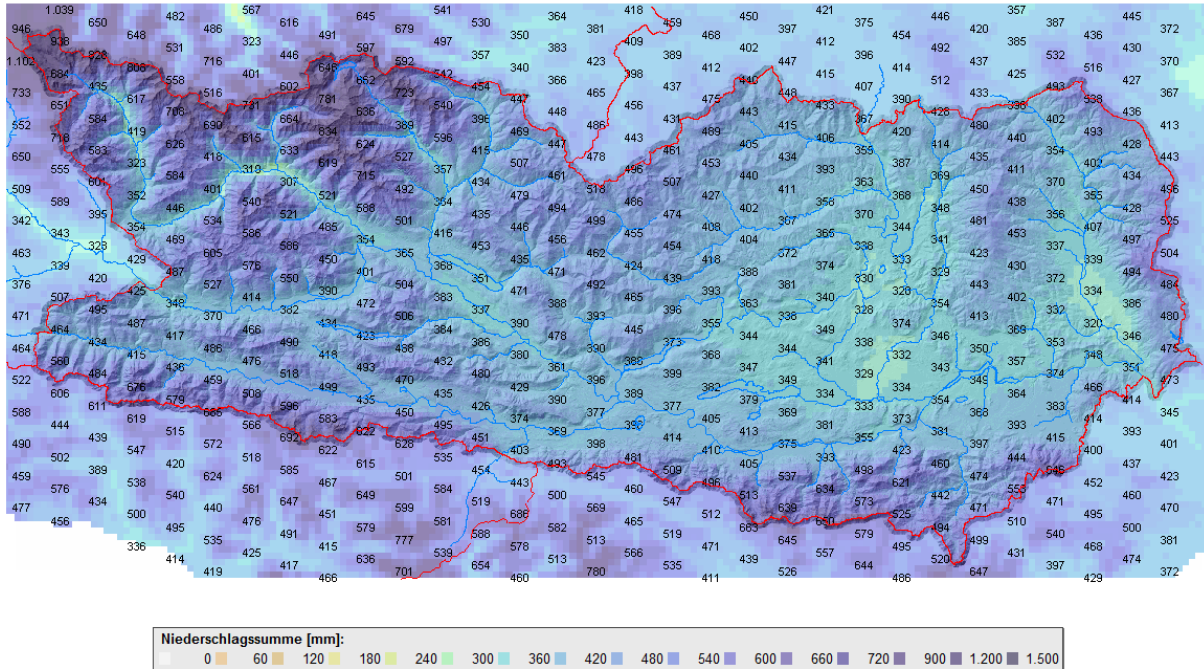


Abb. 36: Mittlere Niederschlagssumme im Sommer

**Beschreibung:** Der Sommer zeigt sich vor allem in den Bergen mit hohen Niederschlagsmengen. Über 750 mm in den Karawanken und Karnischen Alpen, bis zu 980 mm im Bereich der Hochalmspitze und rund 1200 mm beim Großglockner. Diese Niederschlagsmengen erhalten einige Talböden im gesamten Jahr nicht. In Malta, Klagenfurt und Wolfsberg etwa liegt die Jahresniederschlagssumme unter 900 mm.

Am trockensten mit 320 mm bis 350 mm Niederschlag zeigen sich das Klagenfurter Feld, das Gebiet um St.Veit und das Glantal, das Untere Lavanttal, das Gebiet östlich von Spittal bei Rothenthurn und weite Teile des Talbodens des Mölltals. Bei Obervellach und Heiligenblut zeigen die Modellwerte der interpolierten Karte Tiefstwerte von ~ 300 mm.

## Mittlere Niederschlagssumme im Herbst – September, Oktober, November

Mittlerer Niederschlag im Herbst (Reihe 1981-2010)

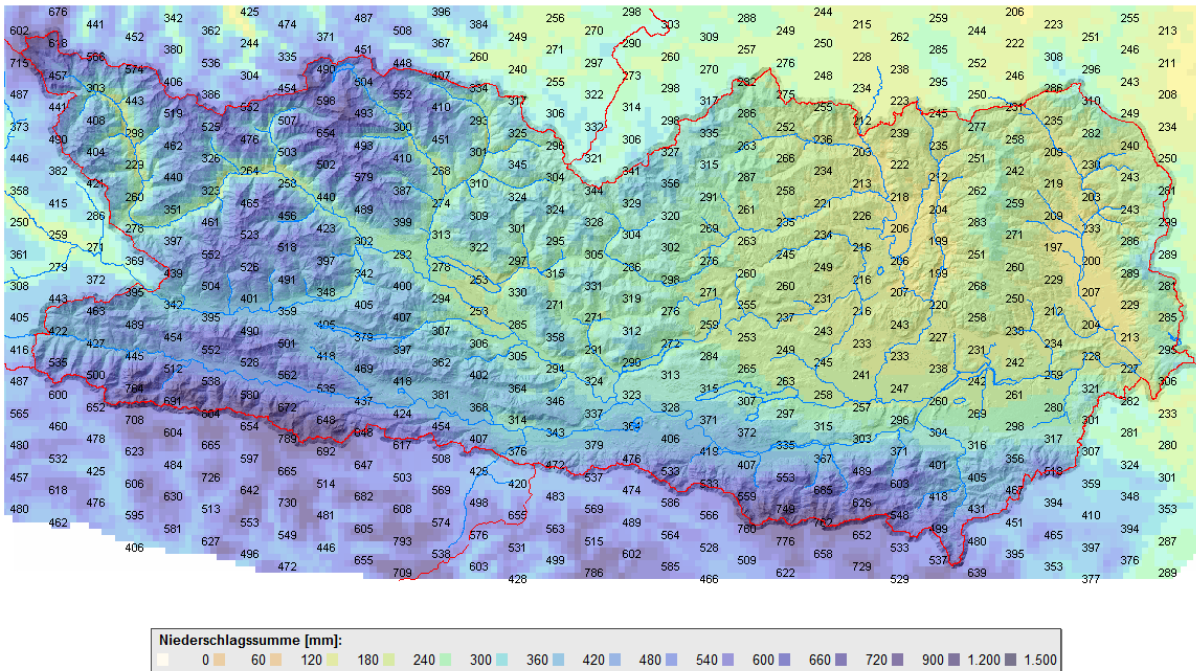


Abb. 37: Mittlere Niederschlagssumme im Herbst

**Beschreibung:** Im Herbst ist vor allem der Süden Kärntens von starken Niederschlägen, und damit immer wieder auch von Hochwässern betroffen. Grund dafür sind Tiefdruckgebiete welche über die Karnischen Alpen und die Karawanken nach Kärnten ziehen und für ausgiebige Niederschläge sorgen. Niederschlagssummen zwischen 500 mm und 900 mm werden an den südlichsten Bergen der Landesgrenze im Mittel erreicht. Das Obere Gailtal verbucht im Mittel 480 mm am Talboden, im Unteren Gailtal schwanken die Werte zwischen 320 mm und 400 mm. Die flachen Regionen Unterkärntens erhalten mit Werten zwischen 200 mm und 300 mm meist nur die Hälfte des Niederschlags der Hochgebirge.

Im Herbst zählen der Nordosten, vor allem das Lavanttal, das Görttschitztal, die Launsdorfer Senke und das Krappfeld zu den trockenen Regionen Kärntens. Die feuchtesten Regionen sind das Gebiet um den Roßkofel in den Karnischen Alpen und die Koschuta in den Karawanken mit knappen 900 mm, der Großglockner mit bis zu 800 mm und die Hochalmspitze mit rund. 760 mm Niederschlag. Bei den Tälern sind es das Lesachtal, Gailtal, das Drau- und das Rosental (310-400 mm, im Oberen Gailtal und im Lesachtal bis 480 mm) mit den höchsten Niederschlagssummen.



## Mittlere Niederschlagssumme des Herbsts abzüglich des Sommers

Die folgende Karte zeigt Gebiete, in denen die mittlere Summe der Herbstniederschläge jene des Sommers übertreffen.

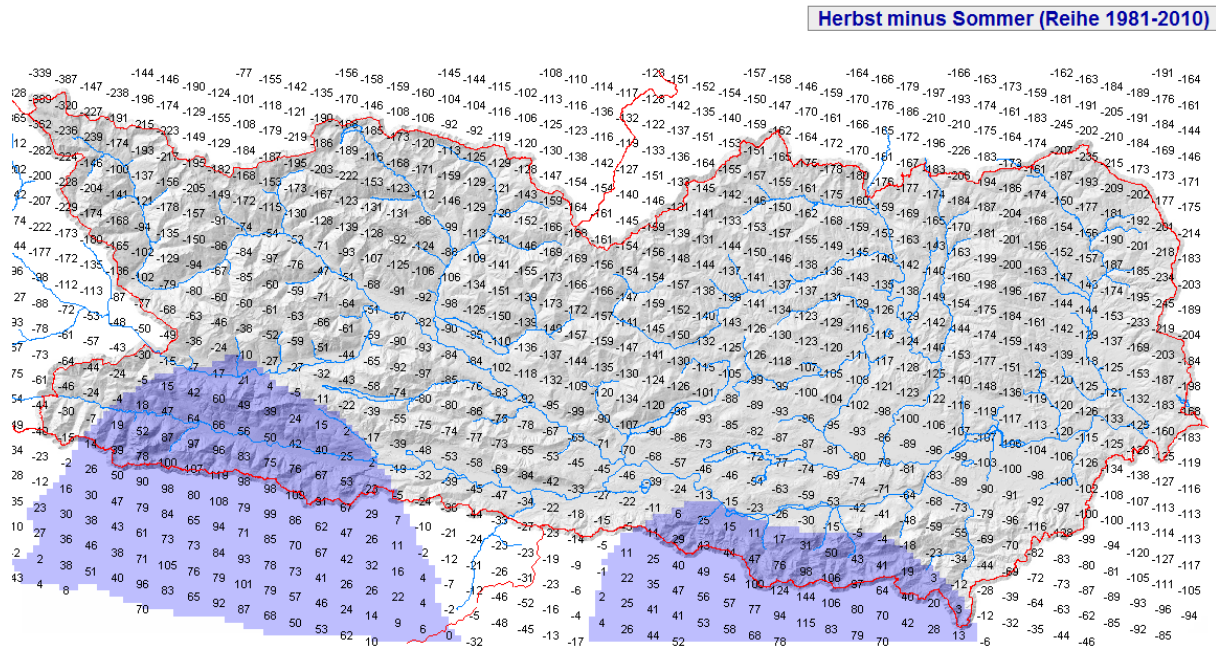


Abb. 38: Gebiete mit höherem Niederschlag im Herbst gegenüber dem Sommer – Positive Werte (in blau gekennzeichnet) bedeuten mehr Niederschlag im Herbst

**Beschreibung:** Diese Karte verdeutlicht wo die mittleren Niederschlagssummen im Herbst höher sind als im Sommer und um wieviel.

Die mittleren Niederschlagssummen des Herbsts überragen den regenreichen Sommer um mehr als 100 mm in den südlichen Bergregionen der Karnischen Alpen und um bis zu 150 mm in den Karawanken.

Zwischen den blauen Kegeln liegen die Niederschlagssummen nur knapp unterhalb des Sommerwertes.

In den restlichen Landesteilen überragen die Niederschlagswerte des Sommers die Herbstwerte um ~ 70 – 150 mm, in den Bergen sogar um bis zu 400 mm.

## Mittlere Niederschlagssumme im Winter – Dezember, Jänner, Februar

Mittlerer Niederschlag im Winter (Reihe 1981-2010)

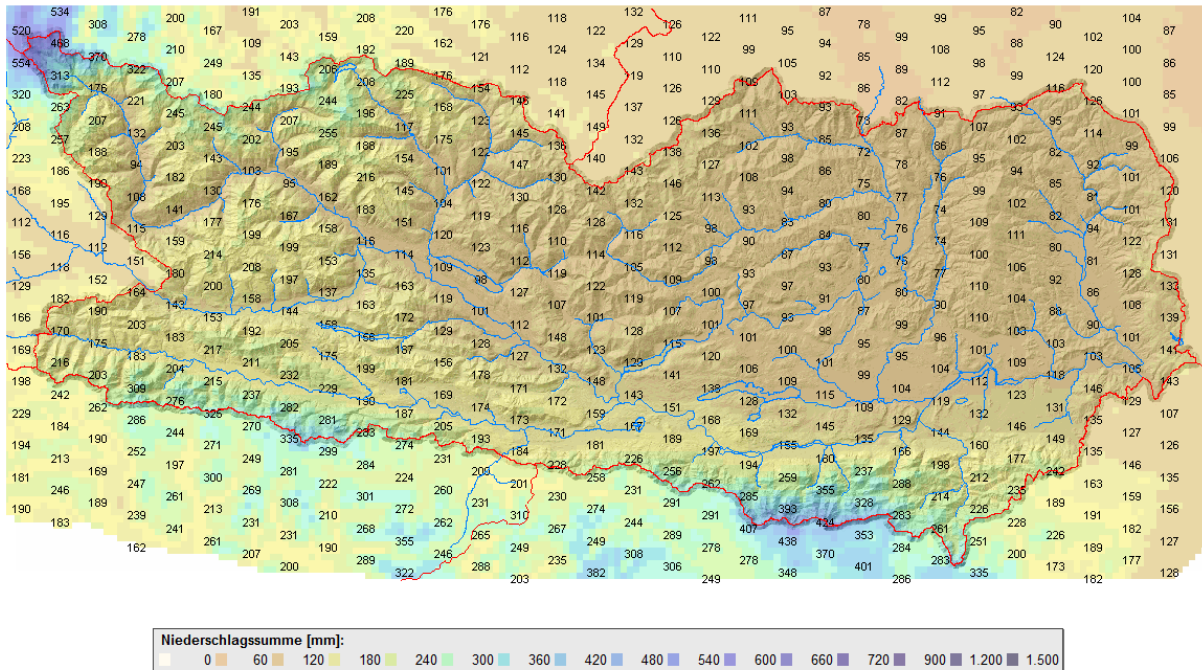


Abb. 39: Mittlere Niederschlagssumme im Winter

**Beschreibung:** Der Winter ist die Zeit der geringsten Niederschlagssummen. In Unterkärnten fallen im Lavanttal, im Gebiet zwischen St. Veit/Glan und Friesach nur bis zu 90 mm Niederschlag. Weiter südlich nehmen die Mengen mit 115 mm in Klagenfurt, 130-190 mm im Rosental und bis zu 500 mm in den Karawanken wieder zu.

In Oberkärnten ist etwas mehr Niederschlag zu erwarten. Hohe Werte finden sich in den Karnischen Alpen mit etwa 380 mm am Roßkofel und 340 mm am Naßfeld. Auch auf der nördlichen Seite des Gailtals, in der Reisskofelgruppe, werden noch Werte bis 250 mm erreicht. Niederschlagssummen zwischen 180 mm und 230 mm gibt es in der Kreuzeck- und der Reisseckgruppe, 250-300 mm in der Ankogel-Hochalmgruppe, um die 100-140 mm in den Nockbergen und Werte bis zu 650 mm in der Großglocknergruppe. Auf die Talböden Oberkärntens fallen durchschnittlich 160-200 mm im Gailtal, 120-150 mm im Drautal, 90-130 mm im Mölttal, 100-150 mm im Maltatal und 100-130 mm im Liesertal.

## Mittlerer Jahresniederschlag

Mittlerer Jahresniederschlag (Reihe 1981-2010)

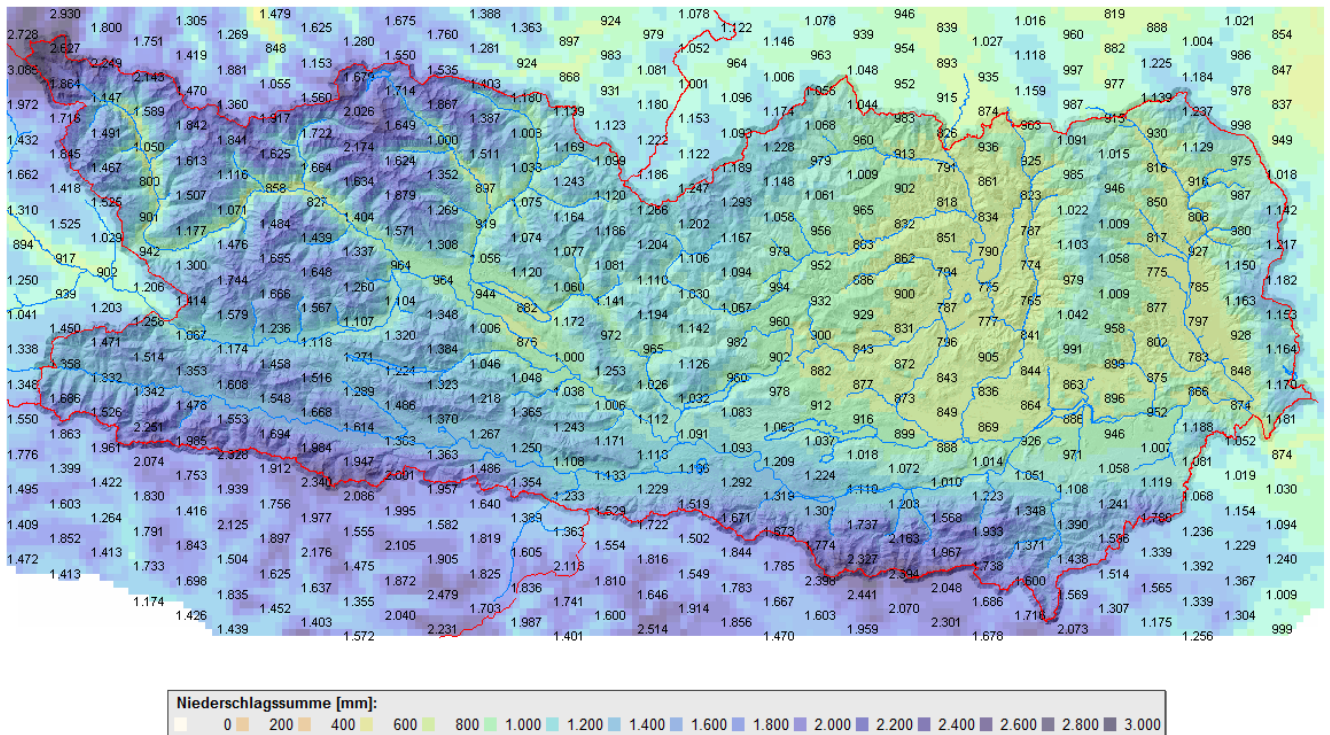


Abb. 40: Mittlere Jahresniederschlagssummen

**Beschreibung:** Für große Niederschlagsmengen sorgen feuchte Luftmassen aus dem Süden bzw. Südwesten (Adriatief und Genuatief), sowie Strömungen aus dem Westen und Nordwesten (Tiefdruckgebiete über dem Atlantik). Da Kärnten im Süden von den Karnischen Alpen und den Karawanken und im Nordwesten von den Hohen Tauern abgeschirmt wird, fallen auch in diesen Randgebieten die höchsten Niederschlagsmengen.

Die höchste durchschnittliche Jahressumme finden wir in der Großglocknergruppe mit bis zu rund 3500 mm. Der Kamm der Hohen Tauern zwischen Großglockner und Hafner Gruppe ist mit Werten um, teils über, 2000 mm ebenfalls sehr niederschlagsreich. Auch im Süden, in den Karnischen Alpen, fallen in großen Teilen über 2000 mm Niederschlag pro Jahr. Die größten Werte treten hier mit ca. 2400 mm westlich des Nassfelds auf (bis 2660 mm im Bereich des Roßkofels). In den Karawanken ist es die Erhebung Veliki vrh der Koschuta die mit 2088 m Höhe durchschnittlich über 2800 mm im Jahr abbekommt. Das ist somit die höchste Niederschlagssumme abseits der deutlich höheren Großglocknergruppe.

Im Vergleich zu den immensen Niederschlagsmengen der Hohen Tauern sind die Talböden wie das Mölltal, Maltatal und Liesertal mit 800-1100 mm Niederschlag relativ trocken.

Zu den trockensten Gebieten mit einem durchschnittlichen Jahresniederschlag von weniger als 800 mm zählen das Lavanttal, Görtscitztal und weite Bereiche zwischen St. Veit/Glan

und Friesach. Die Ebenen und Täler betrachtend, macht sich tendenziell ein Süd-Nord Gefälle bemerkbar:

Oberkärnten: Gailtal 1100-1500 mm, Oberes Drautal 1000-1250 mm, Mölltal 800-1000 mm

Unterkärnten: Rosental 900-1300 mm, Wörthersee und Klagenfurter Feld 840-1060 mm, St. Veit bis Friesach 770-800 mm.

## Mittlerer Niederschlag in Kärnten (Periode 1981-2010)

**Niederschläge in Kärnten**

Monat	Min	Mittel	Max
Jan	1,5	40	116,9
Feb	1,5	40,3	117,3
Mär	3,6	62,8	146
Apr	14,5	78,8	184,2
Mai	38,8	110,5	202,5
Jun	60,3	138	255,3
Jul	50,6	152,3	273,6
Aug	66,7	156,8	272,2
Sep	31,1	119,9	228,9
Okt	2,7	121,1	338,6
Nov	7,8	108,5	343,6
Dez	8,5	69,7	180
<b>Jahr</b>	<b>915,8</b>	<b>1198,6</b>	<b>1530,4</b>

Der mittlere jährliche Niederschlag in Kärnten für die Periode 1981 -2010 beträgt rund 1200 mm.

### 3.3 Wasserstände und Abflüsse

In Kärnten münden, bis auf wenige kleinere Bäche, sämtliche Gewässer in die Drau, den größten Fluss Kärntens. Mit jedem Fluss den die Drau aufnimmt wird ihre Fließcharakteristik verändert. Die großen Zuflüsse beeinflussen mehr, die kleinen weniger. Hochwasserführende Zuflüsse können ihr Bild maßgebend verändern, vor allem die schnell anschwellende Gail kann die Drau in der Wasserführung stark beeinflussen, kurzzeitig sogar übertreffen. Die Zuflüsse der Drau können in drei Gruppen unterschieden werden, in die Fließgewässer Oberkärntens, Südkärntens, sowie Mittel- und Ostkärntens.

In den folgenden Diagrammen werden die saisonalen Schwankungen der Drau und einiger Zuflüsse im Zeitraum 1981-2010 dargestellt. Die saisonalen Ganglinien der Flüsse zeigen die mittleren, minimalen und maximalen Abflüsse für jeden Tag des Jahres im 30-jährigen Auswertez Zeitraum. Um große und kleine Flüsse in ihrem jahreszeitlichen Verlauf besser vergleichen zu können werden die Abflüsse durch die Größe des Einzugsgebietes dividiert. Man erhält damit die Abflussspende. Diese gibt an, wie viel Wasser aus einem Quadratkilometer des Einzugsgebietes abfließt [l/s pro km<sup>2</sup>].



Abb. 41: Untere Drau bei Annabrück (Foto: KERSCHBAUMER)

#### Die Fließgewässer Oberkärntens

Eine ausgeprägte Dynamik zeigen die Hochgebirgsflüsse Möll, Lieser, Malta und die Obere Drau in Oberkärnten. Sie werden durch große Niederschlags- und Schneeschmelzmengen im Einzugsgebiet geprägt. Die Einzugsgebietsflächen befinden sich vorwiegend in gebirgriger Lage mit geringer Verdunstung. Das Resultat sind hohe Abflussspenden und folglich hohe Abflüsse. Mit eintretender Schneeschmelze steigen die Wasserfrachten ab April an und erreichen bis Juni/Juli etwa das Vierfache des mittleren Jahresabflusses. Ab Ende Juli gehen sie wieder zügig zurück, steigen mit den Herbstniederschlägen zwischenzeitlich nochmals an, und erreichen im Februar das Jahresminimum.

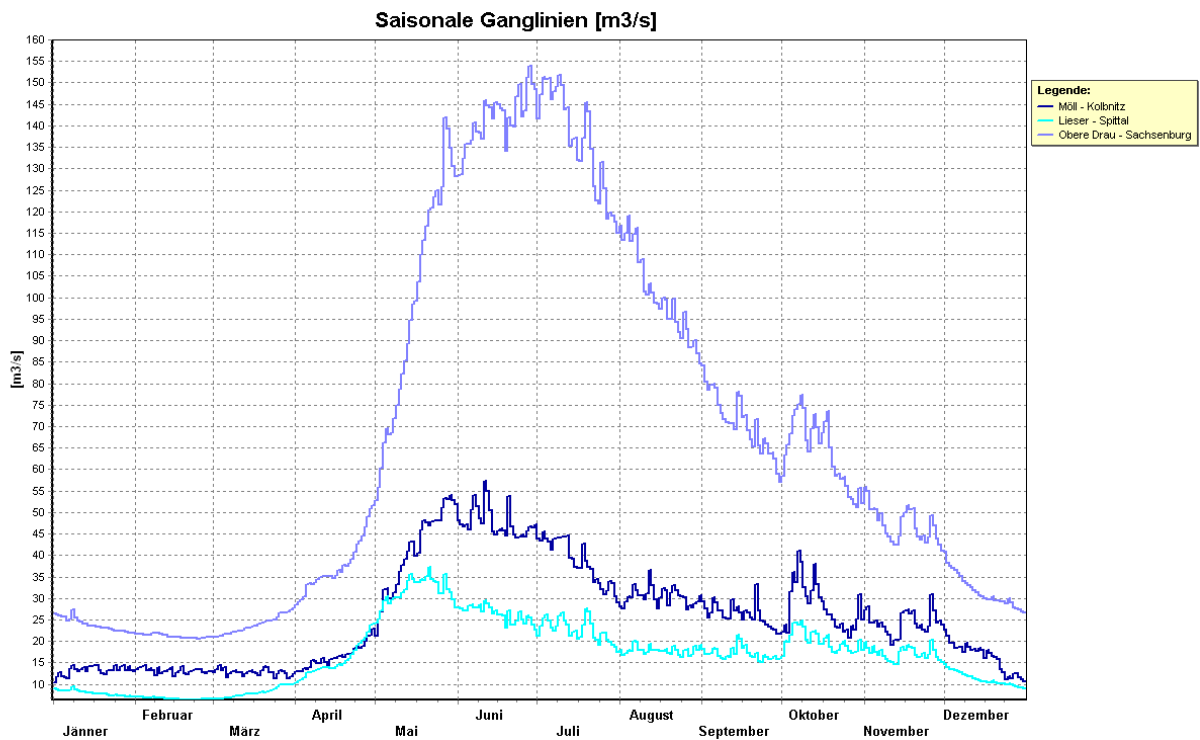


Abb. 42: Saisonale Ganglinien von Flüssen Oberkärntens (Möll, Lieser, Obere Drau)

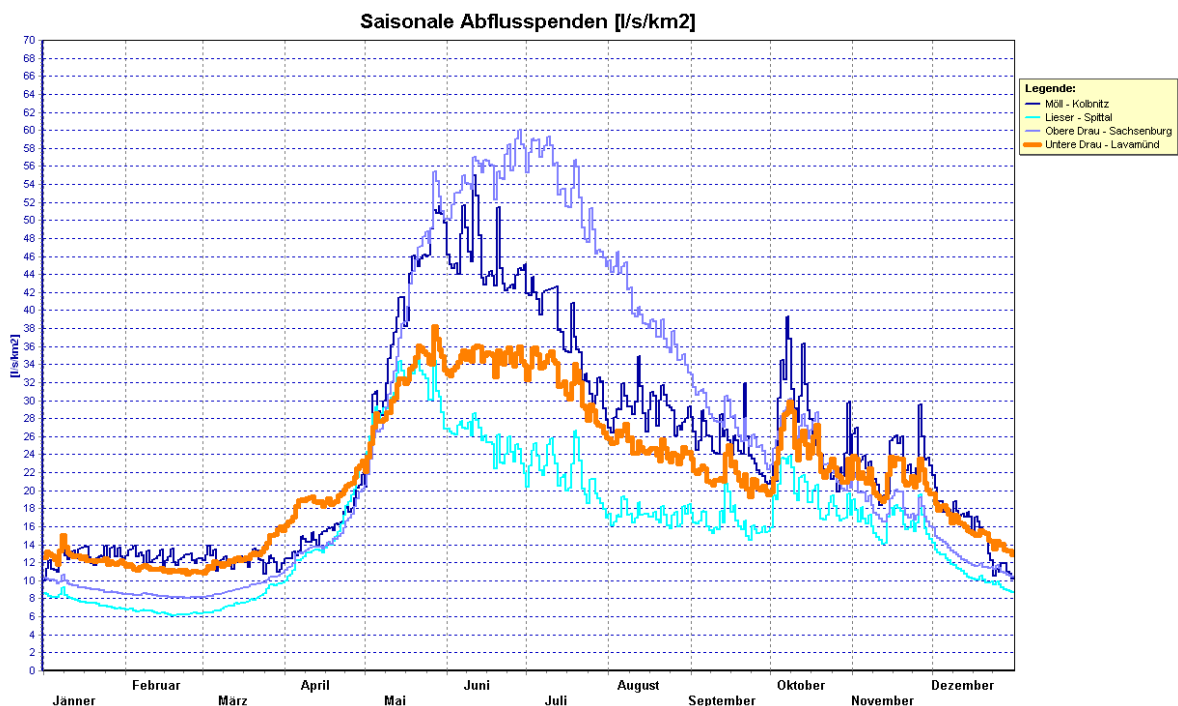


Abb. 43: Saisonale Abflusspenden von Flüssen Oberkärntens (Möll, Lieser, Obere Drau) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze

- **MÖLL**

Die Möll ist ein Hochgebirgsfluss mit einem durchschnittlichen Gefälle von 5 – 15 Promille. Sie entspringt südöstlich des Großglockners als Gletscherbach, gespeist von der Pasterze, der größten Gletscherzunge Österreichs. Der oberste Teil der Möll wird zur Energieerzeugung ins Bundesland Salzburg aus- und der Salzach zugeleitet (Pasterzenabfluss und Leitabach, im Mittel  $4,23 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Die Möll fließt zwischen der Schober- und Sadniggruppe durch das Obere Mölltal, macht bei Winklern einen Bogen und durchfließt das Mittlere sowie das Untere Mölltal, die Kreuzeckgruppe nördlich umrahmend. Die Wässer der Goldberggruppe werden größtenteils in der Kraftwerksgruppe Fragant energiewirtschaftlich genutzt und bei Flattach wieder in die Möll geleitet. Auch die Wässer der Kreuzeckgruppe werden ausgeleitet und in Kolbnitz zur Stromerzeugung genutzt. Nach etwa 80 km mündet die Möll bei Möllbrücke in die Drau. Im Mündungsbereich beträgt die mittlere Schüttung rund  $26 \text{ m}^3/\text{s}$  bei einem Einzugsgebiet von  $1096 \text{ km}^2$ .



Abb. 44: Die Möll bei Winklern (Fotos: KERSCHBAUMER)

- **LIESER**

Die Lieser entspringt am Nordhang des Malteiner Sonnblicks in den östlichen Hohen Tauern und hat eine Länge von 50 km. Auch sie ist ein Hochgebirgsfluss. Sie durchströmt das Pöllatal und das Katschtal. Einen bedeutenden Wasserzuschuss erhält die Lieser in Gmünd in Kärnten, wo sie die Malta aufnimmt. Sie fließt weiter durch das Liesertal, nimmt bei Seebach das Wasser des Millstätter Sees auf und mündet bei Spittal a.d. Drau in die Drau. Ein Teil des Einzugsgebietes liegt in den Nockbergen; der östliche Teil des Einzugsgebietes Nockberge erfährt durch den Millstätter See eine beträchtliche Retention. Teile des oberen Einzugsgebietes der Lieser und große Teile der Malta werden aus energiewirtschaftlichen Zwecken im Jahresspeicher Kolnbrein gesammelt, ins Mölltal ausgeleitet und abgearbeitet und letztendlich nach abermaliger energetischer Nutzung der Drau bei Sachsenburg zugeführt. Das Einzugsgebiet ist  $1035 \text{ km}^2$  groß und erbringt einen mittleren Abfluss von  $\sim 17 \text{ m}^3/\text{s}$  vor der Einmündung.



Abb. 45: Links: Die Lieser bei Lieserhöfen; Rechts: Die Lieserschluft (Fotos: KERSCHBAUMER)

- **MALTA**

Die Malta ist ein Hochgebirgsfluss der Hohen Tauern mit einer Länge von 38 km. Ihren Ursprung hatte sie früher beim Zusammenfluss des Groß- und Kleinlendbaches, heute wird die untere Staustufe des Maltakraftwerkes als Beginn angesehen. Durch die Errichtung der Maltasperre hat sich die Wasserführung der Malta um etwa 50 % vermindert. Bei Gmünd in Kärnten mündet sie mit einer mittleren Schüttung von  $\sim 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  in die Lieser.

Abb. 46: Links: Kleinlendbach; Rechts: Malta Stausee (Fotos: KOPEINIG 2013)



## Die Fließgewässer Südkärntens

Gail und Vellach, sowie die Nebenflüsse aus dem südlichen Grenzbereich zeigen ein zweites deutlich ausgeprägtes Abflussmaximum im Herbst. Das erste Maximum stellt sich im April/Mai ein und ist auf Schneeschmelze und zunehmenden Niederschlag zurückzuführen. Das zweite Abflussmaximum erstreckt sich über Oktober und November, durch die für das Gebiet typischen Herbstniederschläge bei geringer Verdunstung. Außerdem steuern die reaktions-



schnellen Karstwässer der südlichen Karbonatgebirge beachtliche Wasser- und Geschiebemen gen bei.

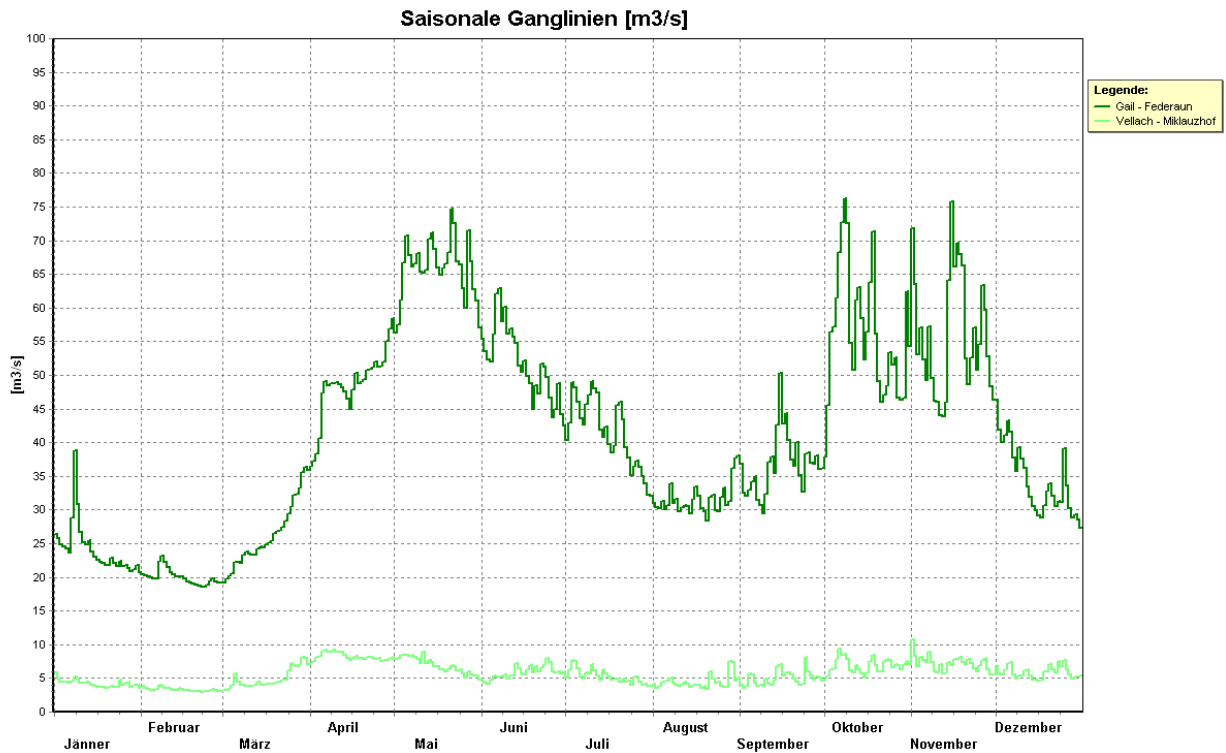


Abb. 47: Saisonale Ganglinien von Flüssen Südkärntens (Gail, Vellach)

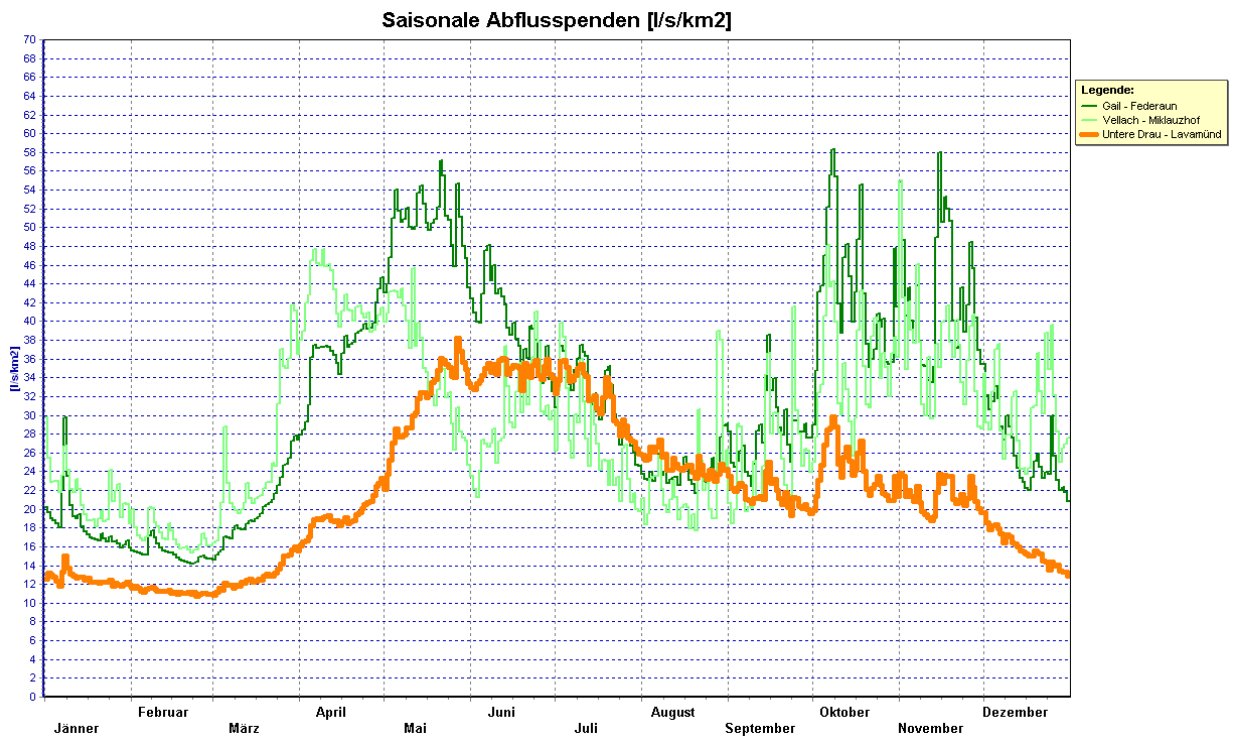


Abb. 48: Saisonale Abflusspenden von Flüssen Südkärntens (Gail, Vellach) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze

- **GAIL**

Der Name Gail stammt vom illyrischen Gailias ab, was soviel wie „Die Überschäumende, die Überschwemmende“ bedeutet (vgl. KRANZMAYER 1958). Die Gail ist der größte südliche Zubringer der Drau in Kärnten. Sie entspringt auf einer Seehöhe von 1525 m am Kartitscher Sattel in Osttirol und durchfließt das Tillacher Tal, das Lesachtal und das Gailtal. Bei Hermagor nimmt sie die Gössering, bei Arnoldstein die Gailitz auf, welche bei Hochwasser zusätzlich hohe Wassermengen beisteuern. Im Ortsgebiet von Villach in Maria Gail mündet sie mit einem Mittelwasserabfluss von rund  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  in die Drau. Die Gail ist nach der Drau und der Gurk mit 122 km der drittlängste Fluss Kärntens. Ihr Einzugsgebiet von  $1403 \text{ km}^2$  umfasst die Region der Karnischen- und Gailtaler Alpen. Die Stauwirkung der Karnischen Alpen und die hereinziehenden Mittelmeertiefs, sorgen in dieser Region für reichlich Niederschlag, besonders im Herbst. Die Gail weist die größten gemessenen Hochwasserspenden auf. Die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit liegt im Bereich  $1 - 1,5 \text{ m/s}$ , bei Hochwasser bis zu  $4,5 \text{ m/s}$  (vgl. HONSIG-ERLENBURG 2002).



Abb. 49: Links: Die Gail im Lesachtal; Rechts: Die Gail bei Tröpolach (Fotos: KERSCHBAUMER)



Abb. 50: Links: Die Gail bei Nötsch; Rechts: Dambruch bei Rattendorf (Fotos: KERSCHBAUMER)

- **VELLACH**

Die Vellach entspringt in den Steiner Alpen in Slowenien, fließt zunächst durch das enge gebirgige Vellachtal zwischen Petzen und Obir und tritt anschließend in das Jauntal ein. Nach einer kurzen Fließstrecke von 35 km und 800 m überwundenen Höhenmetern mündet sie bei Gallizien mit 6 m<sup>3</sup>/s in die Drau. Die Vellach unterliegt großen Abflussschwankungen und wird daher von einem torrenten Landschaftsbild geprägt. Bei langen und starken Niederschlägen sind aufgrund des starken Gefälles hohe Fließgeschwindigkeiten vorprogrammiert.



Abb. 51: Die Vellach ist mit ihrem Bestand an Äschen, Bach- und Regenbogenforellen ein beliebtes Fliegenfischgewässer (Fotos: KERSCHBAUMER)

## Die Fließgewässer Mittel- und Ostkärntens

Die Einzugsgebiete der Mittelgebirgsflüsse Gurk und Lavant in Unterkärnten liegen größtenteils in niederen trockeneren Gebieten mit geringem Gefälle und hoher Verdunstung. Die Abflussmenge und Abflussspende fallen dementsprechend gering aus und betragen etwa ein Drittel bis die Hälfte der Hochgebirgsflüsse. Auch die Abflussdynamik ist gering. Von März bis Mai bringen Schneeschmelze und Niederschläge den Abfluss zum Anstieg. Anschließend fließen die Flüsse auf einem annähernd gleichen Niveau, tendenziell leicht fallend, über den Sommer. Gelegentlich können herbstliche Niederschläge bei bereits geringerer Verdunstung die Flüsse nochmals zum Anschwellen bringen. Das Abflussminimum wird im Februar erreicht.

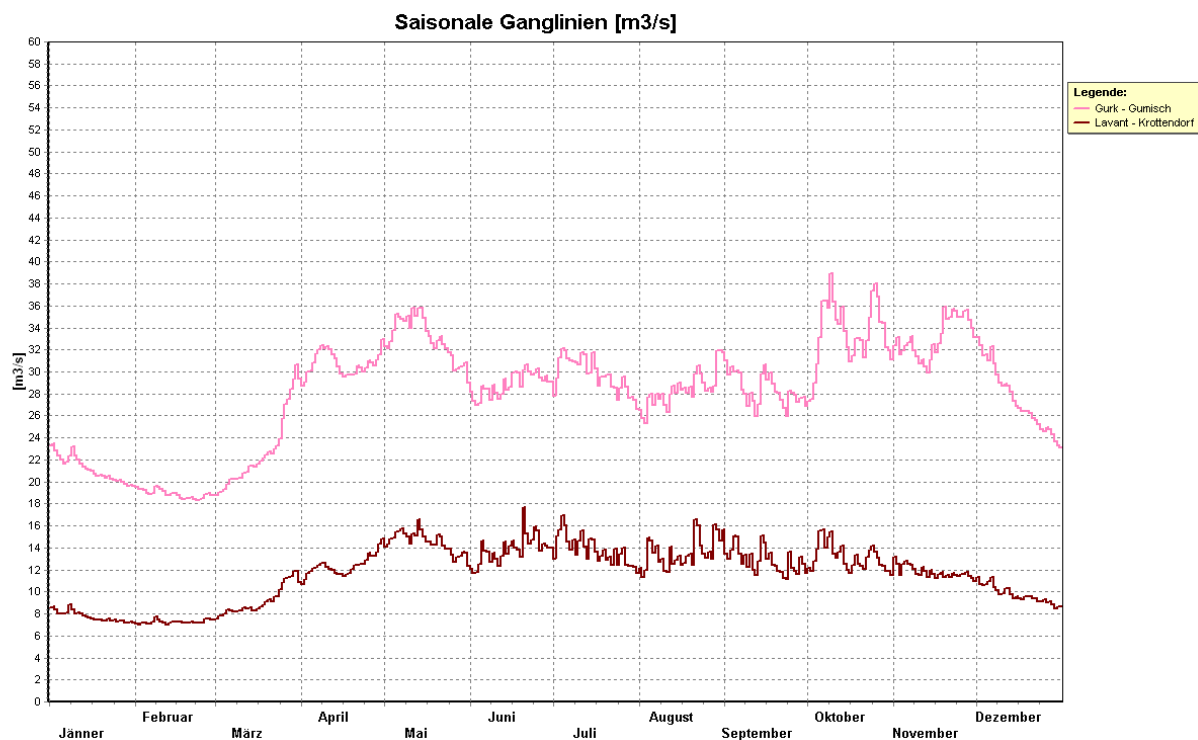


Abb. 52: Saisonale Ganglinien von Flüssen Mittel- und Ostkärntens (Gurk, Lavant)

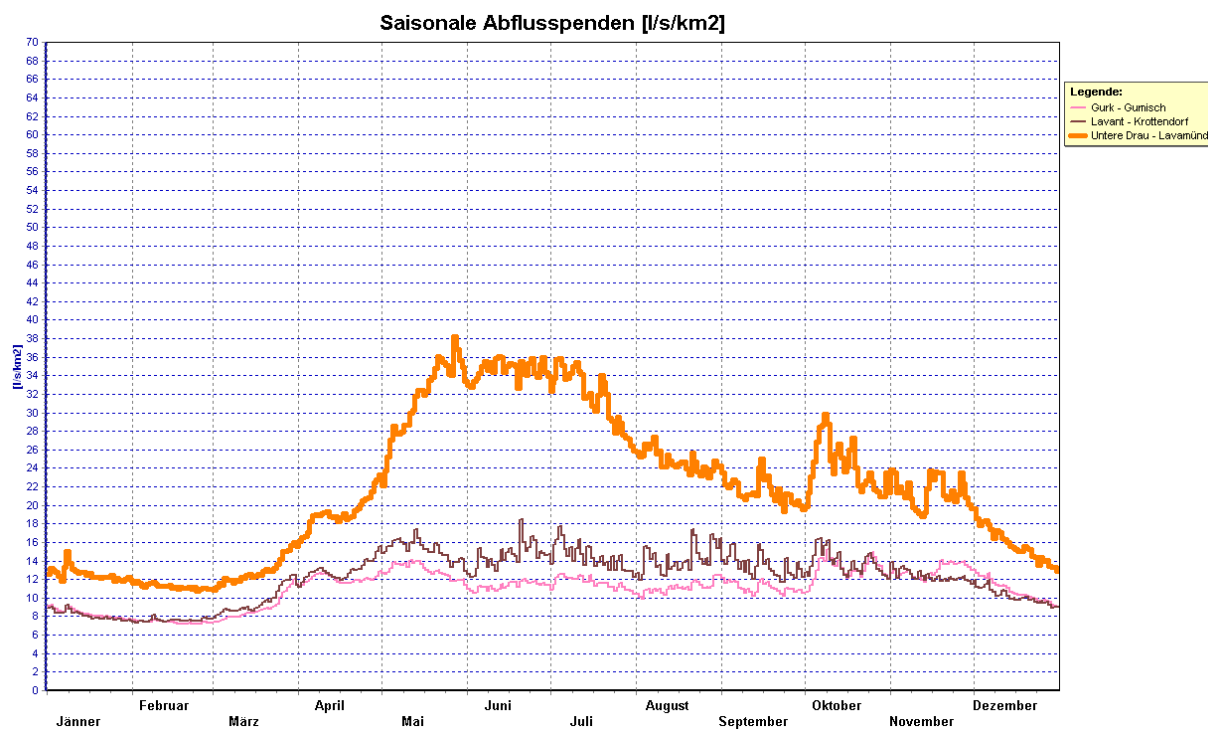


Abb. 53: Saisonale Abflusspenden von Flüssen Mittel- und Ostkärntens (Gurk, Lavant) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze

- **GURK**

Die Gurk ist mit 157 km Länge der zweitlängste Fluss Kärntens. In den südlichen Gurktaler Alpen, aus zwei kleinen Karseen im Lattersteiggebiet auf 2040 m Höhe entspringend, fließt die Gurk über die Ebene Reichenau in das Obere Gurktal. Es folgt die Enge Gurk, ein schluchtartiges unbesiedeltes Waldtal. Anschließend strömt sie über den breiten Talboden des Krappfeldes, in dem die Gurk meist nur mäßig eingeschnitten ist und leicht mäandriert. Dort nimmt sie die Metnitz und Görtschitz auf, wendet sich bei Brückl nach Süden und fließt am östlichen Rand Klagenfurts vorbei, wo sie von der Glan zusätzliche Wassermengen erhält. Von dort an fließt die Gurk gegen Osten und mündet schließlich bei einem Mittelwasserabfluss von  $\sim 28 \text{ m}^3/\text{s}$  in den Völkermarkter Stausee der Drau. Das gesamte Flusssystem der Gurk wurde durch das Zusammentreffen bzw. Übergreifen zwischen Mur- und Draugletscher geprägt und ist aufgrund der zahlreichen Richtungsänderungen des Flusses als häufig wechselnd zu bezeichnen.

Die Gurk ist der flächenmäßig größte Zubringer der Drau in Kärnten (Einzugsgebiet  $2581 \text{ km}^2$ ), nicht jedoch der abflussreichste. Im Gegenteil: Das Einzugsgebiet der Gurk umfasst im Norden die Gurktaler Alpen, im Osten die Saualpe (Mittelgebirge) und im Süden das Klagenfurter Becken und das Glantal (Flachland bis Hügelland). Sie ist ein Mittelgebirgsfluss.

Außerdem zählt das Gebiet zu den niederschlagsärmeren Regionen Kärntens. Die Gurk hat während des Sommers einen relativ niederen Wasserstand, der sich im Herbst aufgrund der nachlassenden Verdunstung hebt. Der geringste Abfluss ist im Februar, bevor im Mai die Schneeschmelze den Pegel wieder anhebt. Im Gegensatz zu den steilen Hochwasserspitzen der Hochgebirgsflüsse, zeigt die Gurk langsam ansteigende und allmählich abklingende Hochwasserrücken (vgl. HONSIG-ERLENBURG 1997).



Abb. 54: Links: Die Gurk mit Schotterbänken; Rechts: Die Gurk beim Wolschartwald (Fotos: KERSCHBAUMER)

- **GLAN**



Abb. 55: Links: Die Glan bei Seidlhof; Rechts: Die Glan nach der baulichen Umleitung beim LKH Klagenfurt (Fotos: KERSCHBAUMER)

Der Name des Flusses kommt aus dem Keltischen und bedeutet so viel wie „hell, glänzend“ oder auch „klar“. Außerdem ist Glanos der Name des keltischen Wassergotts. Die Glan entspringt den Ossiacher Tauern in der Gemeinde Techelsberg. Sie fließt gegen Osten und streift Feldkirchen bevor sie durch das Glantal strömt. In weiterer Folge ist der Fluss reguliert und begradigt. Die Glan fließt weiter über einen landwirtschaftlich genutzten, bis 1 km breiten Talboden nach St. Veit und biegt dort aus der west-östlichen Fließrichtung nach Süden, weiter durch das breite Zollfeld nach Klagenfurt. In Ebenthal im Osten Klagenfurts nimmt sie mit dem Bach Glanfurt bzw. Sattnitz das Wasser des Wörthersees auf und mündet nach 64 km schlussendlich in die Gurk mit durchschnittlich  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das Einzugsgebiet beträgt  $826 \text{ km}^2$ .

- **LAVANT**

Die Lavant, was soviel wie „Die Weiße“ bedeutet, entspringt am Osthang des Zirbitzkogels auf ca. 2170 m (Lavantsee) in der Steiermark und gelangt nach 11,2 km mit einem Einzugsgebiet von  $76 \text{ km}^2$  auf Kärntner Gebiet. Bis zur Mündung in die Drau erhöht sich ihr Einzugsgebiet auf  $969 \text{ km}^2$ . Sie entwässert den östlichen Teil des Saualpengebiets, sowie den westlichen Bereich der Koralpe und Teile der Stubalpe. In Lavamünd, wo die Lavant in die Drau mündet, beträgt ihr Mittelwasserabfluss  $12,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Schwankungsbreite des jährlichen Abflusses ist gering. Die Lavant hat ihren höchsten Abfluss im Mai, bedingt durch Schneeschmelze und Niederschlag. Durch die geringe Wasserspeicherfähigkeit des geologischen Untergrunds des Lavanttals, der geringen Fließgeschwindigkeit und der hohen Verdunstung, kommt es über die Sommermonate zu einer allmählichen Abnahme des Abflusses. Im Winter wird das Abflussminimum erreicht (vgl. SCHLAMBERGER und WIESER 1996).



Abb. 56: Lavant bei Mitterpichling (Fotos: KERSCHBAUMER)

## DRAU - Die Summe der Fließgewässer Ober-, Süd-, Ost- und Mittelkärntens

Die Drau ist der größte Fluss Kärntens. Der Flussname Drau gehört laut Kranzmayer und Pohl zu den wohl ältesten Namen überhaupt, die in Kärnten zu finden sind. Drau stammt vom indogermanischen „drowos“ ab und bedeutet „Flusslauf“.

Von ihrer Quelle (bei Toblach, Südtirol) bis zur Mündung in die Donau (bei Osijek, Kroatien) legt die Drau 749 km zurück, 261 km davon in Österreich. Am Kärntner Tor bei Oberdrauburg „betritt“ sie Kärntner Boden und verlässt das Land bei Lavamünd. Die Fließlänge durch Kärnten erstreckt sich über 208 km. Das Flussgebiet der Drau wird in verschiedene Talschaften gegliedert: Das Pustertal erstreckt sich vom Toblacher Feld bis Lienz, das Obere Drautal von Lienz bis Spittal an der Drau, das Untere Drautal von Spittal bis nach Villach, das Rosental bis zur Annabrücke und das Jauntal im Anschluss bis Lavamünd (siehe Abb. 57):



Abb. 57: Flussverlauf der Drau (Wikipedia 2013)

Die Drau entwässert bis zu ihrem Eintritt in das Bundesland Kärnten fast das gesamte Gebiet von Osttirol. Bis zur Mündung der Gail nimmt sie die südlichen Abflüsse der Hohen Tauern und der westlichen Nockberge auf. Die wichtigsten Zubringer sind hierbei Isel, Möll und Lieser samt Malta. Die Gail entwässert mit der Gailitz hauptsächlich die Karnischen und Julischen Alpen sowie die westlichen Karawanken. Im Mündungsgebiet der Gail südöstlich von Villach beträgt das Einzugsgebiet  $7010 \text{ km}^2$ . Bis zur Gailmündung hat das Einzugsgebiet der Drau eine mittlere Gebietshöhe von  $1535 \text{ m}$ .  $69,1 \%$  des Einzugsgebietes liegen über  $1000 \text{ m}$ ,  $40,2 \%$  über  $1500 \text{ m}$ ,  $19 \%$  über  $2000 \text{ m}$  und  $4,1\%$  über  $2500 \text{ m}$ . Bis zur Staatsgrenze, wo sie im Mittel  $\sim 262 \text{ m}^3/\text{s}$  Wasser mit sich führt, erstreckt sich das Einzugsgebiet der Drau auf  $12058 \text{ km}^2$ . Nach Abzug der außerhalb der Kärntner Landesgrenze liegenden Teile des Einzugsgebietes ( $2638 \text{ km}^2$ ) verbleibt eine Fläche von  $9420 \text{ km}^2$ , welche beinahe der gesamten Fläche des Bundeslandes Kärnten ( $9534,8 \text{ km}^2$ ) entspricht.

	E [ $\text{km}^2$ ]	MQ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Mq [ $\text{l}/\text{skm}^2$ ]
Möll - Kolbnitz	1044	25,8	24,7
Lieser - Spittal	1036	16,9	16,3
Obere Drau - Sachsenburg	2561	66,7	26,1
Gail - Federaun	1308	41,1	31,4
Gurk - Gumisch	2555	28,1	11,0
Lavant - Krottendorf	955	11,7	12,2
Vellach - Miklauzhof	194	5,7	29,2
Untere Drau - Lavamünd	12007	262,3	21,8

Abb. 58: Einzugsgebietsgröße (E), Mittlere Abfluss (MQ) und Abflussspende (Mq) der größten Flüsse Kärntens (Periode 1981-2010)

Aufgrund der großen Einzugsgebietsfläche im Gebirge, steht der Abfluss lange unter dem Einfluss der Schneeschmelze, somit auch unter dem Einfluss der nachwinterlichen Temperaturverhältnisse. Eine ausgiebige Schneeschmelze dauert im hohen Gebirge bis in den Sommer hinein an. Daraus resultiert die alpine Abflusscharakteristik mit einem hohen Abfluss bis  $\sim$  Juli. Der Abflussanstieg der Drau zeigt jedoch eine kleine Unterbrechung Mitte April. Diese Ausprägung der Abflussganglinie ist ebenfalls in den Flüssen Südkärntens sowie Mittel- und Ostkärntens zu finden, welche die Drau beeinflussen. Die Grafiken der saisonalen Abflussspenden (siehe Abb. 48: und Abb. 53: - Drau: dicke orangene Linie) schildern dies eindrücklich. In den saisonalen Temperaturganglinien der letzten 30 Jahre lässt sich dieser „Höcker“ ebenfalls nachweisen. Durch den starken Temperaturanstieg Anfang April wird eine große Menge an Schneeschmelze abflusswirksam. Nachdem die Temperatur Mitte April meist geringer war als zum Monatsanfang und bereits große Schneemengen in Talnähe abgeschmolzen sind, ist auch der Abfluss wieder leicht rückläufig. Eine weitere Auffälligkeit in der Abflussganglinie stellt der Durchflussanstieg im Herbst dar. Dieser ist vorwiegend auf die ein-



mündenden Flüsse Südkärntens zurückzuführen, allen voran die Gail. Die Flüsse führen die reichlichen Niederschlagsmengen über den Karnischen Alpen und den Karawanken in die Drau. Der kleine Auszug einer Ganglinienanalyse der Drau sollte einen kurzen Überblick über die Vielfältigkeit der Drau geben, die von sämtlichen klimatischen Bedingungen Kärntens und Osttirols beeinflusst wird.

Eine weitere Beeinflussung geht vom Menschen aus. An der Drau wurde erstmals im Jahre 1848 mit Regulierungsmaßnahmen begonnen. Im Zusammenhang mit der Errichtung von Staustufen seitens der Österreichischen Draukraftwerke AG (ÖDK) fallen Regulierungsmaßnahmen und Schutzwasserbauten im zunehmenden Maße in die Obhut der ÖDK. Durch den Bau von Laufkraftwerken an der Mittleren und Unteren Drau wurde das Hochwasserabfuhrvermögen des Flussprofils vergrößert. Die Bedeutung der Drau für die energiewirtschaftliche Nutzung wurde schon früh erkannt. Das erste Draukraftwerk entstand 1918 in Faal. Im Jahre 1945 entstand das Kraftwerk bei Lavamünd und 1953 bei Schwabegg. Es folgten Edling (1962), Feistritz-Ludmannsdorf (1968), Rosegg-St. Jakob (1973), Ferlach-Maria Rain (1975) und Annabrücke (1981) (vgl. SEGER 2004, HABERSACK und SEREINIG 2004). Gegen Ende des 20. Jahrhunderts wurden vereinzelt Regulierungs- und Begradigungsmaßnahmen zugunsten von Renaturierungsprojekten wie z.B. in Kleblach Lind abgebaut. Die „Naturrückholaktionen“ wurden von der Bundeswasserbauverwaltung Kärnten durchgeführt und aus dem LIFE-Natur-Fonds der EU finanziell unterstützt. Dazu zählen unter anderem der Rückbau von verbauten Flussufern mit Aufweitungen und dem Bau von Seitenarmen, die Neuanlage von Augewässern, sowie die Bildung von Flächen für Pioniergewächse und Auwälder (vgl. [www.life-drau.at](http://www.life-drau.at)).

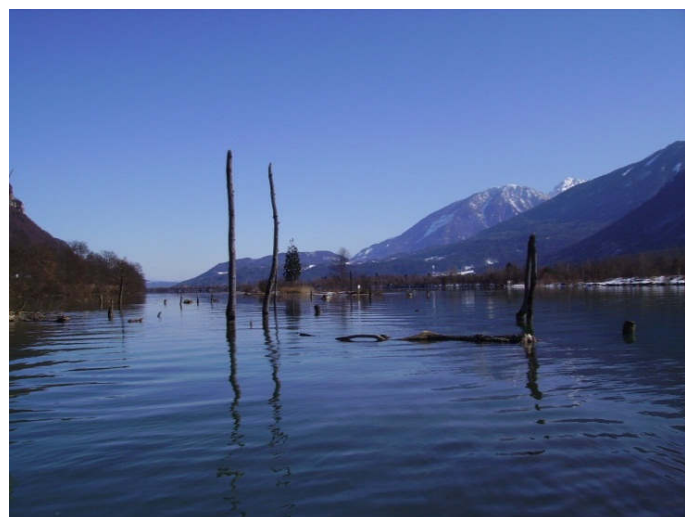


Abb. 59: Links: Draukraftwerk Annabrücke; Rechts: Stausee Annabrücke (Fotos: KERSCHBAUMER)



Abb. 60: Links: Die Drau bei Greifenburg; Rechts: Die Drau bei Kleblach-Lind (Fotos: KERSCHBAUMER)



Abb. 61: Die Drau bei Förderlach als wertvolles Biotop (Foto: KERSCHBAUMER)

### 3.3.1 Messdatenerfassung der Wasserstände und Abflüsse

Wie die Wassermenge an einem Flusslauf gemessen wird und wie die gewonnenen Daten verarbeitet werden.

#### 3.3.1.1 Messgeräte



Der Wasserstand (W) gibt die Höhe des Wasserspiegels über einem Bezugspunkt, dem sogenannten Pegelnullpunkt (PNP) an. Der Pegelnullpunkt liegt nicht zwangsläufig auf der Gewässersohle, da diese durch Erosion und Sedimentation nicht konstant bleibt. Somit ist der Wasserstand nicht mit der Wassertiefe zu verwechseln. Häufig werden Pegellatten bzw. Messlatten (siehe Abb. 62:) entlang großer Flüsse eingesetzt. Diese sind auf einen festen Bezugspunkt über

NormalNull ausgerichtet (Vgl. [www.wsa-ko.wsv.de](http://www.wsa-ko.wsv.de)).

Abb. 62: Mess-/Pegellatte (Foto: [www.wsa-ko.wsv.de](http://www.wsa-ko.wsv.de))

Neben dem Wasserstand ist der Abfluss bzw. Durchfluss  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] eine wichtige Kenngröße in der Hydrographie. Der Abfluss beschreibt das Wasservolumen (V), welches den Flussquerschnitt an der Stelle der Messeinrichtung in einer Sekunde (t) durchfließt.

$$Q = \frac{V}{t} = \int_F v dF$$

v = Fließgeschwindigkeit

F = durchflossene Fläche

Für die Messung des Abflusses gibt es mehrere Methoden. Die verbreitetsten Methoden in Kärnten sind die Messflügelmethode und die Messung mittels einer Pegelanlage.

**Die Messflügelmethode:** Als Messflügel oder hydrometrischer Flügel wird ein wasserdichter stromlinienförmiger Körper verstanden, der mit einer Schraube oder Propeller die Fließgeschwindigkeit (Umdrehungen pro Sekunde) misst. Bei größeren Flüssen wird mittels einer Seilkrananlage (siehe Abb. 63:) der Messflügel über den Flussquerschnitt gebracht, wo die Fließgeschwindigkeit an verschiedenen Höhen und Breiten gemessen wird. Bei kleineren Flüssen oder Bächen steigt die Person welche die Messung vornimmt mit einer Wathose und einer skalierten Stange (anhand der die Tiefe abzulesen ist) mit mobilem Messflügel ins Flussbett. Das Messprinzip ist bei großen und kleinen Flüssen dasselbe. Der Fluss wird in Teilabschnitte bzw. Messlotrechten unterteilt. Bei der ersten Lotrechten/Lamelle wird mit der Messeilwinde oder einer Peilstange die Wassertiefe ermittelt. Anschließend wird zunächst knapp unterhalb der Wasseroberfläche, dann etwas tiefer im unteren Drittel (nach Krepss), die Fließgeschwindigkeit gemessen. Daraus wird die mittlere Fließgeschwindigkeit dieser Lamelle

errechnet. Der Teilabfluss, also der Abfluss einer Lamelle, errechnet sich durch die Breite der Lamelle ( $b$ ) mal der Tiefe der Lamelle ( $t$ ) mal der mittleren Fließgeschwindigkeit ( $v_m$ ). Danach wird die nächste Lamelle gemessen. Die Summe der Teilabschnitte ergibt den Abfluss ( $Q$ ) über den gesamten Flussquerschnitt.

$$Q = A * v = \sum b * t * v_m$$



Abb. 63: Messtation Rattendorf mit Seilkrananlage und Messflügel (Foto: MALLE)

Diese Messungen sind sehr aufwendig und werden etwa sechs Mal im Jahr durchgeführt.

**Die Pegelanlage:** In einem kleinen Gebäude an einem Fluss oder Bach befindet sich eine Gasflasche. Die Gasflasche ist mit einem Schlauch verbunden, der bis knapp über die Flusssohle bzw. zumindest unter den niedrigsten-gemessenen Wasserstand (NNW) reicht. Mittels der Gasflasche wird Luft in den Schlauch gepresst, bis sie am Ende des Schlauches austritt (siehe Abb. 64:). Bei hohem Wasserstand steigt der äußere Druck und die Gasflasche benötigt mehr Druck als bei niederem Wasserstand, die Luft hinunter durch den Schlauch zu pressen. Dieser Druck wird mit einem Manometer gemessen und dient zur Umrechnung auf den Wasserstand.

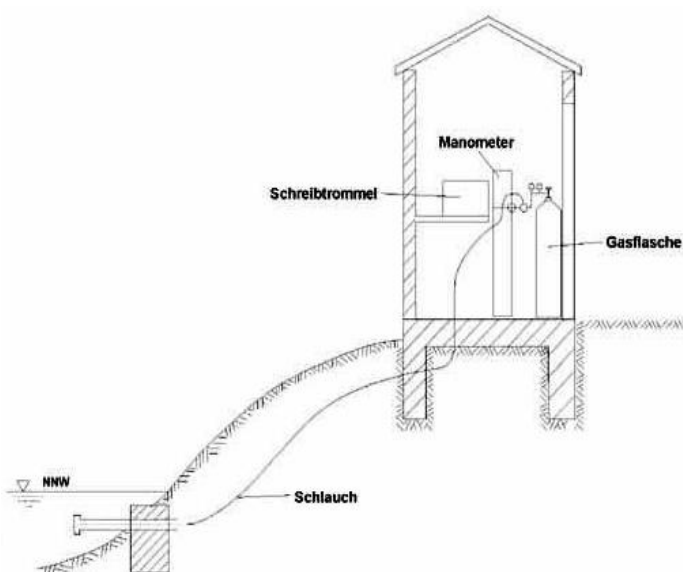


Abb. 64: Druckluftpegel (Vgl. <http://iwhw.boku.ac.at>)

Ein Pegelschreiber bzw. eine Schreibtrommel zeichnen die Wasserstände kontinuierlich auf. Anstatt der Gasflasche kann auch ein Kompressor verwendet werden.

Bei neueren Messmethoden wird der Schlauch am Ende mit einer Membran verschlossen. Die Membran wölbt sich weiter nach innen in den Schlauch, je höher der äußere Druck, also je höher der Wasserstand ist. Der Druck im Schlauch muss nun soweit angepasst werden, dass die Membran sich weder nach innen, noch nach außen wölbt. Dieser Druckausgleich wird erreicht, wenn der innere gleich dem äußeren Druck ist. Eine Sonde misst die Wölbung der Membran. Bei dieser Methode muss der Luftdruck mit berücksichtigt werden. Aufgrund des Wasserstands und der Kenntnis über den Flussquerschnitts kann mithilfe eines Pegelschlüssels der Abfluss  $Q$  ermittelt werden.

**Der Pegelschlüssel:** Nach der genauen Messung mit der Flügelmess-; Salzverdünnungs- oder Ultraschallmessbootmethode ist bekannt, wie hoch der Durchfluss bei jeweiligem Wasserstand ist. Messungen bei unterschiedlichen Wasserständen, wie Hochwasser, Niedrigwasser, etc. werden in einer Datenbank festgehalten. Durch in Beziehung setzen von Wasserständen (in Abb. 65: auf der Ordinate) und Durchflüssen (in Abb. 65: auf der Abszisse) kann eine sogenannte Pegelschlüsselkurve ermittelt werden. Anhand dieser Kurve kann vom Wasserstand relativ genau auf den Durchfluss geschlossen werden.

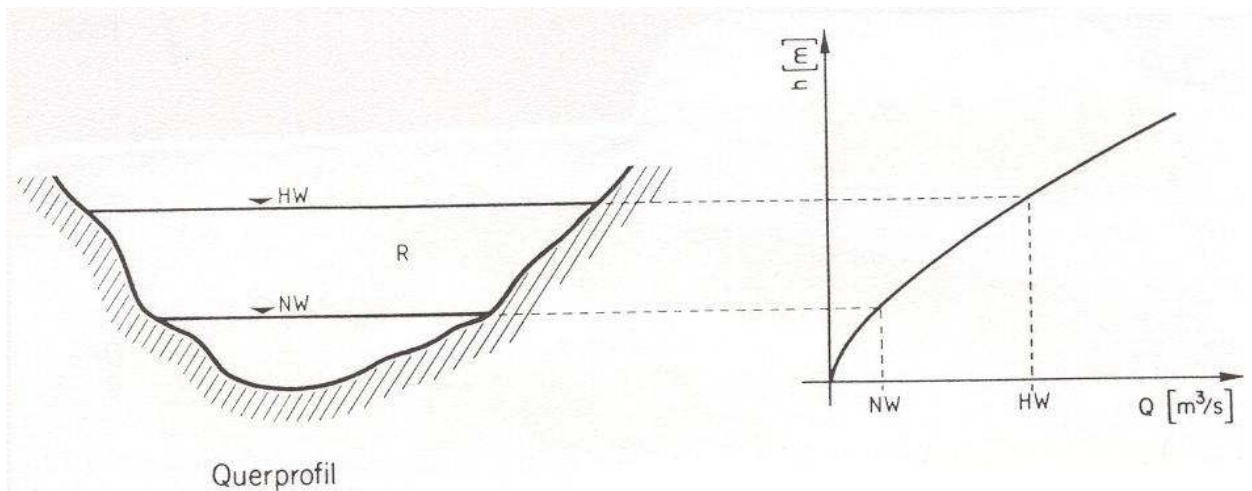


Abb. 65: Pegelschlüssel (Vgl. <http://iwhw.boku.ac.at>)

Normalerweise erfolgt an jeder Messstelle sechs Mal im Jahr eine manuelle Abflussmessung, da sich die Flusssohle oft verändert und deshalb der Pegelschlüssel häufig an die aktuellen Verhältnisse angepasst werden muss. Die viertelstündlich automatisch durchgeführten Messungen des Wasserstandes werden dann automatisch mithilfe des Pegelschlüssels in Abflüsse umgerechnet



Abb. 66: Abflussmessung mit dem Messflügel an der Glanfurt (Foto: MOSER)

**Das Messwehr:** Für die Abflussmessung kleinerer Bäche werden gelegentlich Messwehre verwendet (siehe Abb. 67:). Bei einem Messwehr bleibt der Querschnitt, den der Fluss durchläuft aufgrund der Verbauung gleich. Über den Wasserstand und eine geometriebezogene Formel kann der Durchfluss errechnet werden. Beim Messwehr ist die Kalibrierung der Messwehrformel anhand von Flügelmessungen wichtig.



Abb. 67: Messwehr Kaser Wiesel beim Gnoppnitzbach (Fotos: MALLE)

In Kärnten gibt es rund 150 Abflussmessstationen (siehe Abb. 68:). Die meisten davon sind bereits mit digitalen Sonden ausgerüstet.



Abb. 68: Abflussstationen des HD Kärntens. Die orange Umrandung markiert Stationen, welche zum Thema „Wasserstände und Abflüsse“ dargestellt werden. (Von West nach Ost sind dies Sachsenburg, Gmünd, Federaun, Gumisch, Miklauhof und Krottendorf)

### 3.3.1.2 Datenprüfung, Korrektur und Aggregation von Messdaten der Wasserstände und Abflüsse

Für die Darstellung von Flussganglinien, für die Modellierung von Hochwässern und für die Berechnung der Hydrologischen Kennwerte wie Mittelwasser, Hochwasser, Niederwasser, etc. werden Abflussdaten verwendet. Die Abflussdaten von Flüssen und Bächen basieren auf viertelstündlichen Messungen. Für gewisse Aufgaben wie die Modellierung ist die hohe zeitliche Auflösung zwar rechenintensiv, aber von hohem Wert. Für Darstellungen eines längeren Zeitraums werden die Werte in der Regel gemittelt. In dieser Studie wurde das Tagesmittel gebildet, indem die Fläche unter der Ganglinie eines gesamten Tages durch die Zeit dividiert wurde. Das mittlere Tagesmittel repräsentiert den durchschnittlichen Abfluss eines Tages z.B. (Tagesmittel des 7. Junis 1981 + Tagesmittel des 7. Junis 1982+ ... + Tagesmittel des 7. Junis 2010) dividiert durch 30. Das maximale Tagesmittel zeigt das höchste Tagesmittel, das minimale Tagesmittel zeigt das kleinste Tagesmittel, welches in den 30 Jahren registriert wurde.

## 3.3.2 Auswertung der Wasserstände und Abflüsse

### 3.3.2.1 Stationsdaten

#### Obere Drau – Sachsenburg

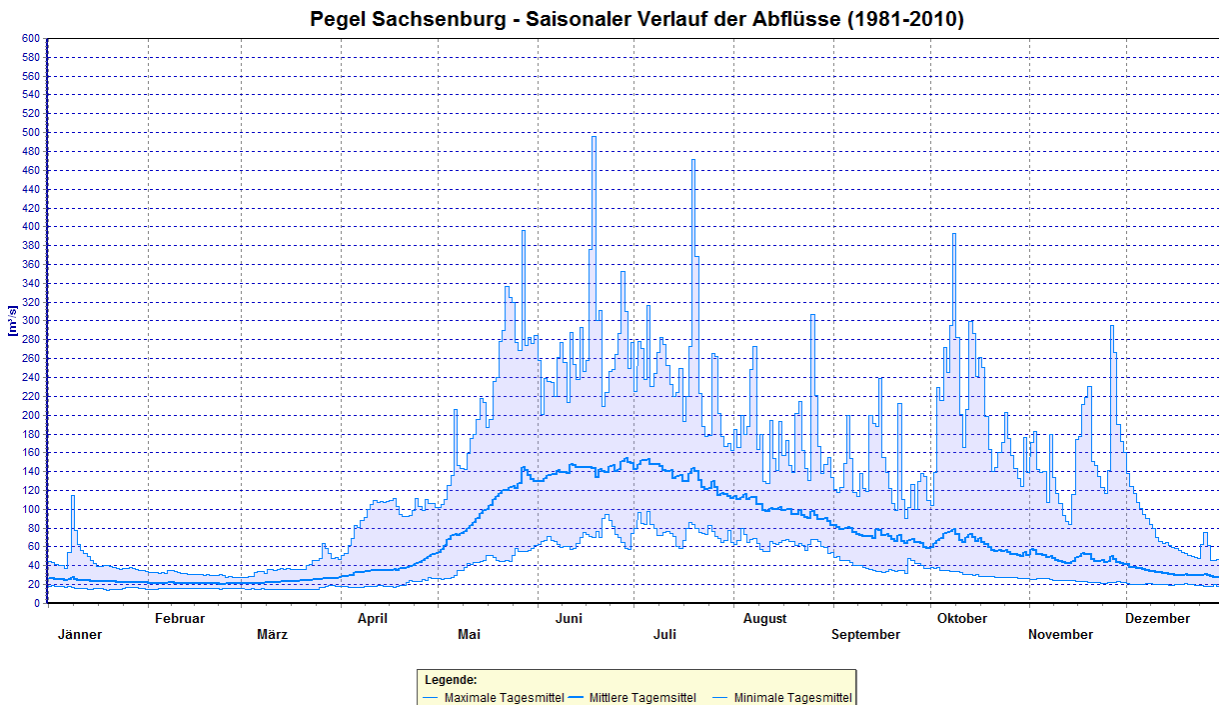


Abb. 69: Abfluss der Oberen Drau am Pegel Sachsenburg (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 66,6m<sup>3</sup>/s



## Lieser – Gmünd

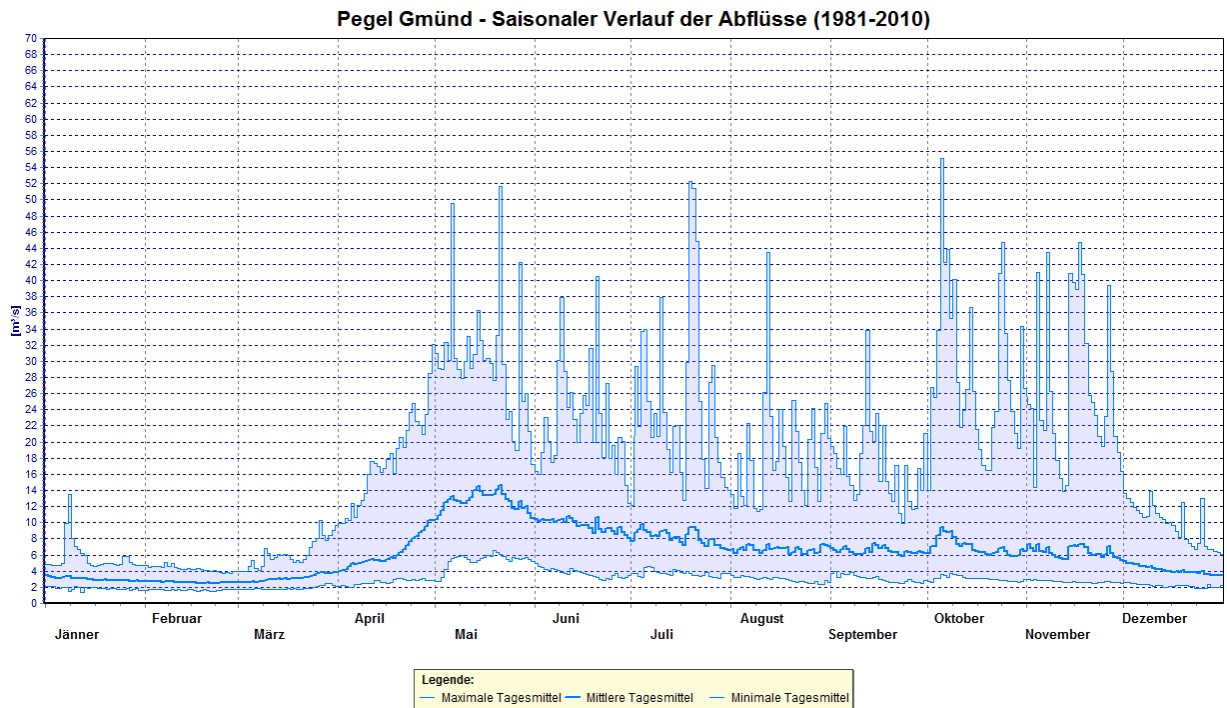


Abb. 70: Abfluss der Lieser am Pegel Gmünd (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel)  
 Jahresmittel: 6,4 m<sup>3</sup>/s

## Gail – Federaun

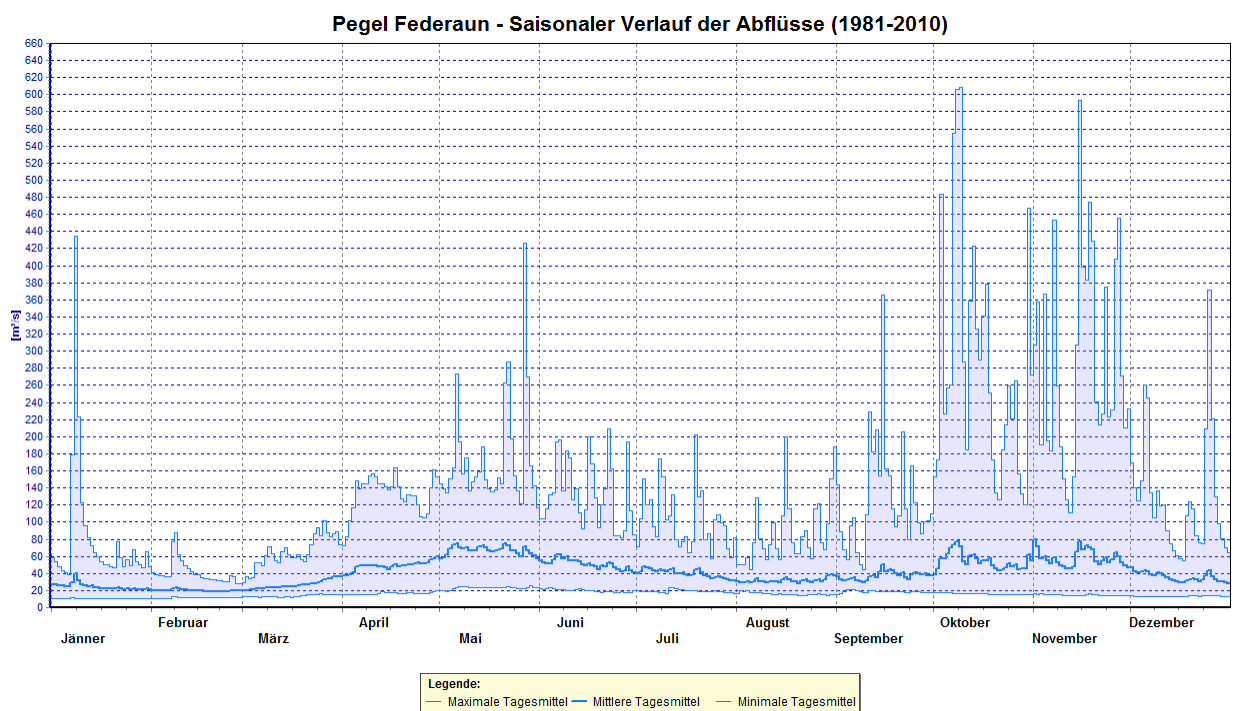


Abb. 71: Abfluss der Gail am Pegel Federaun (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel)  
 Jahresmittel: 41,2 m<sup>3</sup>/s

## Gurk - Gumisch

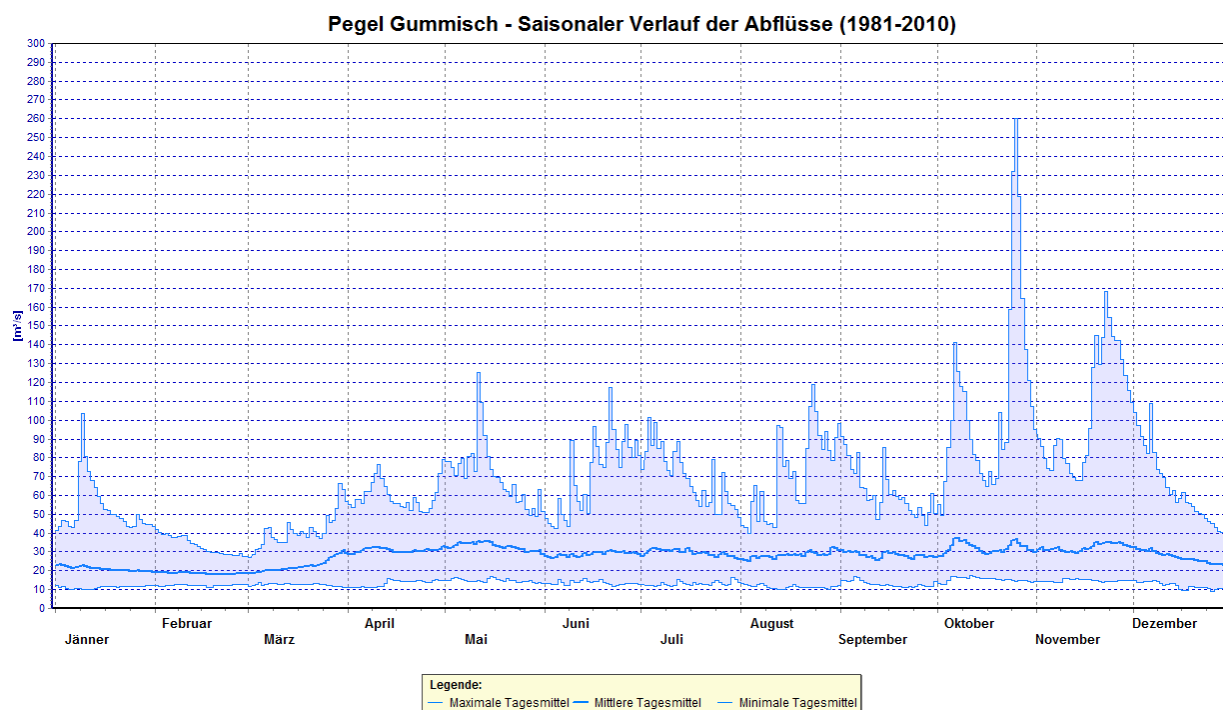


Abb. 72: Abfluss der Gurk am Pegel Gumisch (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel)  
 Jahresmittel: 27,8 m<sup>3</sup>/s

## Vellach - Miklauzhof

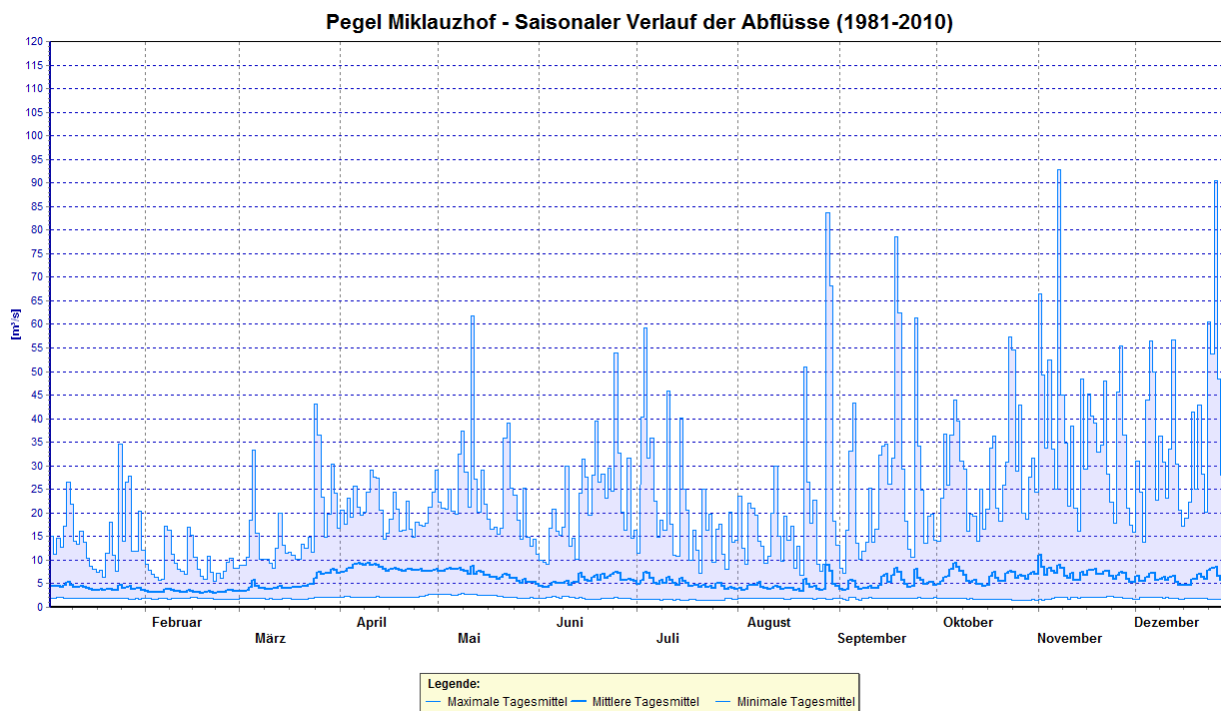


Abb. 73: Abfluss der Vellach am Pegel Miklauzhof (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel)  
 Jahresmittel: 5,7 m<sup>3</sup>/s

## Lavant - Krottendorf

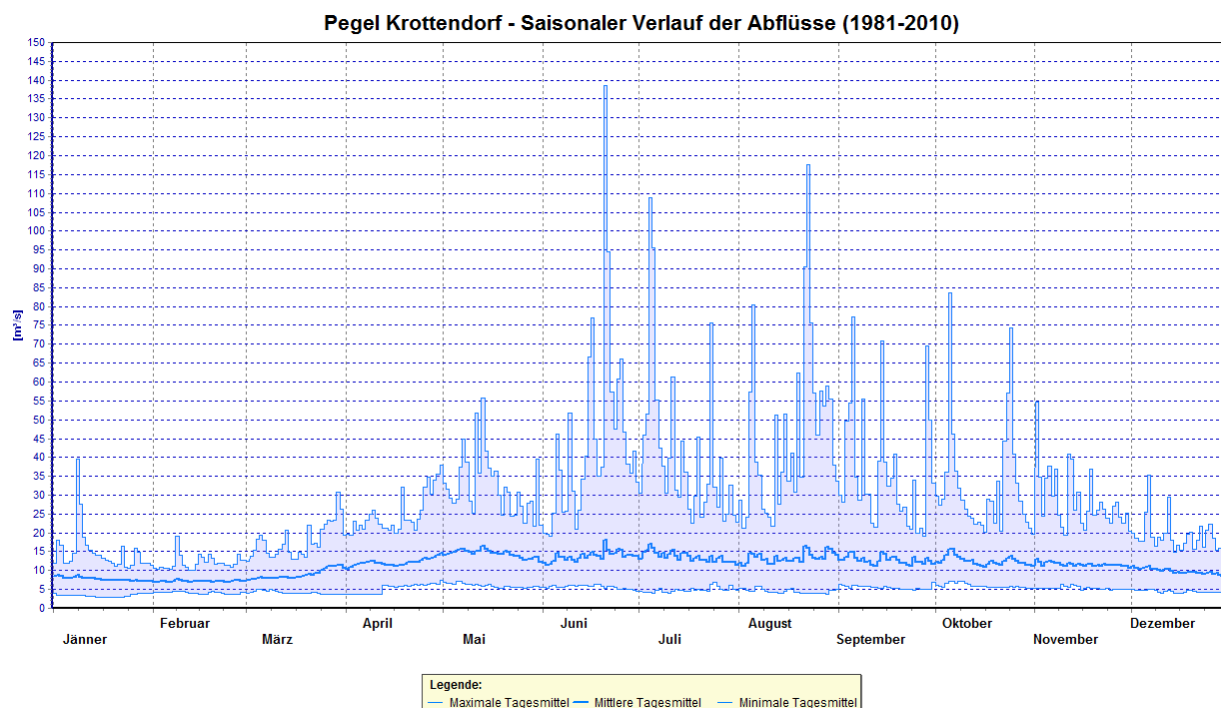


Abb. 74: Abfluss der Lavant am Pegel Krottendorf (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel)  
 Jahresmittel: 11,4 m<sup>3</sup>/s

**Beschreibung:** Die saisonalen Abflussganglinien der Flüsse Oberkärntens zeigen an der Oberen Drau und an der Lieser ein Abflussminimum im Februar. Hohe Abflüsse sind aufgrund der Schneeschmelze und den hohen Regenmengen in den Gebirgen ab Mai zu beobachten und erstrecken sich über die Sommermonate. Die Obere Drau hat die höchsten Abflussspitzen (Maximale Tagesmittel) im Sommer, aber auch im Oktober und November können hohe Abflüsse erwartet werden. Die Lieser zeigt im Herbst die höheren Abflussspitzen im Vergleich zum Sommer.

Viel ausgeprägter als bei der Lieser sind die herbstlichen Maxima an den Flüssen Südkärntens zu beobachten. Wie die Niederschlagssummenkarte der Monate September, Oktober und November im Kapitel 3.2.2.2 demonstriert, ist der Herbst von hohen Niederschlagsmengen, vor allem im Westen und Süden Kärntens, geprägt. Die sinkenden Temperaturen und die rückläufige Vegetation führen zu einer geringeren Verdunstung und zu höheren Abflussmengen. An der Gail sind die hohen Abflüsse des Herbsts besonders imposant. Die hohen Abflussmengen in den Monaten Oktober und November reichen bei einem mittleren Abfluss von etwa 80 m<sup>3</sup>/s bis hin zu Abflussspitzen von über 600 m<sup>3</sup>/s. Selbst im Jänner erreichte ein Hochwasser einst 435 m<sup>3</sup>/s. Das Minimum des mittleren Abflusses wird auch an der Gail Ende Februar erreicht. Die Vellach zeigt das ausgefransteste Bild der hier angeführten Ganglinien, vor allem die maximalen Tagesmittel betreffend. Die unruhigen Ganglinien resultieren aus dem Einfluss der Karawanken, welche einerseits feuchte Luftmassen aus dem Süden abregnen lassen und andererseits mit den steilen und felsigen Bergflanken die Regenmengen schnell abflusswirksam machen. Auch an der Vellach ist das geringste mittlere Tagesmittel im Februar zu finden. Ende März kommt es zu einem Anstieg auf 9 m<sup>3</sup>/s, welcher bis An-

fang Juni aufgrund der nachlassenden Schneeschmelze wieder auf  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  zurückfällt. Ab Oktober steigt das mittlere Tagesmittel wieder anhaltend auf über  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , wo es bis Ende Dezember verweilt. Dieser Anstieg geht mit den maximalen Tagesmitteln einher, welche zwischen 1981 und 2010 Spitzen bis zu  $93 \text{ m}^3/\text{s}$  erreichten.

Die Gurk im mittleren Kärnten zeigt im saisonalen Verlauf der Ganglinie ebenfalls im Oktober und November die höchsten maximalen Tagesmittel. Selbst das mittlere Tagesmittel steigt im Oktober auf den Höchstwert von fast  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Abflüsse der Gurk sind im Allgemeinen relativ kontinuierlich mit höheren Werten zwischen April und November und etwas niedrigeren Werten zwischen Dezember und März.

Die Lavant beginnt das Jahr mit geringen Abflussmengen, welche ab März allmählich ansteigen. Die Verdunstung im Osten Kärntens ist relativ stark. Ab Juni wird dem Absinken des Mittleren Abflusses durch starke Regenschauer entgegengewirkt. Fallen diese aus, kann das Tagesmittel unter  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  sinken. Die höchsten gemessenen Tagesmittel mit  $139 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $117 \text{ m}^3/\text{s}$  wurden zwischen Juni und August aufgezeichnet. Auch im Oktober wurden bereits höhere Abflussmengen bis zu  $84 \text{ m}^3/\text{s}$  erfasst.

### 3.4 Seetemperaturen

Die Entstehungsgeschichte der großen Kärntner Seen fällt zurück in das Ende der letzten Eiszeit, als sich vor etwa 15.000 Jahren die letzten großen Gletscher, welche fast das ganze Land bedeckten, zurückzogen. Dabei wurden die Talfurken der heutigen Seen (tektonische Störungen, vom Gletscher überformt) jedoch nicht von kaltzeitlichen Ablagerungen zusiedimentiert, sodass sich die tiefen Felswannen allmählich mit Wasser auffüllen konnten. Heute findet man auf einer 1:50.000 Landkarte von Kärnten 1270 stehende Gewässer, wobei auch größere Hochgebirgstümpel und Teiche miteinfließen. Die Hälfte davon liegt oberhalb von 1000 m Seehöhe mit einer geringen Ausdehnung der Wasseroberfläche. Berechnet man die Summe sämtlicher Wasseroberflächen stehender Gewässer, so erhält man einen Wert von etwa  $60 \text{ km}^2$ .  $50 \text{ km}^2$  davon fallen der Größe nach geordnet auf die größten Talseen (den Wörthersee, den Millstätter See, den Ossiacher See und den Weißensee). Die restlichen  $10 \text{ km}^2$  teilen sich 1266 stehende Gewässer, wobei der Faaker See, der Keutschacher See und der Klopeiner See je über  $1 \text{ km}^2$  für sich beanspruchen. Informationen über Größe, Tiefe und Seehöhe sind der Abb. 75: zu entnehmen (vgl. SAMPL 1999).

Gewässer	Fläche	Tiefe	Seehöhe	Gewässer	Fläche	Tiefe	Seehöhe
Wörthersee	1938,75	85,2	439	Turracher See	19,43	33	1763
Millstätter See	1328,12	141	588	Rauschelesee	19,1	12	514
Ossiacher See	1078,7	52,6	501	Hafnersee	15,96	10	510
Weißensee	653,12	99	930	Mitterteich	15	3	510
Faaker See	220	29,5	554	Magdalensee	15	6	486
Keutschacher See	132,7	15,6	506	Weißsee	15	5,5	2365
Klopeiner See	110,62	48	446	Silbersee	14,3	7	492
Längsee	74,84	21,4	548	Maltschacher See	12,9	6,7	594
Pressegger See	55,28	13,7	560	Kleinsee	15,5	9	447
Afritzer See	48,78	22,5	752	Feldsee	12	35	2217
Turnersee	44,15	13	481	Farchtnersee	11,71	8,3	989
Feldsee	41,19	56,3	747	Dösener See	11,53	40	2269
Gösselsdorfer See	32	3	469	Weizelsdorfer See	11	13	439
Forstsee	29	35	605	Sonnegger See	10,7	3	540
Strußnigteich	26	2	552	Brett See	10	36,4	2529

Abb. 75: Die größten Seen Kärntens; Fläche [ha], Tiefe und Seehöhe [m] (vgl. SAMPL 1999)

Die tiefsten Seen Kärntens sind der Millstätter See mit 141 m, der Oschenik See mit 116 m, der Weißensee mit 99 m und erst an vierter Stelle der Wörthersee mit 85 m. Die Talseen sind langgestreckt, mit steilen Seehängen und einem breiten, trogförmigen Boden. Die meisten Kärntner Seen liegen abseits der Hauptentwässerungslinie, was bedeutet, dass sie ein geringes Einzugsgebiet haben. Das hat zur Folge, dass die Wassererneuerung recht langsam erfolgt und z.B. der Wörthersee theoretisch 10,5 Jahre und der Klopeiner See 11,5 Jahre benötigen, um ihr Wasser vollkommen zu erneuern. Der Ossiacher See hingegen benötigt rund 2 Jahre.

Die hohe Einstrahlung während der Sommermonate, die geringe Durchflutung durch Flüsse und Bäche und die minimale Durchmischung der oberen warmen mit den tieferen kalten Schichten wegen Windarmut sind ausschlaggebend, dass die Seetemperaturen stark ansteigen können (22 – 26 °C; in Ufernähe sogar bis ~ 29 °C). Nach einer Studie am Wörthersee beginnt im Sommer ab einer Tiefe von etwa 10 m eine rasche Temperaturabnahme von 2 – 3 °C pro Meter (Sprungschicht). Ab rund 40 – 60 m Tiefe erreicht die Temperatur einen Wert von ~ 4,4 °C, die bis zum Seeboden anhält (siehe Abb. 76.). Eine Sprungschicht (Metalimnion), welche während der warmen Jahreszeit die kalte Grundschicht (Hypolimnion) von der warmen Oberflächenschicht (Epilimnion) trennt, entsteht bei den Kärntner Seen aufgrund der geringen Durchmischung durch Windarmut. Seen mit einer Sprungschicht werden als meromiktisch (Wörthersee, Millstätter See, Klopeiner See, Längsee, Weißensee), Seen mit einer ganzjährlichen Durchmischung (z.B. Ossiacher See und Faaker See) werden als holomiktisch bezeichnet. Der holomiktische Ossiacher See ist nur 2 m seichter, als der meromiktische Klopeiner See, hat aber eine zehnmals größere Oberfläche, sodass es aufgrund einer für den Wind größeren Angriffsfläche, zu einer Vollzirkulation kommt (vgl. SAMPL 1999 und PASCHINGER 1976).

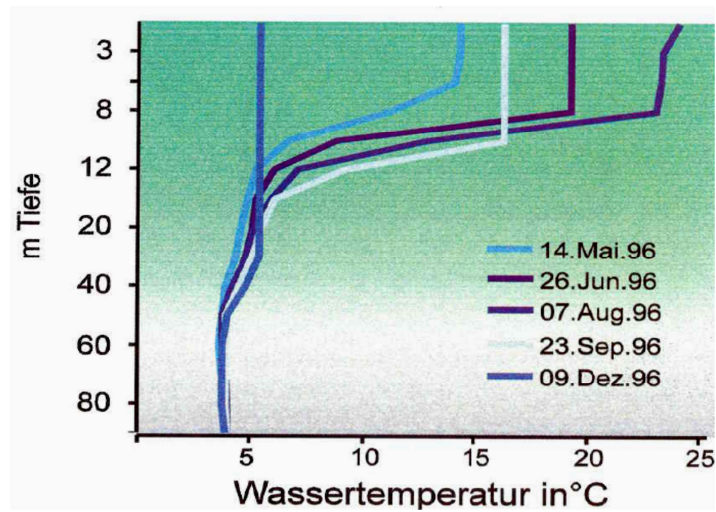


Abb. 76: Temperaturschichtung im Wörthersee (vgl. SAMPL 1999)

### 3.4.1 Messdatenerfassung der Seetemperaturen

#### 3.4.1.1 Messgeräte

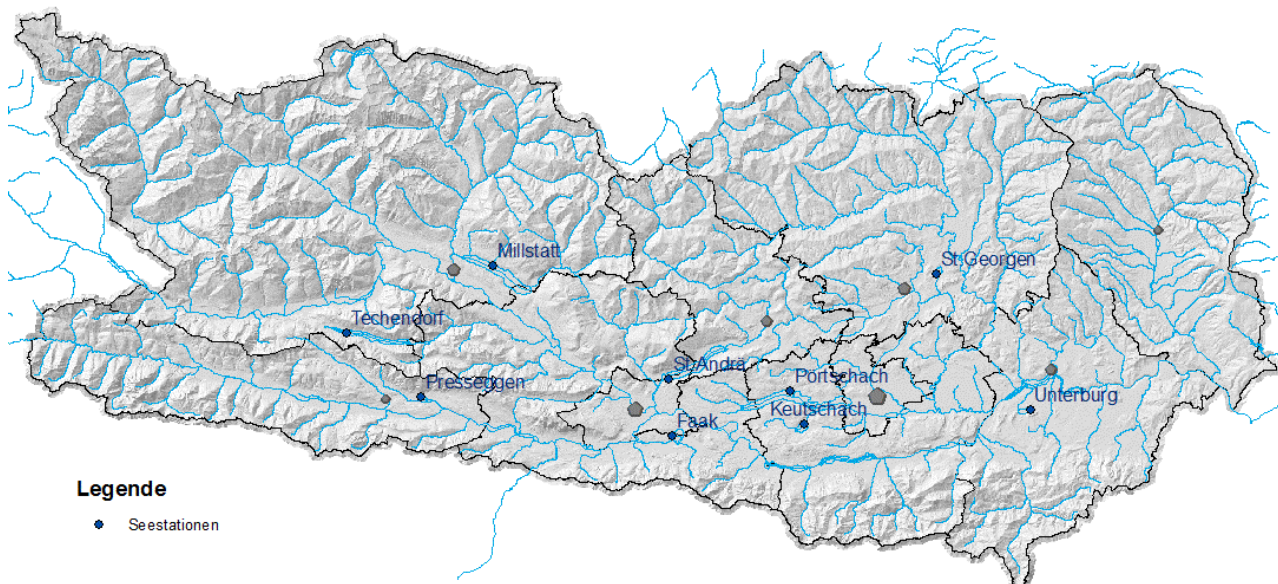


Abb. 77: Seestationen in Kärnten (Techendorf am Weißensee, Pressegggen am Pressegger See, Millstatt am Millstätter See, St. Andrä am Ossiacher See, Faak am Faaker See, Pörschach am Wörthersee, Keutschach am Keutschacher See, St. Georgen am Längsee, Unterburg am Klopeiner See)



Die Messung der Seetemperatur erfolgt mit einer Sonde, welche in Ufernähe etwa 1 m unter der Wasseroberfläche installiert wird. Zumeist wird ein Steg verwendet, an dessen Stütze die Sonde fixiert wird.

An neun Seestationen misst der Hydrographische Dienst (siehe Abb. 77:). Weitere Stationen werden vom Kärntner Institut für Seenforschung betrieben.

Abb. 78: Seestation in Pörschach am Wörthersee

### *3.4.1.2 Datenprüfung, Korrektur und Aggregation von Messdaten der Seetemperaturen*

Die Wassertemperatur ist an die Wassertiefe gekoppelt. Wenn sich untere kühlere Wasserschichten mit oberen wärmeren Wasserschichten durchmischen, kommt es zu einer Abkühlung der oberen Wasserschichten. Daher ist es wichtig die Sonde nicht dort zu platzieren, wo Schiffs- und Bootsverkehr die Wasserschichten durchmischen. Auch erhöhter Badebetrieb nahe des Temperaturfühlers kann sich auf die Wassertemperatur auswirken. So können neben diversen unnatürlichen Temperaturveränderungen auch natürliche durch Regen und Wind auftreten. Auch die Positionierung des Sensors spielt eine Rolle. In einer seichten Bucht wird die Temperatur in der Regel wärmer sein



und höheren Schwankungen unterliegen, als an einer steilen Felsküste. Außerdem kann es bei größeren Seen einen Unterschied ergeben, ob die Messung am West- oder Ostufer gemessen wird, da die häufig vorherrschenden Westwinde Wassermassen nach Osten transportieren. Diese Unterschiede erschweren den Wassertemperaturvergleich von unterschiedlichen Seen. Die Fehlerkorrektur der Wassertemperatur gestaltet sich zudem als diffizil, da aus den Daten Temperaturstürze nur selten zu ergründen sind. Das Messgerät speichert die Messungen anhand eines Graphen und wird periodisch ausgelesen.

Abb. 79: Wörthersee Pegel Klagenfurt – Metnitzstrand Schiffsanlegesteg; November 2013 (Foto: MOSER)

## 3.4.2 Auswertung der Seetemperaturen

### 3.4.2.1 Stationsdaten

#### Messtation Weißensee

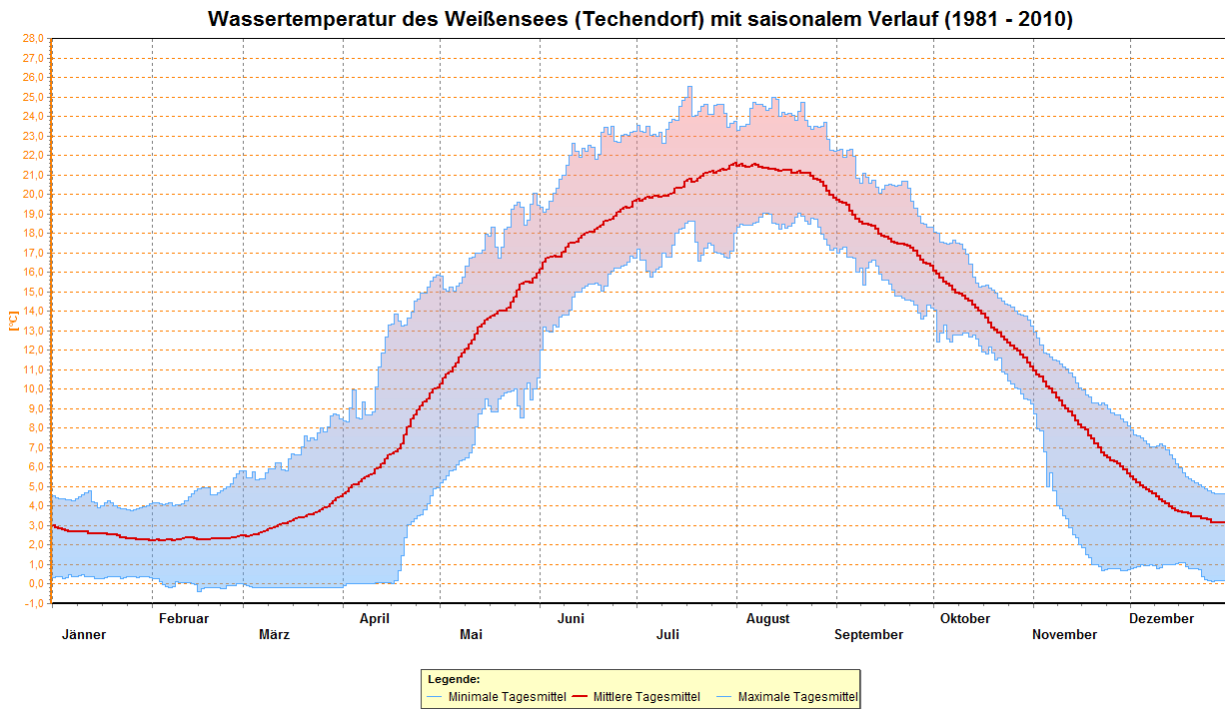


Abb. 80: Wassertemperatur des Weißensees



## Messtation Millstätter See

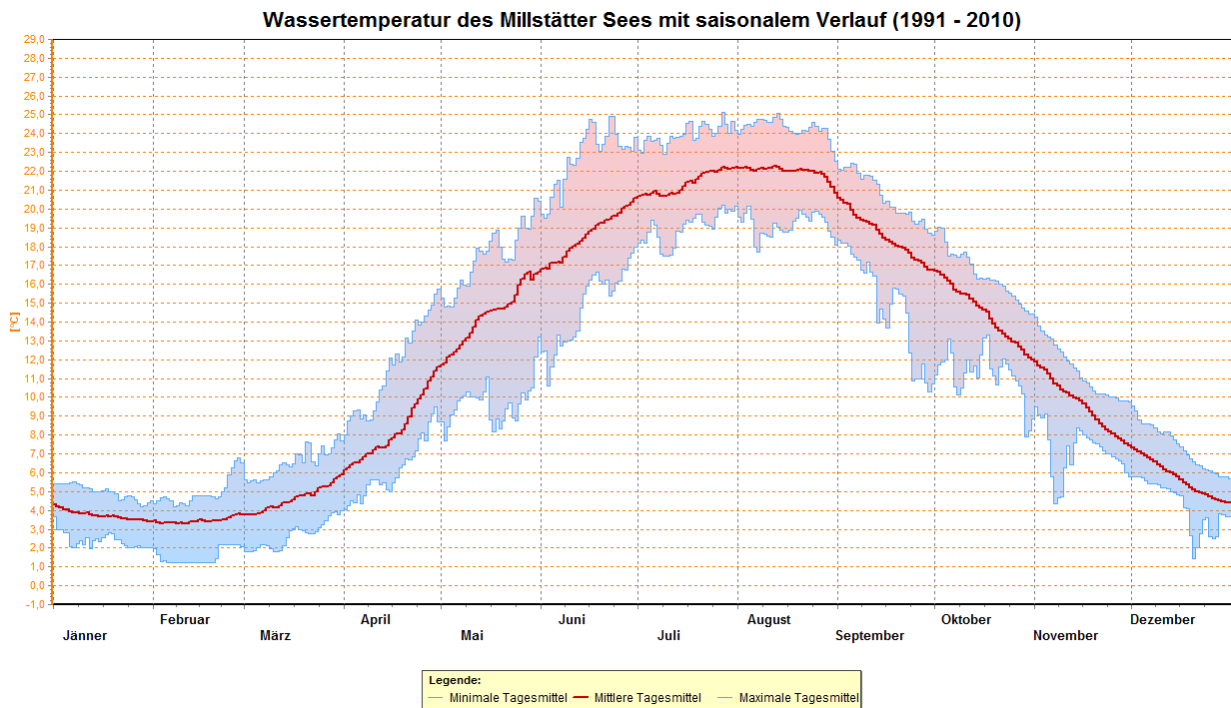


Abb. 81: Wassertemperatur des Millstätter Sees

## Messtation Wörthersee

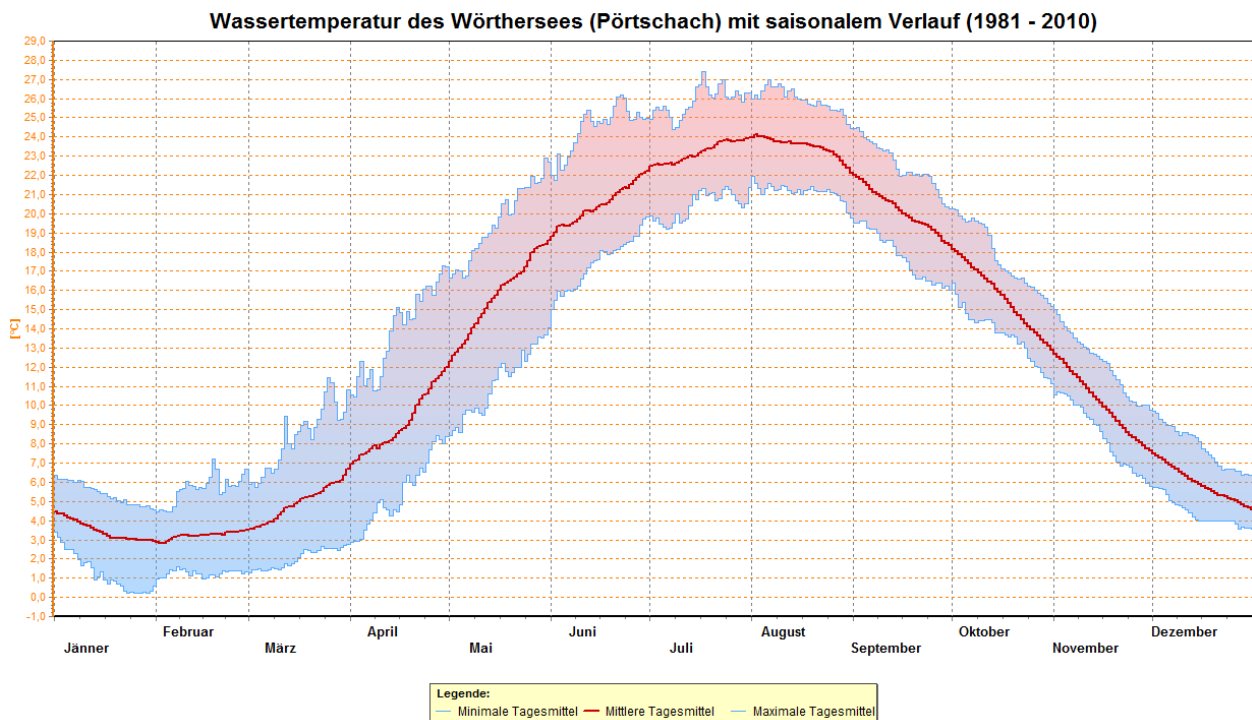


Abb. 82: Wassertemperatur des Wörthersees

## Messtation Klopeiner See

Wassertemperatur des Klopeiner Sees (Unterbург) mit saisonalem Verlauf (1981 - 2010)

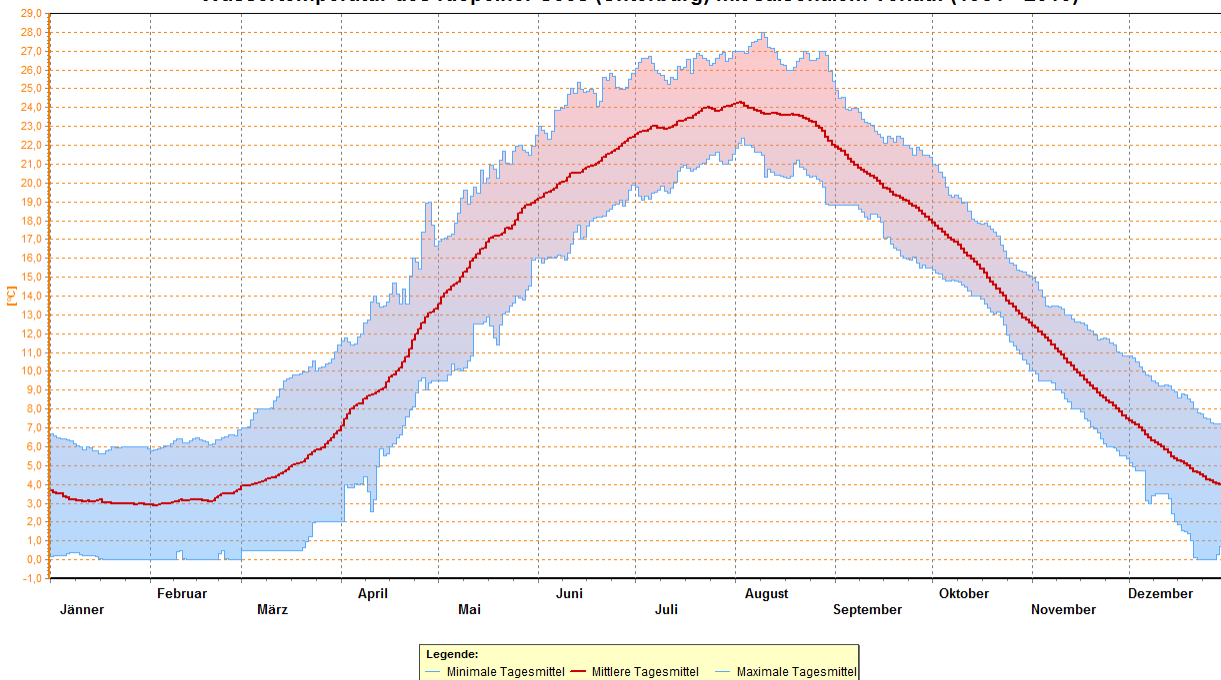


Abb. 83: Wassertemperatur des Klopeiner Sees

**Beschreibung:** Bei der Betrachtung der saisonalen Wassertemperaturverläufe fällt auf, dass die Spanne zwischen den minimalen und maximalen Tagesmitteln bis September groß ist, und sich ab diesem Zeitpunkt die Werte einander annähern. Die Erwärmungsphase der Seen ist an den Einzug des Frühlings gebunden, der mit erhöhten Temperaturen und verstärkter Sonneneinstrahlung die oberen Schichten der Seen erwärmt. So wie die Lufttemperatur in Kärnten durchschnittlich Mitte April einen kräftigen Sprung nach oben macht, so ist dies auch bei der Wassertemperatur an den Seen zu beobachten.

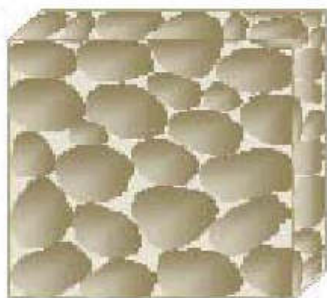
Der Weißensee hat am ersten Mai ein mittleres Tagesmittel von 10 °C, Millstätter See und Wörthersee liegen bei rund 12 °C und der Klopeiner See bei 13,5 °C. Die maximalen Tagesmittel zeigen Werte bis zu 17 °C. Da es sich hierbei um das Tagesmittel handelt, sind nachmittags bei schönem Wetter Wassertemperaturen weit über diesem Wert möglich, sodass die Badesaison eröffnet werden kann. Die Höchstwerte erreichen die Seen in der Regel Mitte/Ende Juli. Die mittleren und maximalen Tagesmittel erreichen Werte von 21,6 °C und 25,6 °C am Weißensee, 22,3 °C und 25,2° am Millstätter See, 24,1 °C und 27,4 °C am Wörthersee sowie 24,3 °C und 28 °C am Klopeiner See, dem wärmsten großen Badesees Kärntens. Die Auskühlphase der großen erwärmten Wasserkörper erfolgt konstanter als die Erwärmungsphase bei einer geringeren Schwankungsbreite und setzt bereits im August ein. Ab September wird die Lufttemperatur spürbar kühler, auch die Tage werden kürzer. Allmählich sinken die mittleren Seetemperaturen unter 20 Grad. Ende Jänner erreichen die Seen ihr Temperaturminimum und manche, wie etwa der höchst gelegene Badesees der Ostalpen, der Weißensee auf 930 m, frieren zu. Die Eislaufsaison kann beginnen.

## 3.5 Quellschüttungen

Mit der Quellschüttung wird die Menge an Wasser, welche innerhalb einer bestimmten Zeit aus einer Quelle entspringt bezeichnet. Meisten wird die Quellschüttung  $Q$  in Liter pro Sekunde [l/s] angegeben. Eine Quelle ist nach der Normierung DIN 4049-3 ein örtlich eng begrenzter Grundwasseraustritt. Quellen reagieren grundsätzlich auf Änderungen im Grundwasserkörper durch Niederschläge oder Zusickerung, aber auch auf Feucht- oder Trockenperioden.

Ein Grundwasserkörper, auch Aquifer genannt, ist ein Locker- oder Festgesteinshorizont, der mit Grundwasser gefüllt ist. In den Hohlräumen des Substrats kann sich Wasser speichern aber auch abgeleitet werden. Begrenzt wird ein Aquifer durch einen wasserundurchlässigen Grundwasserstauer, der meist aus tonhaltigen Gesteinen besteht.

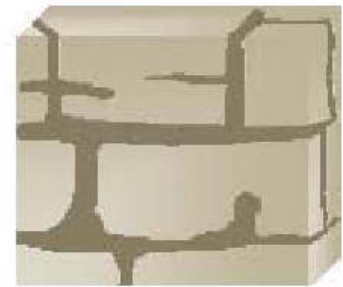
Anhand der Strömungsrichtung des Grundwassers unterscheiden sich Quellen in zwei Ausprägungen; entweder sinkt das Grundwasser ab (Gravitationsquellen: Schütt-, Schicht-, Überlauf-, Überfallquelle) oder es handelt sich um aufsteigendes Grundwasser (Artesische Quellen: artesische Überfall-, Depressionsquelle). Eine andere gebräuchliche Einteilung der Quellen bezieht sich auf das Gestein bzw. den Grundwasserleiter des Einzugsgebiets und den daraus charakteristischen Eigenschaften (siehe Abb. 84:).



**Poren**



**Klüfte**



**Karst**

Abb. 84: Grundwasserleiter (Vgl. Skript Grundwasserabsenkung – Laborversuch für Schüler Ruhr Universität Bochum 2005)

- **Porengrundwasserleiter:** Dieser Typ kommt vorwiegend in Lockergesteinen (Sand, Kies,...) mit engmaschigen Hohlräumen (Porenvolumen 10-20%) vor und weist einen durchflusswirksamen Porenanteil auf. Das Grundwasser legt Pro Tag nur wenige Zentimeter bis maximal einige Meter zurück. Porengrundwasserleiter sind meist im Flachland anzutreffen.
- **Kluftgrundwasserleiter:** Hier findet die Wasserbewegung in Trennflächen wie Klüften, Störungen, Verwerfungen oder Schichtgrenzen statt. Der Untergrund besteht vorwiegend aus sedimentärem, magmatischem oder metamorphem nicht verkarrungsfähigem Festgestein. Die Speicherfähigkeit ist geringer, als bei Porengrundwasserleiter. Das Wasser kann pro Tag eine Distanz von mehreren hundert Metern zurücklegen.

- **Karstgrundwasserleiter:** Karstaquifer sind verkarstete Gesteinskörper mit hoher Wasserdurchlässigkeit. Die erweiterten Trennfugen, Karstspalten und Karströhren sind vorwiegend durch chemische Lösungsvorgänge (Korrosion) entstanden. Besonders stark wirkt die Korrosion bei Salz-, Gips- und Kalkgesteinen (Verkarstung). Fließgeschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Tag sind möglich. Die Filterwirkung ist geringer, als bei Kluftgrundwasserleitern.

### 3.5.1 Messdatenerfassung der Quellschüttungen

Kärnten teilt sich in 132 Gemeinden. 120 davon betreiben ihre eigene Gemeindegewässerungsanlage (GWVA) und versorgen 80 % der Kärntner Einwohner. 12 % der Bevölkerung werden durch 650 Wassergenossenschaften und 8 % aus Einzelwasserversorgungsanlagen versorgt. Zumeist werden Quellen für die Trinkwasserversorgung herangezogen. Es existieren etwa 1.200 registrierte Trinkwasserquellen in Kärnten (siehe Abb. 85.). Der nördliche- und Zentralteil Kärntens, welche zwei Drittel der Kärntner Landschaft ausmachen (Zentralalpen, Nockberge, etc.) bestehen aus kristallinem Gestein. Dieser Bereich mit vorherrschenden Kluftgrundwasserleitern ist durch eine hohe Menge an Kluft- bzw. Kristallinquellen mit geringer Schüttung ( $< 2$  l/s) gekennzeichnet.

Im Süden der Provinz treffen wir unter anderem auf karbonatische, teils verkarstete Formationen (Karnische Alpen, Karawanken, der südliche Rand des Drautals, Gailtaler Alpen, Dobratsch). Die Berge werden von wenigen Karstquellen mit großen Schüttungsmengen ( $> 10 - > 100$  l/s) entwässert. Eine starke Karstquelle in Kärnten ist die Nötschbachquelle in Bad Bleiberg, die aus einem Bergstollen hervortritt. Im Mittel schüttet sie 124 l/s und schwankt zwischen 16 l/s und 560 l/s. Karstquellen neigen generell zu hohen Schüttungsschwankungen im Gegensatz zu den Kristallinquellen. Die stärksten Quellen im Schüttungsmittel sind die Unionquelle in Villach mit 320 l/s und die Tiebelquelle bei Feldkirchen mit  $\sim 360$  l/s. Das höchste Schüttungsmaximum wurde an der Fellbachquelle mit 942 l/s gemessen. Auch sie schwankt mit einem  $Q_{min}$  von  $\sim 50$  l/s, einem MQ von  $\sim 150$  l/s und einem  $Q_{max}$  von 942 l/s extrem.

Innerhalb beider großen geologischen Formationen, im Kristallin und im Karbonat, existieren Porengrundwasseraquifer, vor allem im Bereich großer Täler und Becken wo das Wasser via Pumpen aus Brunnen entnommen wird.

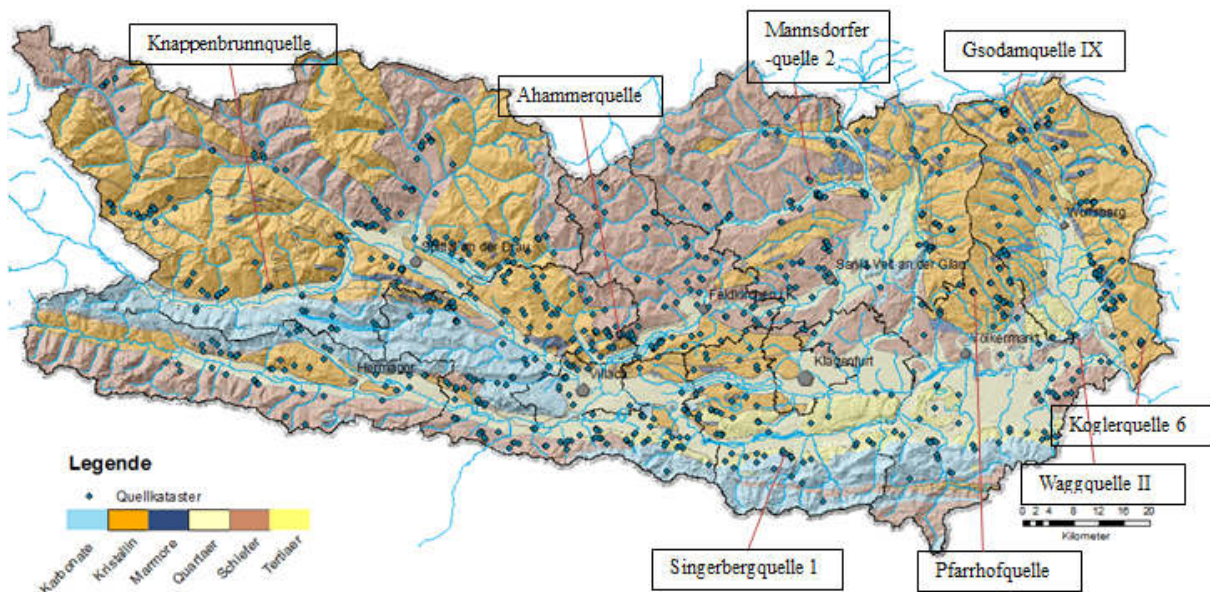


Abb. 85: Quellkataster auf hydrologischen Einheiten (Stand 2012; Quelle der hydrographischen Einheiten: KAGIS); Die Ganglinien der markierten Quellen werden im Unterpunkt „Auswertung“ dargestellt.

Um eine Quelle wasserwirtschaftlich zu nützen, müssen vorab einige Punkte abgehandelt werden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass erstens die angeführten Punkte einen beschreibenden und keinen rechtskräftigen Charakter haben. Zweitens sind den angeführten Punkten noch Zusatzbedingungen angeknüpft, welche in ihrer Komplexität im Rahmen dieser Arbeit keinen Platz finden sollen.

- Befindet sich eine Quelle auf einem fremden Grundstück stellt sich folgende Frage: Ist das Grundstück auf dem sich die Quelle befindet zu erwerben, oder wird eine Wassernutzung vereinbart.
- Die Einrichtung einer provisorischen Fassung für die Quelle ist ein primärer Schritt. In der Regel wird ein Rohr im Quellaustritt montiert.
- Wenn die Verunreinigung durch die Fassung abgeklungen ist, erfolgt eine qualitative Trinkwasseruntersuchung.
- Wichtig ist ebenfalls die quantitative Erfassung der Quellschüttung für zumindest 1 Jahr. Dabei werden periodisch Messungen z.B. durch die Messkübelmethode durchgeführt. Dabei ist vor allem darauf zu achten, dass die Quelle perennierend ist, also ständig fließend und dass die Schüttung ergiebig ist.
- Einholung der Wasserrechtsbewilligung (MQ < 5 l/s bei der BH, > 5 l/s bei der LH)
- Erachten sich sämtliche Punkte als positiv, erfolgt die Installation einer quelltypenspezifischen Quellfassung, von jener das Wasser in eine Quellstube oder in einen Hochbehälter weitergeleitet wird. Von diesen Einrichtungen kann das Wasser für die Trinkwasserversorgung entnommen werden.

Im Allgemeinen ist eine Quellstube eine spezielle Wassertonne oder ein kleines Gebäude aus Beton. Die Wassertonne besteht aus Zuläufen der angeschlossenen Quellen, einem Ablauf für die Wassernutzung und einem Überlauf, der bei starker Schüttung das hochsteigende Wasser in einen Bach ableitet. Das Gebäude wird bei hohen Schüttungen verwendet und hat dieselbe Funktionalität. Auch hier gibt es Zuläufe, einen Überlauf und einen Ablauf bzw. eine Entnahmeleitung. Zudem sind manche der Gebäude mit einem Messwehr ausgestattet, womit eine Messung auch bei hohen Wassermengen erfolgen kann.



Abb. 86: Quellstube aus Beton (Fotos: JAUFER)



Abb. 87: Links: Quellstube (Wassertonne); Rechts: kreatives Messwehr aus Tonnen von Friedrich Gailberger (Fotos: JAUFER)

Ein Messwehr besteht aus mehreren Becken, welche via Tauchwände miteinander verbunden sind, an denen das Wasser unterhalb bzw. oberhalb vorbeifließt. An den Tauchwänden kommt es zu einer Beruhigung des Wasserstroms. Im letzten Becken läuft das Wasser über eine Überfallskante, einen quader- oder v-förmigen Austritt, welche sich nicht am Beckenboden sondern einige Dezimeter darüber befindet. Anhand der geometrischen Beschaffenheit der Austrittsöffnung kann über die Höhe des austretenden Wasserstandes die Schüttung berechnet werden. Zudem ist es möglich ein leeres Becken abzuschließen und die Zeit zu messen, bis sich das bekannte Volumen des Beckens gefüllt hat.

Bei Kristallinquellen mit geringer Schüttung ist die Messung anhand der Gefäßmessmethode sehr verbreitet. Dafür hält der Wassermeister bei einer Quellstube bzw. bei einem Hochbehälter ein Gefäß z.B. einen 10 Liter Kübel unter den Zulauf einer Quelle und misst die Zeit, bis dieser gefüllt ist. Füllt sich der 10 Liter Kübel in 20 Sekunden, wird die Schüttung von 0,5 l/s notiert und an den Hydrographischen Dienst geschickt. Weitere Messmethoden sind die Messrinne, die Tracerverdünnungsmethode, der Messflügel oder der Venturikanal.

Die Quellschüttung wird entweder zu einem mehr oder weniger willkürlichen Zeitpunkt durch einen Beobachter erfasst, oder periodisch durch einen elektronischen Datensammler. Der Datensammler misst die Schüttung viertelstündlich und schickt die Daten an den Hydrographischen Dienst. Ist die Messstation nicht mit einem Modem oder einem GSM Modul ausgestattet, müssen die Daten vom Fachpersonal ausgelesen werden. Dies verzögert die Datenaktualität der hydrographischen Datenbank. Unerfreulicher Weise kann es bei der automatisierten Messung zu Fehlmessungen kommen, da Verunreinigungen durch Blätter etc. den Messvorgang behindern. Im Optimalfall stechen die Messfehler beim Betrachten der Ganglinie sofort ins Auge (siehe Abb. 88:). Hierbei sind im Graphen unmögliche Schüttungswerte bzw. Schwankungsausprägungen verzeichnet.

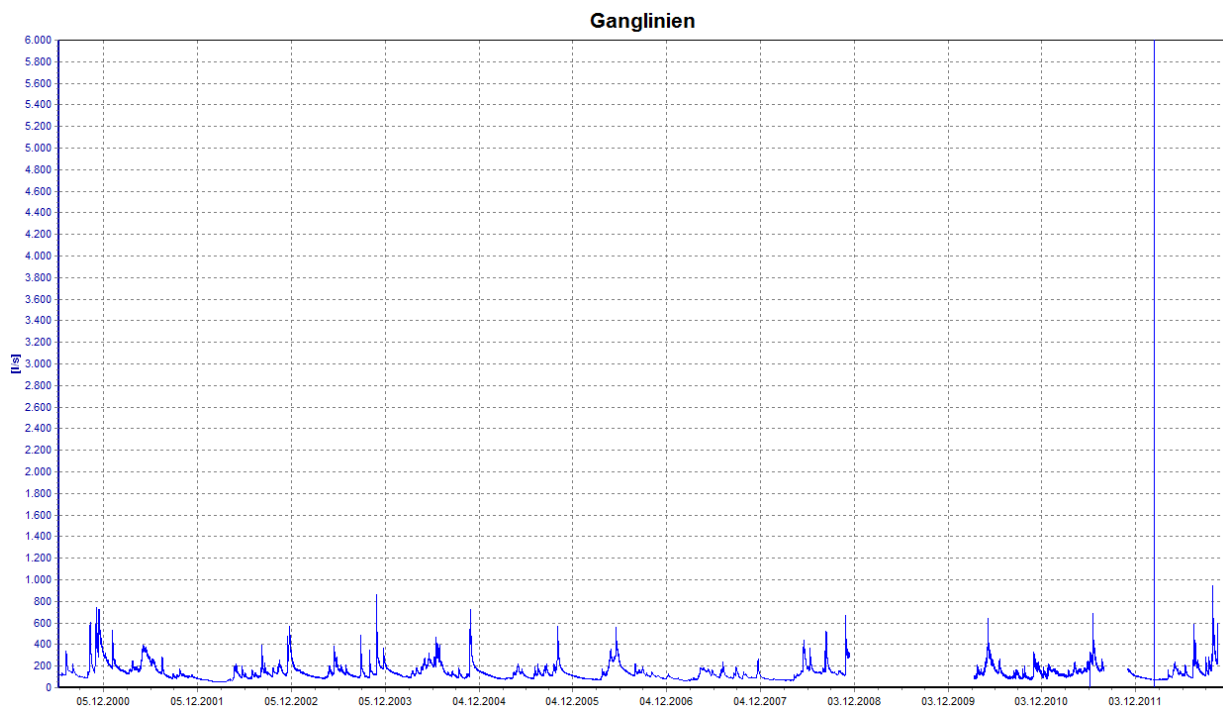


Abb. 88: Offensichtlicher Messfehler – Spitze geht bis 17500 l/s

Um diffizilere Fehler zu finden bedarf es Referenzmessreihen, welche ein ähnliches Schüttungsverhalten aufweisen. Dies kann eine ausgewählte Quelle in der näheren Umgebung sein, oder die Simulation der Schüttung durch ein physikalisches Modell.

## 3.5.2 Auswertung der Quellschüttungen

### 3.5.2.1 Stationsdaten

In Kärnten wird ausschließlich Grundwasser aus Quellen und Brunnen für die Trinkwasserversorgung herangezogen. Es zeigt sich, dass naheliegende Quellen in Kärnten unter annähernd homogenen landschaftlichen Bedingungen meist ein ähnliches Schüttungsverhalten aufweisen (siehe Abb. 89). In der Regel versiegen Quellen mit geringer Schüttung schneller, aber auch stärkere Quellen zeigen in Trockenperioden einen deutlichen Rückgang. Vor allem Karstquellen reagieren aufgrund der weiten Fugen im Gestein des Einzugsgebiets schnell und neigen zu starken Schwankungen. Sie trocknen gegenüber Kristallin- bzw. Kluftquellen rascher aus, erholen sich hingegen auch wieder schneller von Trockenphasen.

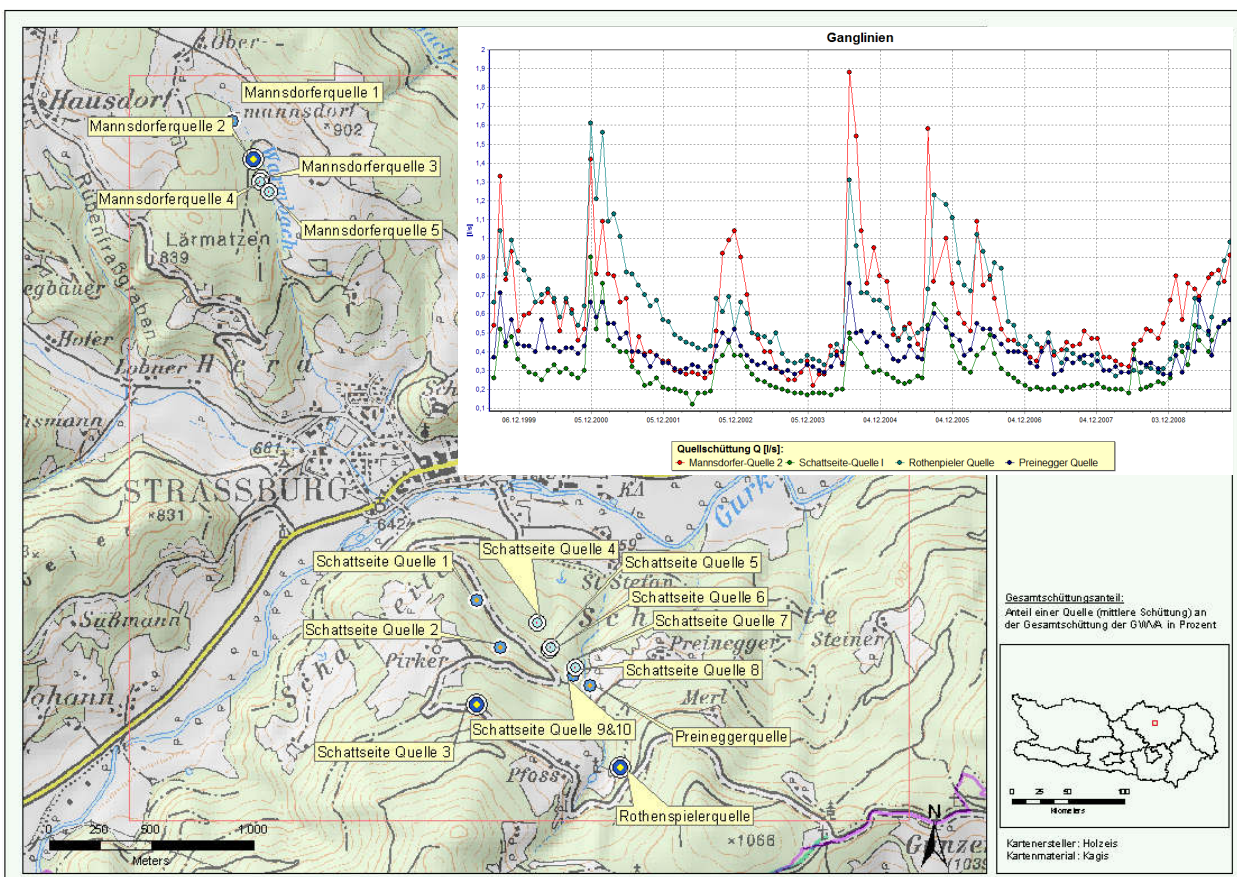


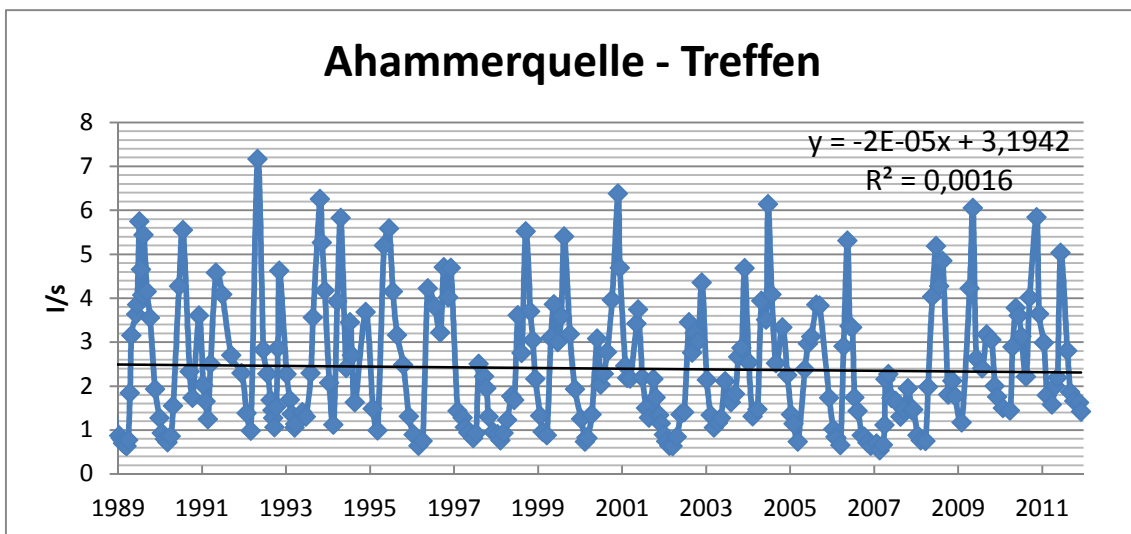
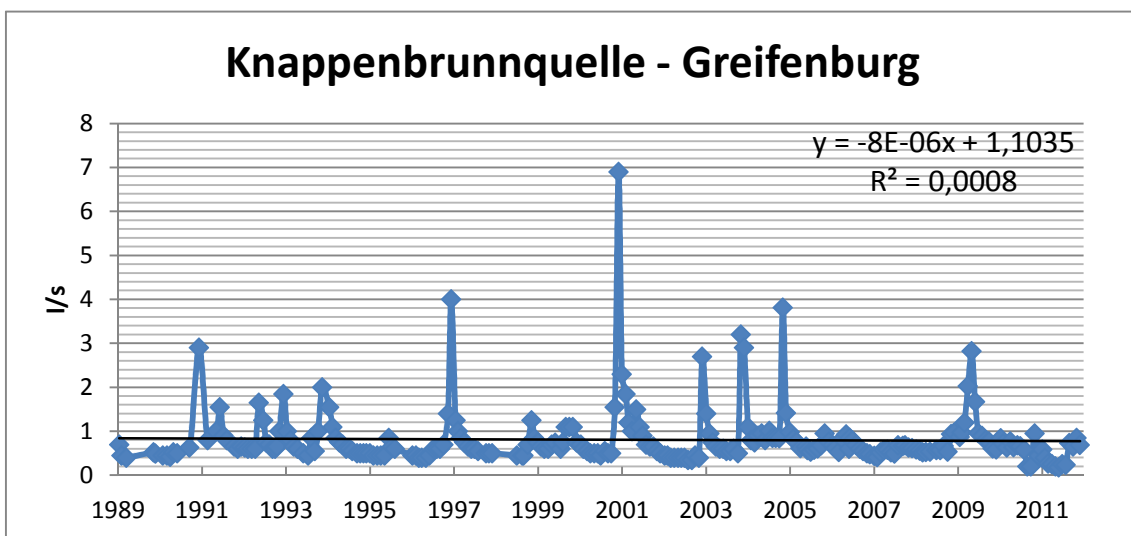
Abb. 89: Nahegelegene Quellen mit ähnlicher Ganglinie (Vgl. HOLZEIS 2011; Kartenmaterial KAGIS und ÖK50)

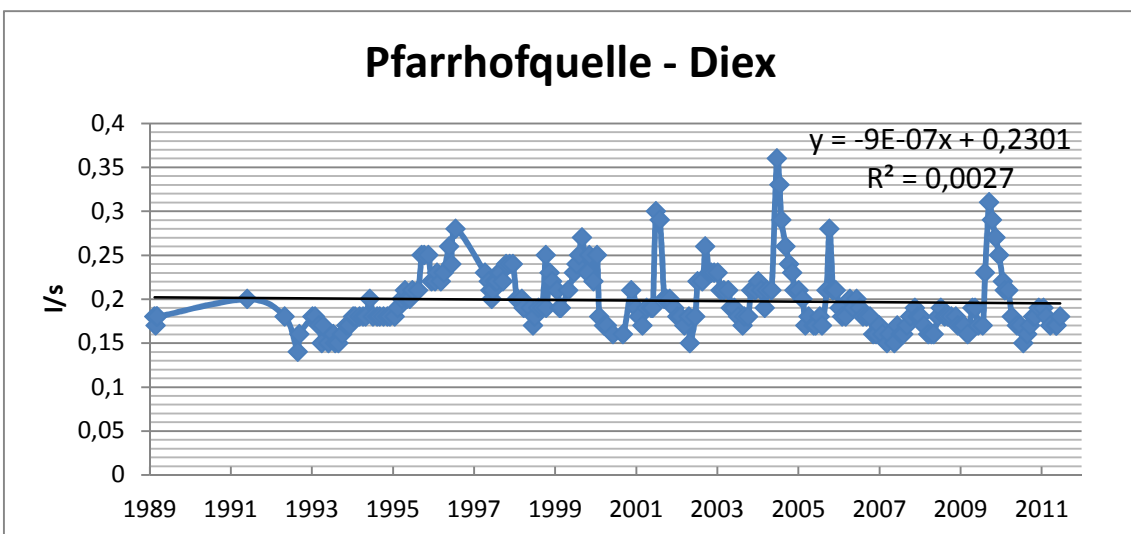
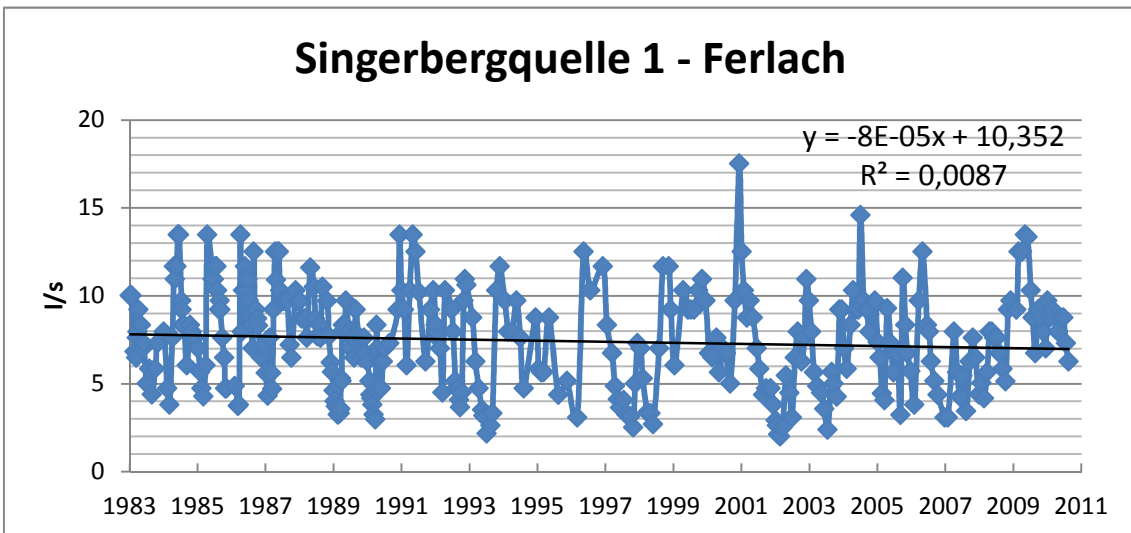
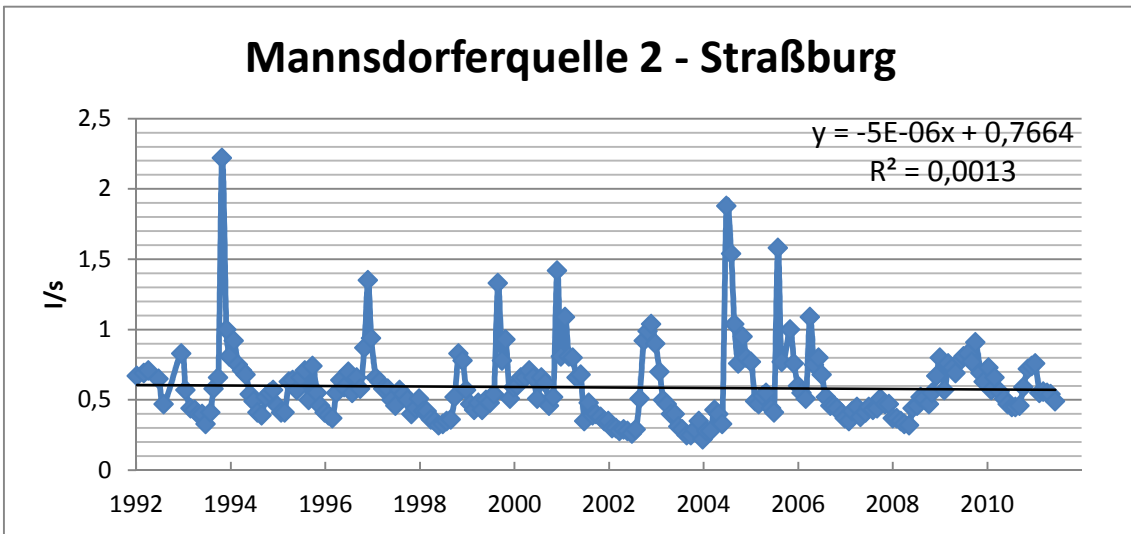
In der Messreihe einer Quellschüttung sind die daraus abgeleiteten Parameter  $Q_{max}$  (maximale Schüttung),  $MQ$  (mittlere Schüttung) und  $Q_{min}$  (minimale Schüttung) von zentraler Bedeutung, um die aktuelle Schüttung in Bezug darauf betrachten zu können, sprich richtig einschätzen zu können. Daher ist ein Monitoring von Quellen und Brunnen eine Grundvoraussetzung, um etwaige Trinkwasserengpässe rechtzeitig erkennen zu können. Wird ein Rückgang der Wasserressourcen beobachtet, können Maßnahmen wie das Auffüllen von Wassertanks, das Bereitstellen weiterer Quellen oder Brunnen, das Freischalten von Wasserleitungen zwischen Gemeindewasserversorgungsanlagen, etc. getroffen werden. An der



Errichtung eines Frühwarnsystems gegen Wasserknappheit in Trockenperioden wird in der Abteilung Wasserwirtschaft am Amt der Kärntner Landesregierung bereits gearbeitet. Leider reichen die Messreihen der Quellschüttungen oft nicht weit genug zurück, um eindeutige Trends dokumentieren zu können. Die folgenden Diagramme zeigen Ganglinien mit einer zeitlichen Auflösung von etwa einer Messung im Monat. Die längste Zeitreihe der angeführten Diagramme geht bis ins Jahr 1983 zurück. Der Fokus der Quellschüttungsdarstellungen liegt im trockeneren Osten Kärntens, wo von Trinkwasserengpässen bereits medial berichtet wurde.

Bei sämtlichen Ganglinien wurde eine Trendlinie hinzugefügt, dessen Aussagekraft jedoch aufgrund der kurzen Zeitreihen gering ist. Die Linie ist in sämtlichen Fällen negativ geneigt, die Abnahme der Schüttung stets insignifikant.





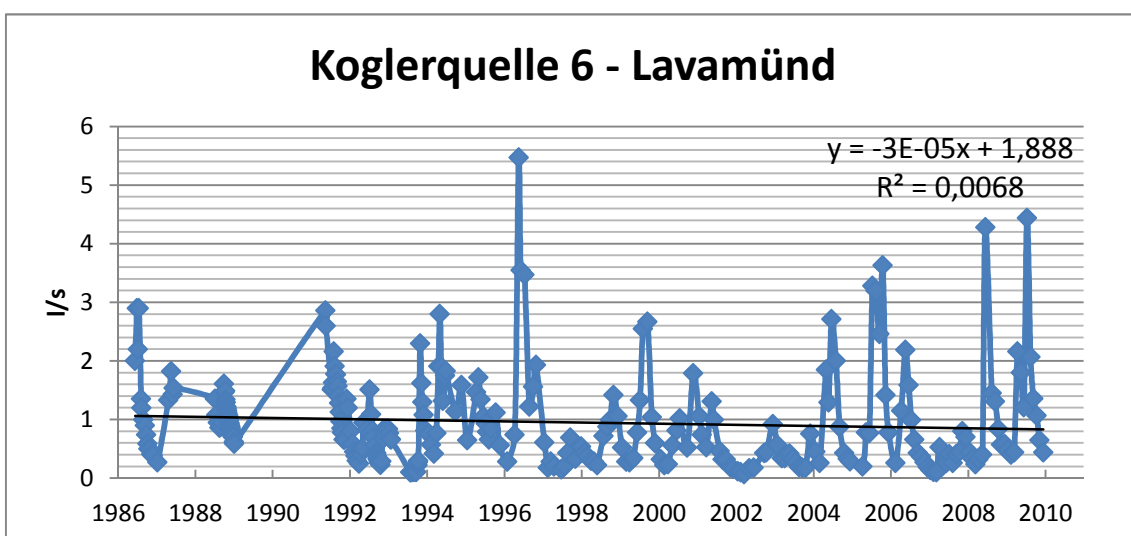
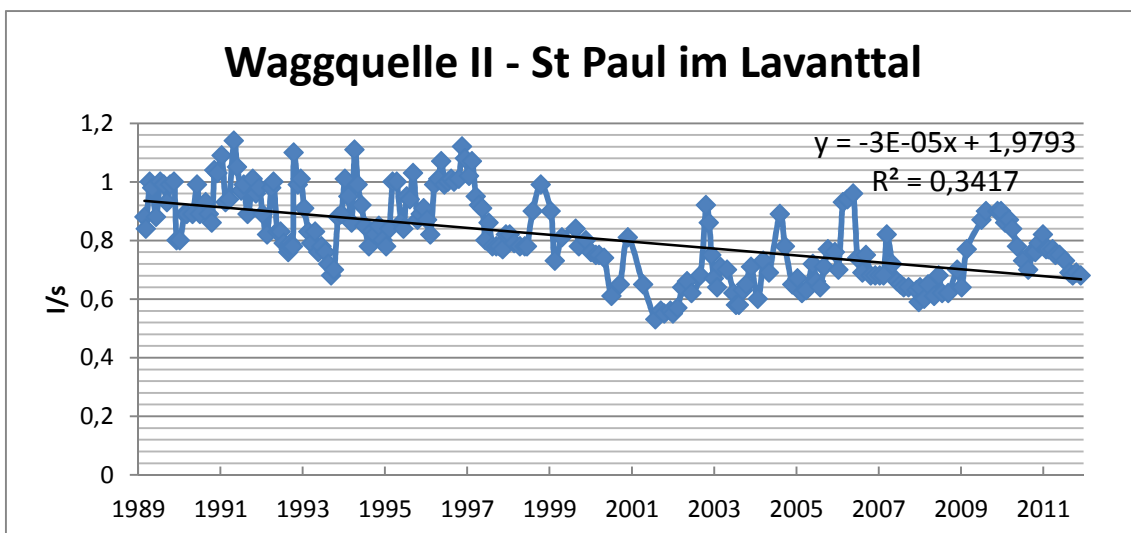
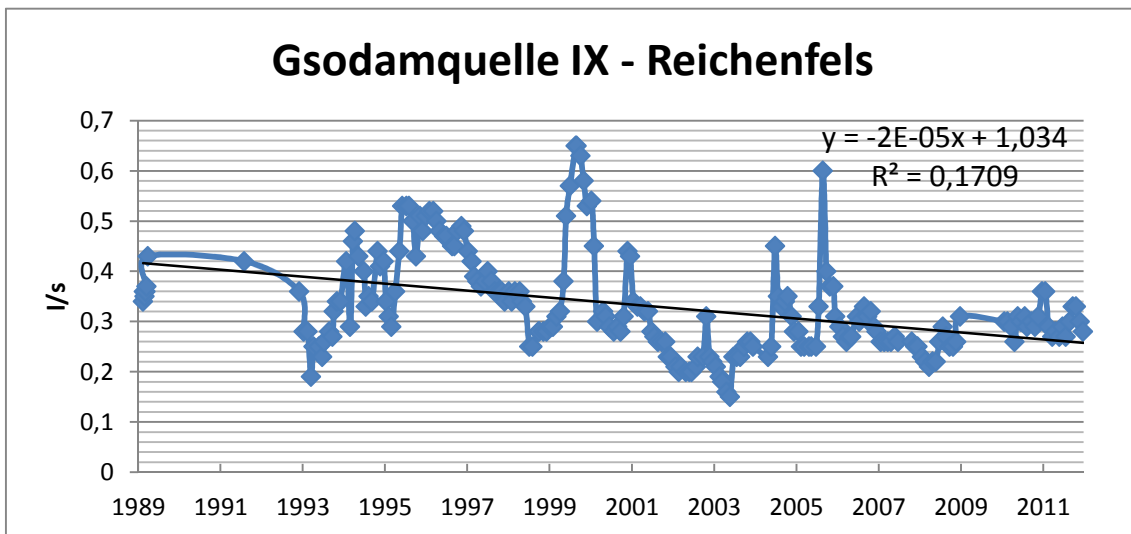


Abb. 90: Auflistung von Quellschüttungsganglinien in Kärnten

Im Jahre 2005 wurde das Trinkwasserversorgungskonzept „Wasser für Kärnten“ ins Leben gerufen. Das Konzept beinhaltet den aktuellen Stand der Trinkwasserversorgung und die Zukunft der Trinkwassernachfrage unter Berücksichtigung der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung.

Um die künftige Trinkwasserversorgung zu sichern, wird die Erhebung und Hinzunahme zusätzlicher Wasserressourcen (Quellen und Brunnen) sowie der Aufbau von Wassernetzwerken auf lokaler und regionaler Ebene empfohlen. Der Trend der letzten Jahre führt zu einer steigenden Anzahl von Brunnen (Bohrungen), um die Trinkwasserversorgung in Städten und Dörfern zu gewährleisten. Aufgrund des zunehmenden Niederschlags mit der Höhe ist eine zusätzliche Inbetriebnahme von Gebirgsquellen anzudenken. Reichlich Niederschlag im Einzugsgebiet bei geringer Verdunstung sind gute Voraussetzungen für eine hohe Grundwasserneubildung.

## 3.6 Grundwasserstände

Gemäß § 1 Abs.1 der Wassergüte-Erhebungsverordnung, BGBl. Nr. 338/1991 in der Fassung BGBl. II Nr. 415/2000, ist Grundwasser unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt, unter gleichem oder größerem Druck steht als er in der Atmosphäre herrscht, und dessen Bewegung durch die Schwerkraft und Reibungskräfte bestimmt wird. Es umfasst Poren-, Karst- und Kluftgrundwasser. Diese Definition entspricht den Begriffsbestimmungen in § 1 Abs. Ziffer 1 der Grundwasserschwellenwertverordnung, BGBl. Nr. 502/1991 in der Fassung BGBl. II Nr. 213/1997, und in § 2 Abs.2 der Grundwasserschutzverordnung, BGBl. II Nr. 398/2000.

Nachdem Kluft- und Karstgrundwasserkörper bereits unter dem Punkt „Quellschüttungen“ behandelt wurden, wird an dieser Stelle das Porengrundwasser betrachtet. Dazu bedarf es einer kleinen stark reduzierten Vorgeschichte. Die Plattentektonik übte einen starken Einfluss auf die Morphologie der Erde aus, sodass sich mächtige Gebirge aus dem Erdboden erhoben. Erosion und Sedimentation verformen die Landschaft bis heute, auch die Plattenverschiebung ist ein gegenwärtiger Prozess. Neben diesen Prozessen hinterließ die Eiszeit ihre Spuren. Spalten, Klüfte, Furchen, etc. wurden durch die schürfende Wirkung der Eismassen vertieft und verbreitert. In den interglazialen Zeiten, also den Warmzeiten zwischen den Eiszeiten sowie im Holozän füllten Schotter, Sande und Tone allmählich die talhaften Einschnitte und der Boden ebnete sich ein. Es entstanden breite Talböden mit mächtigen Schotterhorizonten. Zwischen den Kiessteinen und Feinmaterialien birgt sich ein engmaschiges Hohlraumssystem (Poren), welches zum Teil mit Wasser und zum Teil mit Luft ausgefüllt ist. Der mit Wasser ausgefüllte Raum ist die Sättigungszone des Porengrundwassers. Darunter befindet sich eine Sohlschicht, der sogenannte Grundwasserstauer, in der sich das Wasser nicht konvektiv (auf/ab) bewegen kann. Über der Sättigungszone des Porengrundwassers befindet sich die ungesättigte Sickerwasserzone, in der sich das Wasser gemäß der Schwerkraft abwärts bewegen kann oder durch kapillare Saugkräfte bis zu einem gewissen Maße aufwärts steigt. Hier enthalten die Hohlräume Wasser und Luft. Die Grundwasserstände bezeichnen den Wasserstand der Sättigungszone

(Grundwasserspiegel). Er wird durch die Seehöhe über den Meeresspiegel [m] oder durch den Abstich, dem Höhenunterschied zwischen der Oberkante des Messrohrs und dem Grundwasserspiegel [m] angegeben.

### 3.6.1 Messdatenerfassung der Grundwasserstände

Zur Errichtung einer Grundwassermessstelle erfolgt eingangs eine Bohrung in den Untergrund. Daraufhin wird in dieses Bohrloch ein ~125 mm breites Rohr gesteckt, welches rundherum mit einer Tonschicht und Filterkies aufgefüllt wird. Das Rohr besteht aus zusammenhängenden Einzelkomponenten. Am Rohr befindet sich zuoberst eine verschließbare Sebakappe (1) um das Ein- und Ausfahren von Unterwasserpumpen zu ermöglichen. Der Teil des Rohres der aus dem Boden und einige Zentimeter in den Boden ragt ist ein Standrohr aus Metall. An diesem anhängend befindet sich ein Aufsatzrohr (2) aus harten PVC, das durch die Sickerwasserzone führt. Nach dem Aufsatzrohr dient ein Filterrohr (3) der Unterbindung, Sand, Kies und Schluff in das Rohr geraten zu lassen, ohne aber den Wasserstrom der wasserführenden Bodenschicht zu behindern. Am unteren Ende des Rohres befindet sich zur Abdichtung ein Sumpfrohr (4) oder eine Kappe. Optimaler Weise wird das Bohrloch rundherum von einer Betonabdeckung (5) an der Geländeoberkante, einem frostsichereren Boden (6) unmittelbar darunter, einer Abdichtung aus Ton (7), dem Bohrgut (8) und dem Filtersand oder Filterkies (9) umgeben (siehe Abb. 91:).

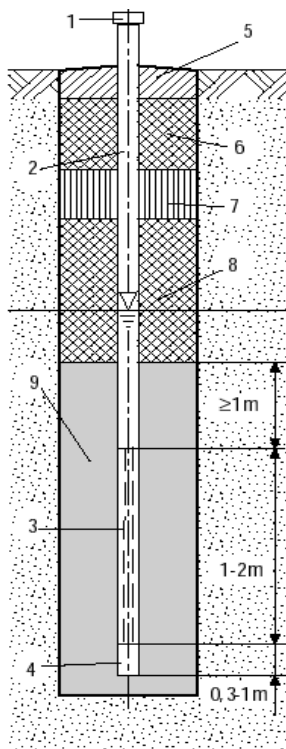


Abb. 91: Überflur-Grundwassermessstelle: 1=Kappe, 2=Aufsatzrohr, 3=Filterrohr, 4=Sumpfrohr, 5=Betonabdeckung, 6=frostsicherer Boden, 7=Abdichtung, 8=Bohrgut, 9=Filtersand (Vgl. GeoLexikon)

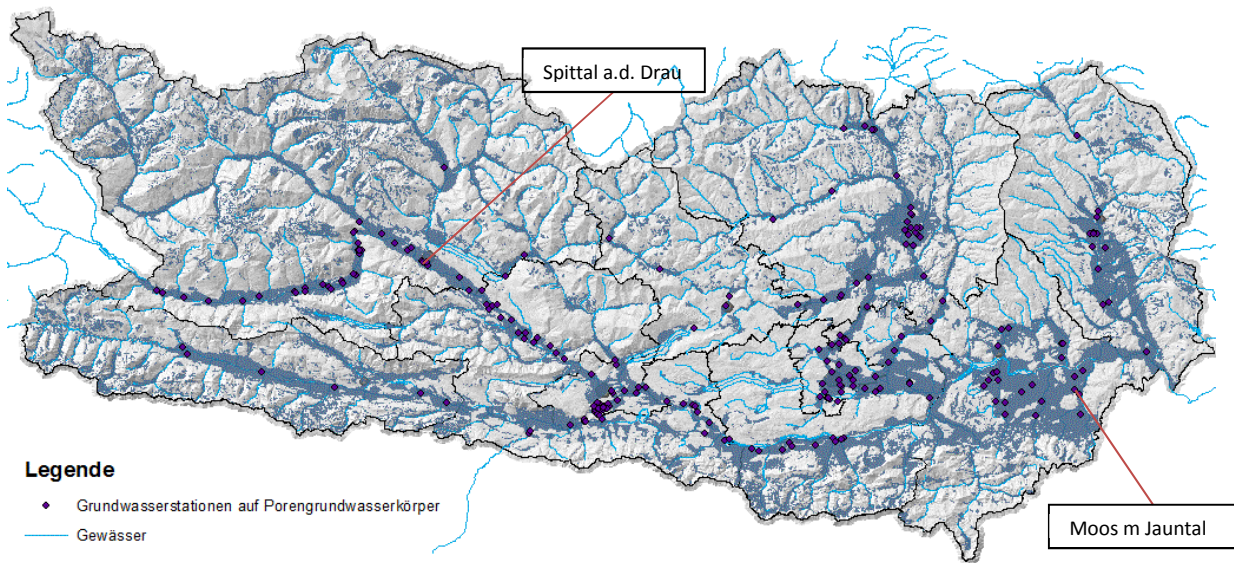


Abb. 92: Porengrundwasserkörper und Grundwassermessstellen (Stand 2012; Quelle der Grundwasserkörper: KAGIS); Ganglinien der markierten GW-Messstellen werden im Unterpunkt „Auswertung“ dargestellt.

In Kärnten werden Einzelgrundwasserkörper und Gruppen von Grundwasserkörpern betrachtet. Gemessen werden sie an über ~250 Grundwassermessstellen (siehe Abb. 92):

<b>Einzelgrundwasserkörper:</b>		Metnitztal	(18 km <sup>2</sup> )
Altes Gurktal	(40 km <sup>2</sup> )	Rosental	(71 km <sup>2</sup> )
Drautal inkl. Lurnfeld und Landskroner Feld	(214 km <sup>2</sup> )	Tiebeltal inkl. Oberes Gurktal	(33 km <sup>2</sup> )
Gailtal	(175 km <sup>2</sup> )	Unteres Gurktal	(33 km <sup>2</sup> )
Glantal	(80 km <sup>2</sup> )	<b>Gruppen von Grundwasserkörpern:</b>	
Jauntal	(210 km <sup>2</sup> )	Sattnitz	(172 km <sup>2</sup> )
Klagenfurter Becken	(101 km <sup>2</sup> )	Südliche Kalkalpen	(2350 km <sup>2</sup> )
Krappfeld	(37 km <sup>2</sup> )	Zentralzone inkl. Mölltal, Liesertal, Gegendtal,	
Lavanttal	(75 km <sup>2</sup> )	Radenthein, Mittleres Gurktal, Görtschitztal	(8000 km <sup>2</sup> )

Abb. 93: Größe der Grundwasserkörper (Vgl. WIDOWITZ 2003)

Das Grundwasser wird teils von Beobachtern mit einem Kabellichtlot und teils automatisch von Datensammlern mit einer Drucksonde am unteren Ende des Rohres gemessen. Zur Zeit liefern 14 der Datensammler online Messdaten an den Hydrographischen Dienst. Die restlichen Datensammler müssen vom Fachpersonal regelmäßig ausgelesen werden. Beobachtermesswerte haben eine zeitliche Auflösung von einer Messung pro Woche, Datensammler messen stündlich. Aufgrund der Bauweise des Messsystems halten sich Messfehler in Grenzen.

## 3.6.2 Auswertung der Grundwasserstände

### 3.6.2.1 Stationsdaten

#### Messtation Moos im Jauntal

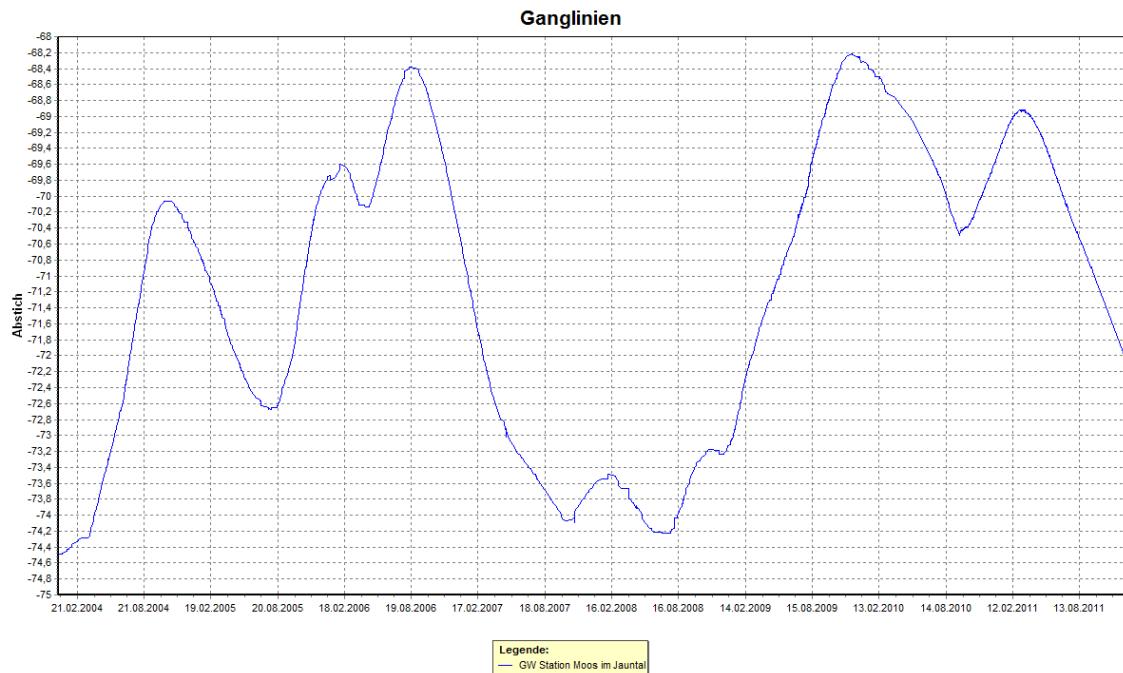


Abb. 94: Grundwasserstation Moos im Jauntal (Tagesmittelwerte)

#### Messtation Spittal an der Drau

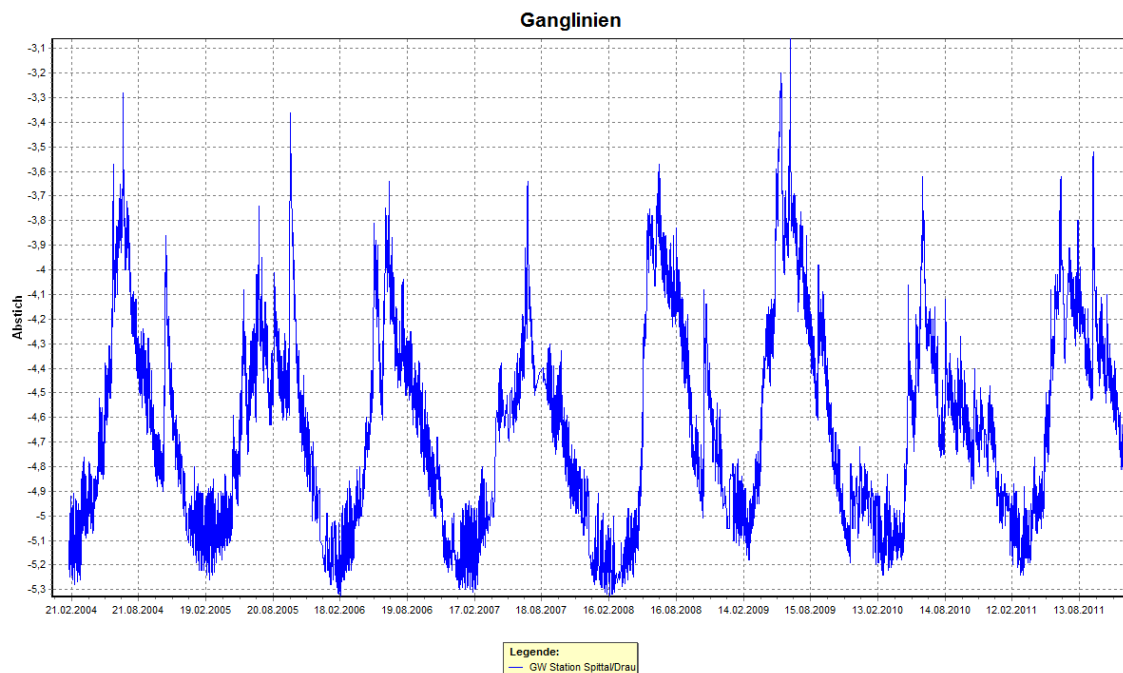


Abb. 95: Grundwasserstation Spittal an der Drau (Tagesmittelwerte)

**Beschreibung:** In Kärnten befinden sich zahlreiche Grundwasserkörper, die sich je nach Standort in unterschiedlichen Tiefen bewegen. Sie variieren besonders in der Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels und in ihrer Reaktionsgeschwindigkeit. Als Beispiel werden zwei Grundwasserganglinien von Moos im Jauntal und Spittal an der Drau des Zeitraums 1.1.2004 – 1.1.2012 gegenübergestellt. Moos im Jauntal liegt in einer Ebene im Osten Kärntens, unweit von Gallizien. Der Grundwasserspiegel liegt unter einer mächtigen Schicht aus quartären Sedimenten in durchschnittlich 71 m Tiefe. Hier kann sich das Grundwasser konvektiv fortbewegen sodass der Unterschied zwischen dem höchsten und niedersten gemessenen Grundwasserspiegel 7 m beträgt. Wie der Grafik zu entnehmen ist, steigt und sinkt das Grundwasser sehr langsam und ruhig.

Auch in Spittal an der Drau dominieren quartäre Sedimente den Talboden, doch in weit geringerer Mächtigkeit. Zudem ist die Beeinflussung des Grundwassers durch die Drau hoch. Der Grundwasserspiegel befindet sich im Mittel 4,6 m unter der Erdoberfläche. Der niederste gemessene Spiegel liegt bei -5,3 m und der höchste bei -3,1 m. Das ergibt eine Schwankungsbreite von lediglich 2,2 m. Auffallend ist auch im Gegensatz zur Grundwasserganglinie aus Moos die höhere Reaktionsgeschwindigkeit des Grundwassers – zum einen zeigt sich dies in der Jährlichkeit des Grundwassers, welches jeden Winter auf einen Tiefstand herabsinkt und im Frühsommer mit der Schneeschmelze der Erdoberfläche näher kommt; zum anderen in der sensiblen Reaktion auf Niederschläge und Trockenphasen, ausgedrückt durch eine zerfahrene Ganglinie, welche auch durch die Interaktion mit der Drau zu erklären ist.

Das Wasser aus schnell reagierenden Grundwasserkörpern kann für die Trinkwasserversorgung rascher ausfallen, als jenes aus langsamen Grundwasserkörpern. Dafür geht jedoch die Wiederauffüllung in Regenphasen schneller von statten.



## 4 AUSWERTUNGEN AUF BASIS VON MODELLBERECHNUNGEN

---

Der Hydrographische Dienst Kärnten betreibt zur Hochwasserprognose und zur Beantwortung allgemeiner wasserwirtschaftlicher Fragen ein Wasserhaushalts- oder auch Niederschlags-Abflussmodell ein sogenanntes numerisches Modell. Damit werden auf der Basis von gemessenen Niederschlags- und Temperaturwerten die Verdunstung, die Bodenfeuchte, die Menge des im Schnee gespeicherten Wassers, die Schneeschmelze sowie die zum Abfluss gelangende Wassermenge berechnet. Das verwendete Modell (HBV) wurde an die gemessenen Abflussdaten für den Zeitraum 1981 bis 2010 an mehr als 60 Pegelmessstellen ge-eicht. Es verwendet für die Berechnung die genannten meteorologischen Eingangsdaten, außerdem mehr als zwanzig gebietsspezifische Eichparameter, welche von diversen Fachkarten wie geologischen und bodenkundlichen Karten oder auch Vegetations- und Strahlungs-karten abgeleitet wurden.

### 4.1 Informationen zu den modellierten Daten

Bodenfeuchte, Verdunstung, Abflusspende und Schneewasseräquivalent können nicht flächendeckend gemessen werden, daher müssen sie aus messbaren Parametern berechnet werden. Die wichtigsten Eingangsdaten dafür sind die im Kapitel 0 bereits behandelten Messreihen der Lufttemperatur und des Niederschlags. HBV ist ein physikalisches Modell, in dem zahlreiche Geofaktoren Kärntens miteinfließen. Dazu zählen die Topographie in Form eines digitalen Höhenmodells (DHM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, digitale Bodenkarten von Österreich im Raster von 1x1 km des Bundesforschungs- und Aus-bildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, geologische Karten, eine Landnut-zungskarte (CORINE Datensatz) und Windkarten auf der Basis der von der ZAMG gemesse-nen Winddaten. Der potentielle Dampfdruck sowie die potentielle Solarstrahlung wurden mithilfe des digitalen Höhenmodells berechnet.

#### 4.1.1 Das Niederschlags-Abflussmodell HBV

Das für die Simulationen verwendete Modell HBV wurde ursprünglich von Sten Bergström am SMHI (Swedish Meteorological and Hydrological Institut) entwickelt. Es ist derzeit eines der weltweit am weitesten verbreiteten Niederschlags-Abflussmodelle. Für die speziellen Erfordernisse in Kärnten wurde das Modell von der Technischen Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, angepasst und weiterentwickelt (Blöschl, Gutknecht, Komma). Die initiale Eichung des Modells erfolgte ebenfalls durch die TU Wien, Nachführun-gen an neue Messdaten werden vom Hydrographischen Dienst durchgeführt.

Die räumliche Auflösung des Berechnungsrasters beträgt ein Quadratkilometer. Es wird für den Zeitraum ab 1.1.1980 mit einem Zeitschritt von einem Tag und für den Zeitraum seit

1.1.1990 mit einem Zeitschritt von einer Stunde betrieben. Der in jeder Rasterzelle durchgeführte Berechnungsvorgang ist in den Abb. 96: und Abb. 97: schematisch dargestellt. Die in den einzelnen Berechnungszellen so ermittelten Abflüsse werden dann einem Teilgebiet zugeordnet und unter Anwendung eines hydrologischen Routing-Verfahrens (Lineare Speicherkaskade) zu Teilgebietsabflüssen zusammengefasst.

Der Wellenablauf im Gerinne wird ebenfalls durch lineare Speicherkaskaden simuliert. Der Vorteil dieses hybriden Ansatzes besteht darin, dass die für das Abflussgeschehen maßgebenden Prozesse, die Abflussbildung in der Fläche und der Fließvorgang im Gerinne, mit jeweils optimal an die natürlichen Vorgänge angepassten Algorithmen beschrieben werden können. Für die Berechnung der Abflussbildung können somit flächendetaillierte Informationen (Niederschlag, Topographie, Geologie,...) genutzt werden, der Wellenablauf in den Gerinnen hingegen wird durch wenige Kenngrößen beschrieben, die getrennt angeeicht werden (Vgl. KOMMA 2007).

Für das Einzugsgebiet der Drau inklusive Lavant ergeben sich damit etwa 12.000 Rasterzellen welche in 75 Teileinzugsgebieten zusammengefasst werden. Das Gewässernetz selbst wird durch ein Netz mit insgesamt 82 Knoten abgebildet.

#### **Berechnungsvorgang:**

Die an den Messstationen gemessenen Niederschlags- und Temperaturwerte werden mittels Kriging-Interpolation und unter Berücksichtigung der Höhenabhängigkeit für jede Berechnungszelle interpoliert (siehe Kap. 3.1.1.3 und 3.2.2.2).

Anhand der Temperatur wird im Modell für jedes Rasterelement der Niederschlag in einen Regen- und einen Schneeanteil aufgespaltet (siehe Abb. 96:). Unterschreitet die Temperatur den Grenzwert  $T_s$ , fällt der gesamte Niederschlag als Schnee. Bei einer Überschreitung der Grenztemperatur  $T_r$  fällt der gesamte Niederschlag als Regen. Zwischen diesen beiden Grenztemperaturen wird der Niederschlag linear in einen Regen- und einen Schneeanteil aufgeteilt. Die Berechnung der Schneeschmelze  $N_m$  erfolgt mit einem um die Hangexposition erweiterten Gradtagverfahren (Berücksichtigung der potentielle Strahlung). Die Schneeschmelze setzt ein, sobald die Temperatur den Grenzwert  $T_m$  überschreitet.

Die Summe aus Regen  $N_r$  [mm] und Schneeschmelze  $N_m$  [mm] wird als Wasserdargebot  $WD$  [mm] bezeichnet. Das Wasserdargebot erhöht die Wassermenge  $S_b$  [mm] im Boden und speist, abhängig von der Bodenfeuchte  $B_f$ , auch die tieferliegenden Bodenspeicher. Ist die oberste Bodenzone gesättigt, trägt das gesamte Wasserdargebot zum Abfluss  $dQ$  [mm] bei. Die Bodenfeuchte wird durch die aktuelle Verdunstung  $E_a$  [mm] reduziert. Der Parameter  $E_a$  entspricht der aktuellen Evapotranspiration [mm], also der gesamten Verdunstung der vegetationsbedeckten Erdoberfläche.

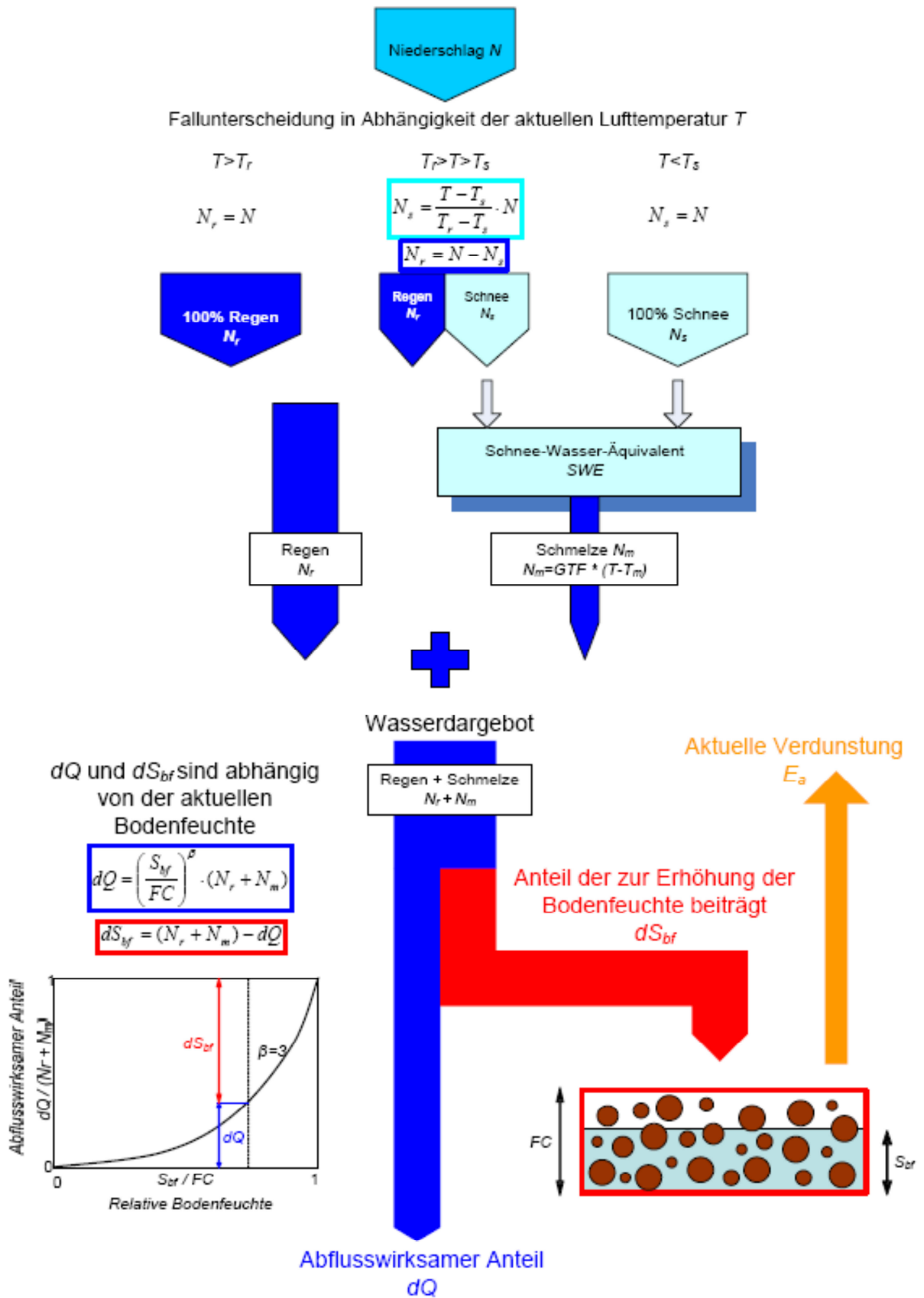


Abb. 96: Schneehaushalts- und Bodenfeuchtemodellierung des HBV-Modells in einer Rasterzelle (Vgl. KOMMA 2007)

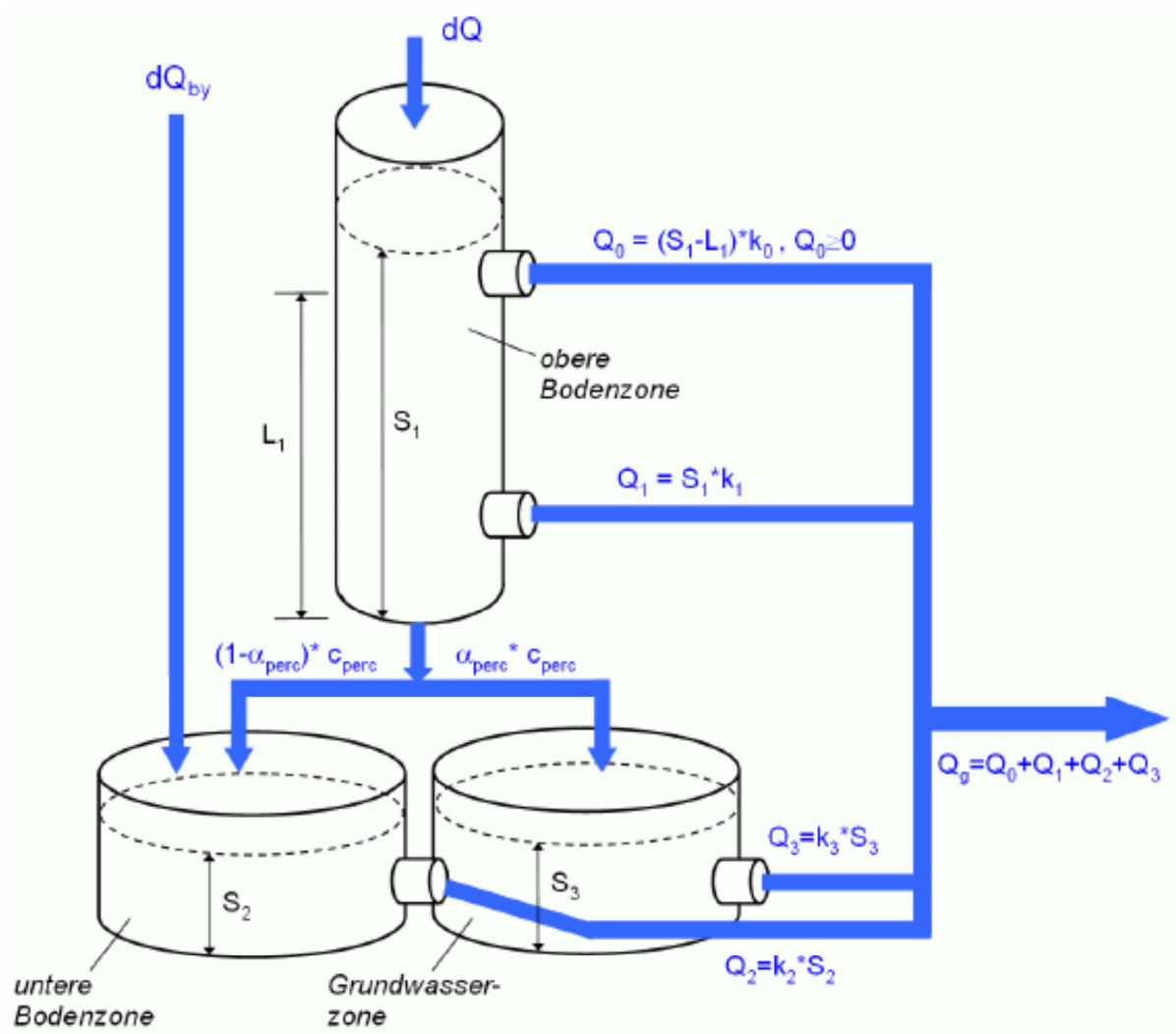


Abb. 97: Das Abflussmodul einer Rasterzelle (Vgl. KOMMA 2007 und eigene Bearbeitung)

In Abb. 97: wird der Abflussprozess einer Rasterzelle demonstriert: Ein Teil des Abflusses fließt in den oberen Bodenspeicher  $S_1$ , ein Teil direkt in den unteren Bodenspeicher  $S_2$ .  $S_1$  kann sich in drei Formen entleeren: Erstens, durch eine konstante Perkolationsrate  $c_{perc}$  in  $S_2$  bzw.  $S_3$ . Unter der Perkolationsrate kann man sich das Absickern des Wassers in tiefere Bodenschichten vorstellen. Zweitens ( $Q_1$ ), proportional zum Speicherinhalt in den Abfluss anhand der Speicherkonstante  $k_1$ . Drittens, bei der Überschreitung der Speicherfüllung  $L_1$ , mit einer schnellen Speicherkonstante  $k_0$  in den Abfluss ( $Q_0$ ).

Die Speicher  $S_2$  und  $S_3$  entleeren sich proportional zum Speicherinhalt anhand der Speicherkonstante  $k_2$  bzw.  $k_3$ . Je tiefliegender der Speicher, desto langsamer die Speicherentleerung.

Der Gesamtabfluss eines Rasterelements besteht aus  $Q_g = Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3$ .

## 4.2 Bodenfeuchte

**Bodenfeuchte Bf:** Wasser und Luft nehmen in wechselnden Anteilen das Porenvolumen des Bodens ein. Im numerischen Modell gibt die Bodenfeuchte an, zu welchem Anteil des maximalen Gesamtvolumens (Feldkapazität) die Poren des Bodens mit Wasser gefüllt sind. Eine Vergrößerung der Bodenfeuchte erfolgt durch das vorhandene Wasserdargebot, eine Verringerung durch die Verdunstung. Der Wert 0 steht für einen völlig ausgetrockneten Boden, der Wert 1 für einen mit Wasser gesättigten Boden.

Die berechnete Bodenfeuchte Bf stellt einen stark vereinfachten Rechenwert dar! In der Natur können die Verhältnisse auch auf kleinen Raum stark variieren.

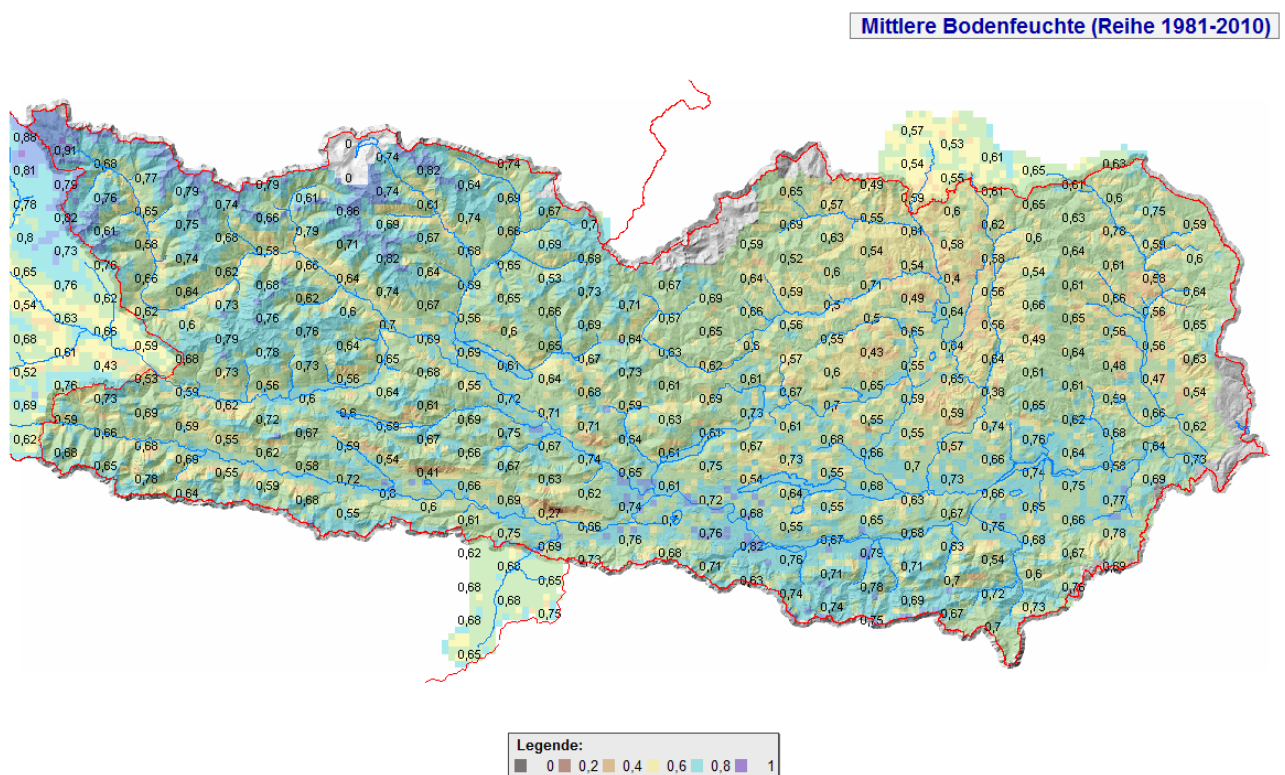


Abb. 98: Mittlere Bodenfeuchte

**Beschreibung des Jahresmittels:** Die Mittelung über den 30-jährigen Zeitraum 1981-2010 ergibt in weiten Teilen Kärntens einen gut mit Wasser versorgten Boden. Abgesehen von den Gebirgsregionen zeigt sich ähnlich wie im Jahresmittel des Niederschlags ein leichtes Süd-Nord Gefälle. In Oberkärnten ist das Gailtal feuchter als das Drautal und das Drautal feuchter als das Mölltal. Malta- und Liesertal sind hingegen aufgrund der Höhenlage wiederum feuchter als das Mölltal. In Unterkärnten zeigen sich im Rosental und im Klagenfurter Feld Jahresmittel um 0,7. Im Bereich zwischen St. Veit/Glan und Friesach, im Görtschitztal, im Gurktal und im Metnitztal belaufen sich weite Flächen zwischen 0,7 und 0,4. Den trockensten Wert mit 0,27 berechnet das Modell im Bergsturzgebiet des Dobratsch.

Im Allgemeinen zählen die Hochgebirgsböden Oberkärntens zu den feuchtesten Böden Kärntens. Hohe Niederschlagsmengen bei einer geringen Verdunstung sorgen für eine hohe Anreicherung des Bodens mit Wasser, welches der Pflanzenversorgung und der Grundwasserneubildung zugute kommt. Bodenfeuchtwerte zwischen 0,7 und 0,8 bilden die Mehrheit.

Auf das Jahr betrachtet liegt die Bodenfeuchte im Frühjahr aufgrund der Schneeschmelze meist über den Werten des Jahresmittels. Der Sommer ist die Zeit mit der geringsten Bodenfeuchte, selbst auf den Bergen nimmt der Wassergehalt im Boden deutlich ab. Im Herbst liegen weite Teile des Landes noch knapp unter dem Jahresmittel, im Winter hingegen sind die Bodenfeuchtwerte am höchsten (siehe Bodenfeuchtekarten im Teil 2 - Bemessungsgrundlagen).

## 4.3 Verdunstung

**Verdunstung V [mm]:** Wenn Wassermoleküle vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergehen spricht man von Verdunstung. Dies kann direkt von offenen Wasserflächen erfolgen, häufiger jedoch geschieht es von im Boden haftenden Wasser und vor allem von Pflanzen aus. Die Verdunstung ist abhängig von meteorologischen Faktoren wie der Temperatur, der Sonneneinstrahlung, der Luftfeuchtigkeit (Partialdruck des Wasserdampfes in der Atmosphäre) und der Windstärke. Daneben beeinflussen vor allem die Vegetation und die aktuelle Bodenfeuchte das Verdunstungsgeschehen.

Bei der Verdunstung wird in diesem Kontext die tatsächliche Verdunstung (auch Evapotranspiration ET [mm] genannt) betrachtet. Die Evapotranspiration ist die Summe aus Evaporation und Transpiration. Die Evaporation beschreibt die Menge des verdampften Wassers von offenen Wasserflächen, benetzten Blättern, feuchten Böden, etc. Die Transpiration ist die physiologisch regulierte Abgabe von Wasserdampf einer Pflanze, welches über die Spaltöffnungen (Stomata) der Blätter abgegeben wird. In den trockenen Regionen Kärntens wird die Verdunstung meist durch das vorhandene Wasser limitiert, in den feuchten Gebirgsregionen hingegen durch die für die Verdunstung zur Verfügung stehende Energie.

Die folgenden Abbildungen zeigen die mittlere jährliche Verdunstung, sowie die mittlere Verdunstung der vier Jahreszeiten. Bei Temperaturen unter null Grad kommt es zum direkten Übergang aus der festen in die gasförmige Phase des Wassers. Dies nennt man Sublimation. Die Berechnung der Sublimation ist mit großen Unsicherheiten behaftet, deshalb sind die im Winter dargestellten Werte auch entsprechend unsicher und mit Vorsicht zu betrachten.

## Mittlere jährliche Verdunstung

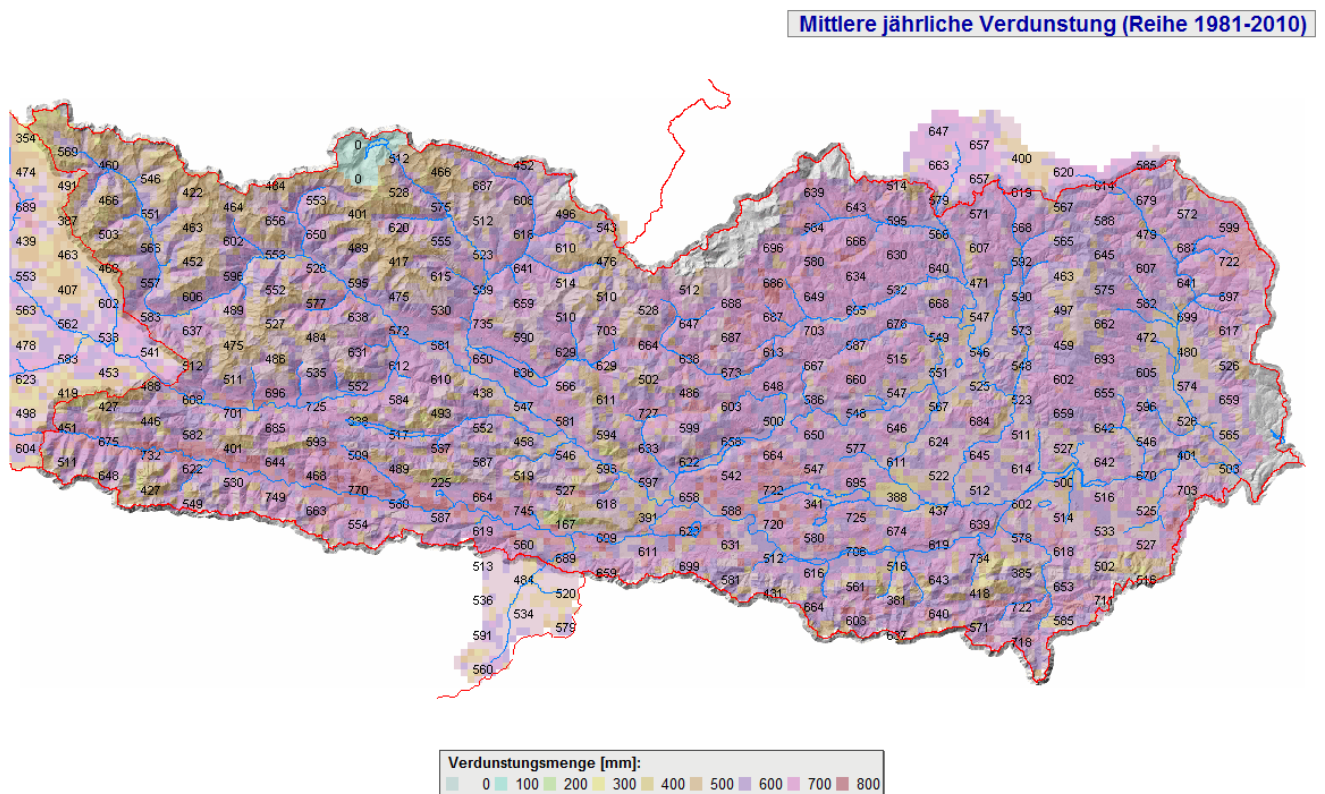


Abb. 99: Mittlere jährliche Verdunstung

**Beschreibung des Jahresmittels der Verdunstung:** Versiegelte Flächen wie Stadtgebiete können in der Regel kaum Wasser aufnehmen, der Regen rinnt über die Kanalisation ab und der Boden bleibt relativ trocken. Auch die Biomasse ist vergleichsweise gering, sodass nur wenig transpirativ verdunstet. Somit gehen Stadtgebiete in der Karte als Bereiche geringer Verdunstung hervor. Auch Gebiete mit Geröll haben aufgrund der hohen Wasserdurchlässigkeit bei geringem Wasserspeichervermögen niedere Werte (wie das Bergsturzgebiet beim Dobratsch).

Die höchsten Verdunstungsmengen des Jahresmittels errechnet das Modell im Gailtal mit Mengen zwischen 600 und 850 mm. Hier ist sowohl ausreichend Wasser vorhanden als auch die zur Verdunstung notwendige Energie (hohe Temperaturen). Ähnlich hohe Werte sind im Raum Villach und im Bereich zwischen dem Wörthersee und dem Ossiacher See zu finden.

In den Bergen nimmt die Verdunstung aufgrund der geringeren Temperatur ab. Auffallend ist die Situation im Lavanttal. Auf der Kuppe der Saualpe, in den waldfreien Gebieten, verdunsten ~ 500 mm im Jahr. Am Osthang steigen die Werte bis ~ 600 mm an und verringern sich bis zum Talboden aufgrund der geringeren Niederschlagsmengen wieder auf ~ 500 mm. Ähnlich ist die Situation an der Ostseite des Lavanttals, wo im Bereich des bewaldeten Teils der Koralpe die Werte erst wieder ansteigen (Niederschlag nimmt mit der Höhe zu), um dann im Bereich der Kuppe, welche waldfrei ist und eine geringe Bodenmächtigkeit hat, wieder abzufallen.

## Mittlere Verdunstung im Frühling

Mittlere Verdunstung im Frühling (Reihe 1981-2010)

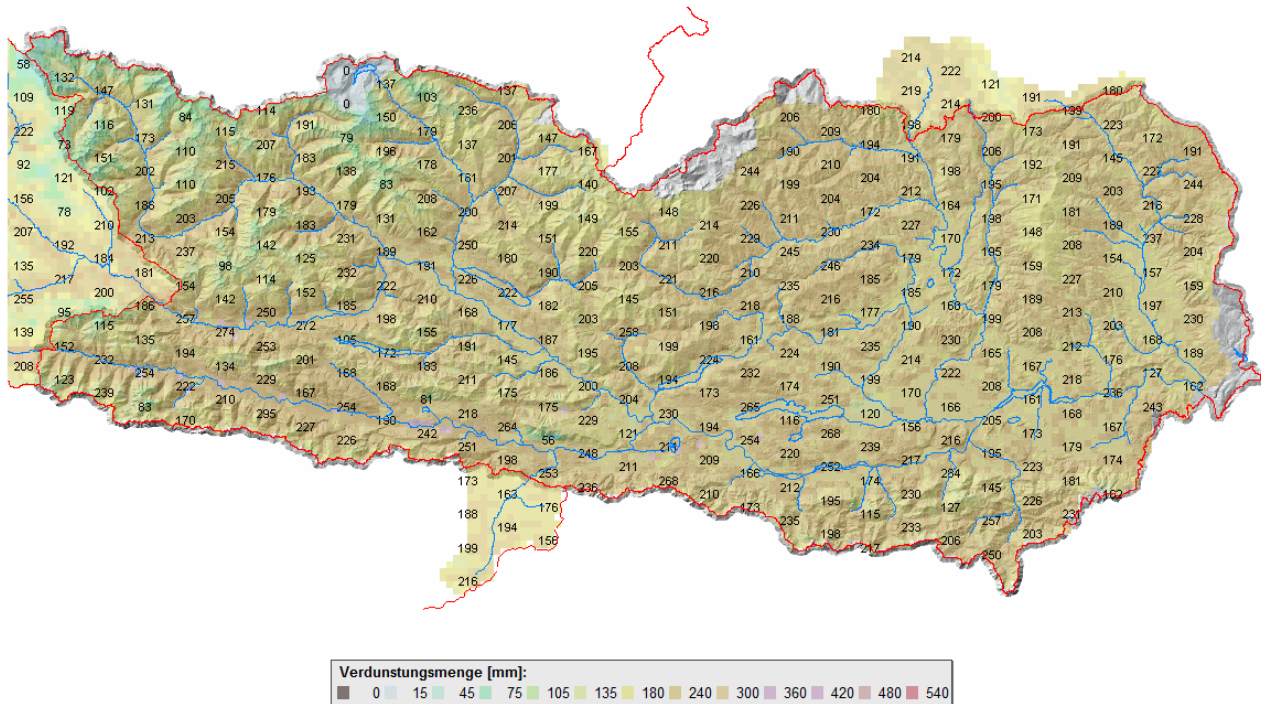


Abb. 100: Mittlere Verdunstung im Frühling

**Beschreibung der mittleren Verdunstung im Frühling:** Dort wo im Jahresmittel die höchsten Verdunstungsmengen auftreten, dort sind sie auch im Frühling zu finden. Zwischen 200 und 350 mm Wasser verdunstet durchschnittlich im Gailtal, im Klagenfurter Feld zum Vergleich 120 - 230 mm. Im Lavanttal und am Krappfeld verdunsten im Frühling um die 160 mm. Auf den Bergen östlich und westlich des Krappfelds steigt die Verdunstung um rund 50 mm an. Umgekehrt ist es in den Nockbergen und im Bereich des Liesertals. Hier sind es die höher gelegenen Talböden, auf denen über 200 mm verdunsten. Weiter ansteigend, auf den Berghängen, reduzieren sich die Mengen auf etwa 150 mm.

Auf den noch schneebedeckten und kalten Bergen der Hohen Tauern sind die geringsten Verdunstungsmengen zu finden. Zumeist verdunsten weniger als 100 mm in den drei Monaten. In der Region des Großglockners sind es rechnerisch sogar nur 50 mm.



## Mittlere Verdunstung im Sommer

Mittlere Verdunstung im Sommer (Reihe 1981-2010)

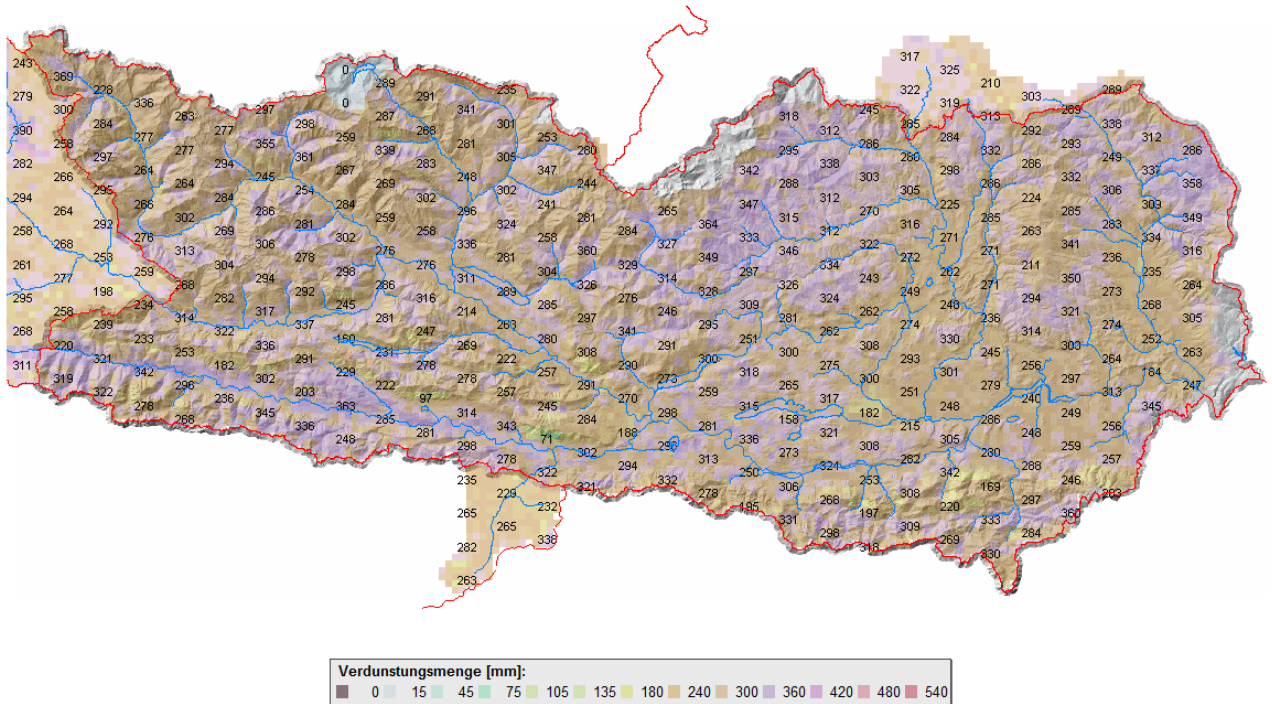


Abb. 101: Mittlere Verdunstung im Sommer

**Beschreibung der mittleren Verdunstung im Sommer:** Im Sommer ist deutlich zu sehen, dass in den teils trockenen Talböden keine so hohen Wassermengen mehr verdunsten können und die höchste Verdunstung daher in den feuchteren bewaldeten Berghängen zu finden ist. In Kärnten sind daher am Talboden in der Größenordnung von 250 - 300 mm und auf den Bergen 300 - 350 mm Verdunstung zu erwarten. Hohe Verdunstungsmengen sind im Gailtal zu finden, wo am Talboden 350 mm und mehr verdunsten.

## Mittlere Verdunstung im Herbst

Mittlere Verdunstung im Herbst (Reihe 1981-2010)

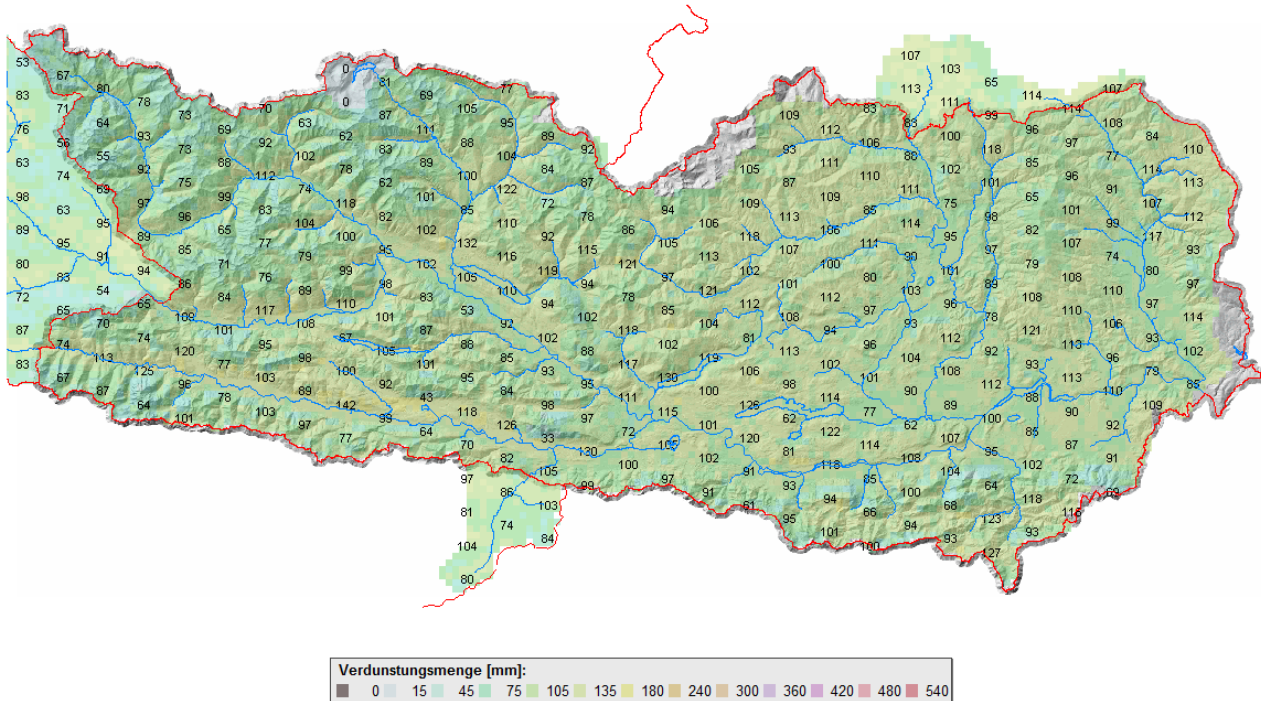


Abb. 102: Mittlere Verdunstung im Herbst

**Beschreibung der mittleren Verdunstung im Herbst:** Die mittlere Verdunstung im Herbst wartet mit geringen Werten auf, nur der Winter zeigt noch niedrigere. Auf den Talböden dominieren Verdunstungsmengen zwischen 80 und 100 mm, auf den niederen Bergen Unterkärntens 100 bis 120 mm und auf den hohen Bergen Oberkärntens 60 bis 90 mm. Die Böden sind wieder feuchter als im Sommer, die sinkende Strahlungsintensität und die geringeren Temperaturen begrenzen jedoch die Verdunstung. Es sind nun die Sonnenexponierten Hänge, welche die höchsten Verdunstungsmengen aufweisen (die Verdunstung wird im Sommer durch die fehlende Feuchtigkeit und im Herbst durch die geringe Temperatur und Strahlung limitiert). In Oberkärnten sind es die bodennahen Hangbereiche des Gailtals und des Oberen Drautals, welche mit Verdunstungsmengen von rund 120 bis 140 mm zu den verdunstungsreichsten Regionen Kärntens zählen. Am Talboden sind es im Gailtal 110 bis 130 mm, im Oberen Drautal 90 bis 120 mm, im Mölltal 80 bis 100 mm sowie im Lieser- und Maltatal 100 bis 120 mm. In den Hohen Tauern errechnet das Modell Verdunstungsmengen zwischen 60 und 80 mm, somit also geringere Werte als in den Karnischen Alpen. In Unterkärnten finden sich hohe Werte von 100 bis 140 mm in den Tälern und bodennahen Hängen der Karawanken, 100 bis 130 mm im Gebiet zwischen Wörthersee und Ossiacher See und 100 bis 120 mm weiter nördlich in den Nockbergen. Eine Rasterzelle in Klagenfurt hat mit einer Verdunstung von 75 mm etwa die Verdunstungsmenge, wie eine durchschnittliche Zelle in den Hohen Tauern.

## Mittlere Verdunstung im Winter

Mittlere Verdunstung im Winter (Reihe 1981-2010)

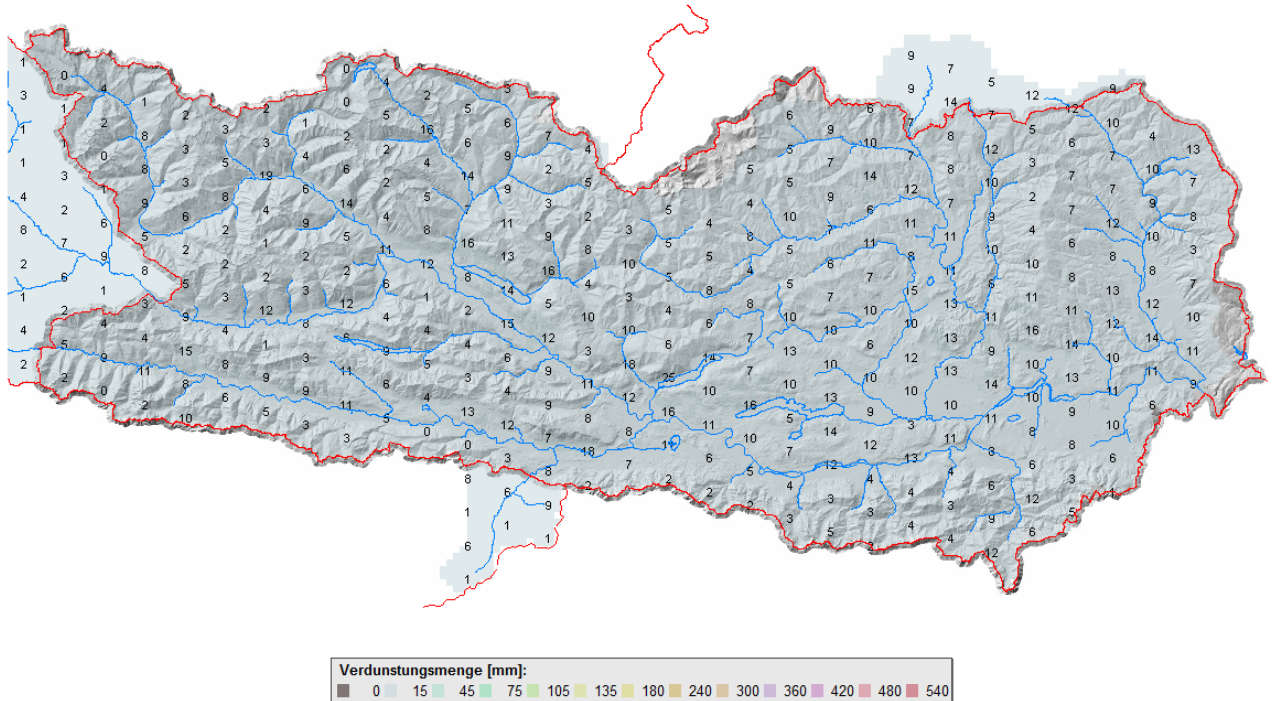


Abb. 103: Mittlere Verdunstung im Winter

**Beschreibung der mittleren Verdunstung im Winter:** Auch im Winter findet die meiste Verdunstung auf den Sonnexponierten bodennahen Hängen statt. Mengen über 20 mm finden sich bei Obervellach im Mölltal, im Westen des Millstätter Sees, im Unteren Drautal, beim Ossiacher See und nahe Zell Pfarre. Ansonsten liegt die Verdunstung zwischen 8 mm und 15 mm in den Tälern und 1 bis 7 mm in den Bergen.

## 4.4 Schneewasseräquivalent

**Schneewasseräquivalent SWE [mm]:** Das Schneewasseräquivalent ist die Wassermenge in mm, welche im Schnee oder Eis gespeichert ist. Bei demselben Schneevolumen ist im Pulverschnee weniger Wasser gespeichert (geringerer SWE-Wert), als in einem wärmeren, patzigeren Schnee (höherer SWE-Wert). Als grobe Annäherung entspricht 1 mm SWE etwa

1 cm frischem Schnee. Nach geraumer Zeit verdichtet sich der Schnee und die Schneehöhe nimmt bei etwa gleichem SWE ab.



In der Kartendarstellung des Schneewasseräquivalents sind die Tageswerte zu Monatswerten gemittelt worden. Dargestellt werden die Monate Dezember, Jänner und Februar. Das HBV Modell berechnet über den Niederschlag und die Temperatur, ob der Niederschlag als Schnee fällt. Dem Modell ist es nicht möglich, Schneebewegungen wie gleitende Eismassen eines Gletschers, Schneeverwehungen oder Lawinen zu berücksichtigen. Das führt dazu, dass es im Nährgebiet der Gletscher zu Schneeakkumulationen kommt und diese in der Karte mit einem Wert von über 9000 mm violett durchscheinen.

Abb. 104: Nassfeld Februar 2009 (Foto: WERNEGGER)



Abb. 105: Nassfeld Februar 2009 (Fotos: WERNEGGER)

## Mittleres Schneewasseräquivalent im Dezember

Mittleres Schneewasseräquivalent im Dezember (Reihe 1981-2010)

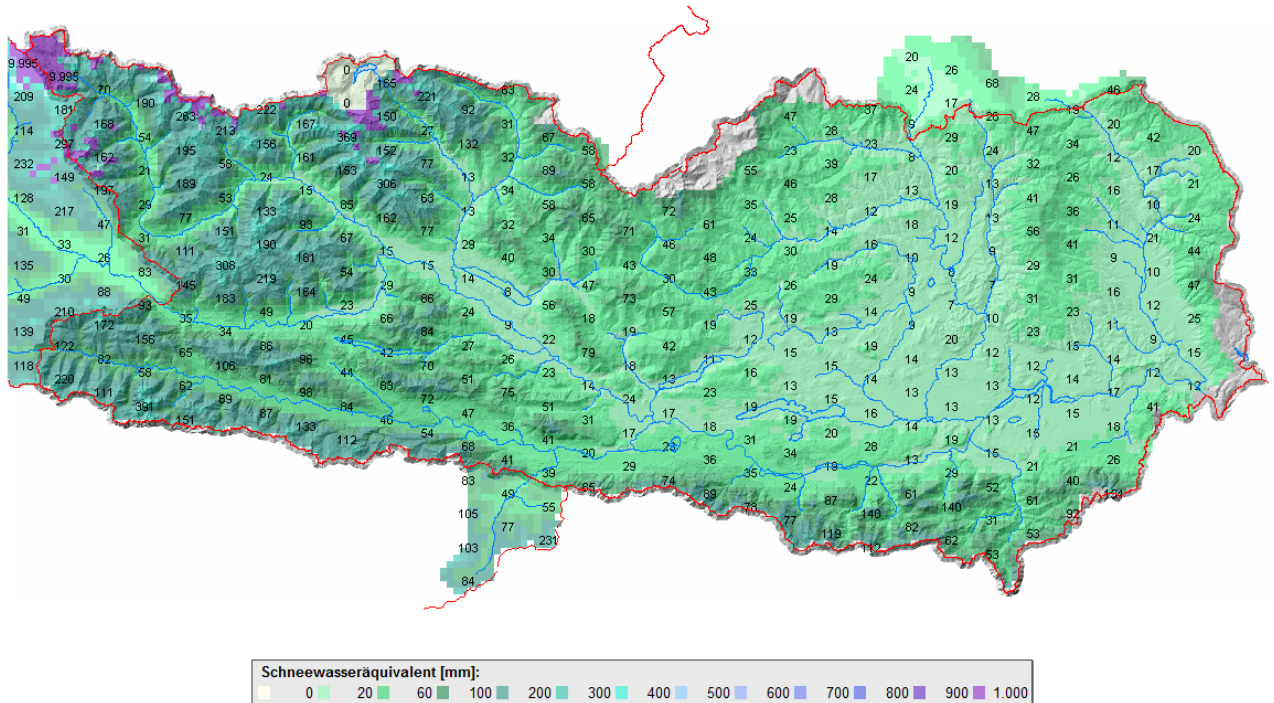


Abb. 106: Mittleres Schneewasseräquivalent im Dezember

**Beschreibung des mittleren Schneewasseräquivalents im Dezember:** Der durchschnittliche Dezember ist im Vergleich zum Jänner und Februar der schneeärmste Monat. Auf den ebenen Flächen Unterkärntens liegen 8 bis 13 mm im Lavanttal und am Krappfeld; südlich von St. Veit nimmt das Schneewasseräquivalent zu, sodass im Klagenfurter Feld bereits 12 – 16 mm und im Rosental bis zu 30 mm Wasser in Schnee gebunden sind. Auf den Bergen Unterkärntens sind auf der Sau- und Koralpe bis zu 80 mm, auf den niederen Bergen westlich der Linie St. Veit/Glan und Friesach bis zu 40 mm und in den Karawanken finden sich Werte über 200 mm.

In Oberkärnten ist das Gebiet zwischen Villach und Spittal, sprich das Untere Drautal, mit Werten zwischen 8 und 15 mm eines der schneeärmsten Gebiete Oberkärntens. Ab dem Mölltal bzw. Drautal nimmt das Schneewasseräquivalent zu und erreicht ab Außerfragant im Mölltal und Steinfeld im Drautal Werte von über 20 mm. Im Gailtal werden die 20 mm bereits ab dem Schüttgebiet erreicht. Ab dem Pressegger See sind es schon 40 – 50 mm. Auf den Bergen sind die Mengen im Dezembermittel schon recht hoch. Zwischen 100 und 250 mm in den Karnischen Alpen, 300 mm in Teilen der Kreuzeckgruppe, 350 mm auf der Hochalm Spitze und bis zu 400 mm in den Hohen Tauern. Im Bereich des Großglockners und auf den Gletschern sind weitaus größere Wassermengen gebunden, doch erscheinen sie aufgrund des Schneeakkumulationsproblems des Modells als Werte über 9000 mm violett auf der Karte.

## Mittleres Schneewasseräquivalent im Jänner

Mittleres Schneewasseräquivalent im Jänner (Reihe 1981-2010)

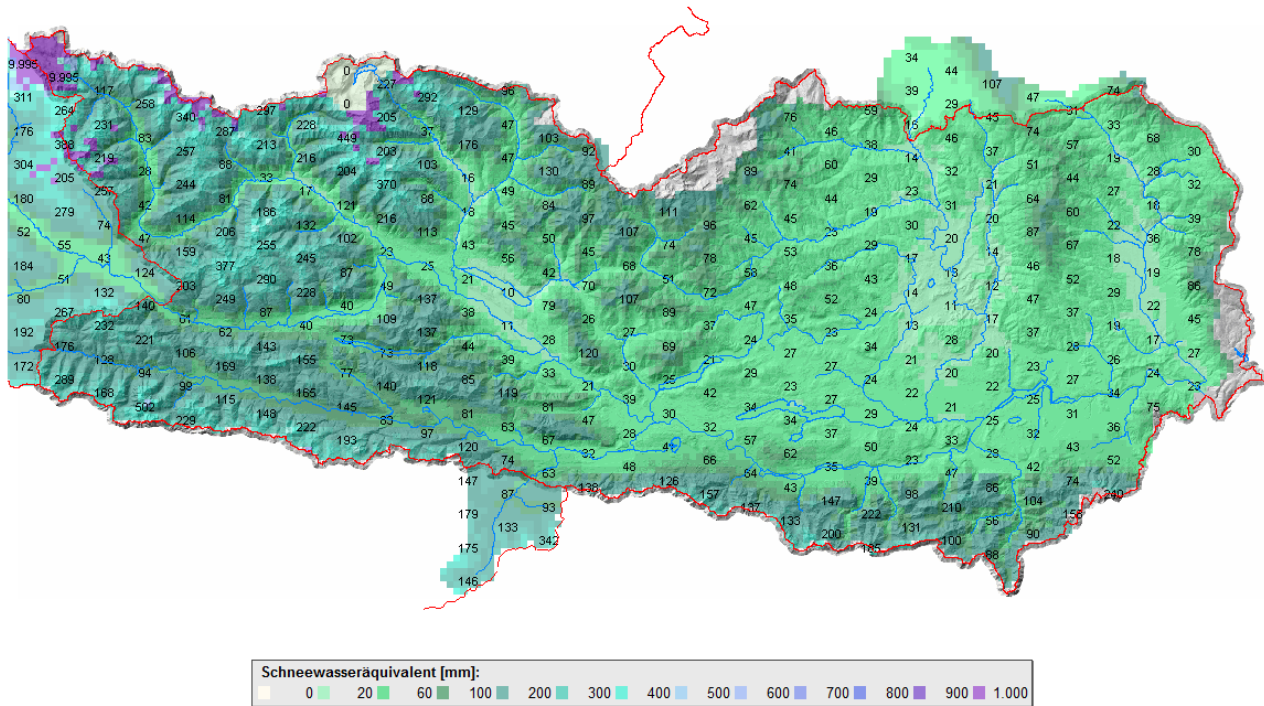


Abb. 107: Mittleres Schneewasseräquivalent im Jänner

**Beschreibung des mittleren Schneewasseräquivalents im Jänner:** Im Jännermittel kommen gegenüber dem Dezember hohe Wassermengen in Schnee und Eis gebunden hinzu. Dies sind in den Tälern und Becken Unterkärntens 5 – 15 mm an Zuwachs und in den Bergen bis 50 mm auf Sau- und Koralpe, sowie 30 mm bis 100 mm (von Nord nach Süd) zusätzlich in den Karawanken. In Oberkärnten zeigt sich ein Zuwachs von 10 bis 40 mm im Gailtal, 10 – 30 mm im Drautal und 2 – 20 mm im Möll-, Lieser- und Maltatal. Auf den Bergen kommen im Schnitt 30 mm in den Nockbergen, 75 mm auf dem Hauptkamm der Hohen Tauern, 60 mm in der Kreuzeckgruppe und 70 mm in den Karnischen Alpen hinzu.

## Mittleres Schneewasseräquivalent im Februar

Mittleres Schneewasseräquivalent im Februar (Reihe 1981-2010)

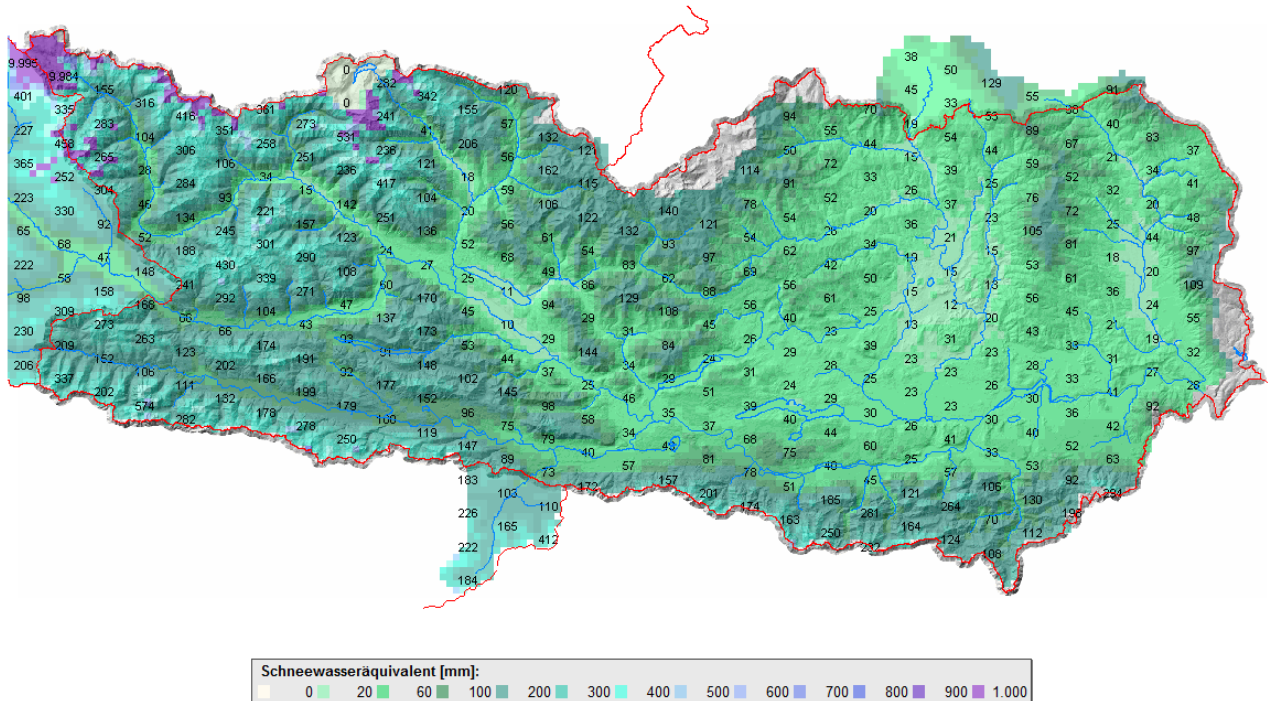


Abb. 108: Mittleres Schneewasseräquivalent im Februar

**Beschreibung des mittleren Schneewasseräquivalents im Februar:** In den Tälern ist die Zunahme des Schneewasseräquivalents gegenüber dem Jänner im Mittel gering, dennoch sind vor allem in den südlichen Landesteilen hohe Wassermengen gebunden. Im Gailtal sind es im Februar durchschnittlich 50 – 100 mm, im Oberen Drautal 30 – 70 mm, im Unteren Drautal 10 – 30 mm, im Möll-, Malta- und Liesertal 15 – 50 mm. Auffällig ist die sich durch die Monate hindurchziehende markante Zunahme des Schneewasseräquivalents gegen Westen im Mölltal ab Flattach und im Drautal ab etwa Greifenburg sowie weniger abrupt im Gailtal nach dem Dobratsch. In Unterkärnten sind im Schnitt 20 – 60 mm im Rosental, 30 – 50 mm im Jauntal, 20 – 30 mm im Klagenfurter Feld, 15 – 25 im Lavanttal, 12 – 25 in der Gegend um St. Veit/Glan, Krappfeld und Görttschitztal, 15 – 30 im Glantal und im Gurk- und Metnitztal 15 – 50 mm gebunden. Auf den Bergen akkumuliert sich Schnee und Eis aufgrund der kühlen Temperaturen in hohen Mengen. Sehr hohe Werte zeigen sich vor allem in den Karnischen Alpen, wo die Werte zwischen 200 und 500 mm rangieren. Auch in der Kreuzekgruppe, der Schobergruppe und in den Gebirgen nördlich des Mölltals finden sich Werte von über 400 mm. In Unterkärnten sind Schneemengen ähnlichen Ausmaßes nicht mehr zu finden, am ehesten noch in den Karawanken, zumeist bleiben sie jedoch unter 300 mm. Sau- und Koralpe verzeichnen bis zu 170 mm, die kleineren Berge Unterkärntens bis zu 100 mm.

## 4.5 Wasserdargebot minus Verdunstung

**Wasserdargebot (WD) minus Verdunstung (V) [mm]:** Der Begriff Wasserdargebot wird im NA-Modell HBV als Summe von Regen und Schneeschmelze verwendet. Die Verdunstung entspricht der tatsächlichen Verdunstung, wie sie bereits im Kapitel 4.3 behandelt wurde. Die Kartendarstellung in [mm] gibt an, wieviel Millimeter Wasser pro Quadratmeter im Boden verbleibt, nachdem ein großer Teil verdunstet bzw. von Pflanzen verbraucht wird. Hinweis: 1 mm/m<sup>2</sup> entspricht 1 Liter Wasser pro Quadratmeter. Als Näherung kann man aus diesen Abbildungen auch das potentielle Grundwasserneubildungsvermögen herauslesen. Dieses wird allgemein aus Wasserdargebot minus Verdunstung minus Oberflächenabfluss bzw. oberflächennaher Abfluss berechnet.

### Mittleres jährliches Wasserdargebot minus Verdunstung

Mittleres jährliches Wasserdargebot minus Verdunstung (Reihe 1981 - 2010)

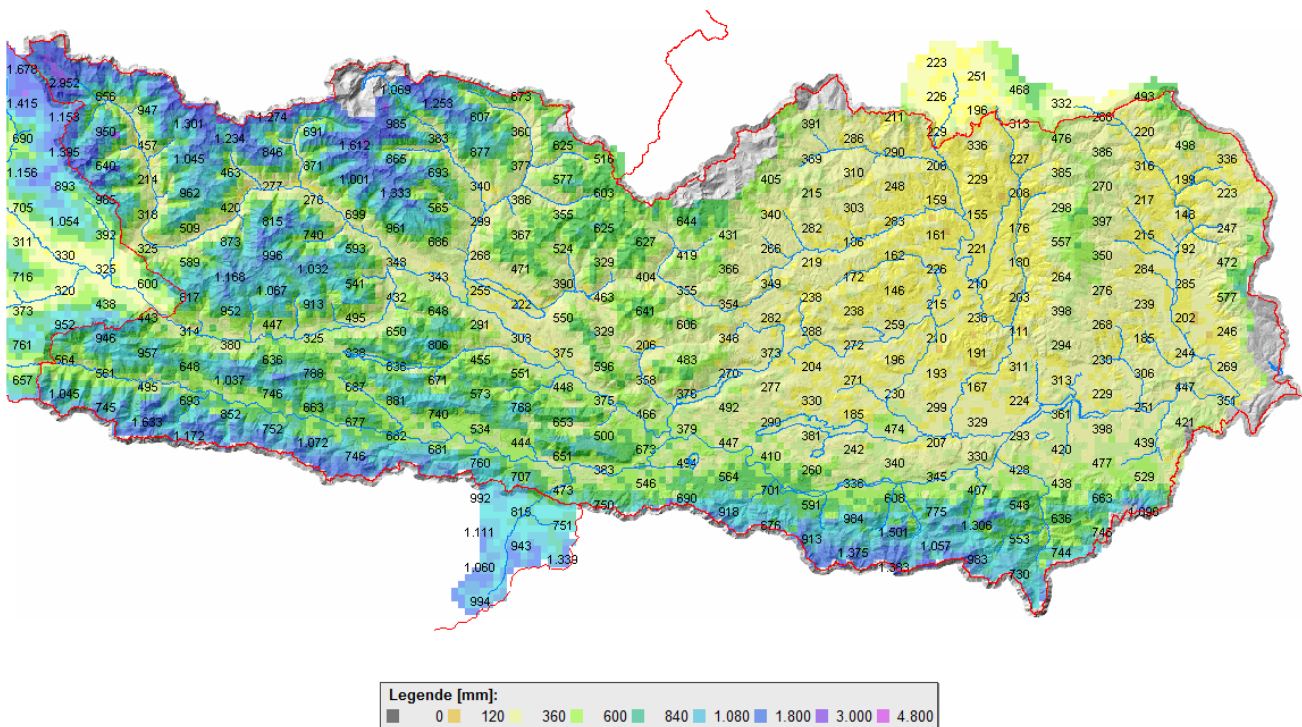


Abb. 109: Mittleres jährliches Wasserdargebot minus Verdunstung (mm)

**Beschreibung des Jahresmittels „Wasserdargebot minus Verdunstung“:** Die Karte zeigt einen enormen Unterschied zwischen den niederschlagsreichen Bergen mit geringer Verdunstung und dem warmen trockeneren Tiefland. Über 1000 mm im Hochgebirge, um die 2000 mm in den hohen wetterabfangenden Randgebirgen Kärntens und Werte darüber in den vergletscherten Gebieten der Hohen Tauern. Im Gegensatz dazu sind die Werte im La-



vanttal und im Bereich zwischen der Saualpe im Osten, den Nockbergen im Westen und dem Wörthersee im Süden mit 150 – 300 mm sehr nieder. Ähnlich niedere Werte finden sich auch stellenweise am Talboden des Mölltals und im Unteren Drautal.

Etwas feuchter wird es in Unterkärnten südlich der gedachten Linie Ossiacher See, Wörthersee, Völkermarkter Stausee, Lavamünd mit Werte über 300 mm. Ab dem Rosental steigt das Wasserdargebot abzüglich der Verdunstung in Richtung Süden stark an und erreicht in den Karawanken Werte bis zu 2000 mm wie zum Beispiel auf der Koschuta. In Oberkärnten sind die Talböden in der Regel etwas feuchter als in den trockenen Bereichen Unterkärntens. Die vorwiegenden Werte liegen am Talboden im Mölltal zwischen 200 – 400 mm, im Oberen Drautal zwischen 300 und 500 mm und im Gailtal zwischen 450 und 650 mm.

Demnach ist die Gefahr von Trockenheit und Wasserengpässen in Unterkärnten vor allem im Lavanttal und zwischen dem Wörthersee und Friesach weitaus höher als in Oberkärnten, zumal in Oberkärnten Wasserressourcen der Bergregionen einfacher in Wasserversorgungsanlagen einzubinden sind, als in Unterkärnten.

## Wasserdargebot minus Verdunstung im Frühling

Wasserdargebot minus Verdunstung im Frühling (Reihe 1981-2010)

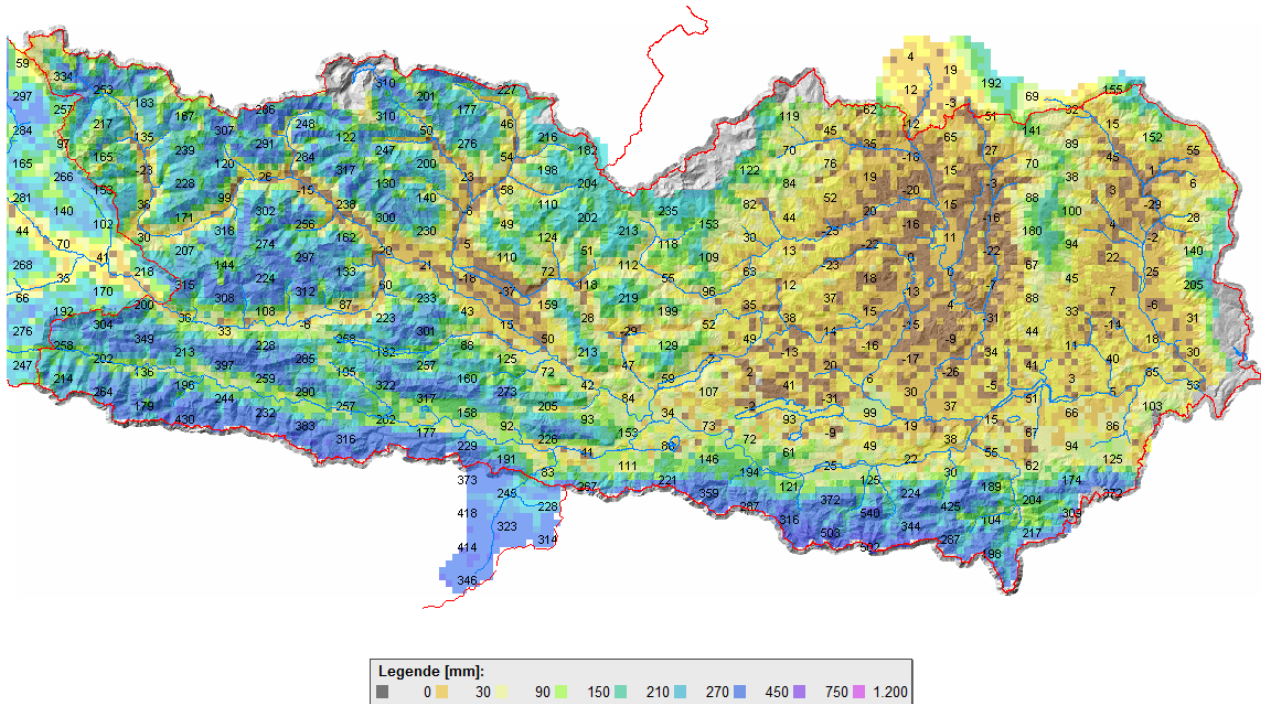


Abb. 110: Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Frühling (mm)

**Beschreibung der mittleren „Wasserdargebot minus Verdunstung“ – Werte im Frühling:** In der Darstellung des Frühlings stechen dunkelbraune Farbgebungen im Bereich des Lavantals, zwischen Klagenfurt und Friesach, im Unteren Drautal und im Mölltal heraus. Diese Farbe kennzeichnet Gebiete mit einer höheren Verdunstung als Regen und Schneeschmelze. Dies ist über kürzere Zeitspannen hinweg möglich, das verdunstete Wasser stammt dabei aus dem Bodenspeicher.

In den Hohen Tauern kommt es im Frühjahr zu im Durchschnitt positiven Werten von 200 – 300 mm, vereinzelt bis zu 400 mm. Südlich des Drautals bis hin zu den Karnischen Alpen sind die Abflussmengen höher und rangieren großteils zwischen 300 mm und 400 mm, teils bis zu 500 mm. Ähnlich ist die Situation in den Karawanken, nur sind die Spitzenwerte mit Werten bis zu 550 mm noch höher.

## Wasserdargebot minus Verdunstung im Sommer

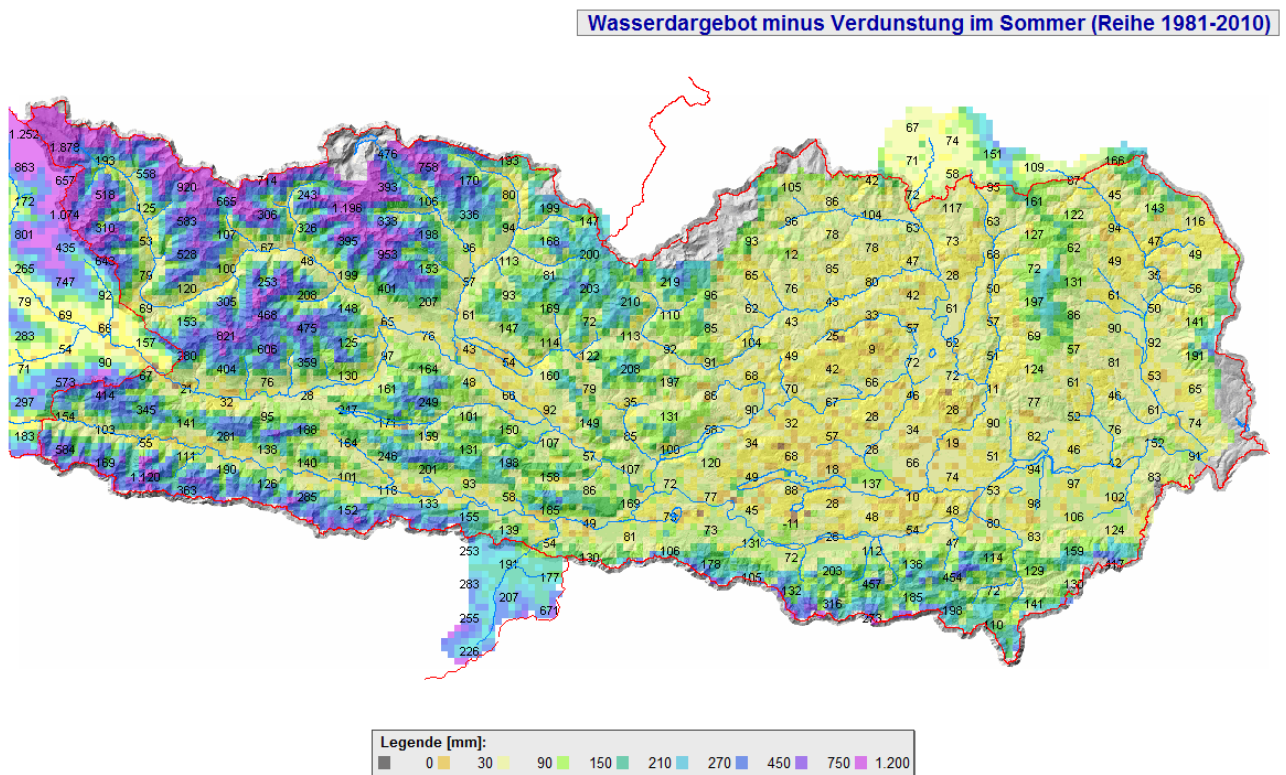


Abb. 111: Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Sommer (mm)

**Beschreibung der mittleren „Wasserdargebot minus Verdunstung“ - Werte im Sommer:** Im Sommer addieren sich die Schneeschmelze der hohen Lagen und der Regen zu sehr großen verfügbaren Wassermengen, welche nur geringfügig durch die Evapotranspiration reduziert werden. Zwischen 1000 und 1800 mm bzw. Liter kommen in den drei Sommermonaten in den alpinen Regionen der Hohen Tauern auf einen Quadratmeter, so dass die Hochgebirgsflüsse stark anschwellen können. In den Karnischen Alpen und den Karawanken sind die größten Schneemengen bereits geschmolzen und die Abflussspenden der Hochlagen liegen zwischen 400 mm und 1000 mm. Die Mengen schwinden mit abnehmender Höhe bedeutend. Auf den Talböden Ober- und Unterkärntens reichen die Abflussspenden nur noch selten über 100 mm. In den weniger gebirgigen Gebieten Unterkärntens halten sich die Werte zumeist zwischen 30 mm und 100 mm.

## Wasserdargebot minus Verdunstung im Herbst

Wasserdargebot minus Verdunstung im Herbst (Reihe 1981-2010)

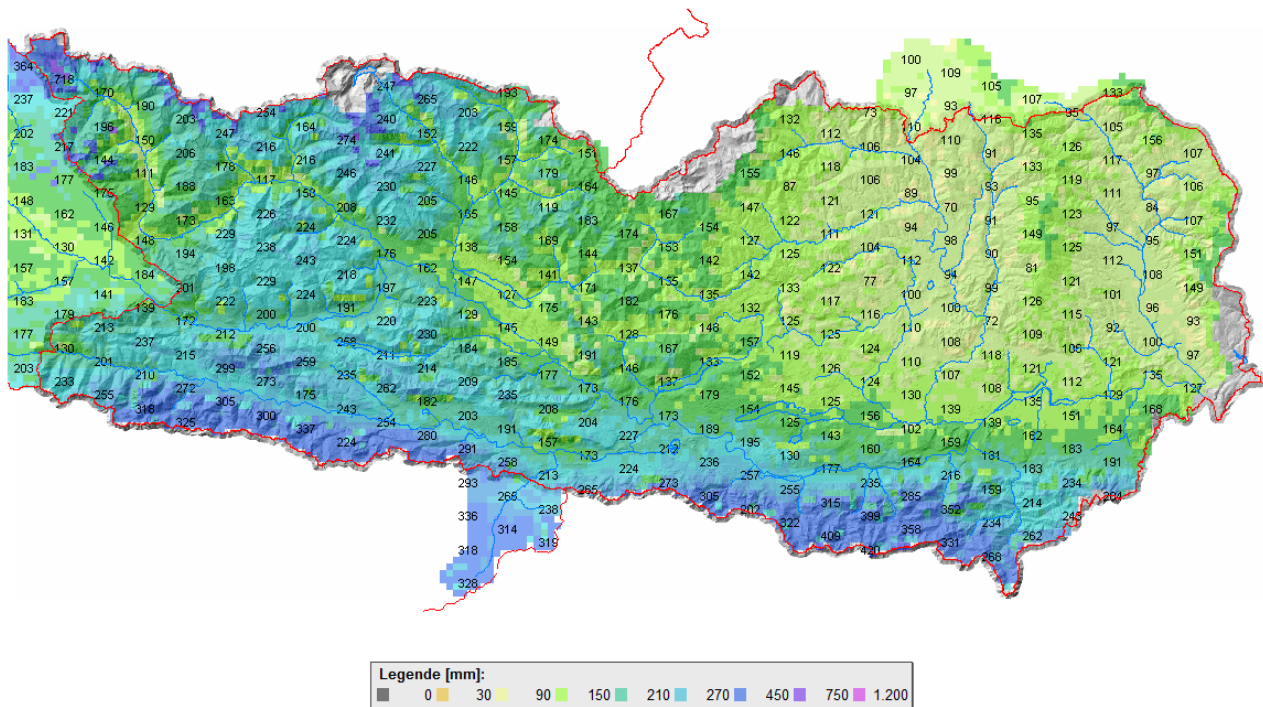


Abb. 112: Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Herbst (mm)

**Beschreibung der mittleren „Wasserdargebot minus Verdunstung“ - Werte im Herbst:** Der Herbst ist für die Böden der Niederungen wieder feuchter als der Sommer. Aufgrund der sinkenden Temperaturen nimmt die Verdunstung ab und die Regenmengen sind nur leicht geringer als in den Monaten zuvor. Zwischen 100 mm und 150 mm dienen der Grundwasserneubildung bzw. dem Abfluss im Lavanttal und dem Bereich zwischen Wörthersee und Friesach. Südlich des Wörthersees erhöhen sich die Werte, sodass im Rosental bereits 200 mm und in den Karawanken südlich davon bis zu 450 mm durchschnittlich zu erwarten sind. Im Unteren Drautal, im Malta- und Liesertal, sowie im Mölltal liegen die Abflussspenden am Talboden zwischen 130 und 170 mm. Das Drautal ist mit Werten um die 200 mm etwas feuchter, das Gailtal birgt mit Werten bis zu 260 mm den feuchtesten Talboden. Auch die Gebirge des Gailtals sind mit durchschnittlichen Werten zwischen 300 mm und 400 mm sehr feucht. Nur die höchsten Berge der Hohen Tauern zeigen höhere Werte, welche bis zu 600 mm im Großglocknerbereich und bei der Hochalm Spitze reichen.

## Wasserdargebot minus Verdunstung im Winter

Wasserdargebot minus Verdunstung im Winter (Reihe 1981-2010)

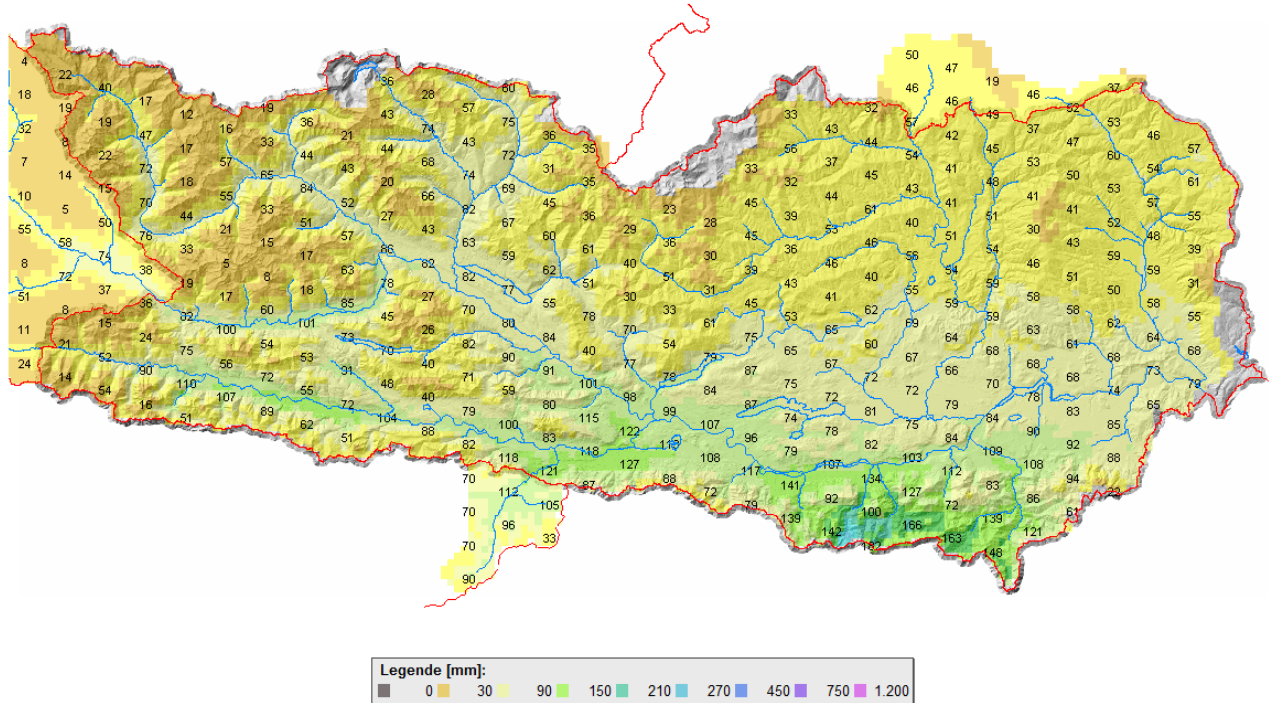


Abb. 113: Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Winter (mm)

**Beschreibung der mittleren „Wasserdargebot minus Verdunstung“ - Werte im Winter:** Im Winter dreht sich die Situation um. Während es im frühen Winter auf den Bergen bereits schneit und das Wasser im Schnee gespeichert wird, regnet es noch häufig in den Tieflagen. Nachdem Schnee nicht zum Wasserdargebot zählt weil das Wasser gespeichert ist und nicht zur Verfügung steht, zeigt die Karte in den Tälern höhere Werte als auf den Bergen. Am feuchtesten sind das Gailtal, das Rosental und das Drautal mit Werten zwischen 90 und 130 mm. Zwischen 70 und 80 mm sind es im Möll-, Lieser- und Maltatal. Ähnlich feucht ist es auch im Klagenfurter Becken. Zwischen St. Veit/Glan und Friesach reduzieren sich die Werte auf 40 – 60 mm. Auf den Bergen Ober- und Unterkärntens liegen die Werte noch geringer, meist zwischen 5 und 40 mm. Der Schnee der Berge kommt dem Wasserdargebot in Form der Schneeschmelze im Frühling und im Sommer wieder zugute.

## 4.6 Abflussspende

**Abflussspende  $M_q$  [ $l/s/km^2$ ]:** Der Parameter beschreibt den in einem Quadratkilometer eines Gewässereinzugsgebietes auftretenden Abfluss. Er ergibt sich aus dem aufgetretenen Regen, der Schneeschmelze, der Verdunstung sowie der Verweilzeit des Wassers im Boden. Die Werte entsprechen also den, durch die Speicherwirkung des Bodens zeitlich verzögerten Daten des Kapitels 4.5 „Wasserdargebot minus Verdunstung“.

Im numerischen Modell HBV wurden die Bodenspeicherparameter so angeeicht, dass die sich ergebenden Abflüsse in ihrer Dynamik möglichst gut mit den an den Pegelmessstellen beobachteten Werten übereinstimmen.

In den folgenden Karten stellt der bunte Kartenhintergrund die mit dem Modell berechneten und als „Modellierte Abflussspende“ bezeichneten Abflussspenden dar. Zusätzlich sind an den Pegelmessstellen zu Vergleichszwecken die sich aus den Abflussmessungen ergebenden „gemessenen Abflussspenden“ eingetragen. Diese Werte ergeben sich aus dem mittleren Abfluss am Pegel und dem abflusswirksamen Einzugsgebiet ( $M_q = MQ/A_e \cdot 1000$ ). Somit spiegeln die Punktwerte die mittlere Abflussspende [ $l/s/km^2$ ] des dahinter liegenden Einzugsgebiets wider, an denen Verfälschungen durch Kraftwerksausleitungen so weit als möglich reduziert worden sind.

Hohe Abflussspenden erreichen Einzugsgebiete im Gebirge mit spärlicher Vegetation, geringer Verdunstung und hohem Niederschlag. Niedrige Abflussspenden sind im Tiefland anzutreffen. Wie bereits im Kapitel 3.3 „Wasserstände und Abflüsse“ erwähnt, gibt die modellierte Abflussspende an, wieviel Wasser auf einem Quadratkilometer in einer Sekunde abflusswirksam wird [ $l/s/km^2$ ]. Durch den Bezug des Abflusses auf einen Quadratkilometer wird die Vergleichbarkeit zwischen den Flussgebieten erleichtert. Im Gegensatz zu anderen Parametern der Arbeit wurde bei diesen Berechnungen die Periode 1990 – 2013 modelliert.

## Modellierte und gemessene mittlere Abflusssspende Mq

Modellierte und gemessene mittlere Abflusssspenden Mq

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010

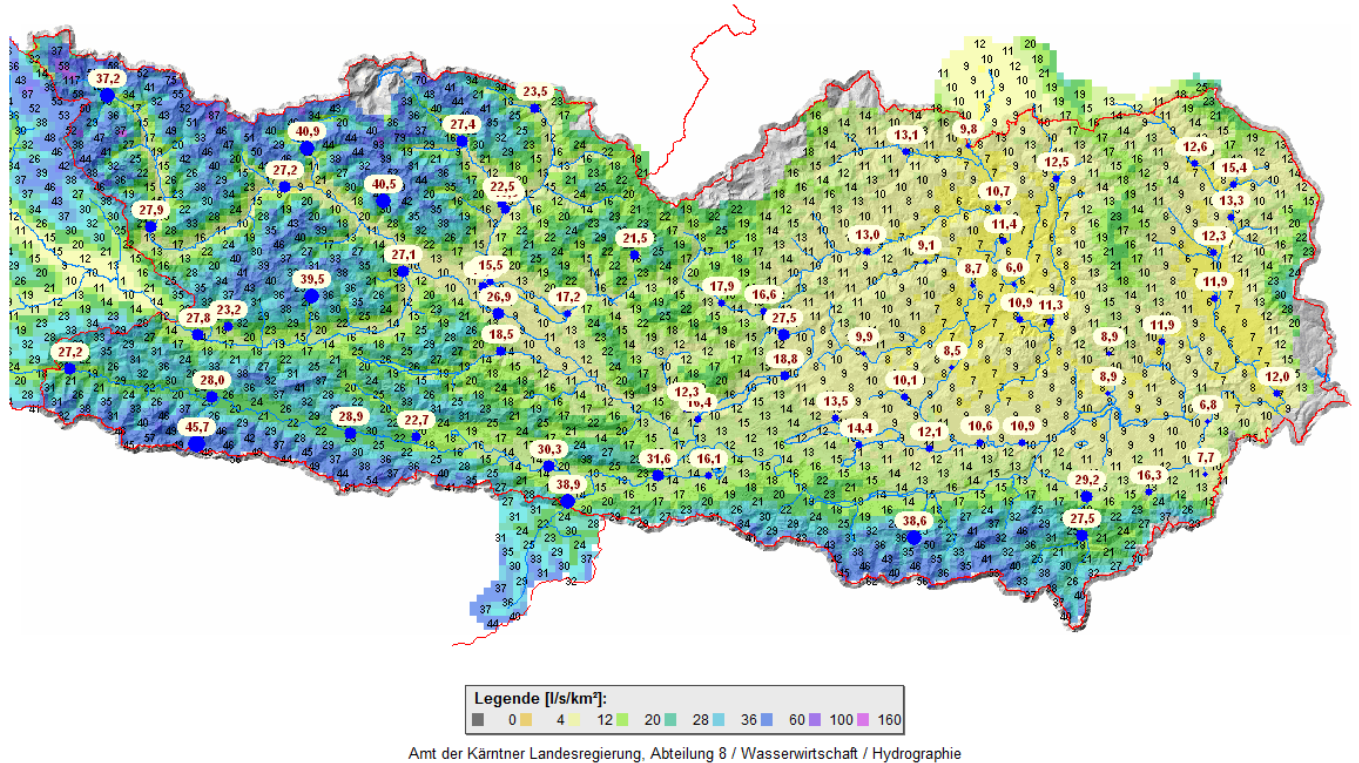


Abb. 114: Mittlere jährliche modellierte Abflusssspende als Kartenhintergrund mit gemessenen mittleren Abflusssspenden an den Pegeln [l/s/km<sup>2</sup>]

**Beschreibung der mittleren jährlichen Abflusssspende:** Ähnlich dem Punkt „Wasserdargebot minus Verdunstung“ sind auch in dieser Darstellung den Bergen hohe, den Tälern niedrige Werte zu entnehmen. Auch macht sich ein leichtes Süd-Nord und West-Ost Gefälle bemerkbar. Der Talboden des Gailtals ist mit Werten zwischen 15 und 25 l/s/km<sup>2</sup> abflussreicher als das Drautal mit 12 – 19 l/s/km<sup>2</sup> und das Mölltal mit Werten knapp über 10 l/s/km<sup>2</sup>. Werte um die 10 l/s/km<sup>2</sup> kennzeichnen auch die Talböden des Malta- und Liesertals, das Untere Drautal, den Bereich östlich des Wörthersees bis zur Staatsgrenze und die niederen Gebirge der Metnitzer Alpen, des Mödringbergzuges, der Wimitzer Berge und das Moosburger Hügelland. Die geringsten Abflusssspenden hat Kärnten im Lavanttal und westlich des Görttschitztals bis hinein in die östlichen Ausläufer des Metnitztals, des Gurktals und des Glantals. Hier belaufen sich die Werte zwischen 6 und 8 l/s/km<sup>2</sup>. Ansteigende Werte finden sich im Raum Villach und südlich des Wörthersees wieder. Im Rosental z.B. belaufen sich die Werte bereits zwischen 13 und 22 l/s/km<sup>2</sup>.

In höheren Gebirgsregionen steigen die Werte rasant an. In den Karawanken zeigen sich Abflusssspenden zwischen 30 und 50, bis hin zu 60 l/s/km<sup>2</sup>. Die Höhen der Sau- und Koralpe sowie die Nockberge erscheinen mit Abflusssspenden zwischen 20 und 25, vereinzelt bis 30 l/s/km<sup>2</sup> dagegen nieder. Im Vergleich zu den Talböden sind aber auch diese Werte deutlich höher. Die Gebirgsketten westlich des Millstätter Sees sind höher und bekommen in der

Regel mehr Niederschlag ab. Die Karnischen Alpen entwässern mit 40 – 60 l/s/km<sup>2</sup>, die Gailtaler Alpen mit 30 – 45 l/s/km<sup>2</sup>, die Kreuzeckgruppe mit 30 – 45 l/s/km<sup>2</sup>, die Hohen Tauern mit 40 – 70 l/s/km<sup>2</sup> und mehr. Die Pegelwerte zeigen meist einen etwas höheren Wert an als das Gridelement auf dem sie liegen, da die Messstellen an den Tiefenlinien des Einzugsgebietes liegen und damit in Bereichen mit geringeren Abflussspenden. Die höchsten gemessenen Werte an Pegelstellen zeigen sich mit 45,7 l/s/km<sup>2</sup> in den Karnischen Alpen bei der Messstation Welsch Tratte am Angerbach und an der Messstelle Mallnitz am Mallnitzbach mit 40,9 l/s/km<sup>2</sup>. Beide Messstationen liegen über 1000 m Seehöhe. Die niedrigsten Werte mit 6 l/s/km<sup>2</sup> am Südrand des Krappfelds bei der Station Passering am Silberbach und 6,8 l/s/km<sup>2</sup> bei Aich am Bleiburger Feistritzbach finden wir in den Ebenen Unterkärntens.

## Modellierte Abflussspende im Frühling

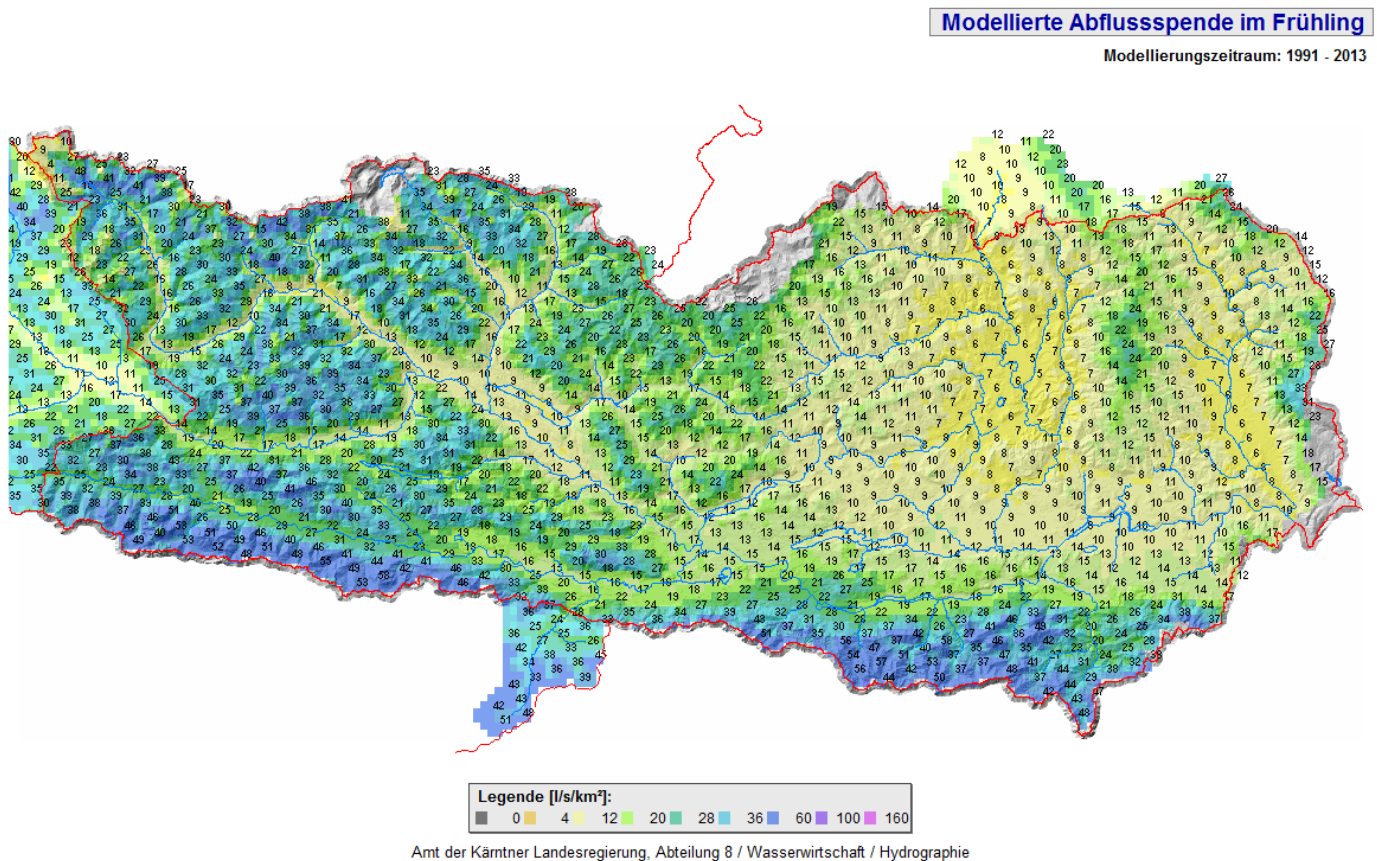


Abb. 115: Mittlere Abflussspende im Frühling [l/s/km<sup>2</sup>]

**Beschreibung der mittleren Abflussspende im Frühling:** Die Abflussspenden des Frühlings sind in mittleren Gebirgsregionen am höchsten und hängen vor allem dort stark von der Schneeschmelze ab. In den Becken Unterkärntens spielt die Schneeschmelze meist keine so große Rolle mehr, in den Gipfelregionen der Hohen Tauern setzt die Schneeschmelze erst später voll ein.



## Modellierte Abflusssspende im Sommer

Modellierte Abflusssspende im Sommer

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013

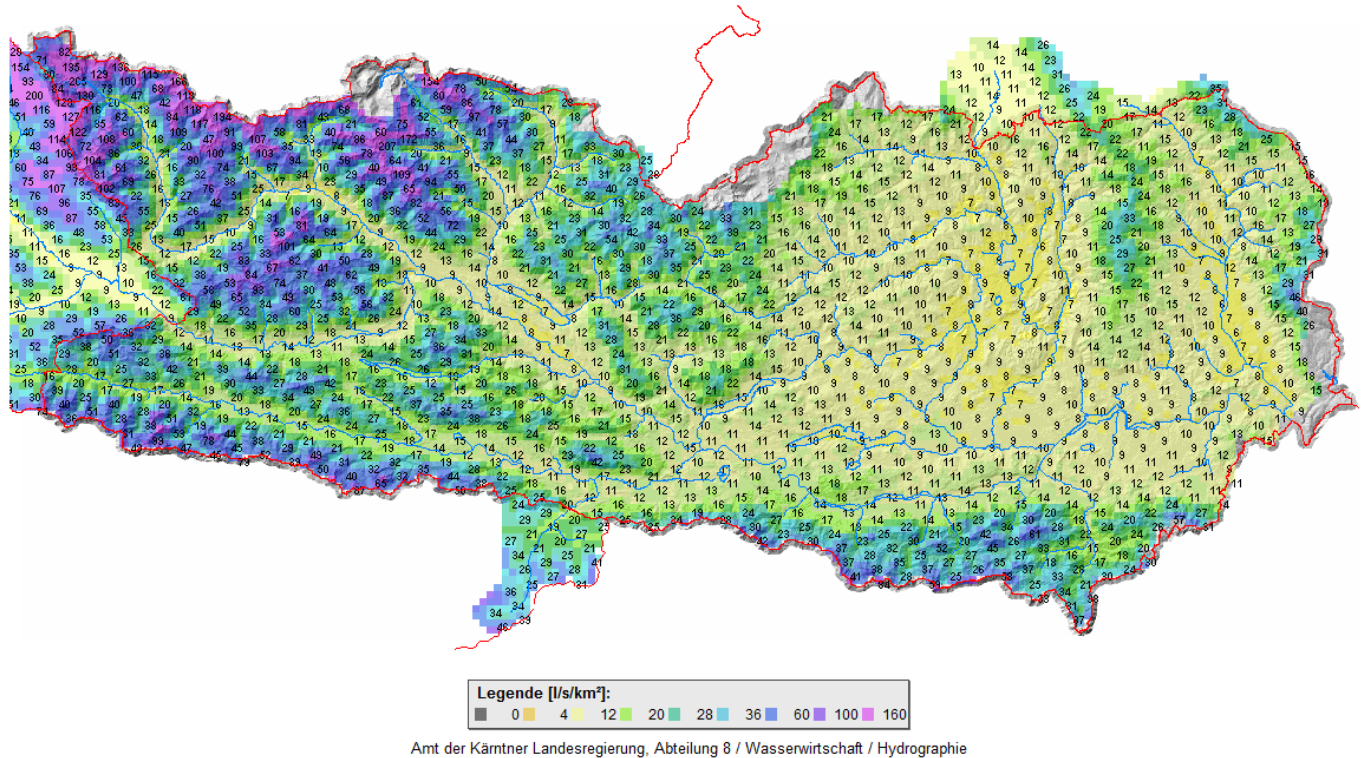


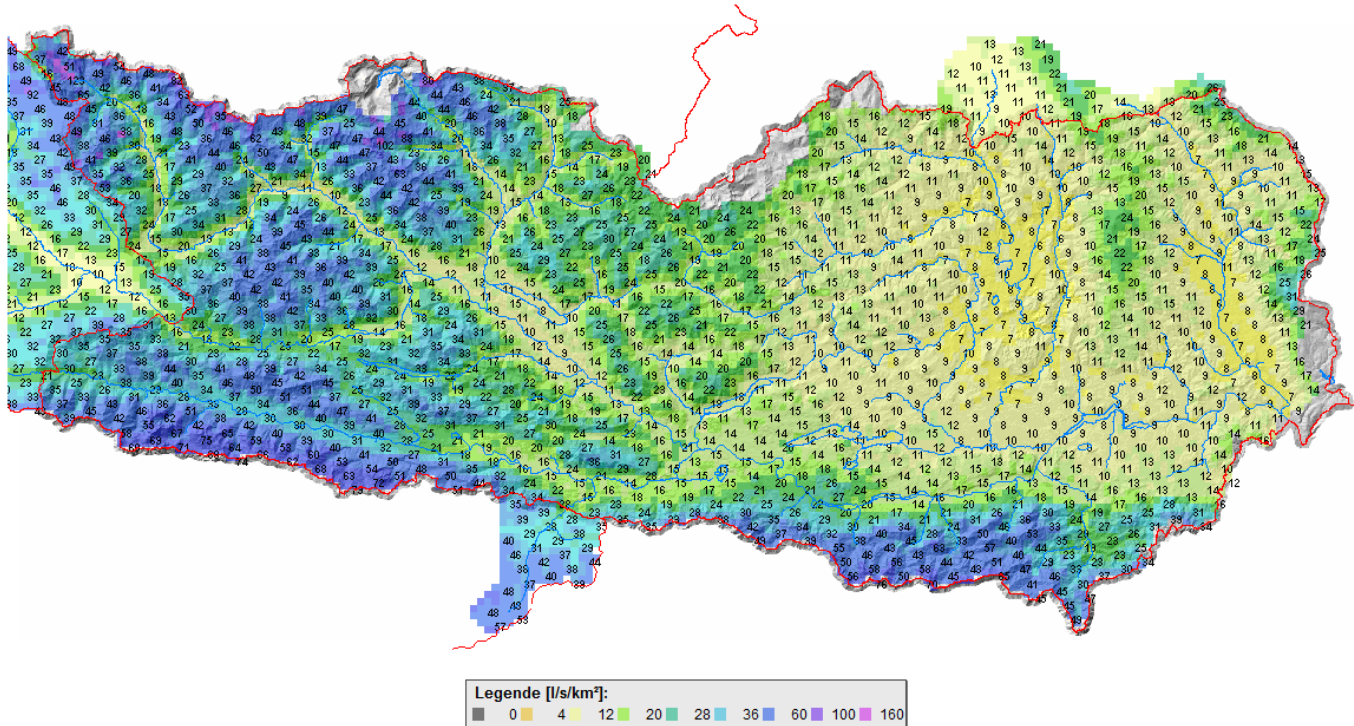
Abb. 116: Mittlere Abflusssspende im Sommer [l/s/km<sup>2</sup>]

**Beschreibung der mittleren Abflusssspende im Sommer:** Während im Frühling die höchsten Gebirgsregionen unterdurchschnittliche Abflusssspenden zeigten, sind hier im Sommer sehr hohe Werte zu beobachten. Die Schneemassen schmelzen und nähren Böden, Grundwasser und Flüsse. Werte über 100 l/s/km<sup>2</sup>, in der Karte als helles Magenta aufscheinend, sind keine Seltenheit. Auf den kleineren und mittleren Bergen sowie den Talböden ist in der Regel der Schnee bereits geschmolzen und durchschnittliche Abflusssspenden stellen sich ein. Südliche Landesteile, wie etwa das Rosental und das Gailtal, zeigen sogar leicht unterdurchschnittliche Werte.

## Modellierte Abflusssspende im Herbst

Modellierte Abflusssspende im Herbst

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013



Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 117: Mittlere Abflusssspende im Herbst [l/s/km<sup>2</sup>]

**Beschreibung der mittleren Abflusssspende im Herbst:** Im Sommermittel noch leicht unterdurchschnittlich sind die südlichen Gebiete Kärntens jetzt deutlich abflussreicher als im Jahresmittel. Am deutlichsten ist dies in den Karawanken, den Gailtaler Alpen und den Karnischen Alpen, hier vor allem in den Mittleren Karnischen Alpen zu sehen. Diese Gebirge entwässern im Herbst zwischen 10 und 20 l/s/km<sup>2</sup> über dem Durchschnitt. Die Kreuzeckgruppe und weite Teile der Hohen Tauern zeigen ebenfalls ein Plus von bis zu 10 l/s/km<sup>2</sup>. Unterkärnten ist über weite Teile mit einem Plus von 1 – 2 l/s/km<sup>2</sup> ebenfalls leicht über dem Durchschnitt.

## Modellierte Abflusssspende im Winter

Modellierte Abflusssspende im Winter

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013

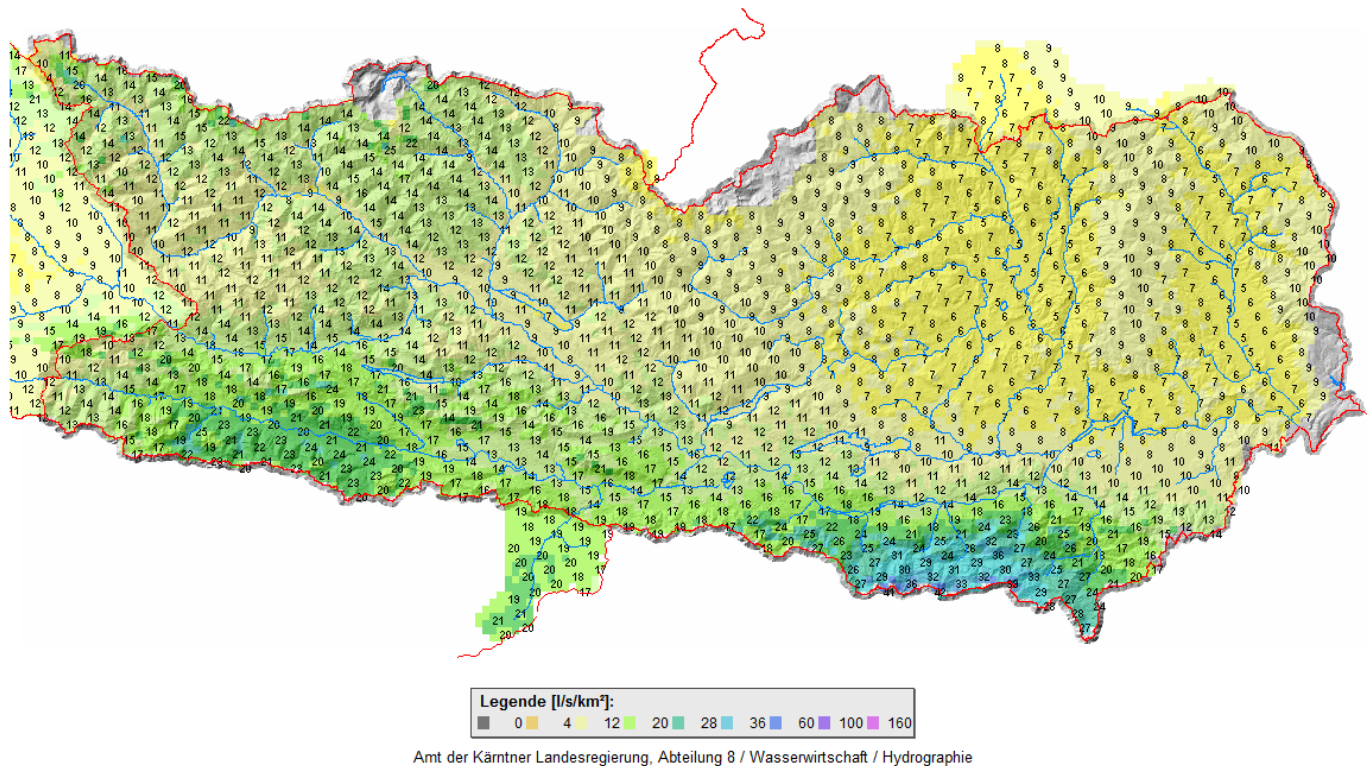


Abb. 118: Mittlere Abflusssspende im Winter [l/s/km<sup>2</sup>]

**Beschreibung der mittleren Abflusssspende im Winter:** Im Winter sind landesweit die niedersten Abflusssspenden des Jahres zu beobachten. Sie liegen mit ein bis zwei Liter pro Sekunde und Quadratkilometer [l/s/km<sup>2</sup>] in den Tieflagen und Talböden, mit 3 - 5 l/s/km<sup>2</sup> in den niederen Gebirgen Unterkärntens, mit 8 - 16 l/s/km<sup>2</sup> auf Sau- und Koralpe sowie den Nockbergen und mit 10 - 20 l/s/km<sup>2</sup> in den Karawanken unter dem Jahresschnitt. Im Westen Kärntens ist in den Gebirgslagen die Differenzen zum Jahresmittel weitaus größer.

Die Karnischen Alpen und die Hohen Tauern entwässern mit 20 - 40 l/s/km<sup>2</sup> unter dem Durchschnitt und die Kreuzeckgruppe mit etwa 20 - 30 l/s/km<sup>2</sup> unter Durchschnitt. Hier schneit es bereits, auch der Boden ist gefroren und der Großteil des Wassers wird nicht abflusswirksam. Großteils kommt es aufgrund der Speicherwirkung des Untergrunds zur Entwässerung der zuvor infiltrierten Wassermengen.

## 4.7 Wasserbilanz Kärnten

Die Wasserbilanz basiert auf der Beziehung

**Abfluss = Niederschlag - Verdunstung - Änderung der gespeicherten Wasservolumina**

oder als mathematische Gleichung formuliert:

$$R = P - ET - \Delta S$$

Dabei ist R die Abflusshöhe (unter und oberirdischer Abfluss), P der Niederschlag welcher flüssig, als Regen oder fest als Schnee fallen kann, ET die Verdunstung und  $\Delta S$  die Zwischenspeicherung (zum Beispiel als Schnee, in Seen oder als Bodenfeuchte und Grundwasser).

Die einzelnen Größen werden normalerweise in unterschiedlichen Einheiten angegeben und müssen für die Berechnung natürlich vereinheitlicht werden. So ergibt eine Abflussspende von 1 Liter pro Sekunde pro Quadratkilometer in einem Jahr ein Volumen von 31.536 m<sup>3</sup> oder eine Wasserhöhe von 31,5 mm. Die Wasserbilanz wird meist auf Monats- oder Jahresbasis erstellt.

Die Niederschläge werden von ca. 80 Niederschlagsstationen erfasst und über ein Niederschlag-Abflussmodell auf unbeobachtete Gebiete umgerechnet. Dabei wird die Zunahme des Niederschlags mit der Seehöhe berücksichtigt. Vom Modell wird auch die Zwischenspeicherung des Schnees durch Schneeakkumulation und Schneeschmelze berechnet. Denn Schnee aus dem Vorjahr wird oft erst im betrachteten Jahr mit der Schneeschmelze im Frühjahr wirksam.

Ebenso kann es sein, dass gefallener Schnee im Herbst oder Winter des Jahres noch nicht abflusswirksam wurde. Diese Mengen gleichen sich über viele Jahre aus. Bei einzelnen Jahren kann es aber doch eine beträchtliche Menge sein, die als Zwischenspeicher  $\Delta S$  wirksam wird. Ist  $\Delta S$  negativ, so bedeutet dies, dass aus dem Vorjahr Abflüsse wirksam waren, zum Beispiel dass die Schneeschmelze des vorigen Jahres höher war als die Schneespeicherung des aktuellen Jahres.

Nachdem die Verdunstung messtechnisch sehr schwer erfassbar ist, wird sie mit dem hydrologischen Modell anhand einer Verdunstungsformel berechnet. Das Modell wurde so kalibriert, dass die Bilanz: Niederschlag minus Abfluss ist gleich Verdunstung über die Periode 1981 - 2010 erfüllt ist.

Die Zu- und Abflüsse von Gewässern werden an Pegeln, welche der Hydrographische Dienst langfristig betreibt, kontinuierlich gemessen.

Zuflüsse nach Kärnten sind durch die Drau (gemessen am Pegel Oberdrauburg), die Gail (Pegel Maria Luggau), die Gailitz (Pegel Thörl), die Olsa (Pegel Guldendorf), die Görtschitz (Pegel Mühlen) und durch die oberen Lavant (Pegel Reichenfels) gegeben.

Abflüsse finden zum größten Teil durch die Drau (gemessen am Pegel Lavamünd) statt. Geringere Mengen werden aus dem Magaritzenspeicher (Verbundgesellschaft) ins Gebiet der Salzach abgeleitet. Flächen am Rande Kärntens im Bereich der Flattnitz entwässern in die Mur. Im Bereich der Soboth entwässern Bäche über slowenisches Gebiet in die Drau.

Unterirdisch finden auch grenzüberschreitende Entwässerungen im Bereich der Karawanken und Karnischen Alpen nach beiden Seiten hin statt, also nach Slowenien bzw. Italien und auch umgekehrt nach Kärnten.

In der nachfolgenden Grafik (Abb. 119:) sind die Ergebnisse der Bilanzierung des Wasserhaushalts für Kärnten im Überblick dargestellt.

## Wasserbilanz Kärnten (Periode 1981-2010)

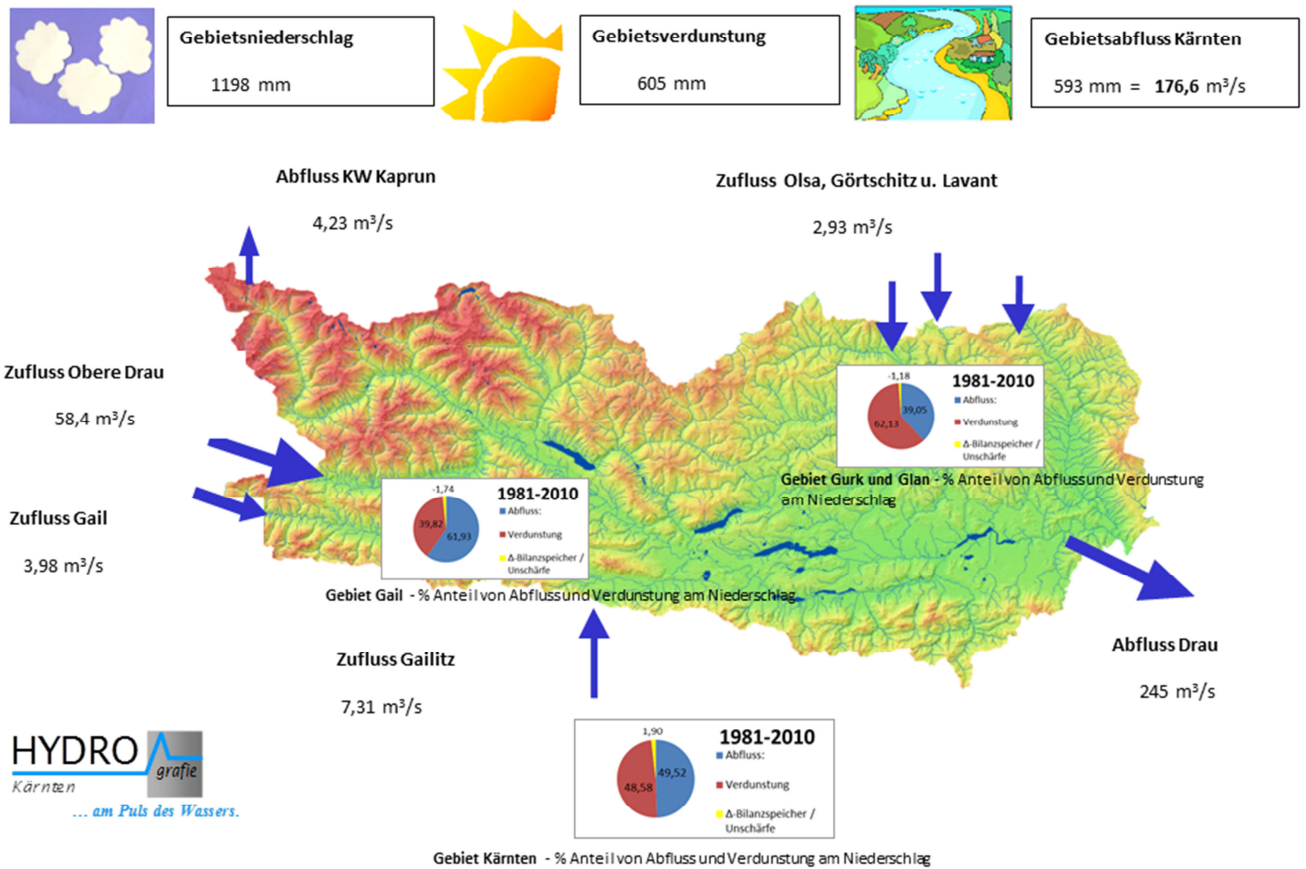


Abb. 119: Wasserbilanz Kärnten (Periode 1981 – 2010)

## 5 EXTREMEREIGNISSE

---

Während in den vorangegangenen Kapiteln die häufig auftretenden und die mittleren hydrologischen Gegebenheiten beschrieben wurden, liegt der Fokus in diesem Kapitel auf seltenen, oft auch nur für kurze Zeit auftretenden, extremen Ereignissen.

### 5.1 Hochwasserereignisse

Das Bundesland Kärnten wurde in der Vergangenheit von zahlreichen Hochwasserereignissen heimgesucht und auch heute ist die Gefahr noch nicht gebannt. Anhaltende intensive Niederschläge, aber auch kurz andauernde, meist von Gewittern begleitete Niederschläge können zu Hochwässern führen. Staueffekte durch Bergstürze, Murenabgänge und Eisstau können ebenfalls Flüsse über die Ufer treten lassen. Jahreszeit und Temperatur spielen hierbei eine große Rolle.

In den Hohen Tauern treten Hochwässern bevorzugt während der Sommermonate auf, wenn aufgrund der höheren Temperaturen der Niederschlag bis in die Gipfelregionen als Regen fällt. In den Südalpen und den angrenzenden Gebieten tritt aufgrund der starken Herbstniederschläge eine Häufung von Hochwässern von September bis November auf. Die Schneeschmelze im Frühjahr und Frühsommer ist selten alleine Auslöser für ein Hochwasser, sie kann aber die Auswirkung von Niederschlägen verstärken. Zumeist ergeben sie lediglich große Abflüsse ohne gefährliche Spitzen.

Großen Einfluss auf die Entstehung von Hochwässern haben die Hydro- und Geomorphologie, Landnutzung und Gliederung des Raumes sowie die Durchlässigkeit und Struktur des Bodens. Auch die Pflanzendecke sowie Seen und Stauseen wirken sich auf die Spitzen der Hochwässern aus. Während in einem Wald unterschiedliche Schichten der Vegetation wie Bäume, Sträucher, Totholz, Moose sowie der humose Boden Wasser halten können und entlang des Wurzelwerks der Regen gut in den Boden gelangen kann, rinnt an einem un- oder wenig bedeckten Boden das Wasser ungebremst ab, verfrachtet obere Bodenschichten und kann für reißende Bäche und Überschwemmungen sorgen (vgl. STEINHÄUSSER 1967 und Interpraevent).

Für den Schutz vor Hochwasser braucht es konkrete Maßnahmen:

- Das Erhalten von bestehenden Überschwemmungsgebieten verbessert den Wasserrückhalt. Dafür können natürliche (Auen) oder auch künstliche Überflutungsräume (Rückhaltebecken) genutzt werden. Auch Aufforstungen mit Bäumen verschiedener Wurzeltiefen wirken sich positiv auf den Wasserrückhalt aus.
- Technische Maßnahmen (z. B. Deiche, Mauern, Gewässerregulierungen) verhindern Überflutungen in bebauten Gebieten (Siedlungen) und leiten das Wasser durch.
- Der wirksamste Schutz gegen Hochwasserschäden ist jedoch die Verlagerung von hochwertigen Nutzungen aus den gefährdeten Gebieten bzw. eine vorausschauende Raumentwicklung. Dazu werden in vielen Ländern Europas Gefahrenzonenpläne er-

stellt, die nach einer Gefahrenbeurteilung für die Raumplanung herangezogen werden.

In jenen Fällen, in denen ein großräumiger Schutz technisch oder wirtschaftlich nicht möglich ist, können Schäden mit Vorsorgemaßnahmen verringert werden. Dazu zählen:

- Objektschutzmaßnahmen (Bauvorsorge)
- Vorsorge durch Versicherungsschutz, staatliche Unterstützung
- Einsatzpläne für den Krisenfall (Verhaltensvorsorge)

(vgl. Interpraevent)

Letztendlich bleibt bei Hochwasser trotz Schutz- und Verbauungsmaßnahmen immer ein Restrisiko bestehen. Ein absoluter Hochwasserschutz ist einfach nicht möglich.

## 5.1.1 Zur Hochwasserchronik Kärnten

Die ersten Informationen über Hochwasserkatastrophen in Kärnten stammen aus dem Mittelalter. Meist finden sich solche Hinweisen in Chroniken von Klöstern. Ab dem neunzehnten und vor allem seit Beginn des zwanzigsten Jahrhundert findet man auch immer mehr Informationen in Presseberichten. Berichte in den lokalen Zeitungen stellen auch den Großteil der Beiträge zu den Ereignissen in jüngerer Zeit dar.

## 5.1.2 Einige Auszüge aus der Hochwasserchronik des Landes Kärnten

„Im Jahre 1118 verheerte eine Wasserflut die Länder an den Rätischen und Norischen Hochalpen“, heißt es in der Charinthia I im Jahre 1823 unter Berufung auf alte Jahrbücher. Seit dem Jahre 1195 werden in Kärnten Hochwasserkatastrophen aufgezeichnet, wobei immer wieder im Drau- und Gailtal die größten Schäden gemeldet wurden.

Die bisher vermutlich größte Hochwasserkatastrophe in der Geschichte Kärntens ereignete sich im November 1851. Auch im Jahre 1882 gab es ein großes Hochwasser, durch das unter anderem sämtliche Draubrücken weggerissen wurden.

Die größten Hochwasserkatastrophen des letzten Jahrhunderts liegen nicht allzu weit zurück, 1965 und 1966 wurden weite Teile Kärntens überschwemmt.

## Die größten Hochwasserkatastrophen im Überblick

1236 / März	Frühlingshochwasser – ganze Dörfer wurden zerstört
1342 / April	Schweres Hochwasser –Seuchen als Folge
1348 / Jänner	Schweres Hochwasser der Gail durch Dobratschabsturz
1424	Althofen durch Wolkenbruch fast zerstört, 60 Tote
1553 / Juni	Lieser, Malta und oberes Drautal

1567/ Oktober	„Wasser in nie gesehener Höhe“, dessen Pegel noch heute durch den „Villacher Hochwasserstein“ vergegenwärtigt wird.
1577 / Oktober	Schwerpunkthochwasser vernichtet Eisenwerke im Loibltal
1632 / September	In Villach Hochwassermarke von 1567 überschritten
1680 / Oktober	Unterkärnten schwer betroffen, Leisach b. Viktring zerstört
1767 / Oktober	Drau reißt sich ein neues Bett im Rosental
1810 / August	Riesige Überschwemmungen und Seuchen im Drau- und Gailtal
1851/ November	In weiten Teilen Kärntens riesige Überschwemmungen; Hochwasser des Jahrhunderts
1882 / September	Fast wie 1851
1889 / Oktober	Villacher Hochwassermarke 4,6 Meter
1903 / September	In Villach erreicht die Drau die 5-Meter Marke
1914 / Mai	Kurzes, wuchtiges Hochwasser zerstört alle Draubrücken
1926 / November	Gurk und Glan – Südbahn kilometerweit zerstört
1933 / Oktober	Gurk und Glan
1935 / Oktober	Möll- und Oberes Drautal
1942 / September	Drautal – ganzer Zug stürzte bei Nikolsdorf in die Drau
1946 / Juli	Drau erreicht bei Villach die 5-Meter Marke
1951 / November	Gail steht bei Nötsch 5,6 Meter hoch; Hochwässer im Gail, Drau und Maltatal
1954 / Juni/Dez.	Hochwasser in Bleiburg, Hüttenberg und im Gailtal
1965 / August	Gurk- und Lavantgebiet
1965 / September	Oberkärnten und Gailtal; Drau bei Villach über 6 Meter
1966 / August	Größte Hochwasser des Jahrhunderts im Drau- und Gailtal. Große Vermurrungen in Oberkärnten
1966 / November	Hochwässer in Oberkärnten, Gailtal und Karawankenregion
1973 / September	Glantal und Bereich der unteren Gurk
1975	Hochwässer mit Schwerpunkt in Metnitz und Friesach - als auch im Glantal und der Tiebel
1983 / September	Gail- und Drautal; Zerstörung der Oselitzensperre
1987 / August	Gail- und Drautal
1991 / Juli	Lavanttal und im Bereich Unterkärnten, Gemeinde Griffen
1993 / Oktober	Gurk- und Glantal
1997 / September	Großes Hochwasser im Metnitztal mit Schwerpunkt in Metnitz
2000 / November	Glan- und Wörtherseebereich
2003 / August	Hochwasser verursacht riesige Überschwemmungen und Schäden in der Ortschaft Vorderberg
2004 / Juni	Hochwasser an der unteren Lavant bei St. Paul
2008 / September	großes Hochwasser am Zweinitzbach
2010 / Juli	großes Hochwasser am Auerlingbach, Waldensteinbach und Lavant
2012 / Juli/Nov.	Hochwasser in Reichenfels (Lavant) und in Lavamünd (Drau und Lavant)

Das Überschwemmungs- und Schadensausmaß ist natürlich bei Hochwässern an den großen Flüssen Kärntens um ein Vielfaches höher als bei sogenannten kleinräumigen Ereignissen. Dennoch sollten die zahlreichen kleinräumigen Hochwasserereignisse mit Vermurrungen



und lokalen Hochwasserschäden in ihrer Summenwirkung nicht unterschätzt werden. Sie sind in dieser Chronik nur zum geringeren Teil und nicht vollzählig aufgezählt!

Wie man aus der Zusammenstellung der größten Hochwässer erkennen kann, treten Hochwässer immer wieder auf. Mit den Hochwasserschutzbauten ist zwar viel an Sicherheit und Schadensminderung geschaffen worden, doch haben auch Schutzbauten, wie Dämme, Regulierungen und Rückhaltebecken ihre Grenzen. Hochwässer, die größer als das den Schutzbauten zugrunde liegende Bemessungshochwasser sind, können erst recht wieder große Überschwemmungen verursachen. Es bleibt also stets ein Restrisiko.

## **CHRONIK IM DETAIL – Auszug aus Berichten zu den größten Hochwässern**

Die Hochwässer vor 1900 sind nur sehr allgemein in diversen Chroniken und Zeitungsberichten beschrieben. Messpegel bzw. hydrographische Aufzeichnungen gab es kaum bzw. im Regelfall überhaupt nicht.

### **► 28.Oktober bis 3. November 1851:**

Das bisher vermutlich höchste Hochwasser; lange anhaltender, in Strömen fallender Regen, welchen die bereits vom Frost erstarrte Erde nicht aufsaugen konnte, verursacht ein so gewaltiges und plötzliches Steigen aller Gebirgsgewässer, dass einzelne Bäche zu Strömen wurden. Da die Drau das ihr zugehende Wasser nicht mehr in ihrem gewöhnlichen Bett fassen kann, überflutet sie, von ihrem Eintritt bei der oberen Drauburg an, bis hinab zur unteren, das ganze Talgebiet in progressiver Größe. Die Draubrücken bei Villach, der Hollenburg und flussab bis Marburg werden größtenteils zerstört sowie die anliegenden Straßen unbefahrbar gemacht, oft tief unter dem Schutt begraben.

Größte Hochwasserkatastrophe in Völkermarkt (vermutlich 3600 m<sup>3</sup>/s) – Lavamünd unter Wasser – in allen Tälern Erdabrisse; es folgte ein strenger Winter. Oberdrauburg steht unter Wasser; in Dellach ist der Draßnitzbach zerstört; Berg im Drautal ist vermurt; Greifenburg wurde durch den Gnoppnitzbach bis auf 12 Häuser verschüttet; Steinfeld wurde durch den Grabach 2 – 3 m hoch verschüttet. Am ärgsten betroffen ist das mittlere Mölltal zw. Stall und Fragant – der Klausenkoflerbach vermurt d. Erd- u. Felssturz die Möll, die Drau ist vor Spittal ein See. Große Schäden zw. Gmünd u. Kremsbrücke, die Malta überschwemmte den Talboden bis Gmünd, die Ufer des Millstättersees sind durch Erdrutsche zerstört, der Stockenboierbach zerstörte Stockenboi. Am 2. November wurde in Villach die Stadtbrücke zerstört, der Hauptplatz steht bis zur Post unter Wasser. Verheerungen im Gailtal hauptsächlich durch die sonenseitigen Bäche, im Lesachtal viele Erdrutsche, zerstörte Wege – dazu der Winter einbruch – großes Elend.

Kötschach vom Laaserbach vermurt, in Dellach 40 Häuser verschüttet, der Gösseringbach richtete besondere Verheerungen in Weißbriach und St. Lorenzen an, Hermagor wurde überschwemmt und vermurt. Vorderberg wurde durch seinen Bach vermurt und von der Gail bis zu den Dächern überschwemmt. Der Wörthersee hat den höchsten Stand seit 100 Jahren, Gurk und Glan führen Hochwasser, Lavamünd wurde von der Drau und Lavant überschwemmt, die Karawankenbäche waren auch betroffen.

Die Katastrophe am 2. November 1851 wird oft als Hochwasser des Jahrhunderts bezeichnet.

► **Klagenfurter Zeitung - 18. September 1882:**

Große Überschwemmungen in Kärnten; alle Draubrücken weg; Wasserstand bei Villach 5 m. Arge Verwüstungen in Rosegg, die beiden Brücken über die Drau stark beschädigt. In Kleblach-Lind (17.9.) – starke Regengüsse der letzten Tage haben eine Überschwemmung verursacht, ein trauriges Bild der Vernichtung, das ganze Tal überschwemmt – die zweite Sachsenburgerbrücke wurde fortgerissen – auch in Oberdrauburg wurde die Landesbrücke fortgerissen. Die beiden Reichsstraßenbrücken bei Sachsenburg wurden vom Hochwasser fortgerissen. Durch das anhaltende mehrtägige Regenwetter ist auch die Gail an mehreren Stellen



ausgetreten – die Drau hatte bereits 2 ½ m über dem normalen Stand erreicht. In den schmutzig grauen Wellen trieben allerlei entwurzelte Bäume und einige tausend Stöcke Mercantilholz. Der Bahnverkehr wurde wegen eintretender Wasserschäden auf der Strecke bis Villach eingestellt. Die Eisenbahnbrücke in Oberdrauburg stürzte ein – die Gewalt des tosenden Stromes riss die Brücken in Sachsenburg und Paternion weg. Sowohl die Drau als auch die Gail sind aus ihren Betten getreten und verheeren die Felder und Wiesen und alles was im Wege steht.

Das Wasser dringt in die Lederergasse (Villach) von da auf den Hauptplatz – das Wasser dringt in Wohnungen, Keller und Magazine ein – die Perau ist in großer Gefahr. Das Wasser erreicht am Abend eine Höhe von 4 m.

Abb. 120: : Überschwemmung in Villach

► **Villach, 18. September 1882:**

Wasserstand unverändert. Die Draubrücke hat die riesige Gewalt der verheerenden Fluten ausgehalten. Die Drau und die Gail bilden einen riesigen See von weitem Umfang. Die hiesigen Mercantil-Holzhändler erleiden einen immensen Schaden.

In Wolfsberg haben sich zufolge der Regengüsse ungeheure Wassermengen gesammelt.

Kleblach, Greifenburg und Oberdrauburg sind überschwemmt. Der untere Teil von Oberdrauburg steht 1 bis 5 Meter unter Wasser. Der Eisenbahndamm unweit von Oberdrauburg ist auf ca. 80 Meter durchbrochen.

Am 1. September 1965 begann eine der größten Hochwasserkatastrophen Kärntens, der weitere Katastrophen in Oberkärnten am 17. August und am 4. November 1966 folgten.

► **September 1965 Schwerstes Hochwasser:**

Drau bei Villach über 6 Meter, 10 cm über der Höchstmarke des Hochwassers von 1903. Oberkärnten sowie Gurk- und Lavanttal waren ebenfalls betroffen. Am 2. September überschreitet die Gail im Raum Kötschach und in Rattendorf die Hochwassermarke. Es regnet ununterbrochen – in Kornat im Lesachtal sind es 142 mm und in Luggau 149 mm Niederschlag. Drei Tage regnet es. Lienz ist von der Umwelt abgeschnitten – Dörfer müssen evakuiert werden – drei Arbeiter werden in Thal-Assling bei Aufräumarbeiten von einer Geröllmure des Kronbaches mitgerissen und verschüttet. Der Zirknitzbach setzt in Döllach mehrere Häuser unter Wasser. Evakuierungen im Gemeindegebiet von Winklern, Überschwemmungen in Kolbnitz und Möllbrücke. Der Staudamm in Gössnitz bricht, das Kraftwerk wird überflutet. Im Gailtal reißt die Gail schon in ihrem Oberlauf mehrere Brücken weg und überflutet im Lesachtal die Bundesstraße. Der Bahnverkehr wird eingestellt. Der Presseggersee tritt über die Ufer. In Villach wird die „Zündhölzl-Brücke“ weggeschwemmt. Oberdrauburg steht zum Teil einen Meter unter Wasser. Die Draubrücke wird zerstört. Das obere Drautal ist ein einziger See; hunderte Urlauber verursachen ein Verkehrschaos. Die Paternioner Brücke wird gesprengt, die Brücken bei Gummern und Kellerberg schwimmen davon. Im Gebiet des Faaker Sees sind zahlreiche Häuser und gewerbliche Betriebe unter Wasser.

Das Hochwasser der Gail strömt in den Pressegger See und dieser erreicht das Zehnfache seiner Größe. Der Talkessel ist eine einzige Wasserwüste. Die Gailbrücken bei Kirchbach und St.Stefan wurden weggerissen.

► **Das Lesachtal ist von der Außenwelt abgeschnitten.**



Abb. 121: Foto: Erdmuren im Lesachtal 1965



Abb. 122: Foto: zerstörte Brücke Pattendorf (Paternion) 1965



Abb. 123: Foto: überschwemmte Landschaft bei Töplitsch 1965

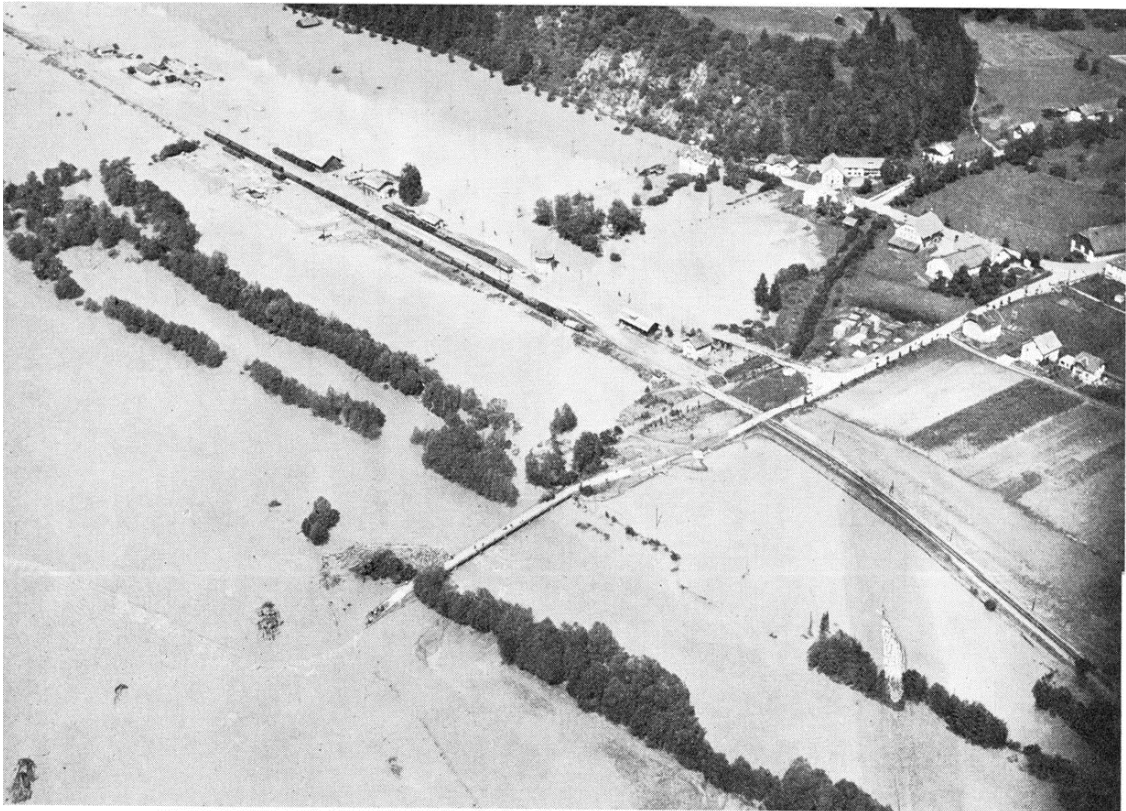


Abb. 124: Foto: Gemeindegebiet von Dellach/Drautal 1965



Abb. 125: Foto: Döllach im Mölltal 1965 (dreimal vom Zirknitzbach schwer beschädigt)

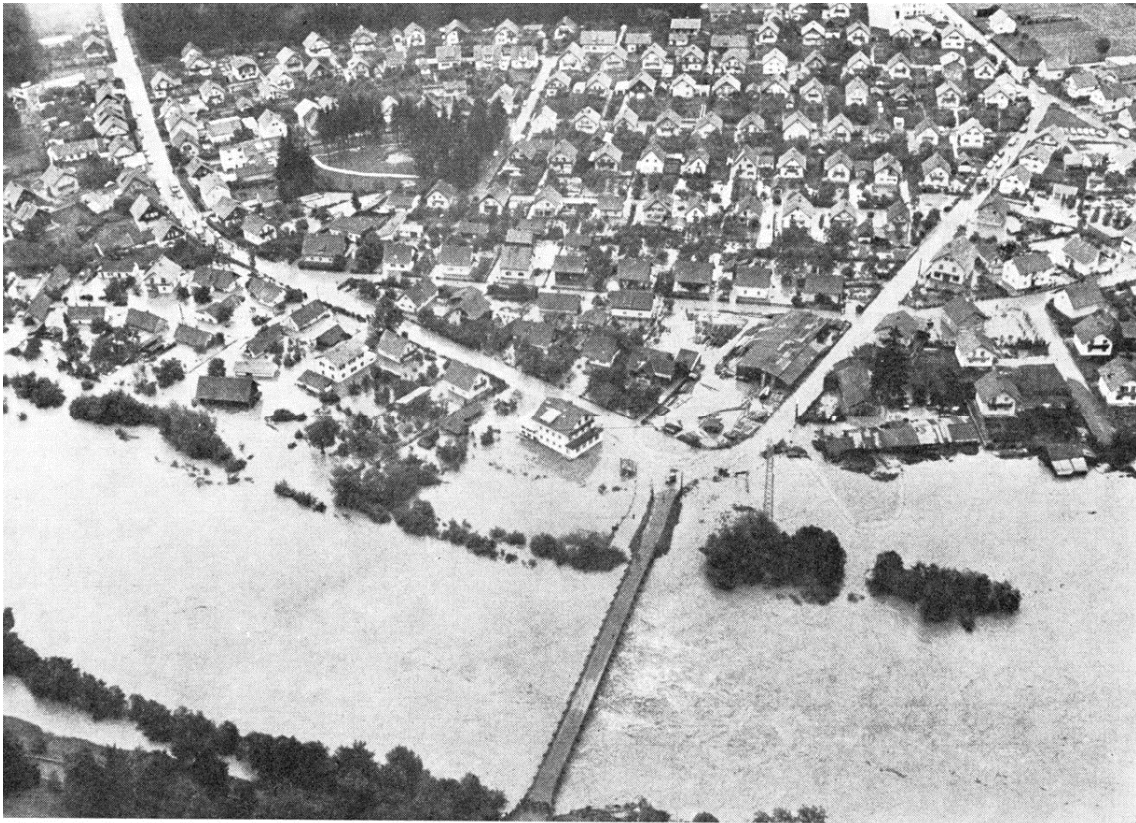


Abb. 126: Foto: Spittal/Drau 1965 – südliches Siedlungsgebiet

► **August, September und November 1966:**

Das Ausmaß des Hochwassers von 1965 wurde teilweise noch überschritten; 14 Tote davon 9 in Irschen. Ursache wie 1822 - Schneeschmelze verbunden mit starken Niederschlägen, bis über 2.500 Meter als Regen.

Seit Montag, den 15. August toben schwere Unwetter. Die Flüsse in Oberkärnten schwellen an. Die Drau überflutet die Amlacher Bundesstraße; der Trefflinger- und der Gritschacher Bach treten über die Ufer. Drau, Gail und Möll steigen ständig an und treten an zahlreichen Stellen über die Ufer. In Oberdrauburg wird der Notstand ausgerufen, zwei Drittel des Marktes stehen unter Wasser. Einige der neuen Dämme in Oberkärnten halten dem Ansturm der Fluten nicht stand, die vorjährigen (1965) Überschwemmungsgebiete werden neuerlich unter Wasser gesetzt.

Der Mittelwasserstand an der Drau beträgt 170 cm ( $150\text{m}^3/\text{sec}$ ).

Die Hochwassermarken am Pegel in Villach beträgt 380 cm ( $670\text{m}^3/\text{sec}$ ).

Am 19. August 1966 betrug der Pegelstand um 4 Uhr 678 cm ( $1800\text{ bis }2000\text{m}^3/\text{sec}$ ). Das ist der höchste Pegelstand des zwanzigsten Jahrhunderts. Im September 1965 wurden 612 cm ( $1550\text{m}^3/\text{sec}$ ) gemessen.



Abb. 127: Foto: Villach 1966 – Stege auf dem überschwemmten Hauptplatz



Abb. 128: Foto: Die bedrohte neue Draubrücke in Villach (August 1966)



Abb. 129: Foto: Villach Lederergasse 1966



Abb. 130: Foto: Villach 1966 Gerbergasse



Im Vorjahr erklärten Experten, dass sich Hochwasserkatastrophen wie im September nur alle hundert Jahre wiederholen. Die Natur hat kaum ein Jahr zugewartet. In Obervellach drohen riesige Waldbestände abzurutschen. In Villach überströmt die Drau die neue Brücke. Die Holzdrift ist geringer als im Vorjahr. Die Brücke hält stand. Die Kulturen sind verwüstet, die noch nicht eingebrachte Ernte ist fortgeschwemmt, Brücken sind weggerissen, Bahndämme unterspült, Straßen vermurt, Häuser zerstört, Menschen evakuiert oder vermisst. In Kleindorf im Mölltal reißt eine Mure sechs Häuser weg. Eine dreiköpfige Familie kommt dabei ums Leben. In Villach sind die tiefer gelegenen Stadtteile überschwemmt. Der Hauptplatz gleicht einem See. Die Bewohner und Geschäftsleute der Lederer- und Gerbergasse werden schwerer als im Vorjahr (1965) heimgesucht.

► **Die dritte Katastrophe - Freitag, 4. November 1966:**

Schwere Schneefälle in Oberkärnten. Durch einen Föhnneinbruch geht der Schneefall zum Teil in Regen über. In Irschen im oberen Drautal fällt der Strom aus; die Brücken an der Bundesstraße und am Bahnhof werden weggerissen. Die ersten Muren lösen sich von den benachbarten Hängen. Eine Familie versammelt sich zum Gebet, da reißt eine Mure das Wohnhaus in die Tiefe. Zwei Frauen und fünf Kinder finden dabei den Tod. Zwei Stunden später geht wieder eine Mure los, ein zweites Wohnhaus wird zerstört, zwei Kinder verlieren dabei ihr Leben.

Die Gail durchbricht an mehreren Stellen die Dämme der Flussverbauung, ihr ursprüngliches Bett ist mit Geröll gefüllt. Mauthen steht bis zwei Meter unter Wasser; das Lesachtal ist völlig abgeschnitten. Das Hochwasser der Gail im November 1966 wird als größtes nach 1823 bezeichnet.

Auch Oberdrauburg wird überflutet, Wildbachausbrüche gefährden Lind, Dellach und Gendorf. Der Weißensee setzt mehrere Häuser unter Wasser. Aufgeschottete und wildfließende Karawankenbäche beschädigen oder zerstören im Rosental zahlreiche Brücken. Fast alle Straßen im Raum Faaker See sind für den Verkehr gesperrt. Die Annabrücke wird neuerlich gesperrt. Im Bärental müssen wegen Erdlawinen mehrere Häuser geräumt werden, ebenso im Bereich von Eisenkappel. Lavamünd wird durch den Rückstau der Drau unter Wasser gesetzt. Auch die Metnitz und die Olsa führen Hochwasser. Die Gurk überflutet an vielen Stellen Felder und bewohnte Gebiete. Auf der steirischen Seite der Turrach reißen Muren mehrere Häuser fort, wobei fünf Menschen den Tod finden.

## 5.2 Niederwasserereignisse

Ausgedehnte Trockenwetterlagen verursachen einen starken Rückgang bei den Quellschüttungen und Abflüssen der Fließgewässer. Wäre da nicht der Bodenspeicher, der das Wasser nur allmählich und zeitverzögernd abgibt, so würden die Gewässer bei diesen Bedingungen völlig austrocknen. Bei kleinen Gewässern mit schwachem Bodenspeichervermögen oder entlang von Versickerungstrecken kommt bei wenig Niederschlag und hohen Temperaturen eine Austrocknung dennoch vor. Das ist keine Seltenheit. Große Gewässer hingegen fallen kaum trocken, aber die Abflüsse (Niederwasserabflussmengen) gehen stark zurück.

Für den Rückgang der Abflussmengen bei Trockenheit sind also die meteorologischen bzw. hydrologischen Verhältnisse in den Monaten vor der Trockenheit und auch das Verhalten des Bodenspeichers ausschlaggebend. So war die Hitze- und Trockenperiode im Jahr 2013 mit Rekordtemperaturen von bis zu 39°C und Niederschlagsdefiziten im Juni, Juli und August dennoch nicht mit kleinsten Niederwasserabflüssen an den Gewässern verbunden. Die überdurchschnittlichen Niederschläge im Herbst des Vorjahres und im Frühjahr 2013 wirkten noch sehr positiv in die Trockenperiode hinein. Es gab daher bis auf wenigen Ausnahmen kaum Engpässe in der Wasserversorgung und an den Gewässern (Abb. 131; Abb. 132; und Abb. 133;).

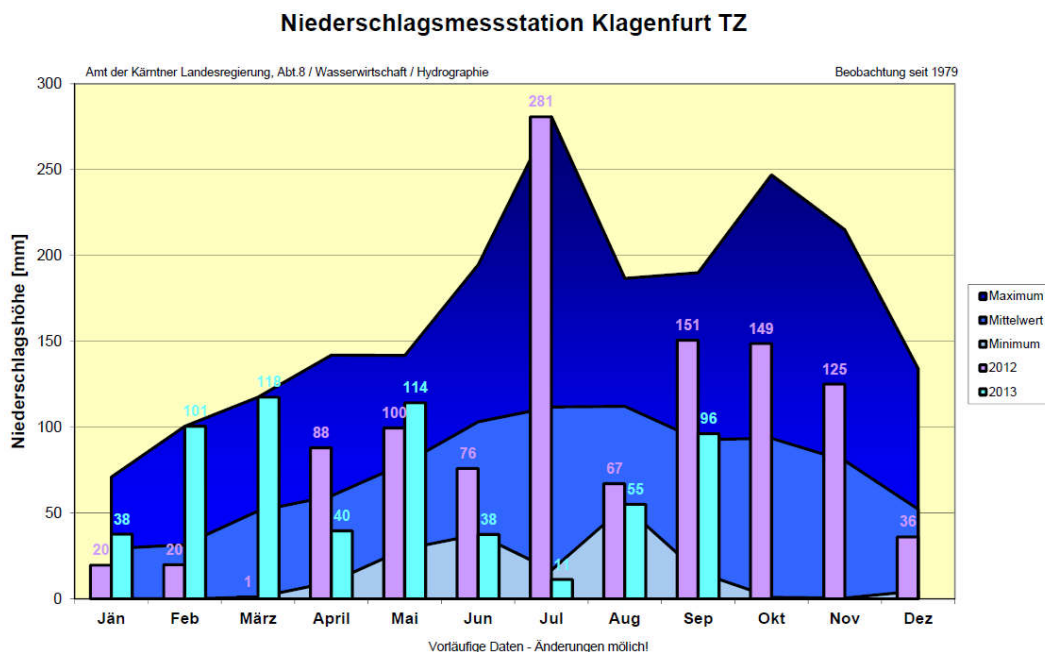


Abb. 131: Monatsniederschlagssummen der Station Klagenfurt im Jahr 2012 (violett; Trockenheit im Frühjahr) und 2013 (grün - Trockenheit im Sommer). Deutlich erkennbar die Niederschlagsdefizite im Jänner Feb und März 2012 und im Juni, Juli und August 2013.

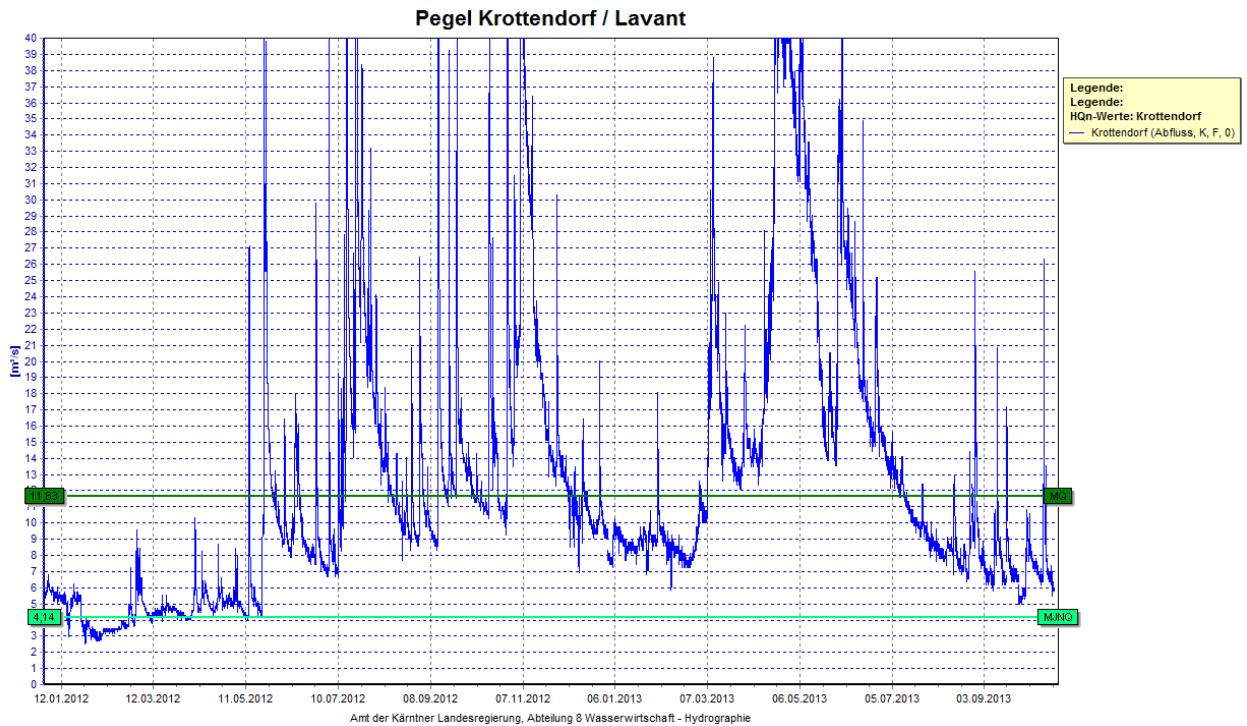


Abb. 132: Abflüsse der Lavant in Krottendorf/St. Paul von Jänner 2012 bis Sept. 2013. Der Abfluss ging im Juli auf ca. 6 m<sup>3</sup>/s zurück. Das beobachtete NQt (kleinstes Tagesmittel) von 2,81 m<sup>3</sup>/s (2012) ist jedoch noch deutlich kleiner.

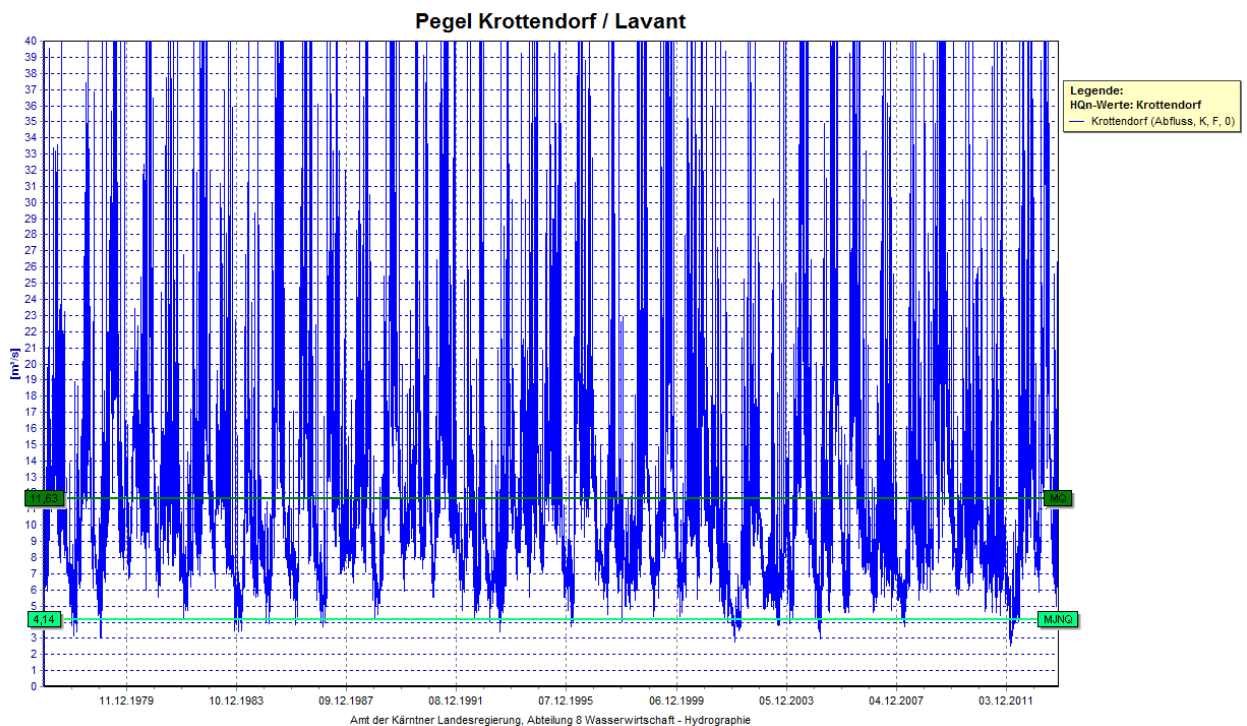


Abb. 133: Fokus Niederwasserabflüsse der Lavant in Krottendorf/St. Paul von 1974 bis 2013. Markante Niederwasserperioden: 1978, 1979, 1984, 1993, 2002, 2003, 2005, 2012

Trockenheit muss nicht unbedingt Wasserknappheit bedeuten. So war das Jahr 2003 im Sommer sehr trocken und heiß. Wegen der fehlenden Schneemengen im hochalpinen Bereich der Gletscher und der hohen Temperaturen kam es 2003 zu den größten verzeichneten Gletscherrückgängen der letzten Jahrzehnte. Die Schmelzabflüsse trugen jedoch wesentlich zu einer Verbesserung der Abflussverhältnisse an der Isel und der Drau bei. Ohne diese Gletscherabflüsse wären die Abflussmengen hier deutlich niedriger ausgefallen.

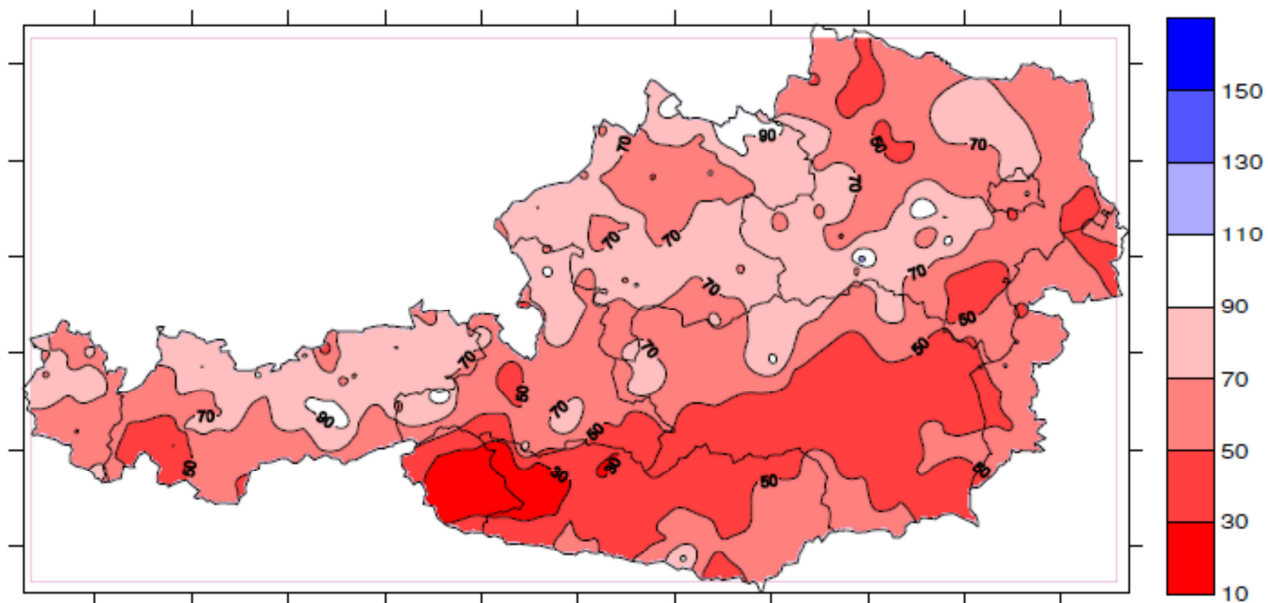


Abb. 134: Niederschlagssumme von Jänner bis April 2003 in Prozent vom Normalwert 1961-1990. HZB.

Historisch gesehen, war das Jahr 1961 im August, September und bis Mitte Oktober von besonderer Trockenheit und niedrigen Wasserständen geprägt. So verzeichnete der Wörthersee im Oktober 1961 den niedrigsten Wasserstand des letzten Jahrhunderts (siehe Abb. 135:). 72 cm Wasserstand wurden damals am Pegel Pörschach gemessen, der Mittelwasserstand des Sees liegt bei 125 cm. Auch die Gewässer wiesen damals für diese Jahreszeit sehr niedrige Abflüsse auf. So wurde an der Kappler Vellach bei Miklauzhof in den Monaten September und Oktober nur mehr ein Abfluss von 1,47 m<sup>3</sup>/s gemessen. Das sind die niedrigsten Werte von 1951 bis heute. Ähnliche niedrige Abflüsse wurden auch an der Gail und Gurk gemessen.

1971/1972 war ebenfalls eine markante Niedrigwasserperiode, die sich jedoch über die Wintermonate erstreckte.

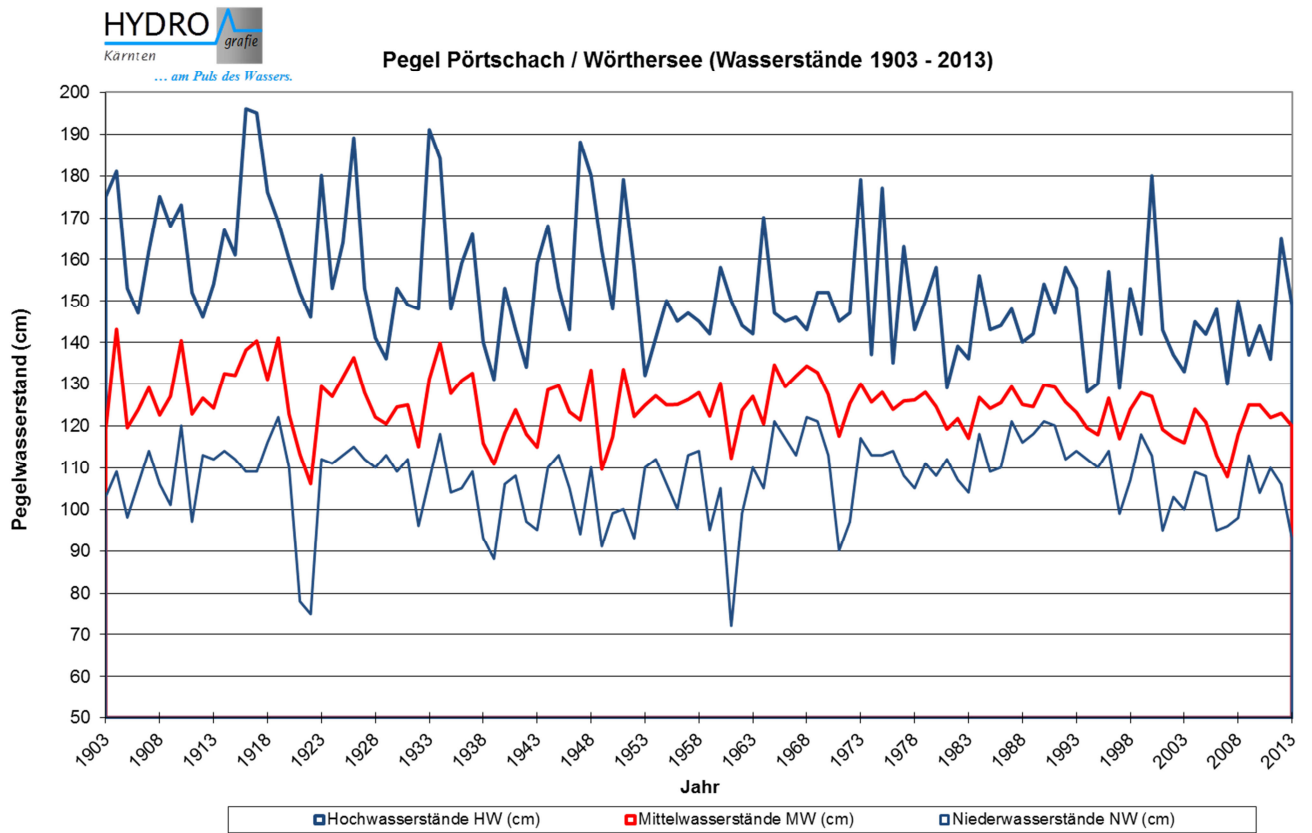


Abb. 135: Jährliche Wasserstände des Wörthersees / Pegel Pörtschach (1903 – 2013); Hydrographie Kärnten

Trockenperioden und damit verbundene Rückgänge bei den Abflüssen sind zumeist regional und gewässerspezifisch sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die Auswirkungen sind von vielen Rahmenbedingungen abhängig, daher sind auch die Erscheinungsbilder der Trockenereignisse, vor allem die Extremwerte der Abflüsse, sehr differenziert und schwierig zu vergleichen.

## 6 KLIMATISCHE VERÄNDERUNGEN

Die Auslöser von klimatischen Veränderungen sind komplex und werden von Klimaforschern kontrovers diskutiert. Warum sich das Klima verändert, ist nicht das Thema dieser Arbeit. Viel mehr geht es darum ob und in welchem Ausmaße eine Veränderung stattfindet. Dazu werden Zeitreihen aus Kärnten verwendet, welche etwa 100 Jahre zurückreichen, sowie Jahresganglinien der Dekaden zwischen 1981 und 2010. Die Betrachtung der Jahresganglinien der drei Dekaden zwischen 1981 und 2010 kann eine momentane Veränderung zum Ausdruck bringen, nicht aber einen langjährigen Trend. Dennoch ist die Betrachtung in diesem zeitlichen Maßstab von Interesse, weil sie einen Einblick in die gegenwärtige und saisonale klimatische Situation ermöglicht. Die folgende Grafik der Abb. 136: zeigt sämtliche Messstationen, welche für die Klimadokumentation in diesem Bericht herangezogen wurden. Die Darstellung weiterer Messstationen mit langjährigen Zeitreihen findet sich im Teil 2 dieser Arbeit.

### Klimatische Veränderungen - Messstationen

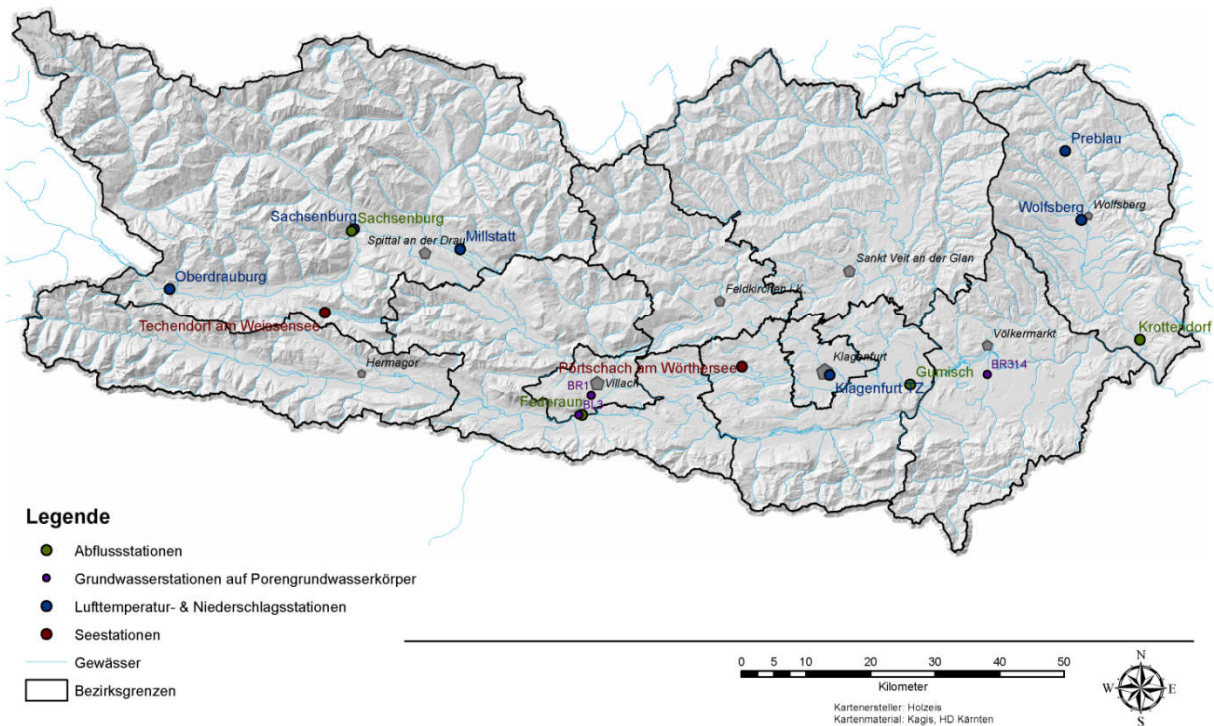


Abb. 136: Abfluss-, Grundwasser-, Lufttemperatur- & Niederschlags- und Seestationen für die Darstellung klimatischer Veränderungen

## 6.1 Dekadenauswertung

Es wurden Luft- und Seetemperatur sowie der jahreszeitliche Abfluss in Hinblick auf längerfristige Veränderungen untersucht. Dabei wurde Dekadenweise das Mittel der Zeitreihe berechnet und dargestellt (1981-1990 in blau, jenes aus 1991-2000 in grau und das Mittel aus 2001-2010 in rot). Zudem zeigt eine Tabelle die Veränderung der Dekadenwerte des kleinsten und des größten Werts, sowie des Mittels.

### 6.1.1 Auswertung der Lufttemperatur nach Dekaden

#### Messtation Oberdrauburg im Oberen Drautal auf 620 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

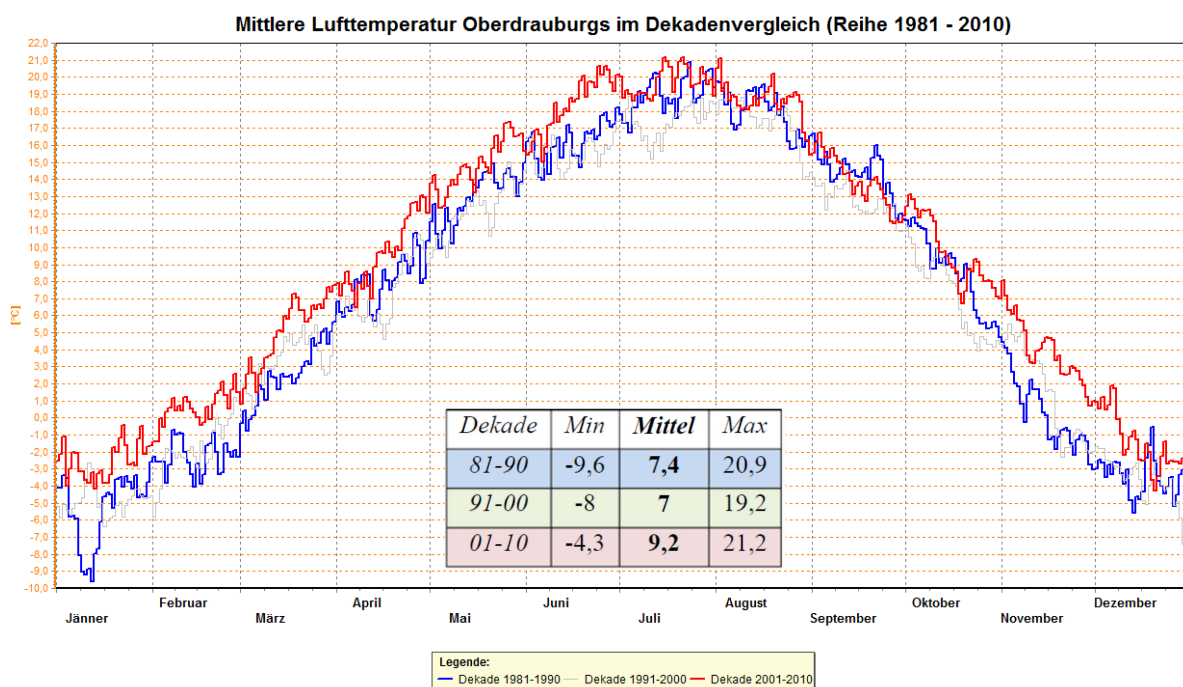


Abb. 137: Mittlere Lufttemperatur Oberdrauburgs im Dekadenvergleich

## Messtation Klagenfurt Technikzentrum im Klagenfurter Becken auf 442 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

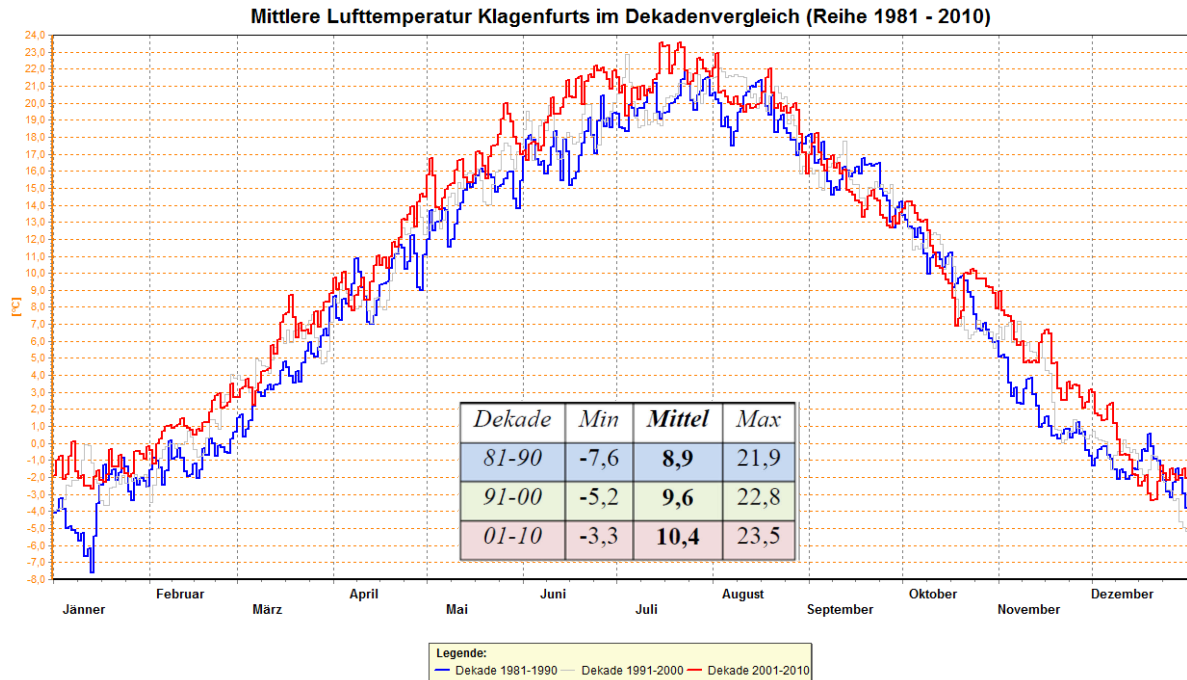


Abb. 138: Mittlere Lufttemperatur Klagenfurts im Dekadenvergleich

## Messtation Wolfsberg im Lavanttal auf 440 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

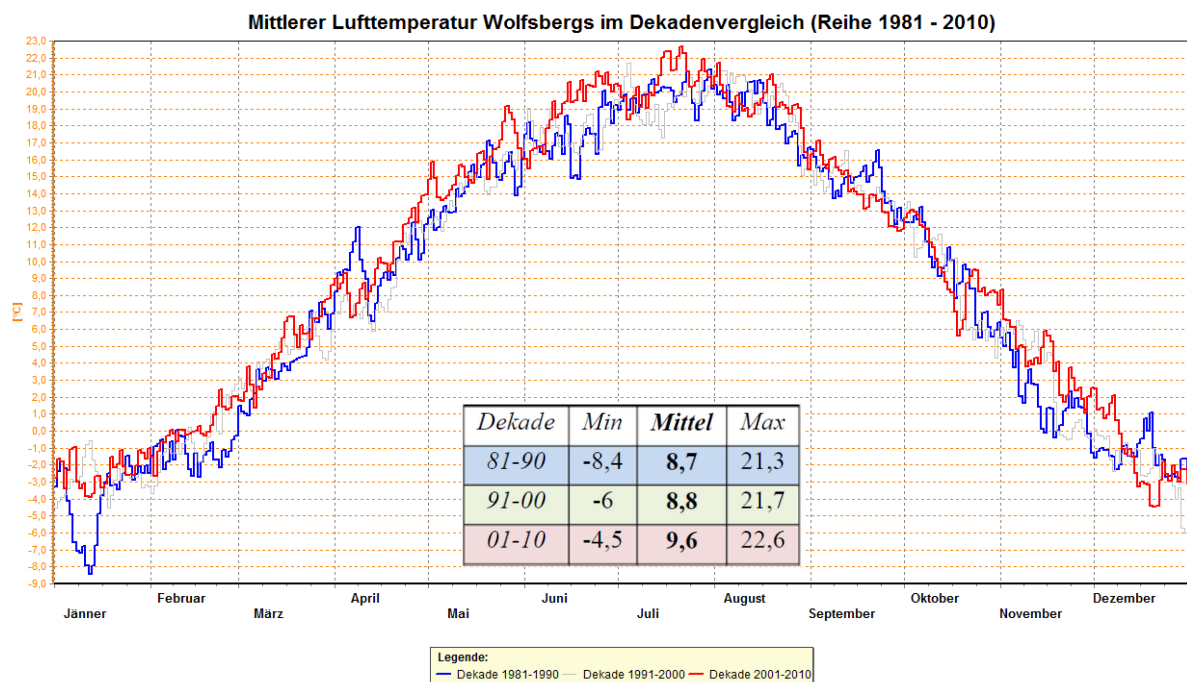


Abb. 139: Mittlere Lufttemperatur Wolfsbergs im Dekadenvergleich



**Beschreibung der Lufttemperatur nach Dekaden:** Hierbei handelt es sich um die Darstellung von mittleren Tagesmitteln einer Dekade, jeweils für die Periode 1981-1990, 1991-2000 und 2001-2010. Dazu wurde zuerst für jeden Tag einer 10-jährigen Zeitreihe das Tagesmittel berechnet. Aus diesen Tagesmitteln wurde daraufhin innerhalb einer Dekade für jeden Tag des Jahres das Mittel gebildet (Bsp.: die Tagesmitteltemperatur des 1. Jänners mit den weiteren 1. Jännern addiert und durch die Anzahl, also 10, dividiert. Daraus folgt die durchschnittliche Tagesmitteltemperatur des 1. Jänners einer Dekade). Wird diese Berechnung für jeden Tag und für jede Dekade innerhalb des 30-jährigen Analysezeitraums durchgeführt, so erhält man drei Temperaturkurven, die für ihre Dekade repräsentativ sind. Die beigefügte Tabelle zeigt die niederste, die mittlere und die höchste Temperatur der Temperaturkurve an.

Bei der Betrachtung der Tabellen fällt auf, dass bei sämtlichen abgebildeten Stationen die Temperatur gestiegen ist. Am gravierendsten sind die Unterschiede bei den minimalen Temperaturmitteln. Hierbei sticht vor allem Oberdrauburg mit einem Anstieg von +5,3°C in der Dekade 01-10 gegenüber der Dekade 81-90 heraus.

Das mittlere Temperaturmittel stieg ebenfalls in Oberdrauburg von den dargestellten Stationen mit 1,8°C am meisten an. Bei den maximalen Tagesmitteln ist der Anstieg in Klagenfurt mit +1,6 °C am höchsten.

<b>Anstieg der Temperaturen zwischen Dekade 81-90 und 01-10</b>			
<b>Stationen</b>	<b>Min</b>	<b>Mittel</b>	<b>Max</b>
Oberdrauburg	5,3	1,8	0,3
Klagenfurt TZ	4,3	1,5	1,6
Wolfsberg	3,9	0,9	1,3

Abb. 140: Anstieg der Lufttemperaturen zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10.

Auch anhand der Graphen geht ein Temperaturanstieg der letzten 30 Jahre deutlich hervor. Die Kurve der letzten Dekade liegt zeitweise mit einem Unterschied von über 4°C über der ersten Dekade.

Herausragend ist unter anderem der Juni, der mit heiß-sommerlichen Temperaturen weit über jenen der Dekade 1981-1990 liegt und den Sommer somit nach vorne hin verlängert. Die Temperaturen des Juli und Augusts sind nur geringfügig wärmer als in den Dekaden zuvor.

Von September bis Mitte Oktober sind keine augenscheinlichen Temperaturveränderungen im Mittel ersichtlich. Zwischen Mitte Oktober und Mitte Dezember erhebt sich die Kurve der Dekade 01-10 wieder deutlich über die der Dekade 81-90 und Temperaturunterschiede von mehreren Grad Celsius sind den Grafiken zu entnehmen.

## 6.1.2 Auswertung der Seetemperatur nach Dekaden

### Weißensee – Messstation Techendorf auf 928 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

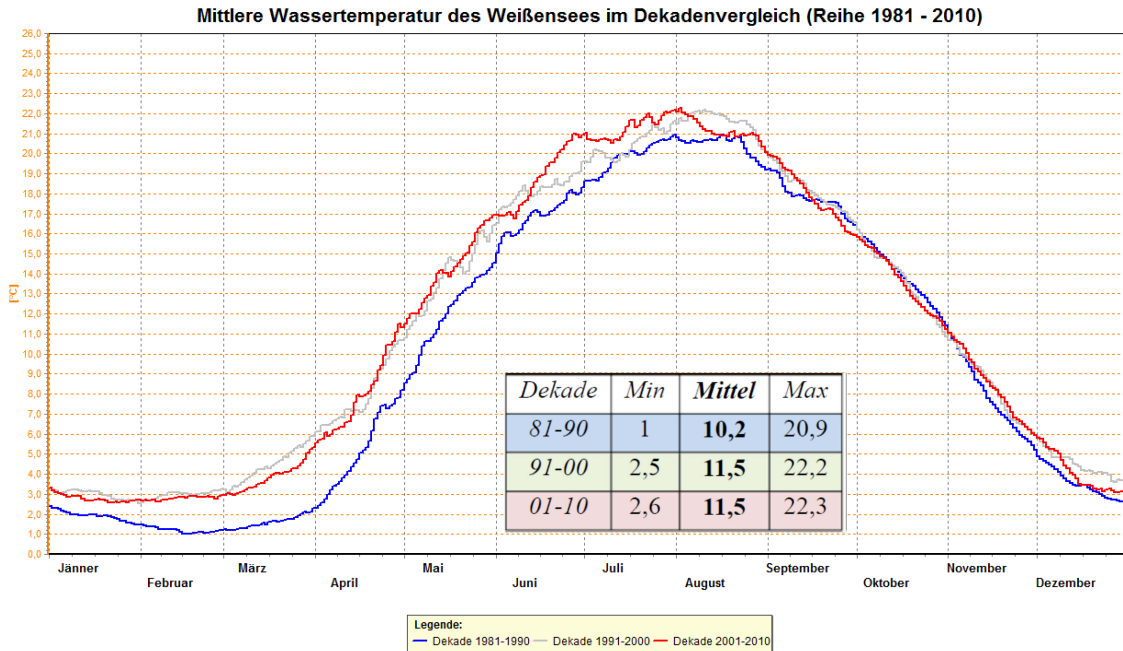


Abb. 141: Mittlere Wassertemperatur des Weißensees im Dekadenvergleich

### Wörthersee – Messstation Pörschach auf 439 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

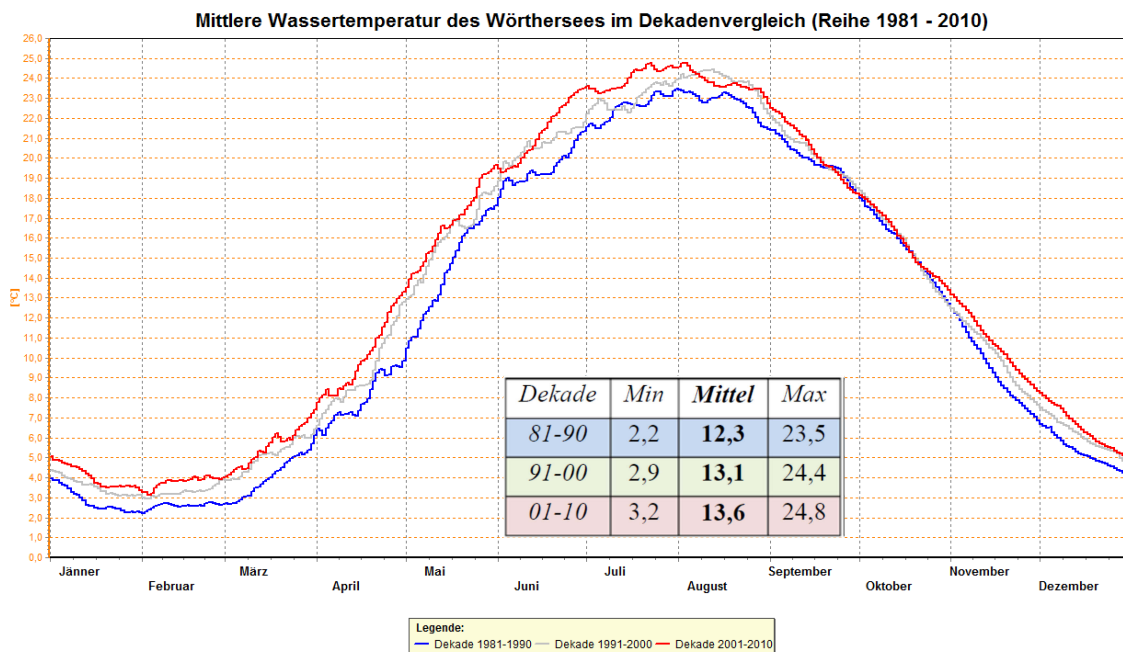


Abb. 142: Mittlere Wassertemperatur des Wörthersees im Dekadenvergleich

**Beschreibung der Seetemperatur nach Dekaden:** Gleich der „Auswertung der Lufttemperatur nach Dekaden“ wurden auch diese Temperaturkurven gebildet. Die Temperaturmessungen eines Tages wurden zu Tagesmittel zusammengefasst und die Tagesmittel einer Dekade gemittelt (1.Jänner 1981 + 1. Jänner 1982 +...+ 1. Jänner 1990 dividiert durch Anzahl (10); selbiges für jeden Tag).

Die Dekadenganglinien des Wörthersees und des Weißensees zeigen ein ähnliches Verhalten wie jene der Lufttemperaturen. Im Vergleich zur Dekade 81-90 erweist sich die Dekade 01-10 als deutlich wärmer. Im Mittel geht ein Plus von 1,3 °C am Weißensee und am Wörthersee hervor. Das Minimum stieg in der letzten Dekade am Weißensee sogar um 1,6 °C an, beim Wörthersee um 1 °C. Auch bei den Maxima ist eine Zunahme um bis zu 1,4 °C zu beobachten.

<b>Anstieg der Seetemperaturen zwischen Dek. 81-90 und 01-10</b>			
<b>Stationen</b>	<b>Min</b>	<b>Mittel</b>	<b>Max</b>
Weißensee	1,6	1,3	1,4
Wörthersee	1	1,3	1,3

Abb. 143: Anstieg der Seetemperaturen zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10.

In den Wintern der letzten Dekade war der Wörthersee im Schnitt um etwa 1 °C wärmer, der Weißensee erwärmte sich vor allem ab Ende Jänner stärker, sodass bis Ende Februar die Wassertemperatur um etwa 2 °C wärmer war. Ab März beginnen sich die Seen kräftig zu erwärmen. In der letzten Dekade erreichte der Weißensee Ende Mai ein Tagesmittel von 17 °C, in der Dekade 81-90 wurde diese Temperatur erst Mitte Juni erreicht.

Zu diesem Zeitpunkt geht aus den Kurven eine kurze Stagnation hervor, gefolgt von einem starken Temperaturanstieg, welcher auf die warmen Temperaturen des Junis zurückzuführen ist. Anfang Juli waren beide Seen durchschnittlich um rund zweieinhalb Grad wärmer als noch in der Dekade 81-90.

Das Maximum des Tagesmittels wird in den Dekaden 81-90 und 01-10 Anfang August (01-10: Wörthersee 24,8 °C, 01-10: Weißensee 22,3 °C) erreicht, lediglich die Dekade 91-00 zeigt ihr Maximum gegen Mitte August. In der zweiten Hälfte des Augusts nimmt die Seetemperatur bereits wieder ab. Ein Tagesmittel von 20 °C wird beim Wörthersee Mitte September erreicht, beim Weißensee bereits im letzten Drittel des Augusts. Die Ganglinien der Dekaden 81-90 und 01-10 treffen sich zur Monatsmitte des Septembers und sinken mit annähernd gleicher Geschwindigkeit. Anfang November hebt sich die Kurve der letzten Dekade bei etwa 10 °C am Weißensee ab und der See bleibt geringfügig wärmer als in der ersten Dekade. Selbiges am Wörthersee ab Mitte Oktober bei rund 14 °C.

## 6.1.3 Auswertung des jahreszeitlichen Abflusses nach Dekaden

### Pegel Sachsenburg an der Oberen Drau auf 555 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

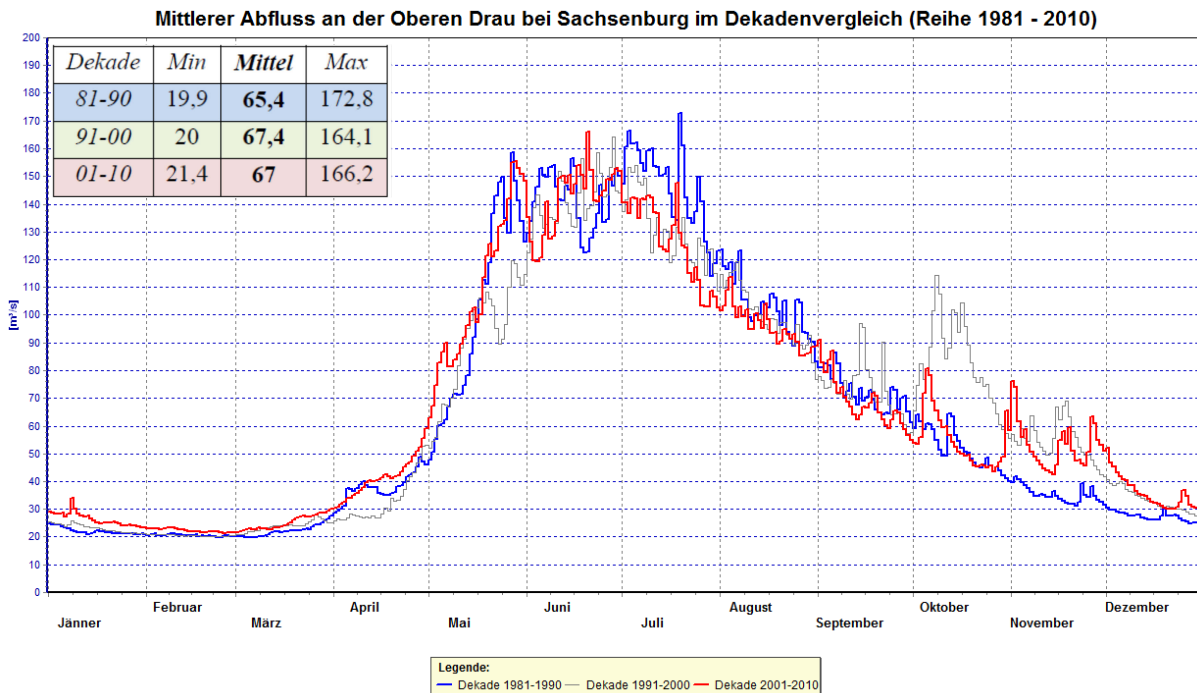


Abb. 144: Mittlerer Abfluss an der Oberen Drau bei Sachsenburg im Dekadenvergleich

## Pegel Federaun an der Gail auf 500 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

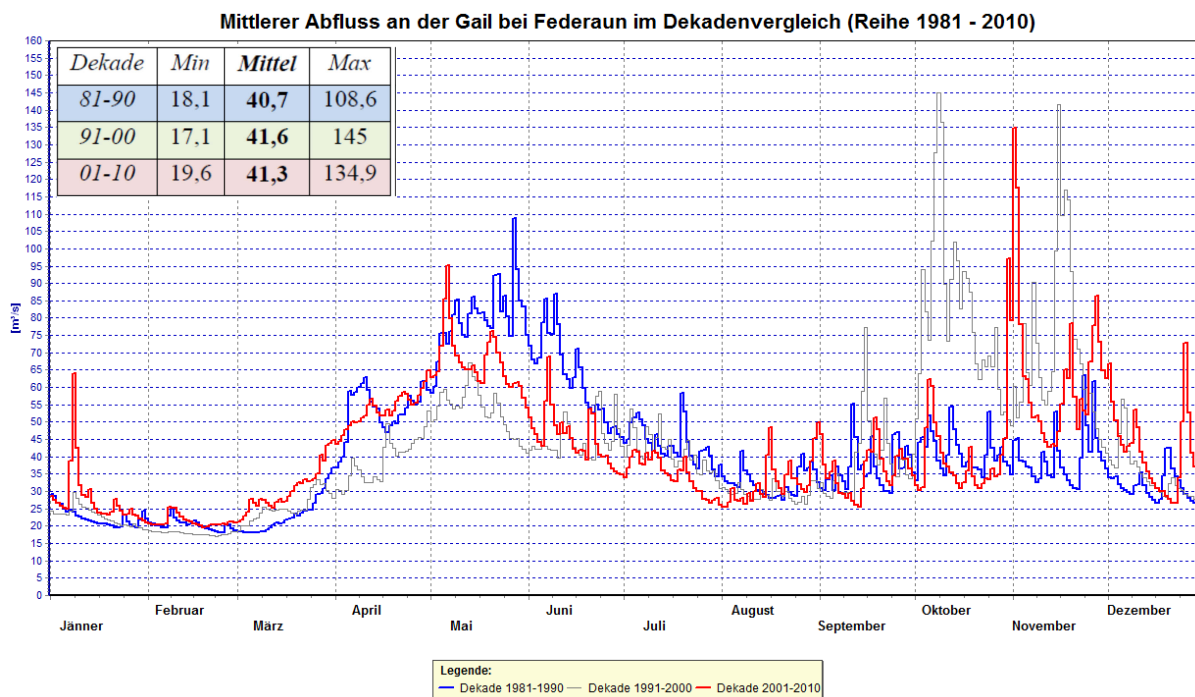


Abb. 145: Mittlerer Abfluss an der Gail bei Federaun im Dekadenvergleich

## Pegel Gumisch an der Gurk auf 394 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

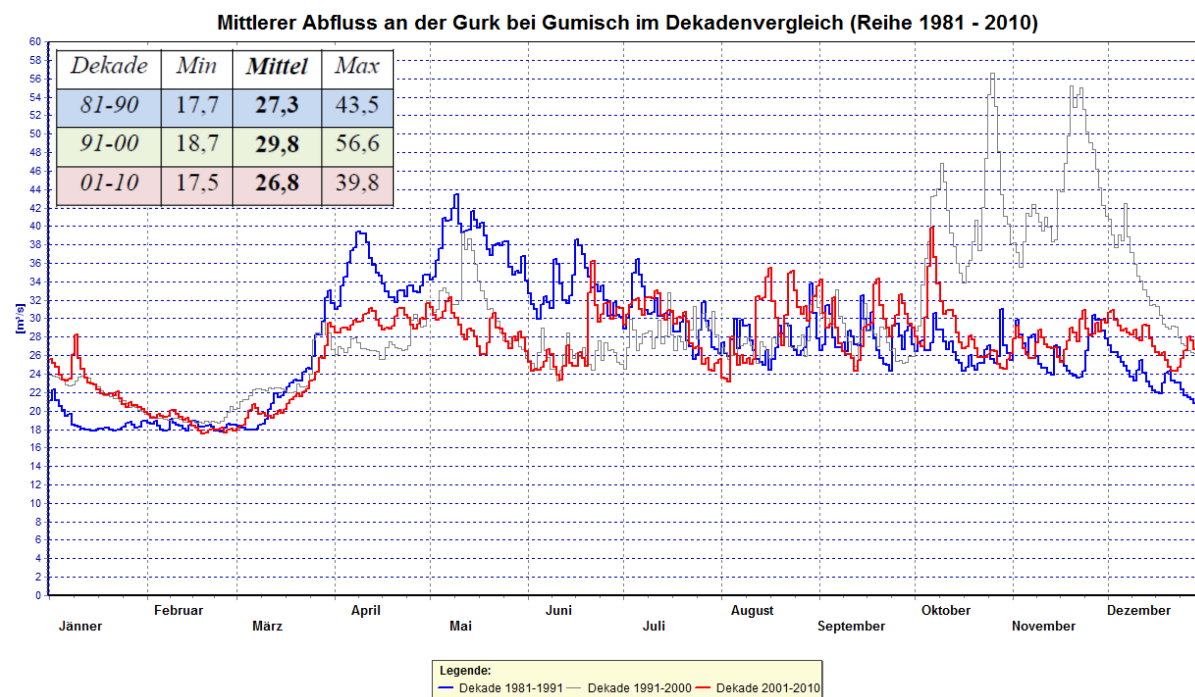


Abb. 146: Mittlerer Abfluss an der Gurk bei Gumisch im Dekadenvergleich

## Pegel Krottendorf an der Lavant auf 354 m ü. A. – Mittlere Tagesmittel

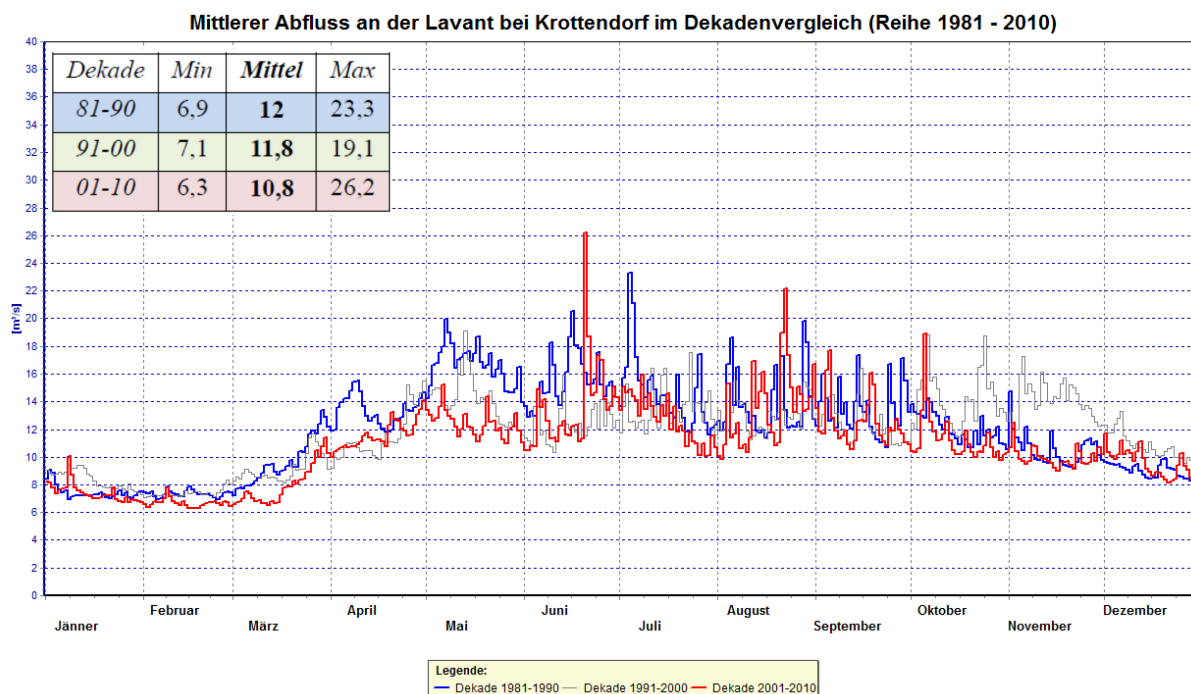


Abb. 147: Mittlerer Abfluss an der Lavant bei Krottendorf im Dekadenvergleich

**Beschreibung des jahreszeitlichen Abflusses nach Dekaden:** Auch für die Darstellung der Abflusskurven nach Dekaden wurden die Tagesmittel einer Dekade gemittelt, sodass der charakteristische Abfluss eines Flusses innerhalb einer Dekade widerspiegelt werden kann. In den Grafiken zeigt sich ein Unterschied zwischen den Hochgebirgs- und Mittelgebirgsflüssen. Die Obere Drau an der Pegelstation Sachsenburg und die Gail bei Federaun neigen in den jüngeren Dekaden dazu im Frühjahr früher anzuschwellen als in den weiter zurückliegenden Dekaden. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Schneeschmelze aufgrund der wärmeren Temperaturen früher einsetzt. Im Herbst ist bei fast allen Flüssen (am wenigsten noch bei der Lavant) ein Ansteigen der Abflüsse zu beobachten. Vor allem bei der Gail ist im Herbst ein ausgeprägter Anstieg zu beobachten. Dies kann durch das Ansteigen der Schneefallgrenze aufgrund der allgemeinen Erwärmung erklärt werden. Vor allem in mittleren Gebirgslagen fällt ein immer größer werdender Anteil des Niederschlages, vor allem im Herbst, als Regen und nicht mehr als Schnee.

Bei den Mittelgebirgsflüssen Gurk und Lavant (mit der Pegelstation Gumisch und Krottendorf) ist insgesamt ein starker Rückgang des durch Schneeschmelze bedingten Abflussvolumens zu beobachten. Zwischen Anfang Juli und Oktober verlaufen die Ganglinien auf ähnlichem Niveau.

Das Abflussmittel der Hochgebirgsflüsse ist im Vergleich der letzten zur ersten Dekade leicht angestiegen. Bei den Mittelgebirgsflüssen hat das Mittel etwas abgenommen.

Veränderung der Abflüsse zwischen Dekade 81-90 und 01-10			
Stationen	Min	Mittel	Max
Oberdrauburg	1,5	1,6	-6,6
Ferderaun	1,5	0,6	26,3
Gumisch	-0,2	-0,5	-3,7
Krottendorf	-0,6	-1,2	2,9

Abb. 148: Veränderung der mittleren Abflüsse zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10. Positive Werte bedeuten erhöhte Abflüsse der Dekade 2001-2010.

## 6.2 Langzeitreihen

Nachdem der Fokus im letzten Kapitel der Periode 1981-2010 galt, werden nun auch Messstationen mit langen Messdatenreihen gezeigt.

In den Grafiken „Jahresmittel der Lufttemperatur“, „Jahressummen des Niederschlags“ und „Monatsmittel der Grundwasserstände“ wurde eine Glättung der Zeitreihen durch gewichtete Mittelung (Mittelungs-Gewichte nach Gauß'scher Normalverteilung) durchgeführt, um längerfristige Schwankungen deutlicher hervorzuheben.

Dabei werden Werte vor und Werte nach dem aktuell zu berechnenden Wert in die Glättung miteinbezogen. Je mehr Werte in die Glättung einfließen, desto glatter wird der Graph. Je stärker die Gewichtung am aktuell zu berechnenden Wert liegt, desto „unruhiger“ erscheint der Graph.

Für die Glättung der „Monatsmittel der Grundwasserstände“ wurden 15 Werte in die Mittelungsberechnung einbezogen, (von einem Wert (Monatswert) ausgehend, sieben Werte auf der Zeitskala nach vor und sieben Werte zurück). Alle anderen Grafiken auf Jahreswertbasis wurden mit einer Gewichtung von fünf Werten geglättet.

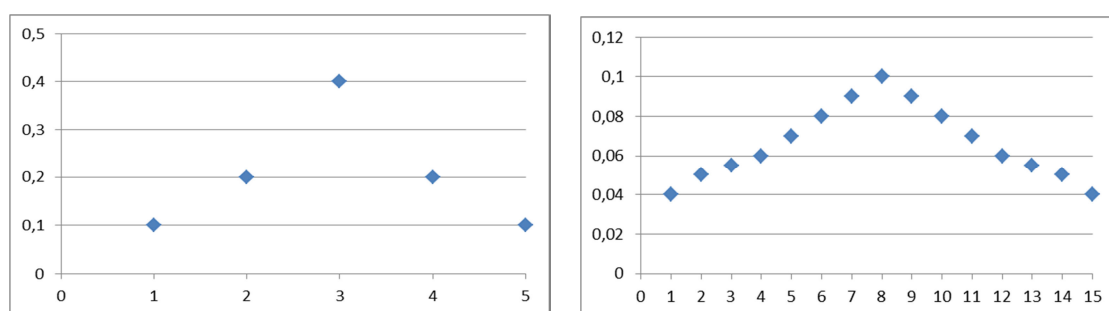


Abb. 149: Glättungsgewichte: links mit 5 Werten (für Jahreswerte); rechts mit 15 Werten (für Monatswerte)

Die horizontal punktierte Linie in einigen Diagrammen markiert das Mittel über den gesamten Messbereich und weicht daher von den Stationsmittelwerten der 30-jährigen Periode ab. Neben den bereits angesprochenen Diagrammen werden im Kapitel 6.2.2 die Mittel der Niederschlagssummen nach Dekaden sowie das Jahresmaxima der Schneehöhe gezeigt.

## 6.2.1 Auswertung der Lufttemperatur anhand von Langzeitreihen

### Messstation Sachsenburg im Oberen Drautal auf 550 m ü. A. – Jahresmittel HD Kärnten

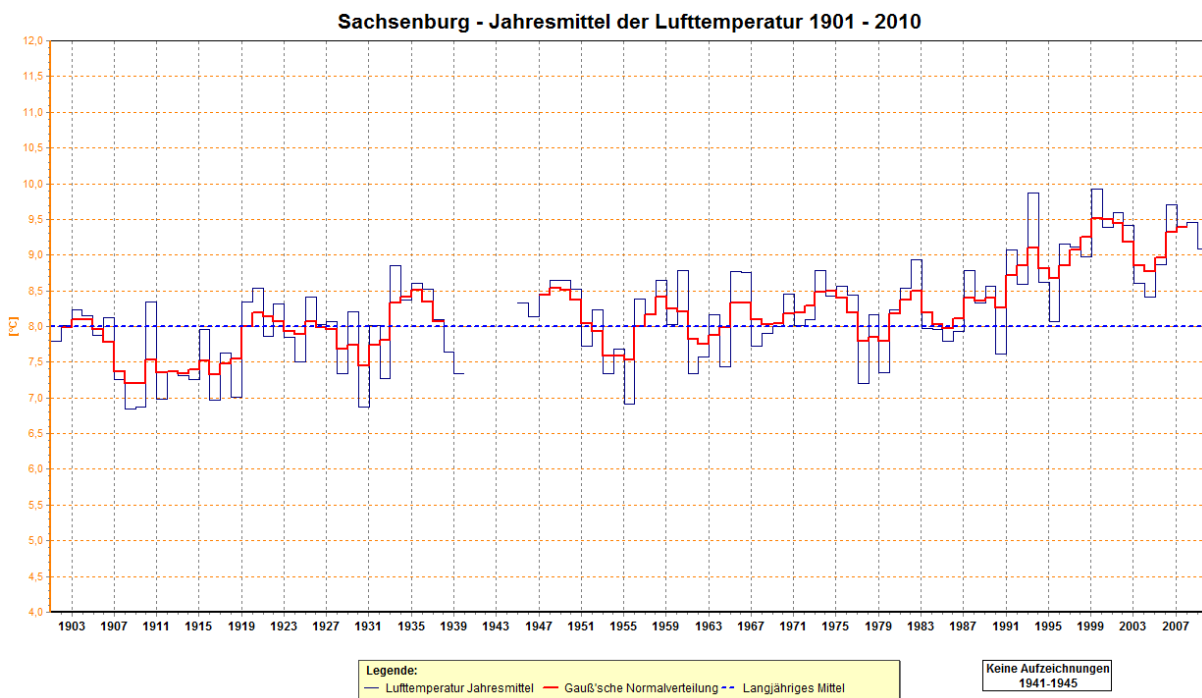


Abb. 150: Jahresmittel der Lufttemperatur in Sachsenburg (Langzeitreihe)



## Messtation Klagenfurt im Klagenfurter Becken auf 442 m ü. A. – Jahresmittel HD Kärnten und ZAMG

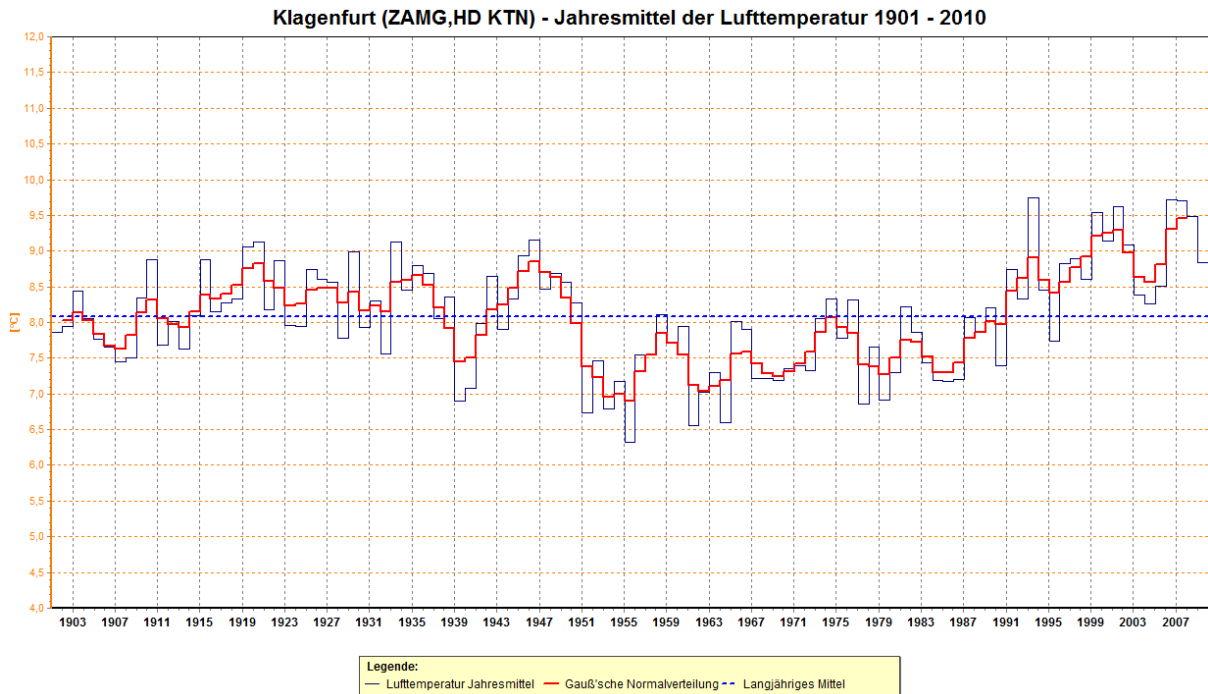


Abb. 151: Jahresmittel der Lufttemperatur in Klagenfurt (Langzeitreihe)

## Messtation Preblau im Lavanttal auf 790 m ü. A. – Jahresmittel HD Kärnten

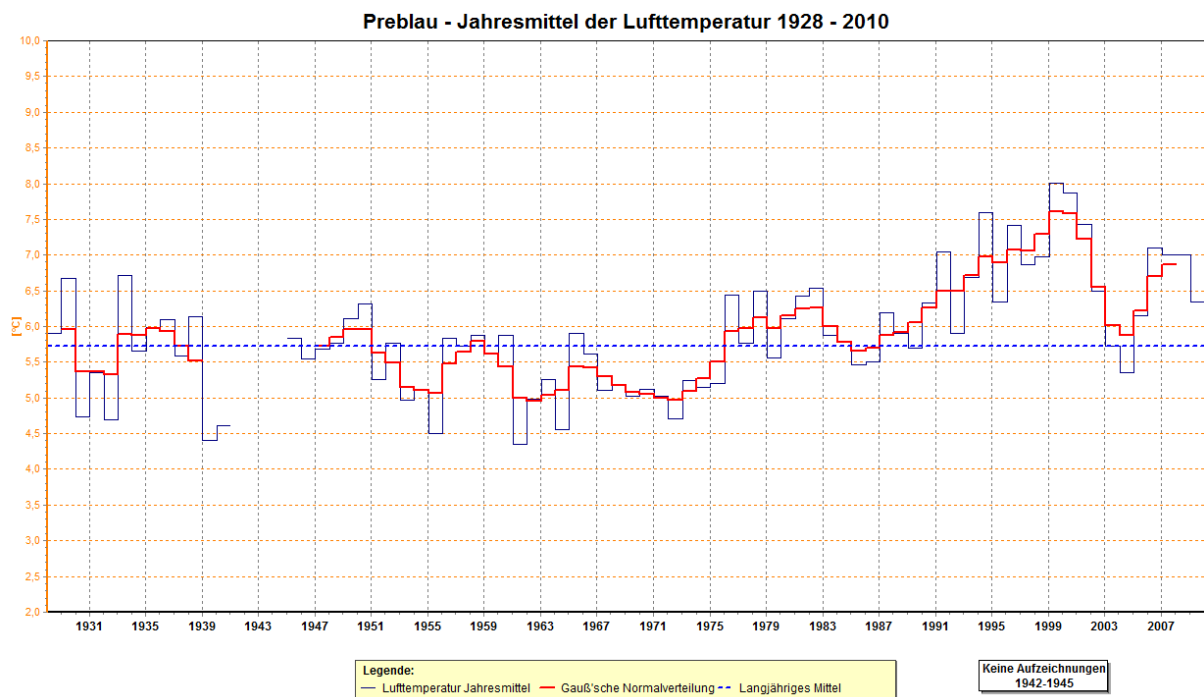


Abb. 152: Jahresmittel der Lufttemperatur in Preblau (Langzeitreihe)

**Beschreibung der Lufttemperatur anhand von Langzeitreihen:** Die langen Messzeitreihen zeigen ein stetes Schwanken um das Temperaturmittel mit einem Aufwärtstrend ab den Neunzigerjahren. In Sachsenburg zeigen sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts bis 1919 unterdurchschnittliche Temperaturen. Ein ähnliches Verhalten ist auch bei den Stationen Millstatt und Malta bemerkbar, und verkürzt in Oberdrauburg (siehe Teil 2 dieser Arbeit). Auch zwischen 1951 und 1976 weisen die Stationen Klagenfurt und Preblau auf leicht unterdurchschnittliche Temperaturen hin. Ab den Neunzigerjahren, teils bereits ab den späten Achtzigern, heben sich die mittleren Temperaturen langsam auf ein zuvor unerreichtes Niveau, mit Einschnitten zwischen 2003 und 2006. Folgende Tabelle zeigt die heißesten Jahresmittel von Beginn der Aufzeichnungen bis 2010.



Stationen	Die heißesten Jahresmittel bis 2010		
Klagenfurt	1994 (9,75°C)	2007 (9,72°C)	2008 (9,71°C)
Malta	1994 (8,97°C)	2002 (8,82°C)	2000 (8,80°C)
Maria Luggau	1961 (6,98°C)	2007 (6,56°C)	1953 (6,54°C)
Millstatt	2002 (11,22°C)	2001 (10,83°C)	1994 (10,82°C)
Oberdrauburg	2007 (9,90°C)	2008 (9,78°C)	2009 (9,68°C)
Preblau	2000 (8,01°C)	2001 (7,87°C)	1995 (7,60°C)
Sachsenburg	2000 (9,92°C)	1994 (9,87°C)	2007 (9,71°C)

Abb. 153: Die heißesten Jahresmittel bis 2010 an den Stationen Klagenfurt, Malta, Maria Luggau, Millstatt, Oberdrauburg, Preblau und Sachsenburg (Foto: WERNEGGER)

Daraus geht hervor, dass die heißesten Jahresmitteltemperaturen ab 1994, jedoch im Besonderen ab 2000 aufgezeichnet wurden. Die einzige Ausnahme unter den untersuchten Stationen ist Maria Luggau im Gailtal, die auch in den Jahren 1953 und 1961 heiße Jahresmitteltemperaturen aufweist.

## 6.2.2 Auswertung des Niederschlags anhand von Langzeitreihen

### Messtation Sachsenburg im Oberen Drautal auf 550 m ü. A. – Jahresmittel des HD KTN

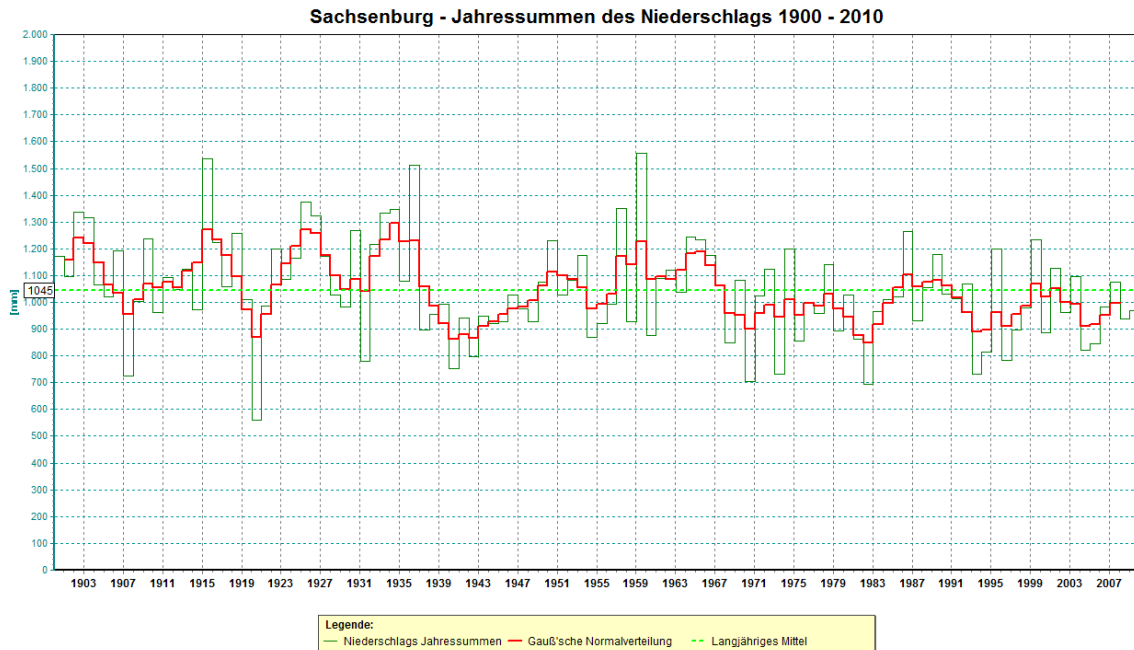


Abb. 154: Jahresmittel des Niederschlags in Sachsenburg (Langzeitreihe)

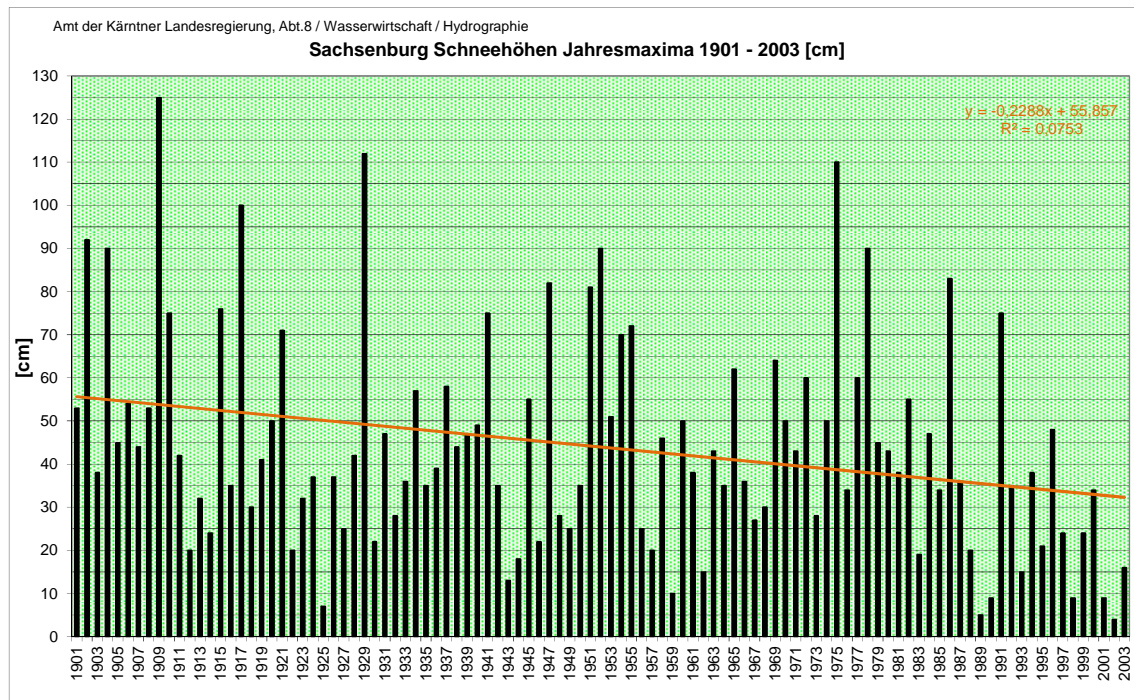


Abb. 155: Jahresmaxima der Schneehöhen in Sachsenburg (Langzeitreihe)

## Messtation Klagenfurt im Klagenfurter Becken auf 442 m ü. A. – Jahresmittel HD KTN und ZAMG

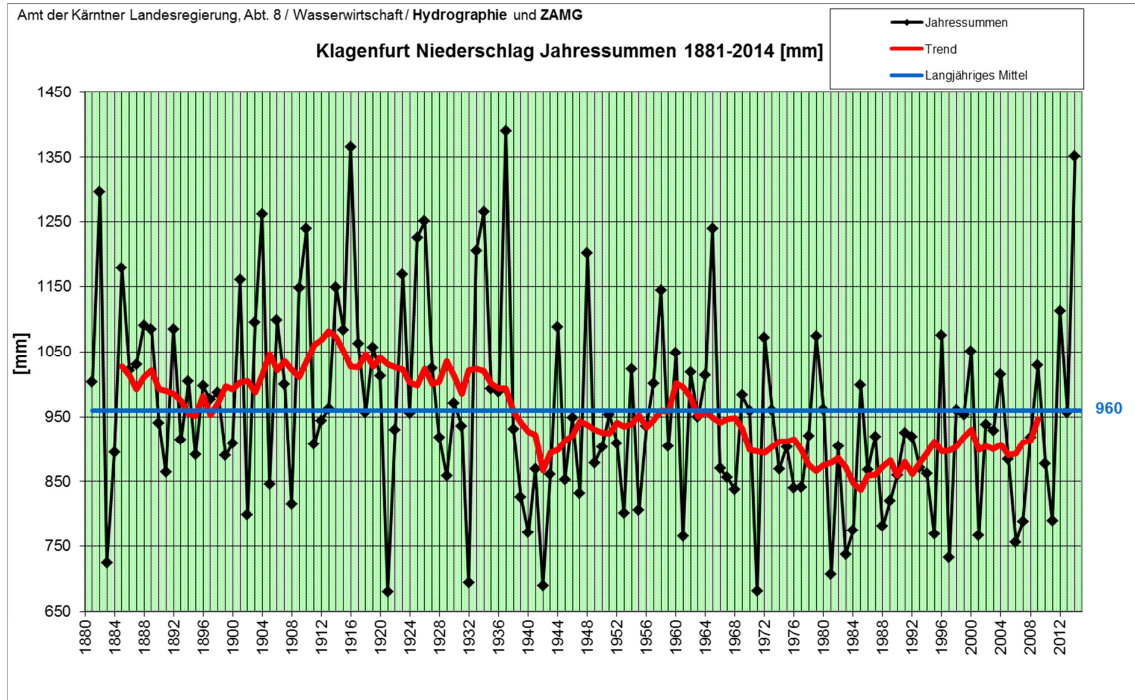


Abb. 156: Jahresmittel des Niederschlags in Klagenfurt (Langzeitreihe)

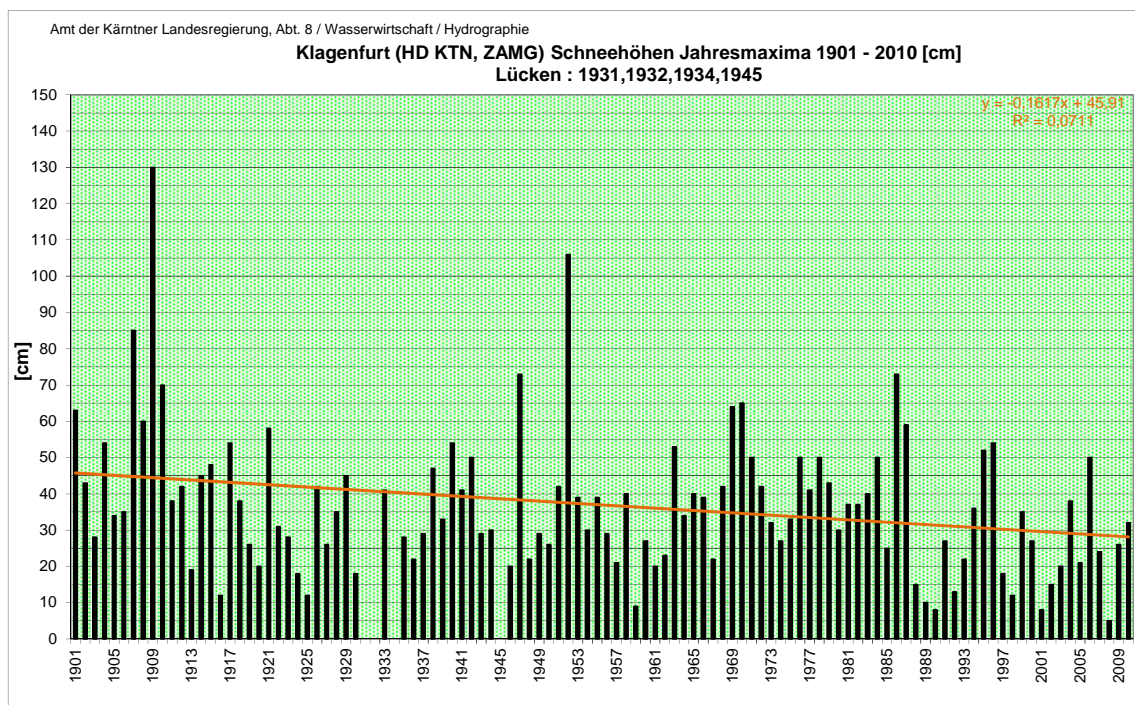


Abb. 157: Jahresmaxima der Schneehöhen in Klagenfurt (Langzeitreihe)

## Messtation Preblau im Lavanttal auf 790 m ü. A. – Jahresmittel HD KTN

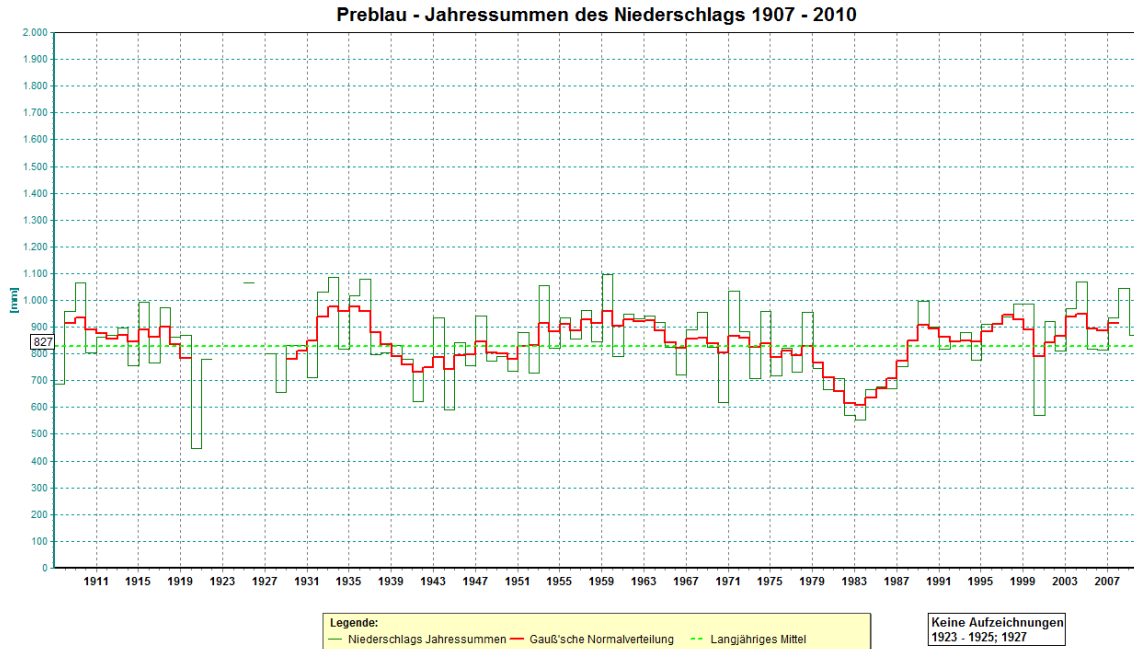


Abb. 158: Jahresmittel des Niederschlags in Preblau (Langzeitreihe)

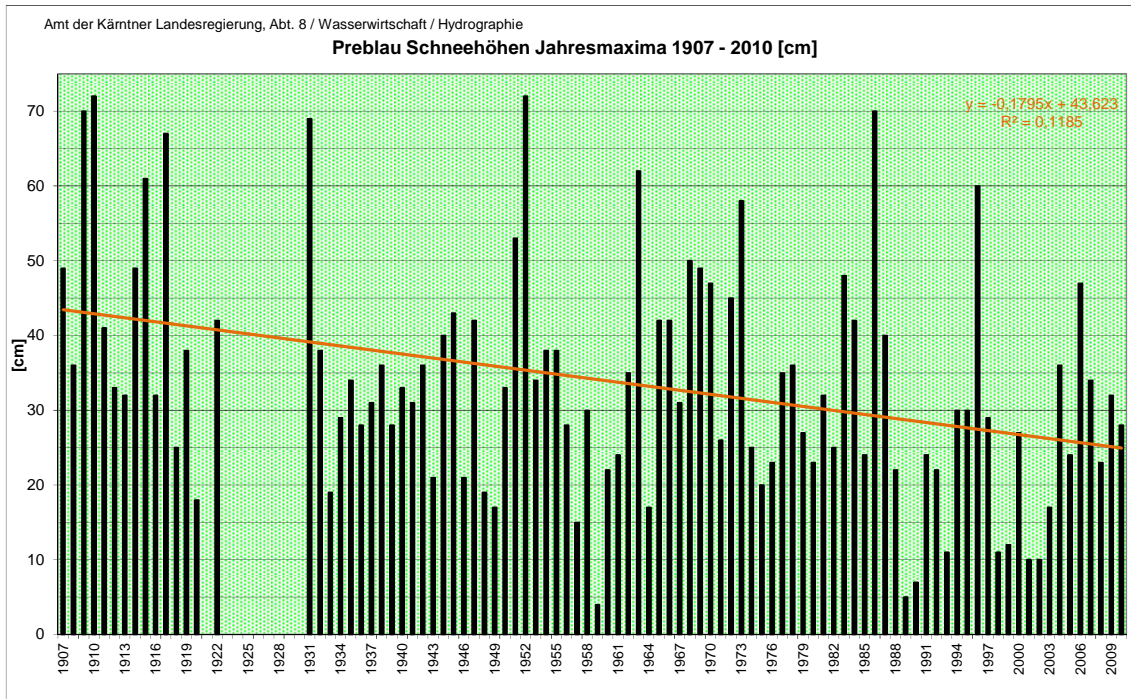


Abb. 159: Jahresmaxima der Schneehöhen in Preblau (Langzeitreihe)

**Beschreibung des Niederschlags anhand von Langzeitreihen:** Von Anbeginn der Aufzeichnungen an bis zum Ende der Dreißigerjahre zeigen die Niederschlags-Jahressummen ein stark schwankendes Verhalten, dessen negative Ausprägungen auch unter das langjährige Mittel reichen, doch weitaus seltener unter diesem verweilen, als in den Jahren danach. Sehr deutlich ist dies bei der Station Klagenfurt, Sachsenburg und Oberdrauburg zu erkennen, weniger bei Malta und Millstatt. Die Grafiken zeigen hingegen auch, dass die trockensten Jahre weniger in den zumeist heißen Jahren zwischen 1990 und 2010 vorkamen, sondern in den Aufzeichnungen zuvor. Auch die höchsten Niederschlags – Jahressummen fallen nicht in den aktuellen Zeitbereich. Sie sind in den Beginnen der Aufzeichnungen bis etwa 1960 zu finden. In den zwei folgenden Tabelle sind die trockensten und feuchtesten Jahre nachzulesen.



Stationen	Die geringsten Niederschlags -Jahressummen bis 2010		
Klagenfurt	1980 (674 mm)	1920 (680 mm)	1970 (681 mm)
Malta	1921 (494 mm)	1994 (632 mm)	1908 (651 mm)
Maria Luggau	1921 (567 mm)	1983 (815 mm)	1943 (818 mm)
Millstatt	1921 (383 mm)	1971 (626 mm)	1941 (668 mm)
Oberdrauburg	1921 (529 mm)	1974 (730 mm)	1932 (773 mm)
Preblau	1921 (448 mm)	1984 (552 mm)	1983 (571 mm)
Sachsenburg	1921 (559 mm)	1983 (694 mm)	1971 (705 mm)

Stationen	Die höchsten Niederschlags -Jahressummen bis 2010		
Klagenfurt	1936 (1390 mm)	1915 (1366 mm)	1881 (1296 mm)
Malta	1916 (1231 mm)	1960 (1226 mm)	2010 (1052 mm)
Maria Luggau	1960 (1833 mm)	1916 (1813 mm)	1951 (1781 mm)
Millstatt	1937 (1357 mm)	1960 (1246 mm)	1947 (1233 mm)
Oberdrauburg	1916 (1892 mm)	1935 (1767 mm)	1951 (1683 mm)
Preblau	1960 (1097 mm)	1934 (1086 mm)	1937 (1080 mm)
Sachsenburg	1960 (1558 mm)	1916 (1537 mm)	1937 (1511 mm)

Abb. 160: Die geringsten und die höchsten Niederschlags - Jahressummen bis 2010 an den Stationen Klagenfurt, Malta, Maria Luggau, Millstatt, Oberdrauburg, Preblau, Sachsenburg (Foto: WERNEGGER)

Die maximale Schneehöhe eines Jahres ergibt sich aus Tageswerten von Beobachtern. Anhand einer Messlatte (Schneepegel) nehmen sie bei Schneelage Tag für Tag die Schneehöhe um sieben Uhr in der Früh auf und tragen sie in einem Messprotokoll ein. Der höchste Wert eines Jahres wird als Balken in der Grafik dargestellt. Die orangene Linie in den Grafiken ist eine lineare Trendlinie, welche bei allen drei Stationen abwärts tendiert. Obwohl die Schneehöhen im Durchschnitt abnehmen, sind nach wie vor große Schneehöhen möglich. Die höchsten Werte der Zeitreihen waren in Sachsenburg 1909 mit 125 cm, Klagenfurt 1909 mit 130 cm und Preblau 1952 mit 72 cm.

## 6.2.31 Auswertung der Grundwasserstände anhand von Langzeitreihen

### Messtation BR1 bei Villach auf 494,5 m ü. A. – Monatsmittel HD KTN (Mittel 491,6 m)

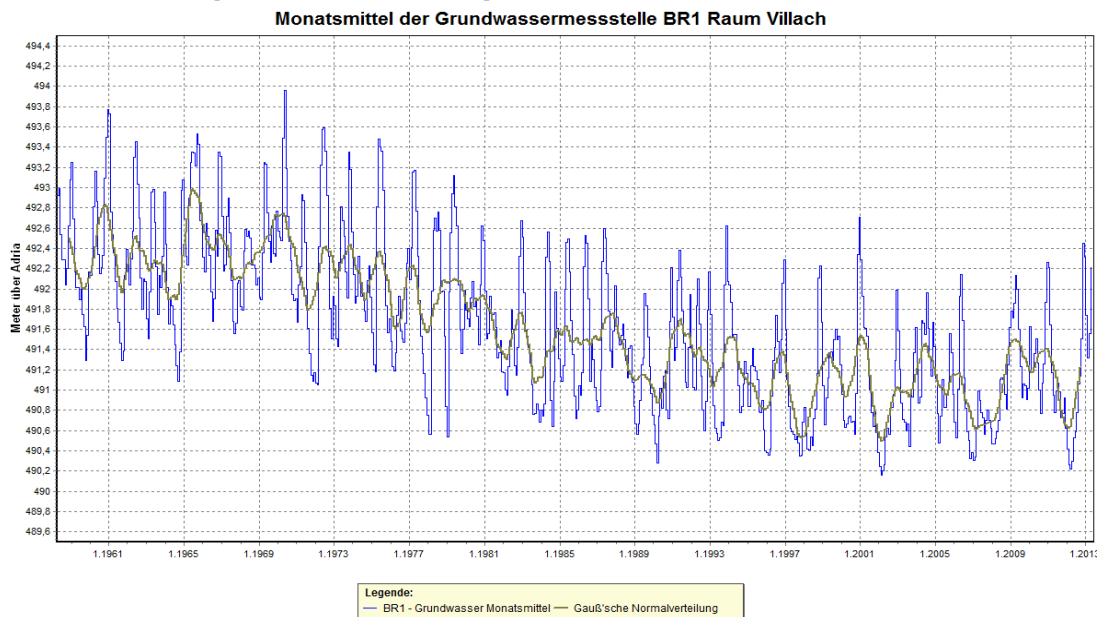


Abb. 161: Monatsmittel der Grundwassermesstelle BR1 im Raum Villach (Langzeitreihe)

### Messtation BL3 bei Villach auf 504,9 m ü. A. – Monatsmittel HD KTN (Mittel 501,6 m)

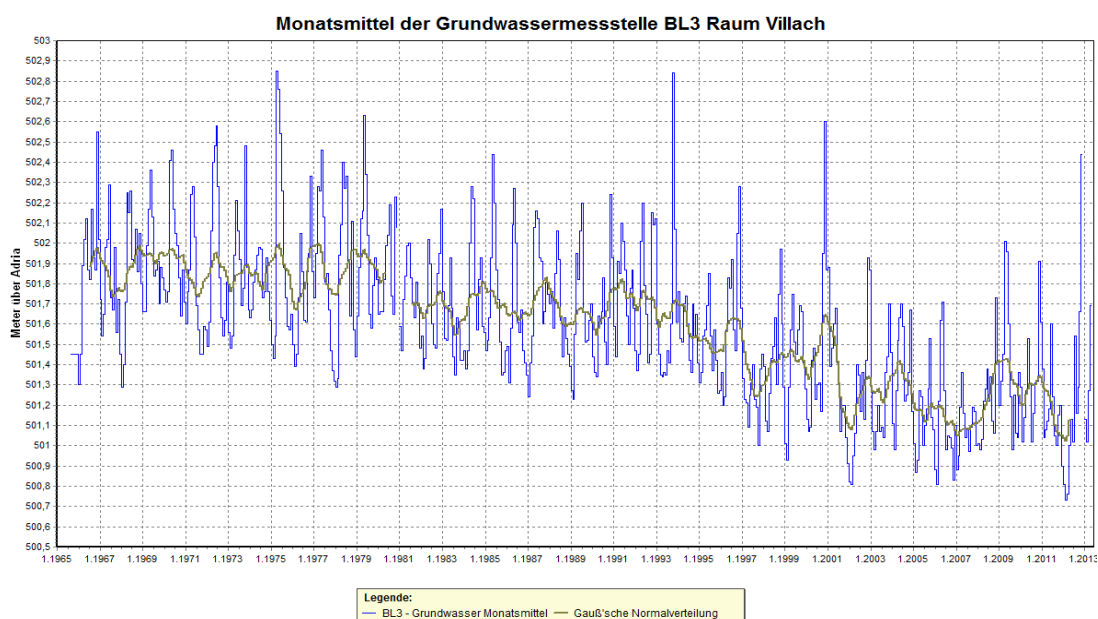


Abb. 162: Monatsmittel der Grundwassermesstelle BL3 im Raum Villach (Langzeitreihe)

## Messtation BR314 bei Völkermarkt auf 437,4 m ü. A. – Monatsmittel HD KTN (Mittel 434,6 m)

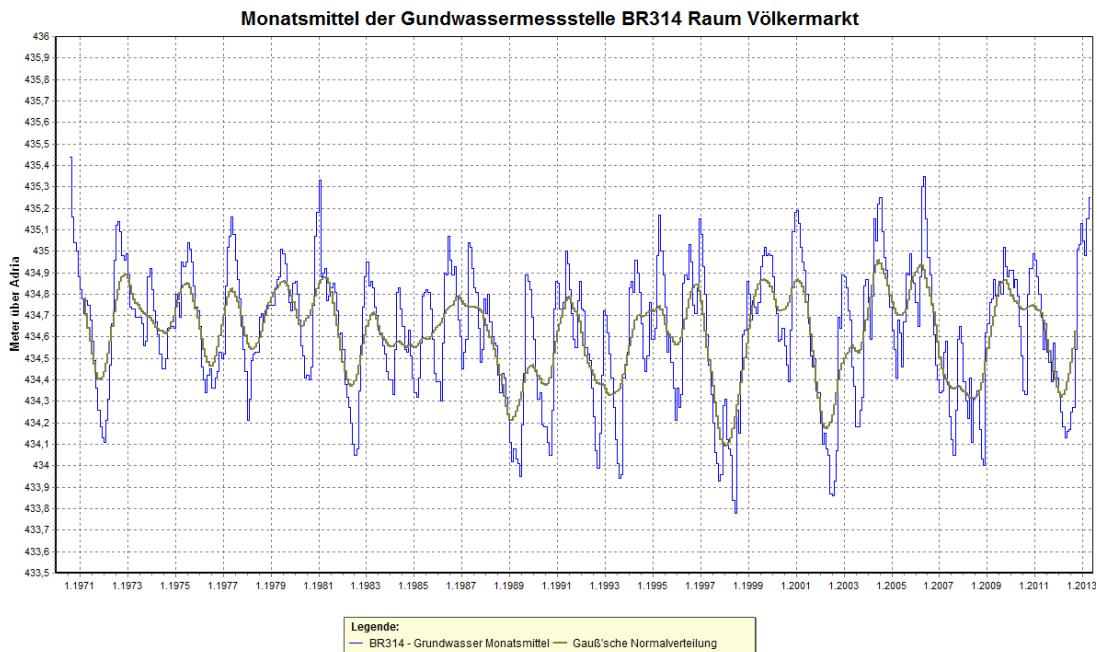


Abb. 163: Monatsmittel der Grundwassermessstelle BR 314 im Raum Völkermarkt (Langzeitreihe)

**Beschreibung der Grundwasserstände anhand von Langzeitreihen:** Die dargestellten Grundwassermessstellen mit mehrjähriger Zeitreihe ergeben ein differentes Bild. Die Station in Villach reagiert schneller und zeigt einen ausgeprägteren Abwärtstrend. Die Station in Völkermarkt befindet sich an einem Brunnen. Sie wirkt träger und neigt weniger zu einer kontinuierlichen Absenkung des Spiegels. Bedauerlicherweise sind langjährigen Messungen für Grundwasserstände dünn gesät, sodass nur die Gebiete um Völkermarkt und Villach für eine Veränderungsdokumentation herangezogen werden können. Um einen Trend deutlicher hervorzuheben wurde auch eine mit einem Glättungsfilter (Mittelungsgewichte nach Gauß'scher Normalverteilung) berechnete Linie dargestellt.

Die stärkste Abnahme des Grundwasserstandes verzeichnet die Messstelle BR1 in den 70er und 80er Jahren (der mittlere Wasserstand vor den 70er Jahren lag bei 492,4 Meter über Adria., ab den 90er Jahren bei 491 m.ü.A.), die Messstelle BL3 zwischen 1980 und 2000 (Mittel vorher: 501,9 m.ü.A., nachher 501,2 m.ü.A.). Beide Stationen befinden sich im Raum Villach, etwa 4 km Luftlinie voneinander entfernt.

Anders verhält es sich südlich von Völkermarkt bei der Station BR314. In diesem Raum geht aus den Messdaten kein deutlicher Trend hervor.



## 7 HYDROLOGISCHE KENNWERTE ALS BEMESSUNGSGRUNDLAGE

---

Die hydrologischen Messdaten, die Analysedaten und wiederum die daraus resultierenden zumeist statistischen Kennwerte sind für technische Bemessungsfragen aber auch für ökologische und wasserwirtschaftliche Fragestellungen von großer Bedeutung.

Die Kennwerte des Niederschlags werden vordergründig zur Bemessung von synthetischen Niederschlag- Abfluss Ereignissen herangezogen. Dies geschieht zumeist mit einfachen Niederschlag- Abfluss Formeln bzw. anhand von Niederschlag- Abfluss Modellen. Die zu verwendenden Bemessungsniederschläge werden in der Regel für bestimmte Jährlichkeiten und Dauerstufen angegeben. Bei den Abflusskennwerten sind vorwiegend die Nieder- und Mittelwasserkennwerte von Gewässern für den Wasserhaushalt und die Ökologie, als auch die Hochwasserkennwerte für den Hochwasserschutz von Interesse. Auch Seewasserstände und Grundwasserstände können in Form von Kennwerten angegeben werden.

### 7.1 Bemessungsniederschläge

Seit 01.02.2009 bietet das Bundesministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW, Abteilung VII/3 – Wasserhaushalt, auf ihrem Internetportal für hydrographische Daten in Österreich (eHYD) Bemessungsniederschläge zur Verwendung an (<http://ehyd.gv.at>).

Österreichweit stehen hier derzeit drei Typen von Niederschlagsauswertungen für Dauerstufen von 5 Minuten bis 6 Tagen und bis zur Jährlichkeit 100 zur Verfügung, die als Grundlage für Bemessungsaufgaben verwendet werden können:

Das sind interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (ÖKOSTRA), maximierte Modellniederschläge (MaxModN) und die Bemessungsniederschläge als gewichtete Auswertung der beiden vorher genannten Auswertungen. Für die Detailplanung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen sind diese (Basis-) Bemessungsniederschläge mit aktuellen Auswertungsergebnissen zu vergleichen und – wenn notwendig – zu modifizieren. Alle drei Niederschlagsauswertungen (ÖKOSTRA-, MaxModN- und Bemessungsdaten) geben Punktniederschlagswerte mit Gültigkeit für einen bestimmten Rasterpunkt an (Abb. 164:).

Werden Bemessungsniederschläge von höherer Jährlichkeit als 100 (z.B. 5000) benötigt, so sind diese von den Hydrografischen Diensten der Länder und vom HZB auf Anfrage erhältlich.

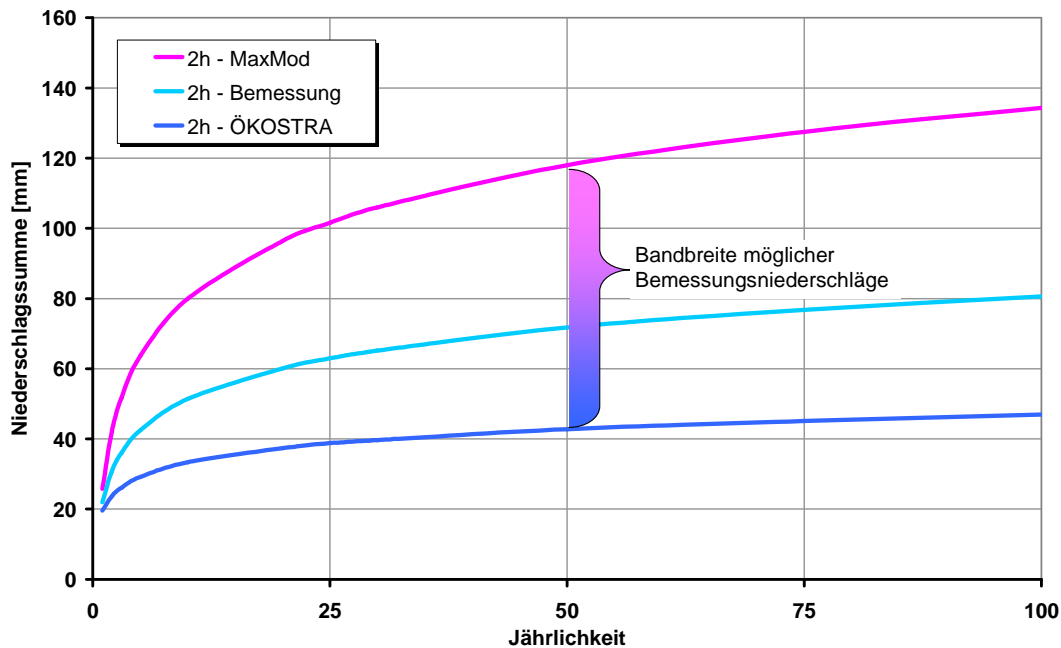


Abb. 164: Starkniederschlagsauswertungen nach unterschiedlichen Methoden an einem diskreten Gitterpunkt für die Dauerstufe 2h

#### (a) Extremwertstatistik ÖKOSTRA

Das Akronym ÖKOSTRA bezeichnet die Österreichische Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierung und Auswertung. In diesem Verfahren werden mittels Digitalisier- und Auswerteprogrammen aus Beobachtungsreihen jährliche und partielle Serien erzeugt. Partielle Serien enthalten alle über einem bestimmten Schwellenwert aufgetretenen Messwerte (z.B. innerhalb eines Jahres). Im Gegensatz dazu wird in einer jährlichen Serie nur der Jahreshöchstwert eines Merkmals ausgewiesen. Im Allgemeinen wird durch die kleinräumige Struktur von konvektiven Niederschlägen und der für deren Erfassung zu geringen Dichte der Messstellen der Niederschlag, der im Zentrum einer sich nur langsam verlagernden konvektiven Gewitterzelle auftritt, von einem Niederschlagsmessgerät (Ombrographen) nicht gesamt erfasst - es werden zu geringe Niederschlagsmengen gemessen. ÖKOSTRA-Ergebnisse liefern daher insbesondere bei kurzen Dauerstufen (konvektiven Ereignissen) vermutlich zu geringe Niederschlagswerte.

#### (b) Maximierte Modellniederschläge (MaxModN)

Für Bemessungsfragen in Wildbacheinzugsgebieten sind vor allem Starkregen kurzer Dauer mit vorwiegend konvektivem Charakter von Bedeutung. Dieser Niederschlagstyp überregnet meist nur verhältnismäßig kleine Flächen mit kurze Dauer und hoher Intensität. Da bei der Bearbeitung kleiner Einzugsgebiete bzw. im alpinen Gelände häufig die erforderlichen Beobachtungsdaten fehlen, wurde ein Modell zur Vorhersage von konvektiven Niederschlägen adaptiert. Die Methode wurde 2000 von Lorenz und Skoda unter dem Titel „Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufen ( $D \leq 12$  Stunden) mit inadäquaten Daten“ vorgestellt (LORENZ und SKODA 2000) und für ausgewählte Dauerstufen und Jährlichkeiten im Digitalen Hydrologischen Atlas von Österreich (BMLFUW 2007) veröffentlicht. Dauerstufen über 12 Stunden stammen aus dem Vorhersagemodell ALADIN. Im Übergangsbereich zwischen 6 Stunden und 48 Stunden wurden die Daten der beiden Modelltypen

dauerstufenabhängig gewichtet (WEILGUNI 2009). Die Lorenz-Skoda-Modelldaten, sie werden auch als MaxModN-Daten bezeichnet, sind aus Ergebnissen von Niederschlagsmodellrechnungen unter maximierten Rand- und Anfangsbedingungen abgeleitet und wie alle Ergebnisse von Modellrechnungen nur Schätzwerte. Im Vergleich mit den extremwertstatistischen Messstellenauswertungen liefern sie zum Teil starke Überschätzungen. Die angegebenen Werte wurden jedoch bei einigen Niederschlagsstationen, wenn auch nur vereinzelt, schon gemessen bzw. aufgezeichnet (z.B. Tirol- Ladis, Innervillgraten; Salzburg, Oberösterreich oder Kärnten- Nassfeld). Demnach kann der extremwertstatistischen Auswertung von Niederschlagsstationen eine stark unterschätzende Einschätzung der Realität unterstellt werden.

### (c) Bemessungsniederschläge

Durch die MaxModN- Werte (eher „zu hoch“) und die ÖKOSTRA- Werte (eher „zu niedrig“) wird die Bandbreite möglicher Bemessungsniederschläge abgegrenzt (siehe Abb. 165:). Nicht auszuschließen ist, dass in Einzelfällen der Bemessungswert auch außerhalb dieses Schwankungsbereichs liegen kann (WEILGUNI 2009). Im Projekt „Bemessungsniederschläge in der Siedlungswasserwirtschaft“ des Lebensministeriums (KAINZ et al. 2006) wurde eine dauerstufenabhängige, gewichtete Mittelwertbildung zwischen ÖKOSTRA-Werten und Werten des Hydrologischen Atlas Österreichs angewandt und darauf aufbauend als „Bemessungswerte für die Siedlungswasserwirtschaft“ in einem ÖWAV-Leitfaden (ÖWAV 2007) veröffentlicht.

Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	5.9	8.8	10.6	12.7	15.7	18.6	19.6	20.3	22.5	24.2	25.5
	<b>6.2</b>	<b>8.6</b>	<b>10.1</b>	<b>11.9</b>	<b>14.5</b>	<b>16.9</b>	<b>17.7</b>	<b>18.3</b>	<b>20.2</b>	<b>21.6</b>	<b>22.7</b>
	*6.6	8.4	9.5	10.9	12.9	14.7	15.3	15.8	17.3	18.3	19.1
10 Minuten	10.6	16.9	20.7	25.4	31.8	38.1	40.2	41.9	46.6	50.3	53.0
	<b>9.6</b>	<b>14.1</b>	<b>16.7</b>	<b>20.0</b>	<b>24.5</b>	<b>29.0</b>	<b>30.5</b>	<b>31.7</b>	<b>35.0</b>	<b>37.6</b>	<b>39.5</b>
	8.6	11.0	12.4	14.2	16.6	19.1	19.9	20.5	22.4	23.7	24.8
15 Minuten	13.6	22.2	27.2	33.5	42.1	50.7	53.5	55.7	62.0	67.1	70.7
	<b>11.8</b>	<b>17.5</b>	<b>20.8</b>	<b>24.9</b>	<b>30.6</b>	<b>36.3</b>	<b>38.2</b>	<b>39.6</b>	<b>43.8</b>	<b>47.1</b>	<b>49.5</b>
	10.1	12.8	14.4	16.4	19.1	22.0	22.9	23.6	25.6	27.2	28.4
20 Minuten	15.4	25.4	31.3	38.6	48.5	58.5	61.8	64.3	71.7	77.5	81.7
	<b>13.2</b>	<b>19.6</b>	<b>23.4</b>	<b>28.0</b>	<b>34.4</b>	<b>40.7</b>	<b>42.8</b>	<b>44.5</b>	<b>49.2</b>	<b>52.9</b>	<b>55.6</b>
	11.2	14.2	16.0	18.1	21.1	24.1	25.0	25.9	28.2	29.9	31.1
30 Minuten	18.2	30.3	37.3	46.2	58.2	70.2	74.0	77.2	86.1	93.2	98.1
	<b>15.5</b>	<b>22.8</b>	<b>27.1</b>	<b>32.5</b>	<b>39.8</b>	<b>47.2</b>	<b>49.5</b>	<b>51.5</b>	<b>56.9</b>	<b>61.2</b>	<b>64.2</b>
	13.1	16.4	18.4	20.7	24.0	27.4	28.5	29.4	31.9	33.8	35.1
45 Minuten	21.0	35.0	43.2	53.6	67.6	81.6	86.1	89.8	100.2	108.4	114.2
	<b>17.9</b>	<b>26.0</b>	<b>30.8</b>	<b>36.9</b>	<b>45.1</b>	<b>53.2</b>	<b>55.8</b>	<b>58.1</b>	<b>64.1</b>	<b>69.0</b>	<b>72.3</b>
	15.4	19.0	21.1	23.8	27.5	31.0	32.1	33.2	35.8	38.1	39.5
60 Minuten	22.9	38.4	47.4	58.8	74.3	89.7	94.7	98.8	110.2	119.2	125.7
	<b>19.6</b>	<b>28.4</b>	<b>33.4</b>	<b>39.9</b>	<b>48.7</b>	<b>57.4</b>	<b>60.3</b>	<b>62.6</b>	<b>69.0</b>	<b>74.1</b>	<b>77.9</b>
	17.1	21.1	23.2	26.1	29.9	33.7	35.1	36.0	38.8	41.0	42.6
90 Minuten	25.6	43.1	53.3	66.2	83.7	101.2	106.8	111.4	124.3	134.5	141.8
	<b>22.2</b>	<b>31.7</b>	<b>37.2</b>	<b>44.3</b>	<b>53.7</b>	<b>63.1</b>	<b>66.1</b>	<b>68.6</b>	<b>75.6</b>	<b>81.1</b>	<b>85.1</b>
	20.0	24.1	26.5	29.6	33.6	37.6	38.9	39.9	43.0	45.3	47.2

\* - ÖKOSTRA-Wert ist größer/gleich dem MaxModN-Wert

() - Bemessungsniederschlag liegt am Rand oder außerhalb der Bandbreite

MaxModN - maximierte Modellniederschläge (HAÖ=Hydrologischer Atlas Österreichs (konvektives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert))

ÖKOSTRA - interpolierte extremwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DVK124, modifiziert)

Abb. 165: Beispiel: Bemessungsniederschläge (MaxModN, Bemessungsniederschlag, Ökostra); für Villach (ohne Flächenabminderung)

Siehe auch „Leitfaden zur Niederschlag Abfluss Modellierung“ (ÖWAV in prep.).

## 7.2 Abflusskennwerte

### Einführung: Was sind Abflusskennwerte?

Betrachtet man die kontinuierlich gemessenen Abflussmengen eines Gewässers, wie zum Beispiel die in Abb. 166: dargestellten Abflussmengen der Drau von 1965 – 2013 am Pegel Oberdrauburg, so kann man auf den ersten Blick erkennen, dass die Abflüsse keineswegs gleichmäßig verlaufen. Sie weisen ein hohes Spektrum an Größenordnungen auf. Von niedersten Abflussmengen zumeist in der Winterszeit bis zu Hochwässern mit einem Vielfachen der Normalwasserführung binnen weniger Tage.

Es ist also sehr schwer möglich diese breite Bandbreite an Abflussmengen mit nur einer Zahl charakteristisch zu beschreiben, daher geschieht dies in der Praxis häufig mit Hilfe von mehreren Kennwerten, die einen bestimmten Bereich der Abflüsse kennzeichnen.

Hydrologische Kennwerte beschreiben die charakteristischen, zusammenfassenden, typischen Abflussmengen eines Gewässers an einer bestimmten Gewässerstelle und für einen betrachteten Zeitbereich. Am einfachsten ist der Mittelwert aller Abflüsse (MQ) in einer Periode zu berechnen. Er ergibt sich aus der Fläche unter der Ganglinie im betrachteten Zeitabschnitt dividiert durch die Zeitdauer.

Zusätzlich können die Mittelwasserabflussmengen der einzelnen Jahre, der Monate und letztendlich der Tage und Stunden berechnet werden (Abb. 167:). Daher unterscheidet man zwischen Jahres-, Monats- und Tagesmittelwasserabflussmengen, wobei immer der betrachtete Zeitraum mit anzugeben ist, da in verschiedenen Zeitperioden unterschiedlichste Abflüsse auftreten.

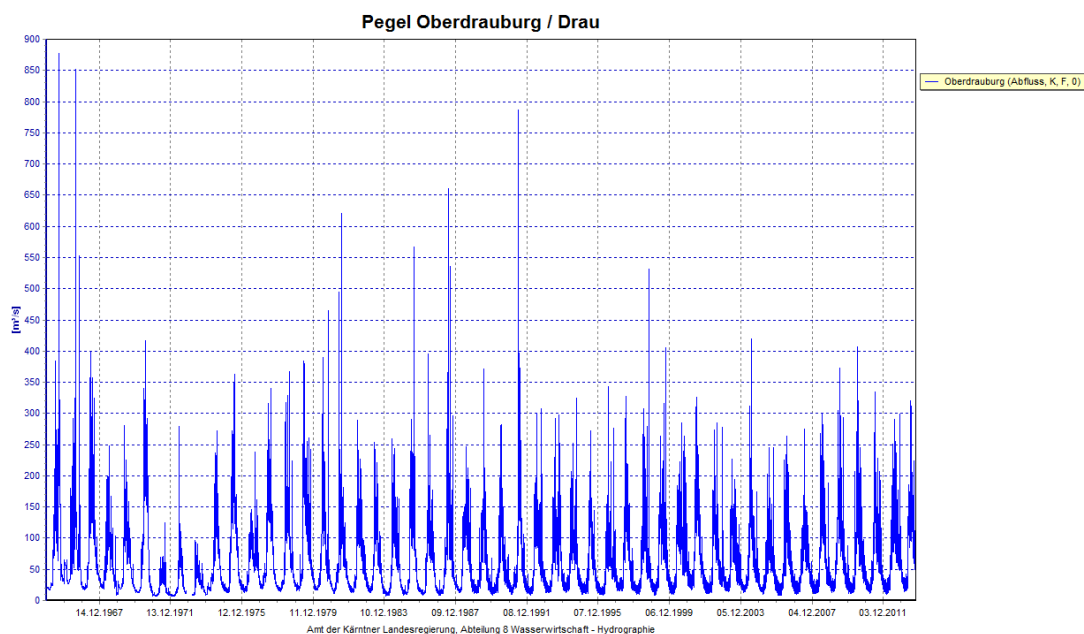


Abb. 166: Kontinuierliche Abflussganglinie der Drau am Pegel Oberdrauburg in der Periode 1965 – 2013

Um die Extreme nach oben und nach unten besser beschreiben zu können, werden wie erwähnt neben dem Mittelwasser noch Hoch- und Niederwasserkennwerte verwendet. Auch hier unterscheiden wir wieder zwischen Jahres-, Monats-, und Tages Hochwässern bzw. Niederwässern und ihren entsprechenden Kennzahlen.

Bei den Hochwässern wird meist die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Abflussscheitelwerte angegeben, wir sprechen von der Jährlichkeit bzw. dem Wiederkehrintervall des Auftretens. Zum Beispiel tritt ein 5-jährliches Hochwasserereignis (HQ<sub>5</sub>) statistisch gesehen durchschnittlich alle fünf Jahre auf. Natürlich nicht regelmäßig, aber in 100 Jahren betrachtet im Durchschnitt 20-mal (in dieser Größenordnung oder darüber).

Bei den Niederwässern ist die kleinste Abflussmenge, die in der Periode gemessen wurde (NNQ), die kleinste Niederwassermenge der Tagesmittel (NQT) und das mittlere jährliche Niederwasser (MJNQ) als Mittel der kleinsten Jahresabflüsse der Periode von Bedeutung (Abb. 168:).

Die Dauerlinie der Abflüsse gibt an, an wie vielen Tagen im Jahr eine Abflussmenge über bzw. unterschritten wurde. Q95% steht zum Beispiel für jene Abflussmenge, die an 347 Tagen überschritten wird bzw. an 18 Tagen im Jahr unterschritten wird.

**Nr. 700 Oberdrauburg-OWF  
Drau**

Mst.Nr. 212324 Art: Schreibpegel Einzugsgebiet: 2112.0 km<sup>2</sup>  
Ableitungen aus: 12.1 km<sup>2</sup> E(wirksam): 2099.9 km<sup>2</sup>

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Tag	Tägliche Abflüsse 2010 in m <sup>3</sup> /s											
1.	18.9	15.6	16.5	23.9	70.4	100	124	60.1	73.2	58.4	80.8	36.5
2.	20.1	17.8	17.8	21.5	74.0	89.7	133	66.3	69.6	57.8	76.8	37.5
3.	20.4	16.7	17.8	22.3	75.5	91.5	140	94.3	70.3	56.3	69.8	35.0
4.	20.3	17.7	17.1	19.4	83.1	89.6	140	73.3	71.3	57.6	58.8	34.6
5.	20.5	16.5	17.4	20.6	111	107	150	79.3	70.5	70.5	53.4	32.8
6.	21.5	16.5	16.5	19.8	172	119	139	91.3	68.4	76.9	49.8	33.7
7.	22.6	16.5	16.5	20.2	119	142	115	71.3	68.7	67.5	49.2	33.3
8.	21.8	16.5	16.5	23.4	95.5	140	101	64.0	77.7	64.0	51.4	34.8
9.	20.0	16.6	16.5	25.6	84.1	164	117	68.0	83.6	60.9	48.7	36.3
10.	21.7	16.3	17.0	26.4	79.0	188	123	65.2	71.5	57.8	45.9	33.4
11.	21.1	17.3	15.9	26.1	78.7	215	126	64.4	63.6	56.2	44.3	32.6
12.	20.6	16.9	16.0	24.9	79.1	213	125	77.4	59.5	53.3	42.1	33.5
13.	19.8	16.1	15.5	23.8	86.1	221	114	111	60.7	51.0	42.1	32.0
14.	20.6	15.7	14.9	21.8	90.4	316	117	120	56.4	49.2	39.7	29.1
15.	20.0	16.2	16.6	22.0	81.2	223	118	192	55.0	47.0	38.9	28.3
16.	19.0	17.2	16.4	23.1	71.4	216	117	137	57.5	46.9	48.0	26.8
17.	19.2	17.3	16.1	23.1	64.9	220	118	112	67.4	46.9	60.7	26.3
18.	19.3	17.0	16.1	23.7	59.6	192	174	99.5	122	44.9	52.3	25.9
19.	18.5	17.8	17.9	24.1	56.3	154	103	94.9	93.1	43.9	51.9	25.9
20.	17.8	17.8	17.9	22.7	54.1	155	95.8	91.1	76.7	42.0	48.3	27.5
21.	17.9	17.2	18.7	25.9	53.0	131	94.2	90.2	69.5	39.6	47.3	27.8
22.	18.2	17.7	21.7	26.5	55.7	116	91.5	87.4	65.3	38.4	48.9	28.4
23.	17.2	17.3	23.1	29.8	63.0	107	111	89.5	63.1	37.9	47.7	30.4
24.	17.5	16.3	26.2	33.6	66.8	106	138	94.4	59.9	37.8	44.0	43.4
25.	17.4	16.9	27.1	40.6	81.8	112	99.6	99.7	103	46.3	41.4	36.2
26.	18.0	18.5	26.7	48.7	117	120	75.7	88.0	81.5	41.5	39.1	30.3
27.	17.0	18.0	28.6	53.4	159	120	67.5	101	68.9	39.9	38.6	27.0
28.	17.8	18.1	27.2	46.9	127	132	63.9	98.2	68.2	38.8	37.9	26.6
29.	17.3	25.6	50.1	50.1	118	137	71.5	76.6	63.7	38.5	39.2	27.1
30.	17.7	25.0	61.0	61.0	125	133	73.5	81.1	59.6	40.9	36.0	26.7
31.	16.6	27.3	125	125	125	133	60.3	81.2	42.5	42.5	36.0	25.1
Extremwerte in m <sup>3</sup> /s												
am	24.	01.	12.	06.	21.	02.	31.	01.	14.	22.	30.	17.
NQ	12.6	11.8	13.1	13.7	40.9	77.0	56.2	55.2	46.9	28.7	28.0	18.5
HQ	34.7	29.7	40.0	73.7	207	407	320	245	150	94.7	97.2	46.9
am	05.	05.	31.	30.	06.	14.	18.	15.	18.	05.	01.	24.
Monatsmittel in m <sup>3</sup> /s(MQ),l/s.km <sup>2</sup> (Mq) bzw.Monatssummen in mm(h <sub>a</sub> )												
MQ	19.2	16.9	19.6	29.2	89.5	152	111	91.0	71.3	50.0	49.1	31.2
Mq	9.16	8.04	9.35	13.9	42.6	72.5	52.8	43.3	34.0	23.8	23.4	14.8
h <sub>a</sub>	25	19	25	36	114	188	141	116	88	64	61	38

Abb. 167: Zusammenstellung der Tagesmittel- und Monatsmittelabflüsse, Niederwasser- und Hochwasserabflüsse; Hydrographisches Jahrbuch 2010; Pegel Oberdrauburg / Drau

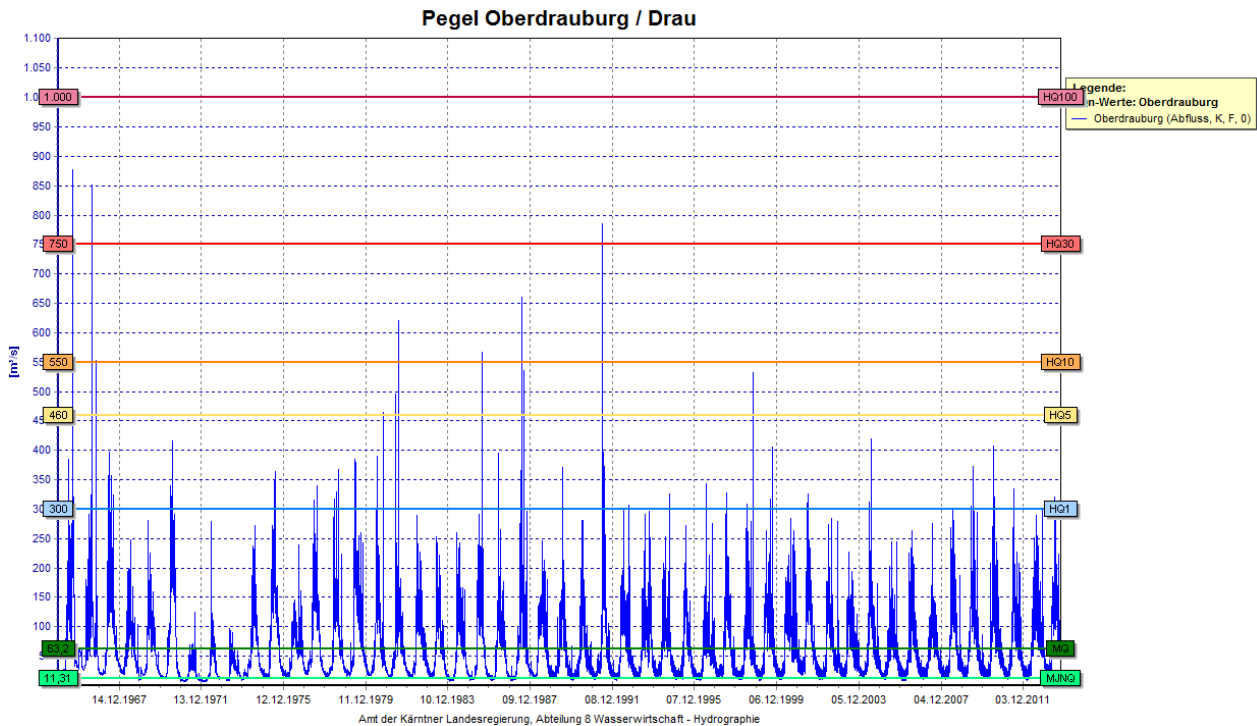


Abb. 168: Abflussganglinie und hydrologische Kennwerte in der Zusammenschau

MJNQ ... mittleres jährliches Niedrigwasser; MQ ... Mittelwassermenge; HQ<sub>1</sub> ... 1 - jährliches Hochwasser; HQ<sub>5</sub> ... 5 - jährliches Hochwasser; HQ<sub>10</sub> ... 10 - jährliches Hochwasser; HQ<sub>30</sub> ... 30 - jährliches Hochwasser; HQ<sub>100</sub> ... 100 - jährliches Hochwasser

Man spricht von beobachteten Gewässern, wenn mit Hilfe einer Pegelmessanlage die Wasserstände bzw. Abflussmengen über einen längeren Zeitraum kontinuierlich aufgezeichnet bzw. gemessen werden. Die Anzahl der Pegel ist auf Grund der aufwendigen Mess- und Wartungsarbeiten beschränkt. Daher gibt es sehr viele Gewässer, von denen keine Messungen vorliegen. Man spricht von unbeobachteten Gewässern. Um dennoch hydrologische Kennwerte von unbeobachteten Gewässern für diverse Projekte bestimmen zu können, werden die ermittelten Kennwerte von Pegeln (Abb. 169:) auf unbeobachtete Gewässer übertragen. Die dazu erforderlichen Übertragungsverfahren nennt man regionalhydrologische Verfahren oder auch Regionalisierungsverfahren. Es werden dabei zumeist mehrere Pegel in der Umgebung zur Übertragung herangezogen und dabei die hydrologischen Gebietseigenschaften / Unterschiede mit berücksichtigt. Regionalisierungsverfahren gibt es für die Kennwerte der Niedrigwässer, Mittelwässer und Hochwässer.

**Nieder- und Mittelwasser:** Bei den Nieder- und Mittelwassermengen erfolgt die Übertragung vorwiegend über die Abflussspende ( $l / s \cdot km^2$ ). Dabei werden die Abflusskennwerte von Pegeln der Umgebung auf die Größe „Liter pro Sekunde und 1 km<sup>2</sup> Einzugsgebietsfläche“ umgerechnet:

$$\text{Abflussspende } q \text{ (l / s} \cdot \text{km}^2) = Q \text{ Kennwert Pegel (l/s) / Einzugsgebiet (km}^2\text{)}.$$

Das Einzugsgebiet ist jene oberflächliche, topographische Abgrenzung, die zum Abfluss an der betrachteten Gewässerstelle beiträgt. Sie umfasst praktisch sämtliche Flächen, Gerinne und Bäche, die dem Gewässer bis zur betrachteten Stelle zufließen. Dabei kann es auch vorkommen, dass unterirdische Zuflüsse über die topographische Abtrennung hinausreichen, oder auch aus dem Einzugsgebiet unterirdisch in ein Nachbargebiet abfließen. Dies ist vor allem bei kleinen Einzugsgebieten zu berücksichtigen.

Amt der Kärntner Landesregierung Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie



... am Puls des Wassers.

**Hydrologische Daten - Hydrographischer Dienst Kärnten**

**HD Pegel:** Oberdrauburg / Drau  
**EZG (km<sup>2</sup>):** 2099,9 wirksames Einzugsgebiet 2112 gesamtes Einzugsgebiet  
 Ableitung: Isel 12,1 km<sup>2</sup>

**Kennwerte:**  
**Oberdrauburg / Drau**

**Jahreskennwerte**

Dauer	Abflussmengen (m <sup>3</sup> /s)	Spende (l/s.km <sup>2</sup> )
1976 - 2005	MQ 59.330	Mq 28,3
1976 - 2005	Q95T 14.046	q95T 6,7
1996 - 2005	Q95 13.440	q95 6,4
1976 - 2005	MUNQT 13.780	Mnqt 6,6
1976 - 2005	MUNQ 11.310	Mnq 5,4
1976 - 2005	NQT 9.670	Nqt 4,6
1976 - 2005	NNQ 8.470	Nnq 4,0

**Monatskennwerte**

Jänner	Mittelwassermenge MQ			Niederwassermenge NQT		
	MQ (m <sup>3</sup> /s)	% von MQ	(l/s.km <sup>2</sup> )	NQT (m <sup>3</sup> /s)	% von min NQ	(l/s.km <sup>2</sup> )
Jänner	19,010	32	9,1	12,340	34	5,9
Februar	16,690	28	7,9	11,890	33	5,7
März	19,720	33	9,4	12,480	34	5,9
April	29,460	50	14,0	19,690	54	9,4
Mai	87,770	149	41,8	42,620	118	20,3
Juni	135,500	229	64,5	91,860	254	43,8
Juli	125,000	212	59,5	87,340	241	41,6
August	92,380	156	44,0	60,560	167	28,8
September	63,640	108	30,3	38,370	106	18,3
Oktober	56,650	96	27,0	25,960	72	12,4
November	38,300	65	18,2	17,840	49	8,5
Dezember	25,080	42	11,9	13,240	37	6,3
<b>Jahr (Kontrolle)</b>	<b>59,100</b>	<b>100</b>	<b>28,1</b>	<b>36,184</b>	<b>100</b>	<b>17,2</b>
						<b>9,670</b>
						<b>100</b>
						<b>4,6</b>

**Faktor MinMQ/MQ:** 0,61  
**Faktor MinMQJahr/MQ:** 0,83  
**Faktor MaxMQJahr/MQ:** 1,30

**MinMQJahr:** 48,840  
**MaxMQJahr:** 76,640

**Faktor NQT/MNQ:** 0,70

**Nieder- und Mittelwasserkennwerte**

**Nieder- und Mittelwasserkennwerte - Prozentsätze Monat/Jahr**

**Dauerlinie**

Jahr bzw. Vergleichsreihe	Dauer (d)	Grenze (m <sup>3</sup> /s)	q (l/s.km <sup>2</sup> )
1996 - 2005	365	9,000	4,3
	356,3	12,000	5,7
	330,4	16,000	7,6
	292,1	20,000	9,5
	228,2	30,000	14,3
	193,6	40,000	19,0
	144,4	60,000	28,6
	105	80,000	38,1
	69,8	100,000	47,6
	25,9	140,000	66,7
	8	180,000	85,7
	1,3	250,000	119,1

**Dauerlinie**

**Bewertung der Pegelkennwerte:**

Allfällige kleinräumige Zu- und Ableitungen wurden nicht berücksichtigt. Die Werte können je nach Datengrundlage und Betrachtungszeitraum Schwankungen erfahren. Dies ist bei der Verwendung von den Kennwerten zu berücksichtigen.  
 Moser, 27.03.2012

Abb. 169: Kennwertebblatt für Nieder- und Mittelwassermengen; Hydrographischer Dienst Kärnten

Die Abflusskennwerte des betrachteten, unbeobachteten Gewässers ergeben sich dann aus dem Produkt der Abflussspende des Pegels, mal der Einzugsgebietsgröße des unbeobachteten Gewässers. Nachdem die Pegel regional zum Teil doch sehr unterschiedliche Spenden aufweisen und das unbeobachtete Gewässer nicht unbedingt ein gleiches Abflussverhalten, wie der Pegel aufweisen muss, sind Vergleichsmessungen von ein paar Jahren (3-4) sinnvoll. Damit kann eine Ähnlichkeit, oder auch Unterschiede, im Spendenverlauf des Pegels und der betrachteten Gewässerstelle zumindest in diesem Beobachtungszeitraum erkannt werden. Dies wird dann bei der Übertragung der Langzeitdaten des Pegels berücksichtigt.

Daher wird bei der Angabe der Nieder- und Mittelwasserkennwerte auch die zugehörige Qualitätsstufe mit angegeben, um aufzuzeigen, wie gut die Kennwerte abgesichert sind.

Es wird zwischen **4 Stufen der Ermittlung bzw. der Qualität der Kennwerte** unterschieden.

Bei **Stufe 1** werden von einem Pegel der Umgebung die Kennwerte über Abflussspenden ( $l/s.km^2$ ) auf das betreffende Gewässer / die Gewässerstelle direkt übertragen.

Für Stellen in der Nähe des Pegels kann diese Stufe der Ermittlung bereits eine ausreichend gute Qualität der Kennwerte liefern. Für Gewässerstellen weit abseits des Pegels oder an anderen Gewässern hat diese Form der Ermittlung nur theoretische Bedeutung.

**Stufe 2** berücksichtigt die Kennwerte von mehreren Pegeln in der Umgebung der betrachteten Gewässerstelle (regionale Betrachtung und Festlegung).

Bei **Stufe 3** werden die Ergebnisse einzelner Vergleichsmessungen in Bezug zu einem Pegel berücksichtigt, wie zum Beispiel Niedermessungen. Bei **Stufe 4** werden zeitgleiche, kontinuierliche Vergleichsmessungen an der beabsichtigten Gewässerstelle und einem Vergleichspegel ausgewertet (3 – 4 Jahre) und im Bezug zur Langzeitbeobachtung des Pegels eingeordnet.

Die Stufe 4 liefert die beste Qualität von Kennwerten für Gewässer abseits von Pegeln, da Messdaten und Langzeitbetrachtungen Berücksichtigung finden.

**Hochwasser:** Hochwasser und die damit verbundenen Überschwemmungen und Zerstörungen gehören nahezu zum Alltag. Es vergehen kaum Wochen, ohne dass weltweit von Überschwemmungen und in der Folge von Verletzten und Toten in den Medien berichtet wird.

Die subjektive Wahrnehmung von Hochwasserereignissen nimmt durch die zunehmende, intensive mediale Berichterstattung zu. Je mehr man von Hochwasserereignissen hört, umso mehr hat man scheinbar das Gefühl, dass Überschwemmungen zunehmen. Ist das auch tatsächlich so? Die Häufigkeit des Auftretens von Hochwässern mit Überschwemmungen ist eine sehr drängende Frage. Wie häufig treten Hochwässer auf und wie häufig sind Überschwemmungen für die Betroffenen annehmbar? Sehr seltene Hochwässer sind nach einigen Jahren wieder überwunden. Häufig wiederkehrende Hochwässer (zum Bsp. alle 10 Jahre) werden zur dauernden Plage und Belastung, sodass Schutzmaßnahmen notwendig werden.

Welche Schäden und Wiederherstellungskosten sind mit Hochwässern verbunden? Welche rechtlichen, katastrophenschutzrelevanten, schutzwasserwirtschaftlichen und raumplanerischen Konsequenzen sind mit damit verbunden? Der Begriff „Hochwässer mit



Überschwemmungen“ wurde gewählt, da viele Hochwässer dort wo durch Schutzmaßnahmen und Regulierungen keine Überschwemmungen mehr auftreten, subjektiv nicht mehr als so bedrohend wahrgenommen werden. Erst der Schadensfall erweckt die große Aufmerksamkeit in der Öffentlichkeit.

Möchte man dem Thema objektiv begegnen, so ist der Begriff „Häufigkeit von Hochwässern“ doch etwas genauer zu definieren. Ansonsten läuft man Gefahr, sich zu sehr in subjektiven Wahrnehmungen und Interpretationen zu verstricken, die womöglich die tatsächliche, örtliche Situation nicht richtig wiedergeben.

Dabei ist zuerst der Fokus der Betrachtung von wesentlicher Bedeutung. Welches Gebiet betrachte ich, wenn ich die Häufigkeit von Hochwässern beurteile? Ist es das Hochwassergeschehen in Europa, Österreich, Kärnten oder ein bestimmter Bach im Liesertal? Je größer der räumliche Fokus, umso mehr aufgetretene Hochwässer kann man an verschiedenen Gewässern (Flüssen, Bächen, ...) beobachten.

Das Wiederkehrintervall von Hochwässern einer bestimmten Größe, zum Bsp. ein Jahrhundertereignis ( $HQ_{100}$ ), ist jedoch auf ein bestimmtes Gewässer bezogen und nicht auf die gesamten Gewässer einer Region. Die statistische Auswertung der Hochwässer basiert auf der Beobachtung von Hochwässern an Pegeln. Je länger ein Gewässer mit einer Pegelmesseinrichtung beobachtet wird, umso besser wird die statistische Aussagekraft über das Hochwassergeschehen eines Gewässers. Doch kann auch eine sehr lange Beobachtungsdauer (zum Bsp. über 50 Jahren) zu Fehleinschätzungen führen. Warum?

Es liegt per Definition in der Natur der Sache, dass Extremereignisse mit kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit an einer bestimmten Gewässerstelle selten stattfinden. Hochwässer hängen natürlich vorwiegend von Niederschlagsereignissen ab, welche je nach Regenmenge, Regenintensität, räumlicher und zeitlicher Ausdehnung der Ereignisse unterschiedlichste Abflussreaktionen in den Gewässern verursachen.

Bei Schutzbauten oder in der Raumplanung interessiert uns sehr häufig das hundert jährliche Hochwasser, also ein Hochwasser, das statistisch gesehen durchschnittlich einmal in hundert Jahren an diesem Gewässer auftritt. Beobachtet man zum Beispiel 50 Jahre lang die Hochwässer an einem Pegel, so wird in der Regel das größte Hochwasser eines jeden Jahres ermittelt und zu einem Hochwasserjahreskollektiv (Jahresreihe) zusammengestellt, das dann statistisch ausgewertet wird.

In 50 Jahren werden 50 Jahreshochwässer mit unterschiedlichsten Spitzenabflüssen registriert. Viele kleine Hochwässer, weniger häufig größere Hochwässer und ganz selten ganz große. Eines in diesen 50 Jahren wird das größte sein, das eben nur 1 Mal in diesen 50 Jahren aufgetreten ist. Man kann diesem Hochwasser in dieser Zeitperiode die empirische Jährlichkeit von etwa 50 Jahren zuordnen. Das muss jedoch nicht heißen, dass in den nächsten 50 Jahren der Beobachtung ein ähnliches Hochwasserverhalten auftreten wird, wie in den beobachteten 50 Jahren zuvor. Es gibt auch immer wieder Dekaden mit größeren Niederschlagsmengen, oder trockenere. Man spricht dann, im Falle eines unterschiedlichen Verhaltens, von einem nicht repräsentativen Hochwasserkollektiv. Statistisch ausgedrückt beschreibt die Stichprobe nicht die Grundgesamtheit.

Daher kommt es bei der statistischen Interpretation von Hochwässern immer wieder zu Fehleinschätzungen, die erst im Laufe der Zeit mit längerem Aufzeichnungszeitraum und der

Beobachtung von sehr großen Hochwässern sichtbar werden. Um diese Unsicherheiten auch zu vermitteln, werden zusätzlich zu den statistischen Extrapolationen, zum Beispiel die Berechnung des Erwartungswertes für die Jährlichkeit 100, auch die statistischen Vertrauensbereiche mit angegeben. Ist das Kollektiv überhaupt nicht repräsentativ, so kann es auch vorkommen, dass selbst die statistische Unsicherheit – der Schwankungsbereich – falsch eingeschätzt wird.

Wie kann man diese statistischen Unsicherheiten und Fehleinschätzungen minimieren?

Am besten, indem man möglichst viele Gewässer mit Pegelaufzeichnungen in der Umgebung, in der Region, oder sogar überregional, auswertet, hydrologische Gebietseigenschaften, Prozess- und Ereigniszusammenhänge bzw. Unterschiede herausarbeitet, die Gewässer zueinander vergleicht, um damit umfangreiche, regionale hydrologische Kenntnisse über Hochwässer in einer Region zu erhalten.

Von der Hochwasserabflussstatistik, der Regionalisierung und Informationserweiterung bis zur Niederschlag- Abfluss Modellierung reicht dabei die Palette an hydrologischen Verfahren zur Ermittlung von Hochwasserkennwerten.

## Wozu braucht man Abflusskennwerte?

Die Kennwerte werden vorwiegend zur Bemessung von wasserwirtschaftlichen Anlagen herangezogen, aber auch um damit ökologische, landwirtschaftliche, katastrophenschutz- und umweltrelevante Fragestellungen qualifiziert beantworten zu können.

**Nieder- und Mittelwasserkennwerte:** Nieder- und Mittelwasserkennwerte werden zur Bemessung von Wasserkraftanlagen, Bewässerungen, Wasserentnahmen, Trinkwasserversorgungen etc. benötigt. Zum Beispiel wird zur Festlegung der Pflichtwassermenge, die gemäß der Qualitätszielverordnung bei Entnahmen im Gewässer verbleiben muss, zumeist das NQT (kleinstes Niederwasser der Tagesmittel) herangezogen.

**Hochwasserkennwerte:** Hochwasserkennwerte sind in der Regel zur Bemessung von Hochwasserschutzbauten und zur Erstellung von Gefahrenzonenplänen und Überflutungsbereichen erforderlich. Flussregulierungen werden häufig auf ein hundert jährliches Hochwasser ausgebaut (Abb. 170:). Wenn bei beengten Verhältnissen ein Ausbau in dieser Größenordnung nicht möglich ist, kann ein geringerer Schutz auch zur Ausführung kommen (zum Bsp. HQ<sub>30</sub>). Auch Hochwasserrückhaltebecken werden auf der Basis dieser Werte bemessen und gebaut (Abb. 171:).

Bauwerke im und am Gewässer dürfen den Hochwasserabfluss nicht beeinträchtigen bzw. müssen in der Lage sein den Hochwasserabfluss, ohne Schäden zu verursachen, abzuführen. Dies betrifft insbesondere die Wasserkraftwerke. Die Wehre bzw. sogenannte Hochwasserentlastungsanlagen müssen so dimensioniert sein, dass sie in der Lage sind, ein 100- jährliches bzw. bei größeren Kraftwerken sogar das 5000- jährliche Hochwasserereignis schadlos abführen zu können (Abb. 172:).



Abb. 170: Hochwasserschutzmaßnahmen an der Drau in Sachsenburg. Bild links: vor der Maßnahme. Bild rechts: Naturnahe Schutzmaßnahmen durch Aufweitungen und Dämme (Schutzwasserwirtschaft Kärnten)



Abb. 171: Hochwasserrückhaltebecken Zollfeld (simulierte Hochwassersituation). Nur eine begrenzte Wassermenge fließt unmittelbar durch das Entlastungsbauwerk flussab. Ein großer Teil der Hochwasserwelle wird im Becken retendiert und kommt später zum Abfluss.



Abb. 172: Verbund Kraftwerk Feistritz im Rosental; Hochwasserentlastung in Betrieb

## 7.2.1 Niederwasserkennwerte (NQ)

Die Ermittlung der Niederwasserkennwerte erfolgt in der Regel über die regionalen Niederwasserabflusspenden, die aus Pegelaufzeichnungen ausgewertet werden. Ein wesentlicher Kennwert zur Bestimmung der Pflichtwassermenge ist das **NQ<sub>T</sub>** (= kleinstes Tagesmittel in einer Abflussreihe in einem bestimmten Zeitabschnitt). In Tabelle 1 sind die regionalen Jahres-Niederwasserspenden von Gewässern mit Pegelaufzeichnungen in Kärnten dargestellt. Mit der Spende ist es möglich sämtliche Niederwasserkennwerte eines unbeobachteten Gewässers bei Kenntnis der Einzugsgebietsgröße und in Bezug zu einem Pegel in der Umgebung, „theoretisch“ zu berechnen. Das niederste Niederwasser **NNQ** ist die kleinste gemessene Abflussmenge in einem bestimmten Zeitabschnitt.

**Beispiel:** Gesucht das kleinste Tagesmittel in einer Abflussreihe (NQ<sub>T</sub>) für den Zirknitzenbach bei Bad Klein Kirchheim an der geplanten Entnahmestelle.

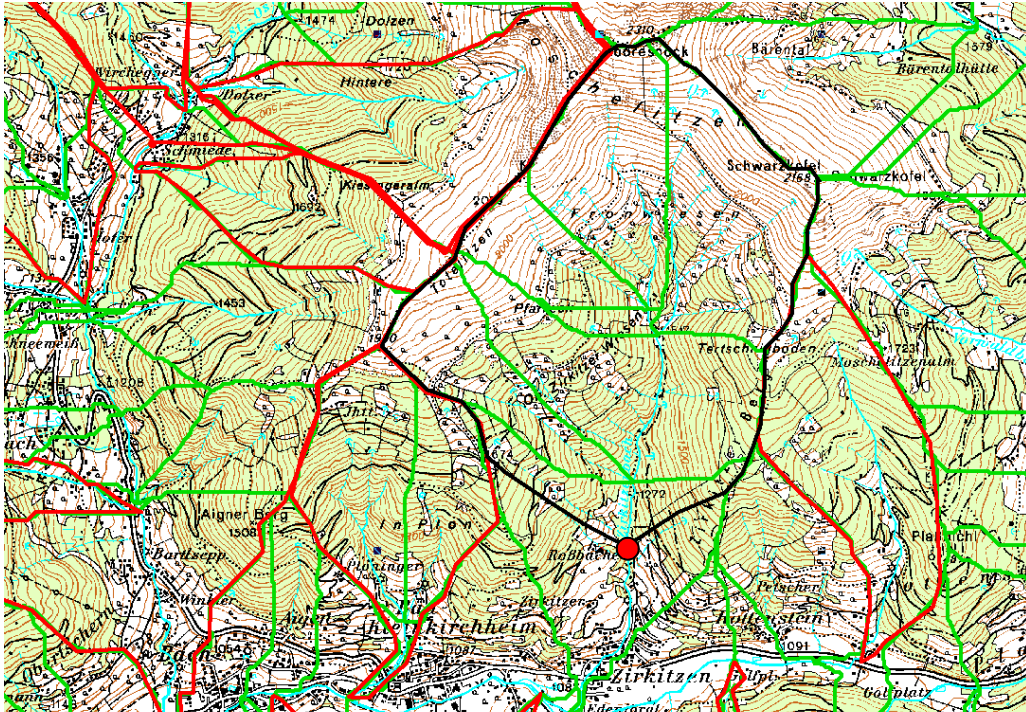


Abb. 173: Einzugsgebiet Zirknitzenbach bei Bad Kleinkirchheim

Ermitteltes Einzugsgebiet: 6,1 km<sup>2</sup>

Nq<sub>T</sub> Spende des nahegelegenen Pegels Alte Schmiede am St Oswalderbach (siehe Tab 1)

Nq<sub>T</sub> = 3,26 l/s.km<sup>2</sup>

NQ<sub>T</sub> = Nq<sub>T</sub> \* E

NQ<sub>T</sub> = 6,1 \* 3,26 = 19,8 l/s (direkte Übertragung der Abflussspende des St. Oswalder Baches als erster Schritt; im erweiterten Ermittlungsverfahren würden zusätzliche Vergleichsmessreihen (3-4Jahre) die Qualität des NQ<sub>T</sub> deutlich verbessern. Zusätzlich sind auch die Monatsniederwassermengen von Interesse)

Tab 1: NQT, NNQ – Abflussmengen und - spenden an den Gewässern mit Pegelbeobachtung

<b>Niederwasserabflüsse (Jahreswerte; Regelreihe 1981 - 2010)</b>							
<b>Drau:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Reihe	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Oberdrauburg/Drau	212324	1981-2010	2099,90	7,540	3,59	8,660	4,12
Irschen/Mödrtschbach	212340	1976-2005	6,90	0,021	3,04	0,021	3,04
Kaser Wiesel/Gnoppnitzbach	213553	1992-2012	23,80	0,073	3,07	0,109	4,58
Sachsenburg/Drau	212357	1981-2010	2453,90	13,250	5,40	14,150	5,77
Amlach/Drau	213215	1981-2010	4713,50	21,140	4,48	25,440	5,40
Gassen/Weissenbach	213454	1994-2012	153,40	0,449	2,93	0,969	6,32
<b>Möll:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Ranigossbrücke/Möll		1976-2005	10,50	0,035	3,33	0,042	4,00
Winklern/Möll	212373	1981-2010	281,80	0,963	3,42	1,350	4,79
Flattach/Möll	213124	1984-2010	664,50	0,325	0,49	2,720	4,09
Mallnitz/Mallnitzbach	212381	1982-2010	85,30	0,410	4,81	0,415	4,87
Jamnigalm/Tauembach	213546	2002-2010	10,23	0,013	1,27	0,013	1,27
Zandlacher Hütte / Riekenbach	213447	2002-2012	11,00	0,043	3,91	0,043	3,91
<b>Lieser:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Gries/Lieser	213207	1987-2010	45,20	0,164	3,63	0,196	4,34
Gmünd/Lieser	212431	1981-2010	348,80	0,643	1,84	1,410	4,04
Ochsenhütte/Hochalmbach	212456	1981-2010	9,30	0,006	0,65	0,008	0,86
Pfängelhof/Malta	212472	1981-2010	38,00	0,008	0,21	0,032	0,84
Sandriesen/Malta	212498	1981-2010	148,70	0,128	0,86	0,523	3,52
Alte Schmiede/St. Oswalderbach	213686	1998-2012	13,50	0,052	3,85	0,058	4,30
Döbriach/Rieger Bach	213181	1978-2005	188,80	0,287	1,52	0,592	3,14
Seebrücke/Millstätterbach	212522	1981-2010	286,30	1,080	3,77	1,090	3,81
Spittal a.d. Drau/Fasan Lieser	212530	1981-2010	905,20	1,990	2,20	3,480	3,84
<b>Ossiachersee:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Himmelberg/Tiebel	213462	1989-2010	40,00	0,208	5,20	0,475	11,88
Sonnberg/Tiebel	213231	1981-2010	91,10	0,013	0,13	0,654	7,18
Urlaken/Ossiacher Seebach	212597	1981-2010	169,70	0,049	0,29	0,262	1,54
Töbring/Treffner Bach	213116	1981-2010	140,10	0,022	0,16	0,322	2,30
<b>Gail:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Maria Luggau/Gail	212613	1981-2010	146,10	0,445	3,05	0,493	3,37
Wiesen/Radigunder Bach	212621	1956-1965	22,60	0,300	13,27	0,300	13,27
Mauthen/Gail	212647	1981-2010	348,60	0,563	1,62	1,280	3,67
Welsche Tratte /Angerbach	212696	1991-2010	7,50	0,018	2,40	0,022	2,93
Rattendorf/Gail	212670	1981-2010	594,90	2,880	4,84	3,040	5,11
Kelag/Oselitzenbach	212688	1967-1983	24,10	0,070	2,90	0,094	3,90
Neudorf/Gösseringbach	212704	1981-2010	75,20	0,295	3,92	0,478	6,36
Nötsch/Gail	212753	1981-2010	908,50	4,750	5,23	4,780	5,26
Thörl/Gailitz	212761	1981-2010	188,00	0,250	1,33	0,421	2,24
Federaun/Gail	212787	1981-2010	1304,90	8,750	6,71	9,970	7,64
Faaker Seebach	213736	1996-2010	36,50	0,038	1,04	0,038	1,04
<b>Vellach:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Windisch Bleiburg/Bodenbach	212829	1976-2005	20,70	0,050	2,42	0,070	3,38
Tscheppaschlucht/Loiblach	212837	1981-2010	44,00	0,212	4,82	0,228	5,18
Miklauzhof/Vellach	212852	1981-2010	194,30	0,374	1,92	1,410	7,26
Bad Eisenkappel/Ebriachbach	213611	2002-2010	69,50	0,143	2,06	0,371	5,34
Luscha/Globasnitzbach	213512	2002-2010	12,30	0,073	5,93	0,073	5,93
Aich/Bleiburger Feistritzbach	213439	2002-2012	101,10	0,080	0,79	0,105	1,04
Freistritz ob Bleiburg /Feistritzbach	00984	2004-2012	8,60	0,110	12,79	0,126	14,65
Loibach/Loibach	213520	2002-2011	21,30	0,001	0,05	0,012	0,56

Abflusskennwerte - NIEDERWASSERKENNWERTE (NQ)

<b>Gurk:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Maitratten/Gurk	212860	1981-2010	201,40	0,402	2,00	0,530	2,63
Urschwirtbrücke/Gurk	212878	1981-2010	230,30	0,462	2,01	0,516	2,24
Weitensfeld/Gurk	212886	1981-2010	431,80	0,279	0,65	0,598	1,38
Guldendorf/Olsabach	213405	1994-2010	161,80	0,227	1,40	0,435	2,69
Grades/Metnitz	213306	1982-2010	144,60	0,209	1,45	0,258	1,78
Hirt/Metnitz	212894	1993-2010	469,40	0,287	0,61	1,250	2,66
Möbling/Gurk	213397	1993-2010	1061,00	0,255	0,24	2,520	2,38
Passering/Silberbach	213355	1988-2010	72,80	0,047	0,65	0,093	1,28
Launsdorf/Gurk	213157	1981-2010	1243,10	1,300	1,05	2,930	2,36
Mühlen	213777	1998-2008	37,50	0,110	2,93	0,112	2,99
Hüttenberg/Görtschitz	212928	1981-2010	130,30	0,294	2,26	0,466	3,58
Brückl/Görtschitz	212936	1981-2010	315,60	0,771	2,44	1,100	3,49
Gumisch/Gurk	213041	1981-2010	2555,40	7,820	3,06	8,850	3,46
<b>Glan:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Dellach/Glan	213470	2000-2006	5,20	0,008	1,54	0,008	1,54
Mautbrücken/Glan	213322	1984-2010	87,20	0,044	0,50	0,111	1,27
Wimitz/Wimitz	213249	1981-2010	68,00	0,068	1,00	0,167	2,46
Breitenstein/Wimitz	213256	1981-2010	106,50	0,138	1,30	0,282	2,65
Zollfeld/Glan	212951	1981-2010	432,30	0,706	1,63	0,712	1,65
Wölfnitz/Moosburgerbach	213330	1984-2010	57,40	0,013	0,23	0,015	0,26
Pörtschach/Mühlbach	213785	1998-2012	4,90	0,008	1,63	0,008	1,63
Reifnitz/Reifnitzbach	213496	1997-2010	33,20	0,028	0,84	0,041	1,23
Viktring/Viktringer Bach	213009	1995-2007	14,60	0,005	0,34	0,005	0,34
Stein/Steinerbach	213017	1981-2010	19,200	0,007	0,36	0,009	0,47
Weinländer/Glanfurt	213025	1981-2010	201,30	0,055	0,27	0,124	0,62
Zell/Glan	213033	1981-2010	817,90	2,180	2,67	2,490	3,04
<b>Wurlabach:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Völkermarkt/Wurlabach	213504	1993-2010	49,80	0,087	1,75	0,094	1,89
Kaunz/Wölfnitzbach	213389	1988-2010	28,10	0,013	0,46	0,080	2,85
Diex/Haimburger Bach	213751	1998-2010	13,20	0,013	0,98	0,017	1,29
<b>Lavant:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	NNQ (m <sup>3</sup> /s)	nnq (l/s.km <sup>2</sup> )	NQt (m <sup>3</sup> /s)	Nqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Bad St. Leonhard/Lavant	213363	1993-2010	200,60	0,556	2,77	0,799	3,98
Waldensteiner Bach	213538	1998-2010	101,00	0,238	2,36	0,402	3,98
St. Gertraud/Lavant	213082	1976-2005	380,20	0,639	1,68	1,050	2,76
St. Jakob/Weissenbach	213314	1983-2010	55,90	0,096	1,72	0,129	2,31
Fischering/Lavant	213371	1989-2010	715,60	1,290	1,80	1,820	2,54
Krottendorf/Lavant	213090	1981-2010	954,50	2,790	2,92	2,810	2,94
St. Vinzenz/Feistritzbach	211938	1993-2007	14,50	0,063	4,34	0,076	5,24
St. Vinzenz/Schwarzenbach	211946	1993-2007	6,40	0,042	6,56	0,053	8,28

**Weitere Niederwasser-Begriffe:**

Dauer ... Auswertungszeitraum, auf den sich die Kennwerte beziehen

EZG<sub>w</sub> ... wirksames Einzugsgebiet des Pegels

MJNQT .. Mittlere jährliche Niederwassermenge der Tagesmittel (m<sup>3</sup>/s)

mjnqT ... Spende der mittleren jährlichen Niederwassermenge der Tagesmittel (l/s.km<sup>2</sup>)

(Die mittlere jährliche Niederwassermenge der Tagesmittel ergibt sich aus dem Mittel der kleinsten Niederwassertagesmittelabflüsse der einzelnen Jahre der Periode)

MJNQ .. Mittlere jährliche Niederwassermenge (m<sup>3</sup>/s)

Mjnq ... Spende der mittleren jährlichen Niederwassermenge (l/s.km<sup>2</sup>)

(Die mittlere jährliche Niederwassermenge ergibt sich aus dem Mittel der kleinsten Niederwasserabflüsse der einzelnen Jahre der Periode)

Tab 2: MJNQ<sub>T</sub>; MJNQ – Abflussmengen und -spenden an den Gewässern mit Pegelbeobachtung:

**Mittlere Niederwasserabflüsse MJNQ und MJNQ<sub>T</sub> (Jahreswerte; Regelreihe 1981-2010)**

<b>Drau:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Oberdrauburg/Drau	212324	1981-2010	2099,90	10,720	5,11	13,500	6,43
Irschen/Mödrtschbach	212340	1976-2005	6,90	0,051	7,39	0,053	7,68
Kaser Wiesel/Gnoppritzbach	213553	1992-2012	23,80	0,160	6,72	0,182	7,65
Sachsenburg/Drau	212357	1981-2010	2453,90	17,090	6,96	18,750	7,64
Amlach/Drau	213215	1981-2010	4713,50	27,890	5,92	34,110	7,24
Gassen/Weissenbach	213454	1994-2012	153,40	0,838	5,46	1,230	8,02
<b>Möll:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Ranigossbrücke/Möll		1976-2005	10,50	0,071	6,76	0,077	7,33
Winklern/Möll	212373	1981-2010	281,80	1,690	6,00	1,990	7,06
Flattach/Möll	213124	1984-2010	664,50	1,910	2,87	4,080	6,14
Mallnitz/Mallnitzbach	212381	1982-2010	85,30	0,599	7,02	0,626	7,34
Jamnigalm/Tauernbach	213546	2002-2010	10,23	0,086	8,41	0,093	9,09
Zandlacher Hütte / Riekenbach	213447	2002-2012	11,00	0,069	6,27	0,075	6,82
<b>Lieser:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Gries/Lieser	213207	1987-2010	45,20	0,326	7,21	0,349	7,72
Gmünd/Lieser	212431	1981-2010	348,80	1,390	3,99	2,070	5,93
Ochsenhütte/Hochalmbach	212456	1981-2010	9,30	0,028	3,01	0,031	3,33
Pflügelhof/Malta	212472	1981-2010	38,00	0,129	3,39	0,142	3,74
Sandriesen/Malta	212498	1981-2010	148,70	0,750	5,04	1,010	6,79
Alte Schmiede/St.Oswalderbach	213686	1998-2012	13,50	0,067	4,96	0,071	5,26
Döbriach/Rieger Bach	213181	1978-2005	188,80	0,776	4,11	1,000	5,30
Seebücke/Millstätterbach	212522	1981-2010	286,30	1,620	5,66	1,650	5,76
Spittal a.d. Drau/Fasan Lieser	212530	1981-2010	905,20	4,410	4,87	5,200	5,74
<b>Ossiachersee:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Himmelberg/Tiebel	213462	1989-2010	40,00	0,407	10,18	0,690	17,25
Sonnberg/Tiebel	213231	1981-2010	91,10	0,364	4,00	0,999	10,97
Urlaken/Ossiacher Seebach	212597	1981-2010	169,70	1,450	8,54	1,490	8,78
Töbring/Treffner Bach	213116	1981-2010	140,10	0,361	2,58	0,594	4,24
<b>Gail:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Maria Luggau/Gail	212613	1981-2010	146,10	0,969	6,63	1,100	7,53
Wiesen/Radigunder Bach	212621	1956-1965	22,60	0,361	15,97	0,361	15,97
Mauthen/Gail	212647	1981-2010	348,60	2,030	5,82	2,650	7,60
Welsche Tratte /Angerbach	212696	1991-2010	7,50	0,076	10,13	0,087	11,60
Rattendorf/Gail	212670	1981-2010	594,90	4,880	8,20	5,140	8,64
Kelag/Oselitzenbach	212688	1967-1983	24,10	0,116	4,81	0,129	5,35
Neudorf/Gösseringbach	212704	1981-2010	75,20	0,528	7,02	0,733	9,75
Nötsch/Gail	212753	1981-2010	908,50	9,440	10,39	9,730	10,71
Thörl/Gailitz	212761	1981-2010	188,00	1,250	6,65	2,410	12,82
Federaun/Gail	212787	1981-2010	1304,90	11,720	8,98	15,010	11,50
Faaker Seebach	213736	1996-2010	36,50	0,137	3,75	0,140	3,84
<b>Vellach:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	mjnq <sub>t</sub> (l/s.km <sup>2</sup> )
Windisch Bleiberg/Bodenbach	212829	1976-2005	20,70	0,134	6,47	0,144	6,96
Tscheppaschlucht/Loiblbach	212837	1981-2010	44,00	0,682	15,50	0,765	17,39
Miklauhof/Vellach	212852	1981-2010	194,30	1,480	7,62	1,950	10,04
Bad Eisenkappel/Ebriachbach	213611	2002-2010	69,50	0,268	3,86	0,647	9,31
Luscha/Globasnitzbach	213512	2002-2009	12,30	0,101	8,21	0,104	8,46
Aich/Bleiburger Feistritzbach	213439	2002-2012	101,10	0,231	2,28	0,251	2,48
Feistritz ob Bleiburg / Feistritzba	00984	2004-2012	8,60	0,159	18,49	0,171	19,88
Loibach/Loibach	213520	2002-2011	21,30	0,027	1,27	0,039	1,83



<b>Gurk:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m3)	mjnqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Maitratten/Gurk	212860	1981-2010	201,40	0,755	3,75	0,925	4,59
Urschwirtbrücke/Gurk	212878	1981-2010	230,30	0,832	3,61	0,941	4,09
Weitensfeld/Gurk	212886	1981-2010	431,80	0,953	2,21	1,440	3,33
Guldendorf/Olsabach	213405	1994-2010	161,80	0,385	2,38	0,723	4,47
Grades/Metnitz	213306	1982-2010	144,60	0,496	3,43	0,649	4,49
Hirt/Metnitz	212894	1993-2010	469,40	1,040	2,22	1,950	4,15
Möbling/Gurk	213397	1993-2010	1061,00	1,510	1,42	4,410	4,16
Passering/Silberbach	213355	1988-2010	72,80	0,119	1,63	0,158	2,17
Launsdorf/Gurk	213157	1981-2010	1243,10	2,190	1,76	5,050	4,06
Mühlen	213777	1998-2008	37,50	0,164	4,37	0,191	5,09
Hüttenberg/Görtschitz	212928	1981-2010	130,30	0,586	4,50	0,733	5,63
Brückl/Görtschitz	212936	1981-2010	315,60	1,160	3,68	1,670	5,29
Gumisch/Gurk	213041	1981-2010	2555,40	11,630	4,55	12,870	5,04
<b>Glan:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m3)	mjnqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Dellach/Glan	213470	2000-2006	5,20	0,013	2,50	0,013	2,50
Mautbrücken/Glan	213322	1984-2010	87,20	0,180	2,06	0,212	2,43
Wimitz/Wimitz	213249	1981-2010	68,00	0,216	3,18	0,269	3,96
Breitenstein/Wimitz	213256	1981-2010	106,50	0,323	3,03	0,423	3,97
Zollfeld/Glan	212951	1981-2010	432,30	1,480	3,42	1,580	3,65
Wölfnitz/Moosburgerbach	213330	1984-2010	57,40	0,067	1,17	0,084	1,46
Pörtschach/Mühlbach	213785	1998-2012	4,90	0,014	2,86	0,015	3,06
Reifnitz/Reifnitzbach	213496	1997-2010	33,20	0,085	2,56	0,093	2,80
Viktring/Viktringer Bach	213009	1995-2010	14,60	0,013	0,89	0,020	1,37
Stein/Steinerbach	213017	1981-2010	19,200	0,019	0,99	0,042	2,19
Weinländer/Glanfurt	213025	1981-2010	201,30	0,214	1,06	0,594	2,95
Zell/Glan	213033	1981-2010	817,90	3,640	4,45	3,970	4,85
<b>Wurlabach:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m3)	mjnqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Völkermarkt/Wurlabach	213504	1993-2010	49,80	0,161	3,23	0,183	3,67
Kaunz/Wölfnitzbach	213389	1988-2010	28,10	0,087	3,10	0,147	5,23
Diex/Haimburger Bach	213751	1998-2010	13,20	0,059	4,47	0,062	4,70
<b>Lavant:</b>							
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZG <sub>w</sub>	MJNQ (m <sup>3</sup> /s)	mjnq (l/s.km <sup>2</sup> )	MJNQ <sub>t</sub> (m3)	mjnqt (l/s.km <sup>2</sup> )
Bad St.Leonhard/Lavant	213363	1993-2010	200,60	0,778	3,88	0,989	4,93
Waldensteiner Bach	213538	1998-2010	101,00	0,548	5,43	0,705	6,98
St.Gertraud/Lavant	213082	1981-2010	380,20	1,280	3,37	1,860	4,89
St.Jakob/Weissenbach	213314	1983-2010	55,90	0,188	3,36	0,232	4,15
Fischering/Lavant	213371	1989-2010	715,60	2,290	3,20	3,430	4,79
Krottendorf/Lavant	213090	1981-2010	954,50	4,300	4,50	4,990	5,23
St.Vinzenz/Feistritzbach	211938	1993-2010	14,50	0,102	7,03	0,120	8,28
St.Vinzenz/Schwarzenbach	211946	1993-2010	6,40	0,055	8,59	0,068	10,63

## Modellierte Niederwasserabflusspenden

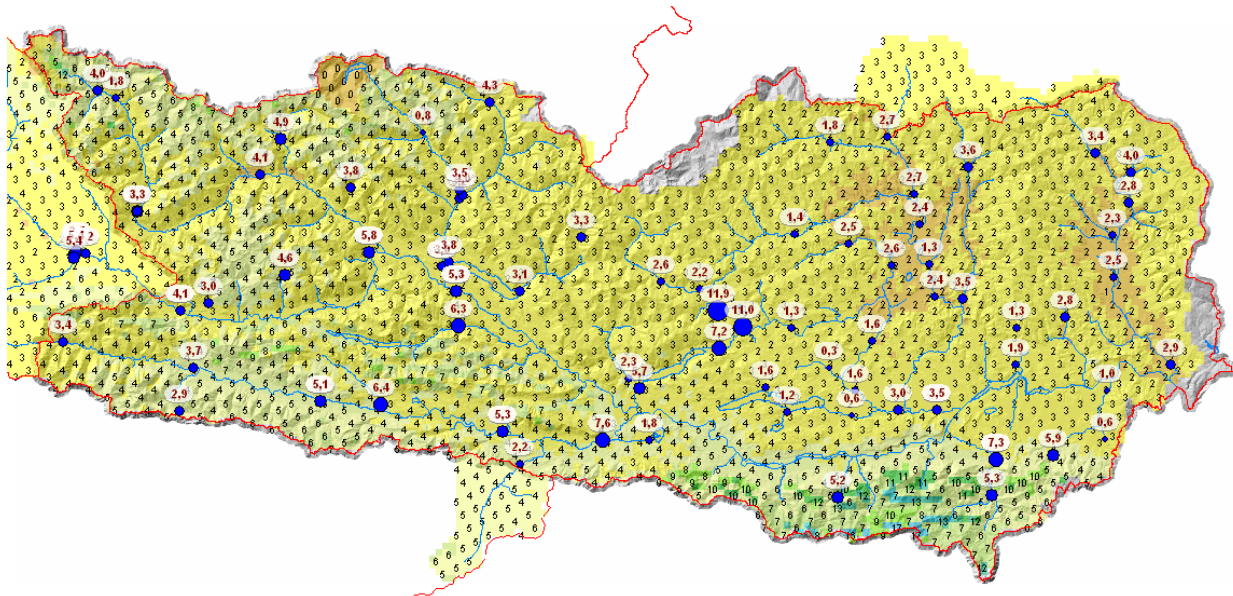
Die folgenden Darstellungen der Niederwasserabflusspenden basieren auf Simulationen mit dem beim HD Kärnten betriebenen Wasserhaushaltsmodell HBV. Das Modell berechnet den Abfluss für jede Berechnungszelle von 1 km<sup>2</sup> Größe und für jeden Zeitschritt von einer Stunde. Berechnungsbeginn ist der 1. Jänner 1990. Ausgewertet wurde der Zeitraum 1.1.1991 bis 1.1.2014. Zusätzlich zu den modellierten Abflusspenden sind in den Grafiken die aus den Messungen rückgerechneten Abflusspenden an den Pegelstellen eingezeichnet.

Gerade die Modellierung von Extremereignissen ist natürlich mit Unsicherheiten behaftet, trotzdem geben die Bilder einen guten Überblick über die Größenordnung der Niederwasserabflusspenden in den einzelnen Landesteilen.

Das Modell umfasst das Einzugsgebiet der Drau ohne die in den Stausee des Maltakraftwerkes entwässernden Flächen.

**Niederste modellierte und gemessene Abflusspenden (NqT)**

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010

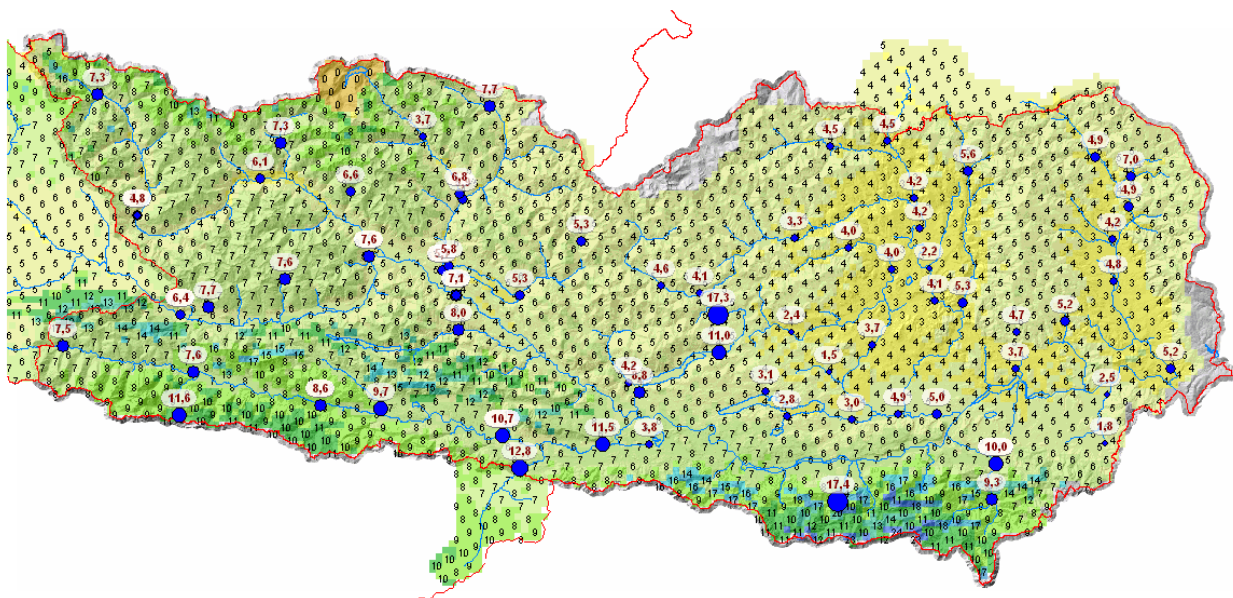


Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 174: Modellierte Niederwasserabflusspenden NqT (l/s.km²)

**Niederste mittlere modellierte und gemessene Abflusspenden (MJNqT)**

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 175: Modellierte mittlere Niederwasserabflusspenden MJNqT (l/s.km²)

Anmerkung: An der Möll sind die an den Pegelstellen gemessenen Abflussspenden teilweise deutlich kleiner als die in der Einzugsgebietsfläche berechneten Werte. Dies rührt von den Ableitungen der Kraftwerke her (Kaprun, Fragant).

Kommt es zu größeren Abflüssen aus dem Einzugsgebiet über das Grundwasser, so ergeben sich natürlich auch größere Differenzen zwischen den flächig berechneten Abflussspenden und den an den Oberflächengewässern gemessenen Werten (zum Bsp. Bleiburger Feistritzbach). Unterschiede zwischen den modellierten und gemessenen Daten fallen auch an der Tiebel auf. Hier wird das unterirdische Abströmen von Wasser aus dem Gurktal zu den Tiebelquellen im Modell nicht berücksichtigt.

## 7.2.2 Mittelwasserkennwerte (MQ)

Ähnlich den Niederwasserkennwerten erfolgt die Berechnung der Mittelwasserkennwerte über die Mittelwasserspende von Pegeln der Umgebung. Vereinfacht kann man die Jahreskennwerte wieder durch die Wahl der Mittelwasserspende von einem oder mehreren Pegeln der Umgebung berechnen.

### **Beispiel:**

Für den Zirknitzenbach ( $E = 6,1 \text{ km}^2$ ) gilt:

$M_q$  Spende des nahegelegenen Pegels Alte Schmiede am St.Oswalderbach (siehe Tab. 2)

$$M_q = 21,48 \text{ l/s.km}^2$$

$$MQ = M_q * E \quad MQ = 21,48 * 6,1 = 131 \text{ l/s}$$

(direkte Übertragung der Abflussspende des St. Oswalder Baches als erster Schritt; im erweiterten Ermittlungsverfahren würden zusätzliche Vergleichsmessreihen (3-4Jahre) die Qualität des MQ deutlich verbessern. Zusätzlich sind die Monatsmittelwassermengen und auch die Dauerlinie der Abflüsse von Interesse)

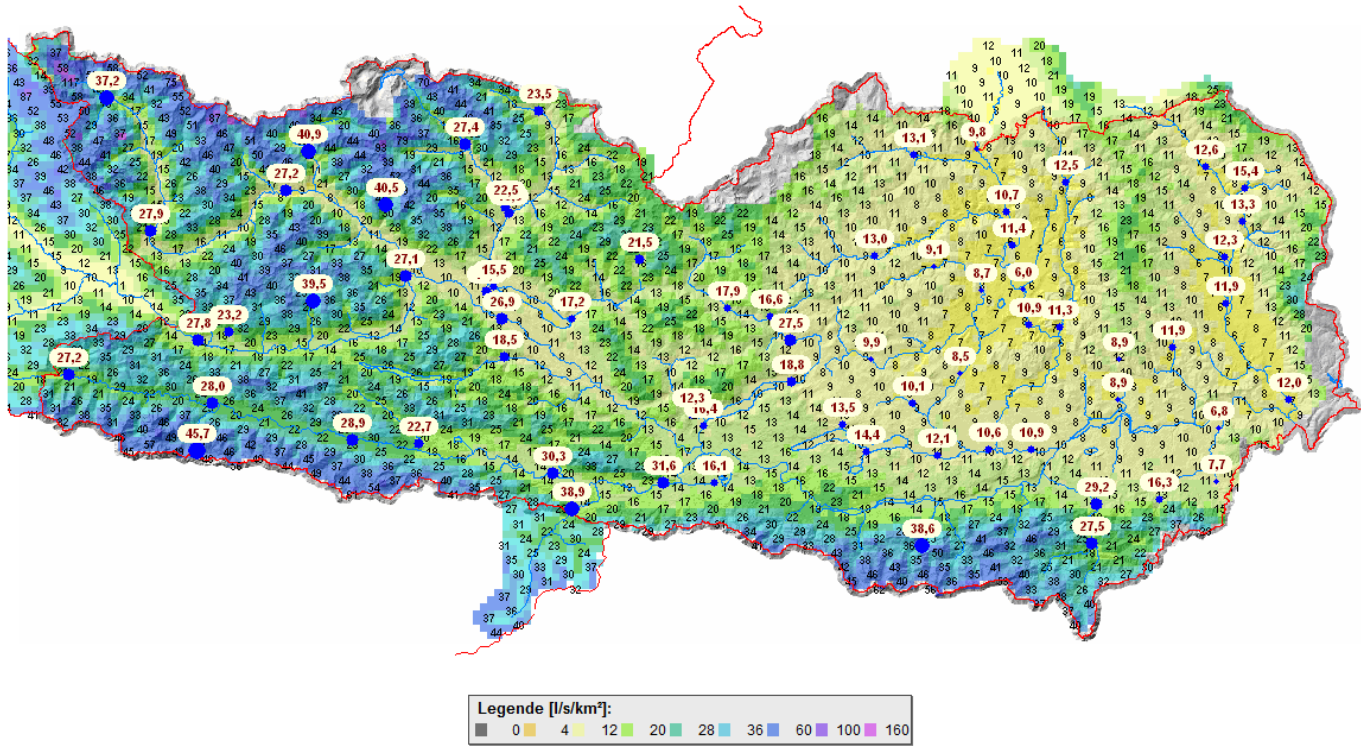
## **Ergänzende Regionalisierungsdaten / Modellberechnungen**

**Auf Basis eines NA Modells des HD Kärnten bilanzierte  $M_q$ -Abflussspenden /  $1 \text{ km}^2$  EZG (für kleine Einzugsgebiete)**

Die in den Diagrammen angegebenen jährlichen Mittelwasserspenden ( $\text{l/s.km}^2$ ) wurden für  $1 \text{ km}^2$  große Flächen aus der Bilanzierung des Wasserdargebots (Niederschlag – Schneefall + Schneeschmelze – Verdunstung) mit dem hydrologischen Modell des Hydrographischen Dienstes Kärnten berechnet. Für größere Einzugsgebiete sind die  $1 \text{ km}^2$ -Spenden flächenanteilmäßig zu mitteln bzw. die Spenden der Pegel zu verwenden.

Modellierte und gemessene mittlere Abflussspenden Mq

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 176: Modellierte und gemessene mittlere Abflussspenden Mq (l/s.km2)

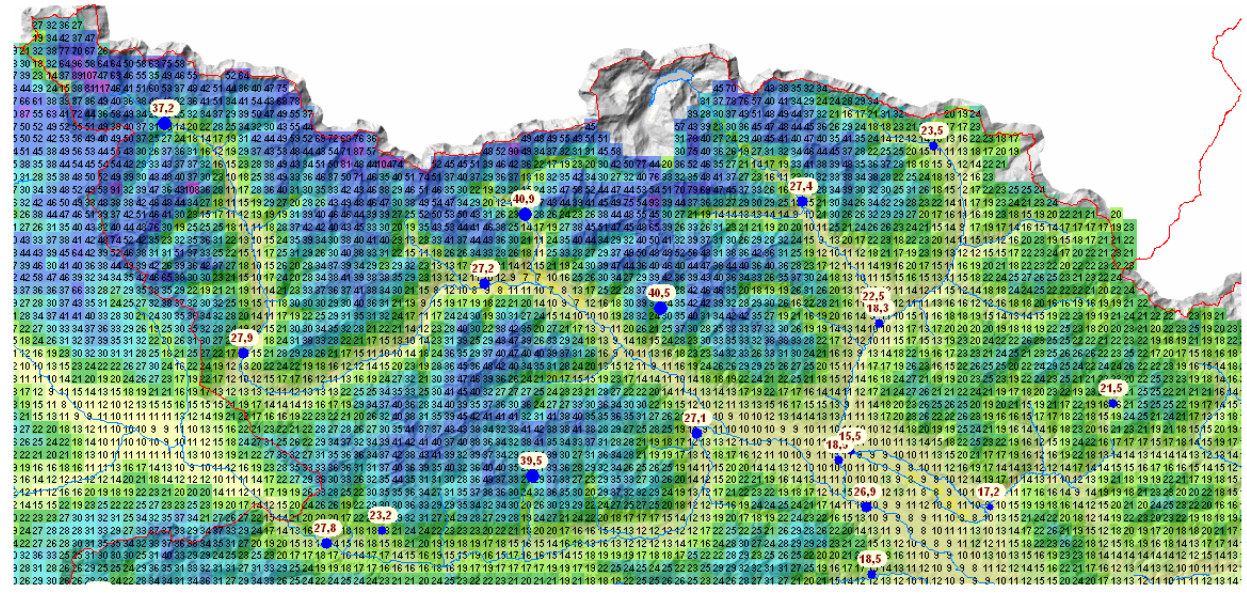
**Anmerkung:** Wie bei den Darstellungen der Niederwasserwerte ist auch hier zu berücksichtigen, dass die in der Fläche entstehenden Abflüsse nicht unbedingt auch im zugehörigen Oberflächengewässer abfließen (zum Bsp. größere Grundwasserabflüsse von Gurk zu Tiebel, Kraftwerksausleitungen im Möllgebiet).

Die auf den folgenden Seiten dargestellten Detailkarten sollen für Gewässer ohne entsprechende Messstellen Anhaltswerte für die mittleren Abflussspenden liefern. Sie können nicht für Detailplanungen notwendige Messungen ersetzen!

Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq

Ausschnitt Nordwest

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



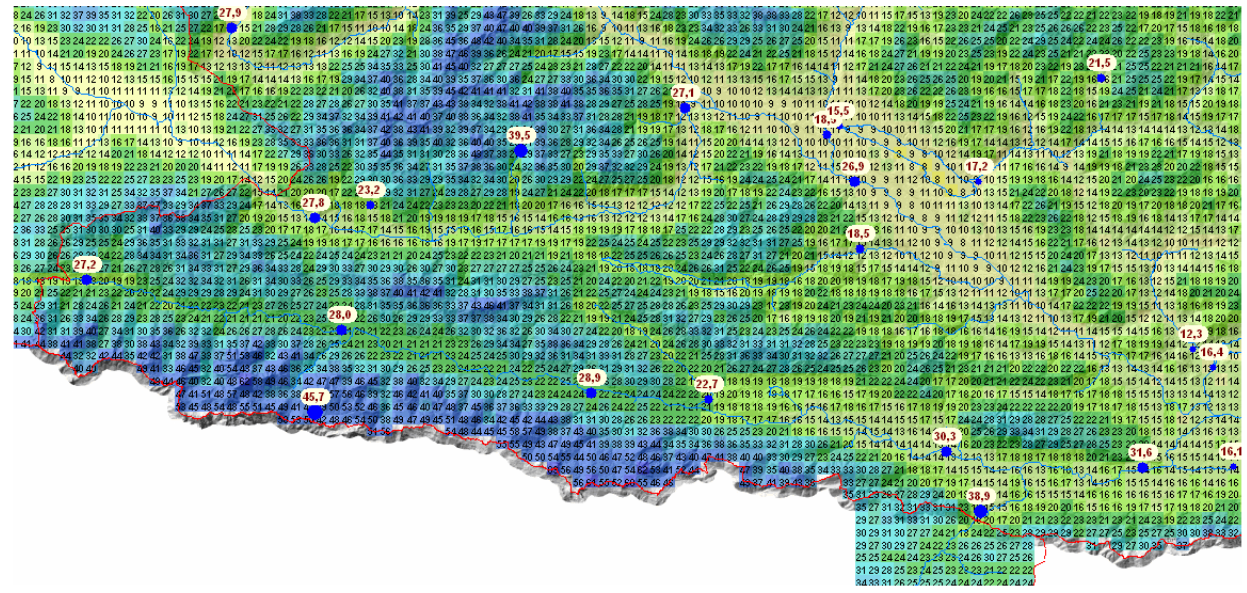
Legende [l/s.km²]:  
 0 4 12 20 28 36 60 100 160  
 Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 177: Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq (l/s.km<sup>2</sup>),  
 Detailausschnitt Kärnten – Nordwest

Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq

Ausschnitt Südwest

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



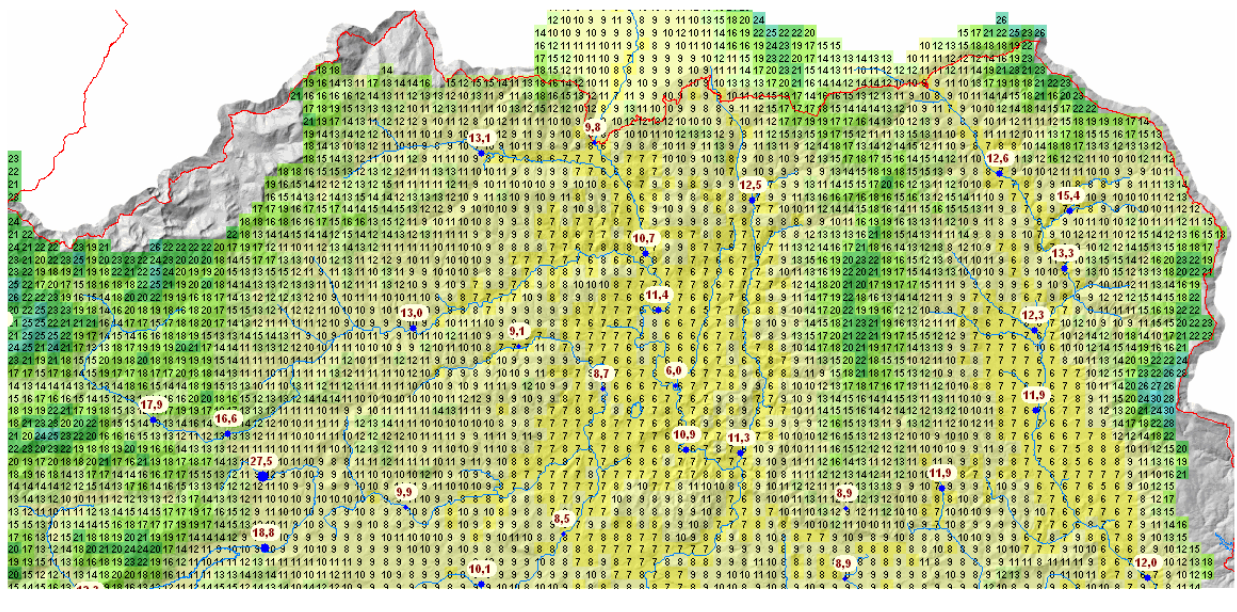
Legende [l/s.km²]:  
 0 4 12 20 28 36 60 100 160  
 Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 178: Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq (l/s.km<sup>2</sup>),  
 Detailausschnitt Kärnten– Südwest

Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq

Ausschnitt Nordost

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



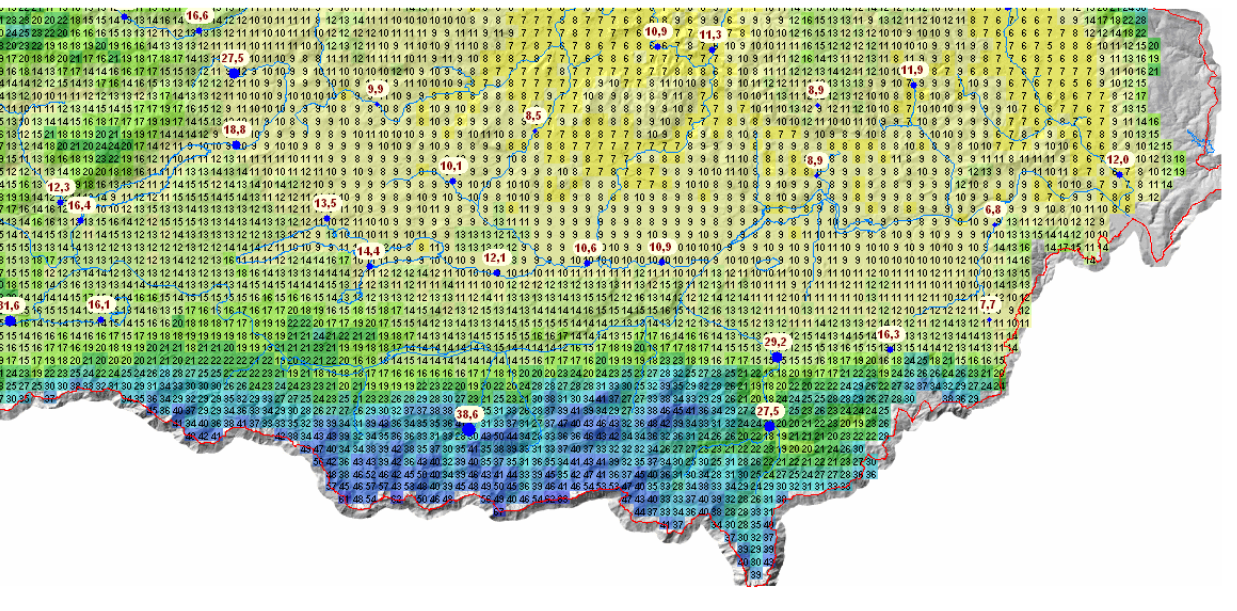
Legende [l/s.km<sup>2</sup>]: 0, 4, 12, 20, 28, 36, 60, 100, 160  
 Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 179: Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq (l/s.km<sup>2</sup>),  
 Detailausschnitt Kärnten – Nordost

Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq

Ausschnitt Südost

Modellierungszeitraum: 1991 - 2013, Messzeitraum: 1981 - 2010



Legende [l/s.km<sup>2</sup>]: 0, 4, 12, 20, 28, 36, 60, 100, 160  
 Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 8 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Abb. 180: Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden Mq (l/s.km<sup>2</sup>),  
 Detailausschnitt Kärnten – Südost

Tab 3: Regionale jährliche Mittelwasserspenden von Gewässern mit Pegelaufzeichnungen:

<b>Mittelwasserabflüsse MQ (Jahreswerte; Regelreihe 1981 - 2010)</b>					
<b>Drau:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Oberdrauburg/Drau	212324	1981-2010	2099,9	58,440	27,83
Irschen/Mödrtschbach	212340	1976-2005	6,9	0,160	23,19
Kaser Wiesel/Gnopnitzbach	213553	1992-2012	23,8	0,940	39,50
Sachsenburg/Drau	212357	1981-2010	2453,9	66,560	27,12
Amlach/Drau	213215	1981-2010	4713,5	126,900	26,92
Gassen/Weissenbach	213454	1994-2012	153,4	2,840	18,51
<b>Möll:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Ranigossbrücke/Möll	212365	1976-2005	10,5	0,391	37,24
Winklem/Möll	212373	1981-2010	281,8	7,860	27,89
Flattach/Möll	213124	1984-2010	664,5	18,050	27,16
Mallnitz/Mallnitzbach	212381	1982-2010	85,3	3,490	40,91
Jamnigalm/Tauernbach	213546	2002-2010	10,23	0,484	47,31
Zandlacher Hütte / Riekenbach	213447	2002-2012	11	0,445	40,45
<b>Lieser:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Gries/Lieser	213207	1987-2010	45,2	1,060	23,45
Gmünd/Lieser	212431	1981-2010	348,8	6,370	18,26
Ochsenhütte/Hochalmbach	212456	1981-2010	9,3	0,694	74,62
Pfögelhof/Malta	212472	1981-2010	38	1,040	27,37
Sandriesen/Malta	212498	1981-2010	148,7	3,350	22,53
Alte Schmiede/St.Oswalder Bach	213686	1998-2012	13,5	0,297	22,00
Döbriach/Rieger Bach	213181	1978-2005	188,8	3,240	17,16
Seebrücke/Millstätterbach	212522	1981-2010	286,3	4,430	15,47
Spittal a.d. Drau/Fasan Lieser	212530	1981-2010	905,2	16,770	18,53
<b>Ossiachersee:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Himmelberg/Tiebel	213462	1989-2010	38,5	1,110	28,83
Sonnberg/Tiebel	213231	1981-2010	91,1	1,710	18,77
Urlaken/Ossiacher Seebach	212597	1981-2010	169,7	2,790	16,44
Töbring/Treffner Bach	213116	1981-2010	140,1	1,730	12,35
<b>Gail:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Maria Luggau/Gail	212613	1981-2010	146,1	3,980	27,24
Wiesen Radigunder Bach	212621	1956-1965	22,6	0,802	35,49
Mauthen/Gail	212647	1981-2010	348,6	9,770	28,03
Welsche Tratte/Angerbach	212696	1991-2010	7,5	0,343	45,73
Rattendorf/Gail	212670	1981-2010	594,9	17,190	28,90
Kelag/Oselitzenbach	212688	1967-1983	24,1	1,200	49,79
Neudorf/Gösseringbach	212704	1981-2010	75,2	1,710	22,74
Nötsch/Gail	212753	1981-2010	908,5	27,490	30,26
Thörl/Gailitz	212761	1981-2010	188	7,310	38,88
Federaun/Gail	212787	1981-2010	1304,9	41,170	31,55
Faak/Faaker Seebach	213736	1996-2010	36,5	0,589	16,14
<b>Vellach:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Windisch Bleiberg/Bodenbach	212829	1976-2005	20,7	0,473	22,85
Tscheppaschlucht/Loiblbach	212837	1981-2010	44	1,700	38,64
Miklauzhof/Vellach	212852	1981-2010	194,3	5,670	29,18
Bad Eisenkappel/Ebriacher Bach	213611	2002-2010	69,5	1,910	27,48
Luscha/Globasnitzbach	213512	2002-2010	12,3	0,201	16,34
Aich/Bleiburger Feistritzbach	213439	2002-2012	101,1	0,688	6,81
Feistritz ob Bleiburg / Feistritzbach	00984	2004-2012	8,6	0,367	42,67
Loibach/Loibach	213520	2002-2011	21,3	0,165	7,75

<b>Mittelwasserabflüsse MQ (Jahreswerte; Regelreihe 1981 - 2010)</b>					
<b>Gurk:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Mairatten/Gurk	212860	1981-2010	198	3,550	17,93
Urschwirtbrücke/Gurk	212878	1981-2010	227	3,770	16,61
Weitensfeld/Gurk	212886	1981-2010	431,8	5,610	12,99
Guldendorf/Olsabach	213405	1994-2010	161,8	1,580	9,77
Grades/Metnitz	213306	1982-2010	144,6	1,890	13,07
Hirt/Metnitz	212894	1993-2010	469,4	5,030	10,72
Möbling/ Gurk	213397	1993-2010	1061	12,140	11,44
Passering/Silberbach	213355	1988-2010	72,8	0,436	5,99
Launsdorf/Gurk	213157	1981-2010	1243,1	13,610	10,95
Mühlen	213777	1998-2008	37,5	0,425	11,33
Hüttenberg/Görtschitz	212928	1981-2010	130,3	1,630	12,51
Brückl/Görtschitz	212936	1981-2010	315,6	3,570	11,31
Gumisch/Gurk	213041	1981-2010	2555,4	27,790	10,88
<b>Glan:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Dellach/Glan	213470	2000-2006	5,2	0,057	10,96
Mautbrücken/Glan	213322	1984-2010	87,2	0,864	9,91
Wimitz/Wimitz	213249	1981-2010	68	0,617	9,07
Breitenstein/Wimitz	213256	1981-2010	106,5	0,930	8,73
Zollfeld/Glan	212951	1981-2010	432,3	3,690	8,54
Wölfnitz/Moosburgerbach	213330	1984-2010	57,4	0,578	10,07
Pörtschach/Mühlbach	213785	1998-2012	4,9	0,066	13,47
Krumpendorf/Pirkerbach		1997-2006	9,8	0,090	10,98
Reifnitz/Reifnitzbach	213496	1997-2010	33,2	0,477	14,37
Plescherken/Hafner Seebach		1992-2004	14,4	0,180	12,50
Viktring/Viktringer Bach	213009	1995-2007	14,6	0,197	13,49
Stein/Steinerbach	213017	1981-2010	19,2	0,160	8,33
Weinländer/Glanfurt	213025	1981-2010	201,3	2,430	12,07
Zell/Glan	213033	1981-2010	817,9	8,670	10,60
<b>Wurlabach:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Völkermarkt/Wurlabach	213504	1993-2010	49,8	0,444	8,92
Kaunz/Wölfnitzbach	213389	1988-2010	28,1	0,334	11,89
Diex/Haimburger Bach	213751	1998-2010	13,2	0,118	8,94
<b>Lavant:</b>					
Stationsname/Gewässer	HZB-Nr	Dauer	EZGw	MQ (m <sup>3</sup> /s)	mq (l/s.km <sup>2</sup> )
Bad St.Leon./Lavant	213363	1993-2010	200,6	2,520	12,56
Waldensteiner Bach	213538	1998-2010	101	1,560	15,45
St.Gertraud/Lavant	213082	1981-2010	380,2	5,040	13,26
St.Jakob/Weissenbach	213314	1983-2010	55,9	0,689	12,33
Fischering/Lavant	213371	1989-2010	715,6	8,500	11,88
Krottendorf/Lavant	213090	1981-2010	954,5	11,500	12,05
St.Vinzenz/Feistritzbach	211938	1993-2010	14,5	0,294	20,28
St.Vinzenz/Schwarzenbach	211946	1993-2010	6,4	0,141	22,03



## 7.2.3 Hochwasserkennwerte (HQn)

### 7.2.3.1 Allgemeines

#### Hochwasserkennwerte der Flüsse

An den größeren Flüssen Kärntens wurden bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts Messpegel errichtet, es gibt daher bei einigen Pegeln sehr lange Aufzeichnungsreihen. Die Hochwasserkennwerte an diesen Pegeln werden zumeist mit statistischen Extremwertverfahren ermittelt. Zusätzlich werden die Ergebnisse der lokalen Hochwasserstatistik der Pegel durch Ausgleichs- und Plausibilisierungsüberlegungen auf Basis von Spendendiagrammen und hydrologischen Längenschnitten sowie Jährlichkeits-Überlagerungen von Zubringern abgesichert (Regionalisierung des Pegelnetzes).

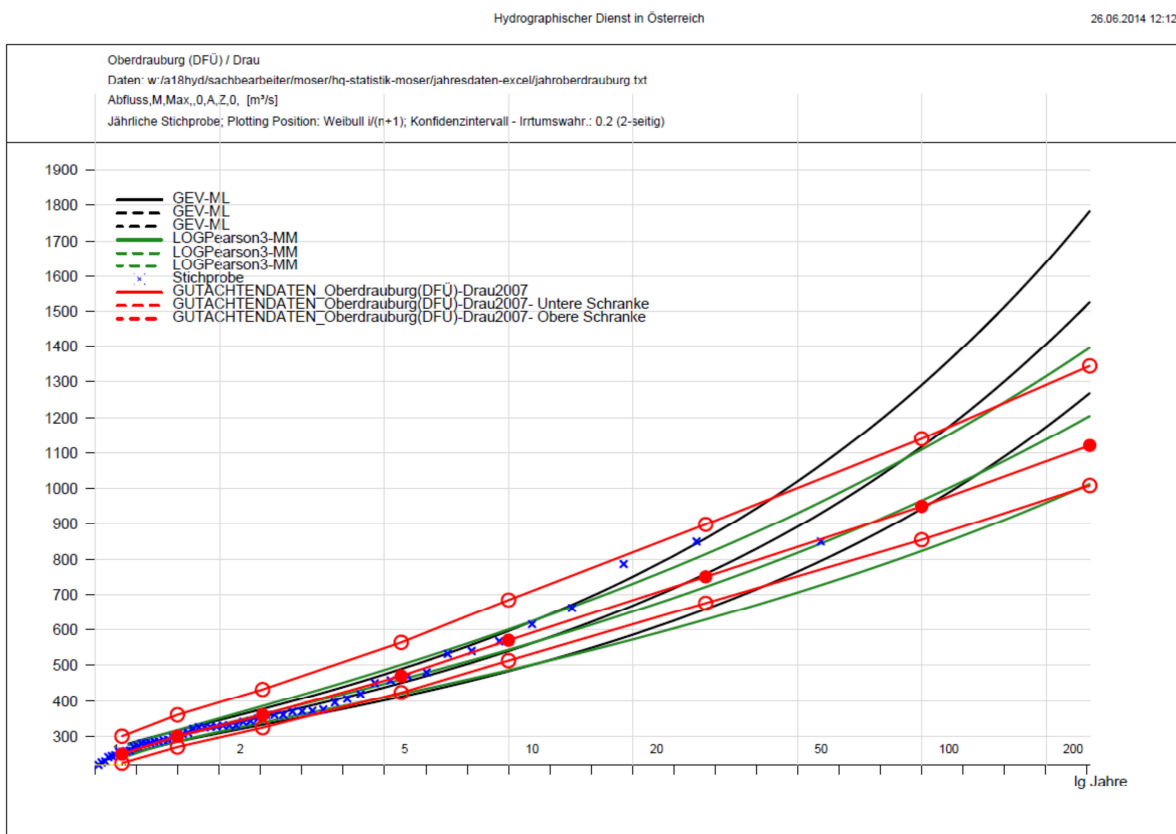


Abb. 182: Statistische Auswertung und Ermittlung der Jährlichkeit der Hochwässer für den Pegel Oberdrauburg / Drau.  
 Erwartungswerte und festgelegte Unsicherheitsbereiche (Konfidenz- bzw. Schwankungsbereiche)  $HQ_{100} = 950 \text{ m}^3/\text{s}$ ; obere Schwankungsgrenze  $HQ_{100}(o.S) = 1140 \text{ m}^3/\text{s}$ ; untere Schwankungsgrenze von  $HQ_{100}(u.S) = 855 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## Hochwasserkennwerte von Gewässern mit kleinen Einzugsgebieten (Bächen)

Nachdem sehr große Hochwässer an den vielen kleinen Bächen messtechnisch nur in den wenigsten Fällen erfasst werden, besteht eine gewisse Schwierigkeit die erforderlichen Hochwasserkennwerte für unbeobachtete, kleine Gewässerstellen zu ermitteln. Es fehlt - ganz einfach und offen gesagt - an lokalen Ereignisdaten.

Daher kommt der regionalen/überregionalen Analyse von beobachteten Hochwasserereignissen und die Übertragung auf unbeobachtete Einzugsgebiete besondere Bedeutung zu. Je mehr Pegel- und Einzelereignisse zur Analyse herangezogen werden können, umso besser sind die Zusammenhänge, aber auch die Unterschiede der hydrologischen Systeme bzw. Prozesse erkennbar.

Ein **Regionalisierungsverfahren der Hochwasserkennwerte** besteht in der Regel aus einer umfangreichen regionalhydrologischen Analyse von beobachteten Hochwässern und in weiterer Folge aus der Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse, in Relation, auf die unbeobachteten Gebiete.

Werden im Verfahren bestimmte System-Festlegungen bzw. Vorgaben getroffen, so spricht man hier von einer standardisierten Regionalisierung. Dies ist häufig der Fall, da Hochwasserereignisse in der Natur sehr komplex und unterschiedlich auftreten können. Es gibt unzählige meteorologische / hydrologische Kombinationen bzw. Szenarien (im Modell: Variationen der maßgebenden Parameter), die den Abflussprozess bestimmen und ein Hochwasser mit einer bestimmten Wiederkehrswahrscheinlichkeit bzw. Jährlichkeit verursachen können. Die wesentlichen natürlichen Komponenten, die das Hochwasserausmaß bestimmen, sind der Niederschlag (Menge, Intensität, räumliche und zeitliche Verteilung), die Abflussbildung, die Abflusskonzentration, die Gerinneabflussgeschwindigkeiten und das Ausuferungs- bzw. Retentionsverhalten. Um nicht alle Komponenten zu maximieren, werden für die Analyse als auch für die synthetische Hochrechnung sinnvolle Vorgaben getroffen, die die Hochwässer charakterisieren. Es werden somit für die Analyse und Übertragung die hydrologischen Standards festgelegt, um eine relative, systematische, statistisch homogene Übertragung auf unbeobachtete Gebiete zu gewährleisten.

**Regionalhydrologische Analysen**, sowohl in statistischer Hinsicht als auch in Form von weiteren Regionalisierungsmethoden, stellen die Basis zur Übertragung dar.

Bei der **Übertragung**, der durch die Analyse von Pegeln gewonnenen statistischen Daten und Parameter, muss darauf geachtet werden, dass auf die unterschiedlichen Gebiets- und Ereignismerkmale Rücksicht genommen wird.

Die **Hydrographie** hat in Kärnten ca. 1600 Pegel- und Einzelereignisse regionalhydrologisch analysiert. Dazu wurden gängige Verfahren der Hochwasserstatistik, Spendendiagramme und standardisierte Niederschlag-Abfluss- (NA-) Berechnungen sowie Erfahrungswerte herangezogen. Darauf aufbauend wurden die Daten auf unbeobachtete Gebiete übertragen - und zwar in Form eines Kataloges für standardisierte bzw. kategorisierte kleine Einzugsgebiete bzw. im Einzelfall in Form einer standardisierten NA-Berechnung für konkrete

Einzugsgebiete. Der standardisierte GF100-Gebietsfaktoren-Katalog beinhaltet alle Ergebnisse von Regionalisierungen durch den Experten.

Anhand des Katalogs können die HQ<sub>100</sub> - Scheitelwerte für beliebige kleine Einzugsgebiete, regional, auf Grund der Einzugsgebietsgröße und der Konzentrationszeit (Gebietscharakter) rasch und einfach berechnet werden. Dazu ist lediglich die richtige Einordnung des betrachteten Einzugsgebietes im Katalog erforderlich. Die Werte gelten für natürliche, großteils bewaldete Einzugsgebiete ohne hohen Verbauungsanteil. Besondere abweichende Eigenschaften des betrachteten Einzugsgebietes wie zum Bsp. ein hoher Verbauungsanteil, außergewöhnliche Bodenverhältnisse (und damit Abflusswerte) oder ein hohes Retentionsvermögen können durch empirische oder detaillierte Untersuchungen in Form von „relativen“ Zu- und Abschlägen berücksichtigt werden.

Je kleiner die Einzugsgebiete sind umso schwieriger wird die Übertragung von Pegeln mit größeren Einzugsgebieten. Daher ist es sinnvoll, bei diesen Gewässern auch andere Verfahren anzuwenden, wie zum Bsp. Niederschlag-Abfluss Modelle mit Parameterermittlung aus Gebietskenngrößen bzw. Daten der Felderhebung.

Geringfügige Feststofftransportvorgänge sind in den Pegelaufzeichnungen indirekt enthalten. Ein übermäßiger Feststofftransport ist in den Werten jedoch nicht enthalten! Dieser ist daher bei der Festlegung der Bemessungshochwassermenge unter prozessorientierten Aspekten gesondert zu berücksichtigen. Wesentlich für die Abstimmung der Kennwerte von unbeobachteten Einzugsgebieten ist der Vergleich mit den Hochwasserkennwerten von ähnlichen Einzugsgebieten auf Basis von Pegelauswertungen der Region.

Insbesondere sind dabei die Kriterien der Vergleichbarkeit zu beachten. Spendendiagramme oder auf Basis von statistisch basierten Gebietsfaktoren durchgeführte Berechnungen und Vergleiche haben zum Bsp. nur die Einzugsgebietsgröße als Kriterium. Die Ähnlichkeit von Gebietskennwerten der zu vergleichenden Einzugsgebiete geht im Spendendiagramm nicht explizit hervor. Die Merkmale von Gebieten werden im Wesentlichen über Niederschlag-Abfluss Berechnungen berücksichtigt. Daher sind diese gut geeignet statistische Spendendiagramme hinsichtlich Gebietsmerkmalen zu verfeinern. Bei der Anwendung von Niederschlag-Abfluss Modellen sollte der Bezug zur Abflussstatistik von beobachteten Einzugsgebieten in der Region jedoch erhalten bleiben. Die Komponenten der Niederschlag-Abfluss Modelle sollten deshalb an Einzugsgebieten mit repräsentativer Pegelbeobachtung auch betreffend des n-jährlichen Scheitelwertes „statistisch kalibriert“ werden. In weiterer Folge kann der so adaptierte „statistische“ Modellansatz auf unbeobachtete Einzugsgebiete übertragen werden.

## **Steckbrief / Kurzfassung**

### **Standard zur Abschätzung von HQ<sub>n</sub>- Hochwasserkennwerten - HD Kärnten**

(generelles, konzeptives Verfahren basierend auf Pegelabflussstatistik, Niederschlag-Abfluss-Modellierung und Regionalisierungsmethoden/Informationserweiterung)

#### **A. Analysen: Pegel- und Ereignisanalysen:**

##### **Basisverfahren:**

- Extremwertstatistik (ca. 50 Pegel mit kleinen und größeren Einzugsgebieten)
- Regionalisierung (regionaler Abgleich der Abflussstatistik von Pegeln und WLW – Einzelereignissen; insbesondere Analyse regionaler HQ<sub>10</sub> und HQ<sub>100</sub> Verhältnisse)
  - Spendendiagramme, stat. basierte Gebietsfaktoren, hydrologische Längenschnitte
  - standardisierte NA- Analysen incl. Gebiets- und Konzentrationszeitanalysen für kleine Einzugsgebiete (EZG): Analysen der Direktabfluss-Wellenauslaufzeiten
- Ermittlung der pegelspezifischen Verhältnisfaktoren HQ<sub>n</sub>/HQ<sub>100</sub>; Zusammenhänge der Verhältnisfaktoren HQ<sub>n</sub>/HQ<sub>100</sub> in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße

##### **Resultate:**

- HQ<sub>100</sub> -Abflussspitzen und regionale GF<sub>100</sub>-Gebietsfaktoren für Pegel und Einzelereignisse
- Pegelspezifische Verhältnisfaktoren; Anpassungsformeln in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße.
- kalibrierte Konzentrationszeitformel für kleine EZG in Abhängigkeit des Gebietsgefälles bzw. Konzentrationszeitcharakters
- standardisierter Wellentyp für kleine EZG (rasche Wellen, frachtige Wellen)
- regional spezifische HQ<sub>100</sub> -Abflussbeiwerte für kleine EZG

#### **B. Übertragung in unbeobachtete Gebiete**

##### **Basisverfahren:**

- Übertragung stat. basierter Gebietsfaktoren, Spenden und hydrologische Längenschnitte
- Interpolations- / Extrapolationsverfahren
- Übertragung der Verhältnisfaktoren HQ<sub>n</sub>/HQ<sub>100</sub> in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße
- regionale / lokale NA-Berechnungen inkl. Bestimmung des Gebietsgefälles und Konzentrationszeitberechnungen für kleine EZG

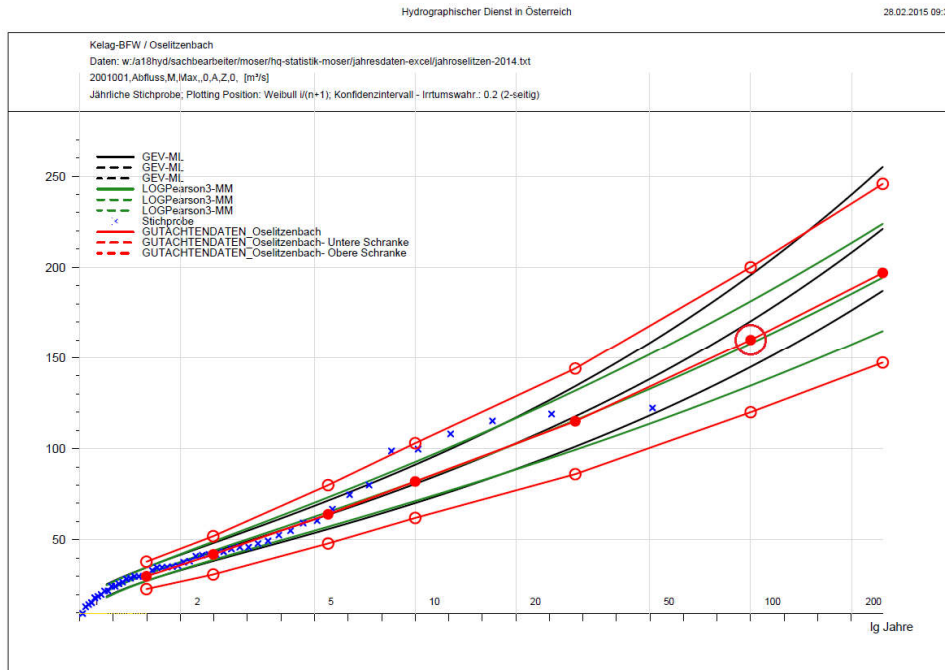
##### **Resultate:**

- übertragene GF<sub>100</sub> - Gebietsfaktoren und HQ<sub>100</sub>-Spitzenabflüsse (Katalog für unbeobachtete kategorisierte oder konkrete kleine Einzugsgebiete)
- HQ<sub>n</sub> – Kennwerte, HQ<sub>100</sub>-Hochwasserwellenspektrum bzw. Hochwasserwellenschar

**Stärken des Verfahrens:** umfangreiche Zusammenschau und Einbindung von Hochwasserstatistik und Einzelereignissen; Praxisorientiert; Standardisierte Festlegungen einfach, empirisch, decken viele Szenarien ab. Übertragung berücksichtigt unterschiedliche Gebiets- und Ereignismerkmale. Erweiterungen / Ergänzungen rasch möglich. Einfache Anwendung und Übersichtbarkeit. Angabe von Schwankungsbereichen und HQ<sub>100</sub>-Wellenspektrum.

**Schwächen des Verfahrens:** Sehr kleine Einzugsgebiete durch Statistik schwach abgedeckt. Übertragung von größeren auf kleine Einzugsgebiete unsicher. Standardisierte Festlegungen nicht immer zutreffend bzw. grobschlägig. In speziellen Fällen sind zusätzliche, detaillierte Verfahren erforderlich.

## Analyse



**Steckbrief Abb. 1:** Beispiel: Statistische Auswertung, Pegel Oselitzenbach (Kelag,BFW),  $HQ_{100} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $EZG = 24,1 \text{ km}^2$ ; daraus gerechneter statistisch basierter Gebietsfaktor  $GF_{100} = 160/24,1^{0,6} = 23,7$

#### Kurzbeschreibung der Standardisierungsmethode: Extremwertstatistik (Abb. 1, 4a):

Die statistische Auswertung von Hochwasserkollektiven, wie zum Beispiel die Jahreshochwässer des Oselitzenbachs von 1965 bis 2014 (50 Jahre) wird mit einem HD-internen Extremwertstatistikprogramm durchgeführt.

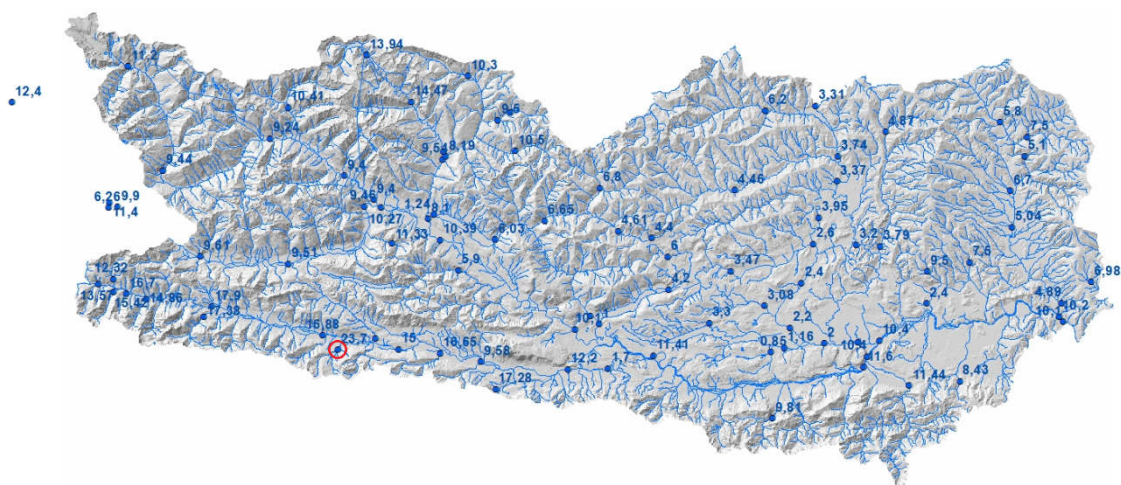
Die blauen Kreuze im Diagramm stellen die beobachteten jährlichen Hochwasserspitzen dar, denen eine empirische Auftretswahrscheinlichkeit zugeordnet wird. Auf der Ordinate sind die Hochwasserabflussmengen in ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) angegeben, auf der Abszisse das Wiederkehrintervall bzw. die Jährlichkeit.

Dem größten Hochwasser wird in etwa die Jährlichkeit der Beobachtungsdauer zugeteilt (29 Jahre), das kleinste Hochwasser erhält in etwa die Jährlichkeit 1 (Weibull).

Als theoretische Verteilungen für die Extrapolation der höheren Jährlichkeiten ( $HQ_{100}$ ) wird eine GEV und Log Pearson3 Verteilung gewählt. Als Konfidenzschranken (statistischer Vertrauensbereich) wird 20% beidseitig festgelegt.

Die Erwartungswerte als auch obere und untere Schwankungsgrenze des HD Kärnten (rote Linien) werden im Spektrum der Statistik-Ergebnisse aber auch unter Einbeziehung von Regionalisierungsergebnissen (Spendendiagramme, statistisch basierte Gebietsfaktoren und hydrologische Längenschnitte; Übertragung von Pegeln der Umgebung) fixiert.

Insgesamt wurden in Kärnten ca. 50 repräsentative Pegel an Flüssen und Bächen statistisch analysiert. Somit wird damit eine regionale breite statistische Zusammenschau der Hochwässer (ca. 1600 Einzelhochwässer) möglich. Insbesondere werden auch die Jährlichkeiten bis  $HQ_{10}$  regional analysiert. Bei kleinen Einzugsgebieten werden zusätzlich auch beobachtete Einzelereignisse der Wildbachverbauung (WLV) empirisch mitberücksichtigt.



**Steckbrief Abb. 2:** Gesamtregionalhydrologische Ergebnisse der Extremwertanalysen von Pegeln in Form von Statistik basierte Gebietsfaktoren GF100 (Kärnten und Osttirol; roter Kreis – Pegel Oselitzenbach)

Flussgebiet	GF100	Bemerkungen
Obere Drau - Fluss	9,5 - 11,5	von Oberdrauburg – Villach; Retention und Überlagerung durch Zubringer
Obere Drau / Isel - Zubringer	9 – 12,5	Sifflitzbach, Isel / Brühl
Möll - Fluss	9 - 11	Winklern - Möllbrücke; Gebirgsstau (bis Kirchheim höhere Werte)
Möll - Zubringer	10 - 11	Mallnitzbach
Lieser - Fluss	8 - 10	Gebirgsstau (bis Rennweg höhere Werte)
Lieser - Zubringer	9 - 10,5	Kremsbach, Leobenbach
Lieser – Riegerbach	6,5 - 8	Tieferbach
Malta - Fluss	11,5 - 14	Gebirgsstau (höhere Werte), ab Pflügelhof Retention
Malta - Zubringer	10 - 14	Obere Malta, Gebirgsstau (höhere Werte)
Gail - Fluss	11 - 18	Mauthen (wenig Retention), bis Nötsch (viel Retention)
Gail - Zubringer Süd	15 – 19,5	Obergailbach, Frohnbach, Oselitzenbach, Vorderberger Bach...
Gail Zubringer Nord	10 – 12,5	Gössering, Radigunderbach
Karawankenbäche West	10 – 11,5	Loiblbach, Vellach
Karawankenbäche Ost	7 – 8,5	Globasnitzbach, Loibach
Obere Gurk - Fluss	4 - 6	Obere Gurk (wenig Retention) bis Metnitz (viel Retention); große Überregnungsfläche
Obere Gurk - Zubringer	6 - 7	Stangenbach, Metnitz
Untere Gurk - Fluss	4 - 3	viel Retention, große Überregnungsfläche
Untere Gurk - Zubringer	3 – 6	ähnlich wie Zubringer Glan
Glan - Fluss	2,5 – 3,5	viel Retention, große Überregnungsflächen
Glan - Zubringer	3,5 – 5,5	Moosburger Bach
Görtschitz	5 - 4	Große Überregnungsfläche, viel Retention
Görtschitz - Zubringer Saualpe	7 – 9,5	Gebirgsstau; Haimburger Bach
Saualpe Süd - Zubringer	8 – 9,5	Gebirgsstau; Haimburger Bach
Lavant - Fluss	5 – 6,5	Oberer Bereich wenig Retention (höhere Werte)
Lavant - Zubringer Koralpe	7 - 10	Gebirgsstau; Feistritzbach, Prößingbach (Einzelereignis)
Lavant – Zubringer Saualpe Ost und Lavant Nord	6,5 – 8	Waldensteinerbach (Auerlingbach)

### Kurzbeschreibung der Standardisierungsmethode: Statistik basierte Gebietsfaktoren (Abb. 2):

Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen von Pegeln für ein hundertjähriges Hochwasser (HQ100) werden in Form von statistisch basierten Gebietsfaktoren in Anlehnung der Wundt Formel dargestellt. Mit dem Gebietsfaktor ist eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei unterschiedlichen Einzugsgebietsgrößen möglich (Der Spendenanstieg in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße ist in dem Wert impliziert).

$$GF_{100} = HQ_{100stat} / E^{0.6} \quad E \dots \text{Einzugsgebietsgröße } 24,1 \text{ km}^2$$

Für das Beispiel des Oselitzenbaches ergibt dies  $GF_{100} = 160 / 24,1 = 23,7$ .

In umgekehrter Weise kann mit den regionalen Gebietsfaktoren überschlägig das HQ100 für unbeobachtete Gewässer bei Kenntnis der Einzugsgebietsgröße grobschätzig ausgerechnet werden:  $HQ_{100} = GF_{100} * E^{0.6}$

Aus der Karte mit den statistisch basierten Gebietsfaktoren kann man erkennen, dass regional doch ähnliche Faktoren vorherrschen. Zu beachten ist, der Unterschied von Bächen und Flüssen mit maßgebenden Retentionsverhalten. So sollten die Gebietsfaktoren von Gewässern mit Retention (Dämpfung der Hochwasserspitze durch große Ausuferungen; flacherer Spendenverlauf) nicht zur Übertragung an Gewässer ohne Retentionseffekte herangezogen werden. Auch die Steilheit des Einzugsgebietes bzw. die Abfluss-Konzentrationszeit ist zu beachten.

Die detaillierte Übertragung der statistisch basierten Gebietsfaktoren auf unbeobachtete Einzugsgebiete erfolgt daher in weiteren Schritten auf Basis von statistisch abgesicherten Pegeln durch Berücksichtigung der unterschiedlichen Gebiets- und hydrologischen Prozesseigenschaften.

### Kurzbeschreibung der Standardisierungsmethode: Spenden- und Gebietsfaktorendiagramme (Abb. 3, 4, 4a und 11):

Die Darstellung der statistischen Ergebnisse für HQ100 als Spenden  $Hq_{100}$  ( $\text{m}^3/\text{s.km}^2$ ) ermöglicht die Zusammenschau der regionalen Hochwasserspenden in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße. Man kann sofort erkennen, dass die Spenden bei Pegeln mit kleineren Einzugsgebieten höher werden. Dies ist hydrologisch auf die unterschiedlichen maßgebenden Überregnungsdauern zurückzuführen. Kurze extreme Niederschlagsereignisse weisen höhere Intensitäten auf (zumeist konvektive Gewitterschauer) als großflächige längere Überregnungen mit niedrigeren Intensitäten jedoch aufgrund der längeren Regendauer größeren Regenmengen.

Die extremen Hochwässer werden an Bächen entsprechend ihrer raschen Reaktions- bzw. Abflusskonzentrationszeit von kurzen heftigen Gewittern und an Flüssen von längerandauernden Fronten hervorgerufen.

Mit der Darstellung der statistischen Spenden ( $Hq_{100} = HQ_{100stat} / E$ ) im Spendendiagramm werden zum einen die regionalen Unterschiede erkennbar, aber auch das Maß der Steigung der Spende mit der Abnahme der Einzugsgebietsgröße. Dies ist für die Extrapolation in kleine Einzugsgebiete wichtig. Aus den Analysen geht hervor, dass die Extrapolation von Pegeln in der Umgebung mit ähnlichen Gebietseigenschaften über den

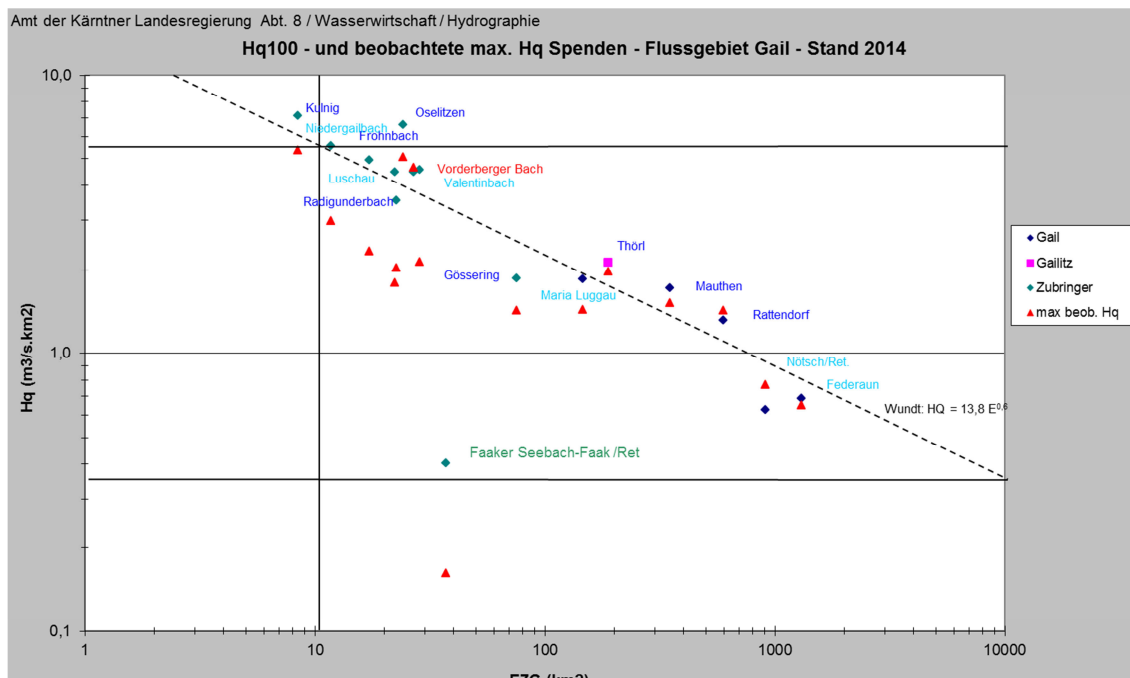
Ansatz nach Wundt  $E^{0.6}$  durchaus plausibel ist. Im Diagramm ist die Steigung nach Wundt durch die strichlierte Gerade dargestellt.

Die Steigung 0,6 ist also sinnvoll und wird von den Analysen der beobachteten Hochwässer bestätigt.

Wird der lokale/regionale detaillierte Gebietsfaktor für ein unbeobachtetes Einzugsgebiet mit standardisierten Übertragungsmethoden ermittelt (dies wird später noch detaillierter beschrieben), so kann mit der Formel  $HQ_{100} = GF_{100} * E^{0.6}$  die 100 – jährliche Hochwasserspitze für das unbeobachtete Gewässer und unterschiedliche Gewässerstellen mit unterschiedlicher Einzugsgebietsgröße einfach ermittelt werden.

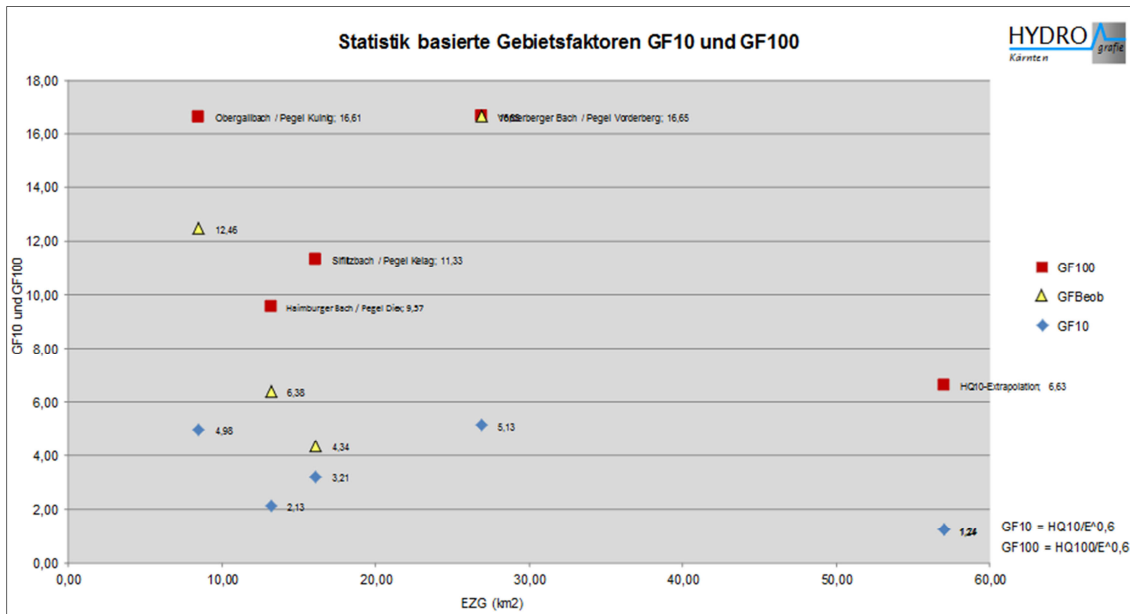
Sind die Gebiets- und hydrologischen Verhältnisse der beobachteten Pegeln in der Region stark abweichend zu den unbeobachteten Gewässern, für die die Kennwerte ermittelt werden, so wird die Übertragung auf Basis einer Niederschlag Abfluss Berechnung durchgeführt. Mit der NA Berechnung können die Gebiets- und Prozessunterschiede in Relation aber auf Basis der regionalen statistischen Vorgabe berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der standardisierten NA Berechnung werden wieder in spezifischen Spendendiagrammen bzw. Gebietsfaktorendiagrammen (siehe Abb. 11) katalogartig dargestellt, aus denen man unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsgröße und des Gebietsgefälles (Konzentrationszeitcharakter) die Spende für das betrachtete Gewässer detailliert entnehmen bzw. übertragen kann.

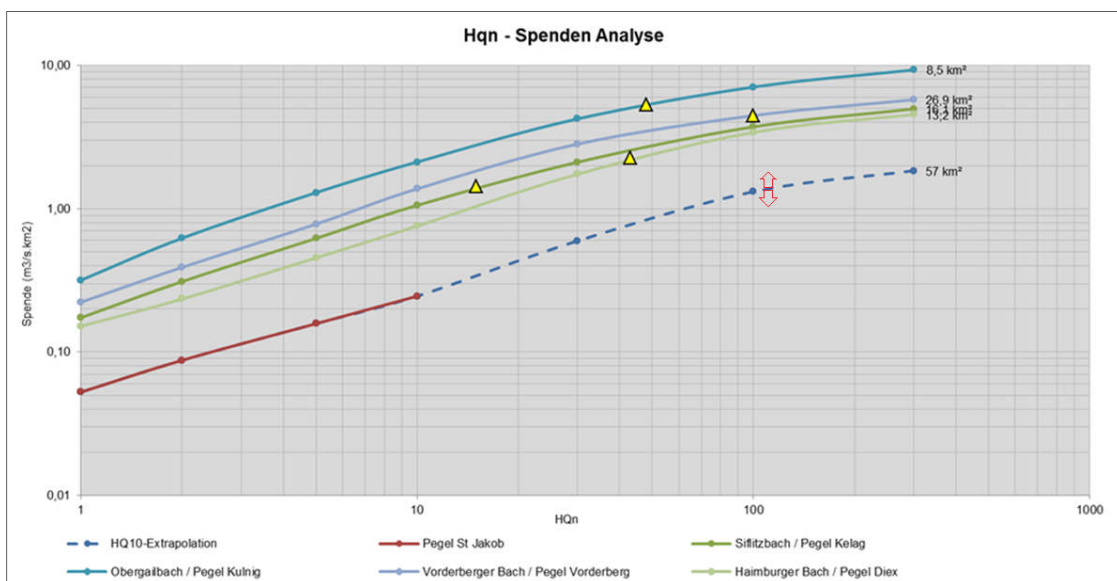


**Steckbrief Abb. 3:** Hq100 – Spendendiagramm für das Flussgebiet der Gail. Deutliche regionale Trennung zwischen Gail Nord (Radegunder Bach, Gössering) und Gail Süd (Oselitzenbach, Vorderberger Bach, Fröhnbach..), als auch Gewässer ohne Retention (Bäche und Gail bis Rattendorf) und Flüsse mit Retention (Nötsch, Federaun, Faaker Seebach) erkennbar.

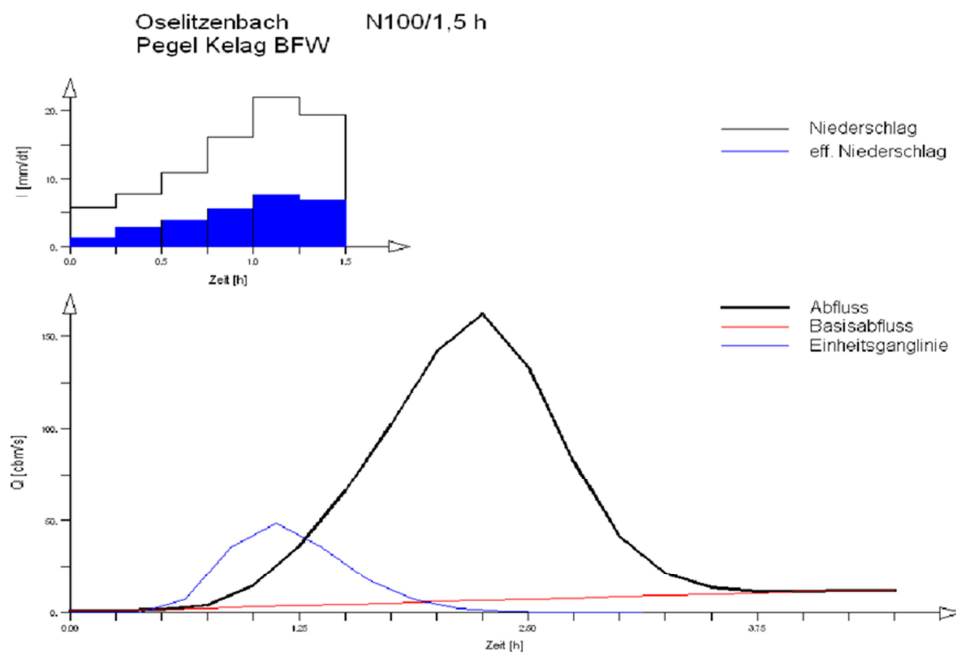




**Steckbrief Abb. 4:** Entsprechend umgerechnete Statistik basierte GF 100 – Gebietsfaktoren ( $GF100 = HQ100stat. / E^{0,6}$ ). Der Zusammenhang HQ 10 (statistisch gesicherter Bereich) kann für die regionale Übertragung von HQ100 genutzt werden, zB. als Hqn Spendenvergleich im Jährlichkeitsdiagramm.



**Steckbrief Abb. 4a:** Darstellung der Abflussstatistikergebnisse im Jährlichkeitsdiagramm und Extrapolationsmöglichkeiten auf Basis ähnlicher HQ1-HQ10 Verhältnisse von Pegeln in verschiedenen Regionen zur Absicherung von Pegeln mit nicht repräsentativen Hochwasserkollektiv. Dabei ist auch die hydrologische Charakteristik der Gebiete zu vergleichen. Die beobachteten Hochwässer (gelbe Dreiecke) geben Hinweis auf die Qualität der statistischen Ergebnisse. Hier wurde der Pegel St Jakob/Weißenbach an den Verlauf des Pegels Diex / Haimburgerbach angepasst. Vor allem bei höheren Jährlichkeiten ist das Potenzial von größeren Hochwassermengen aufgrund des ähnlichen gebirgigen Einzugsgebietes gegeben.



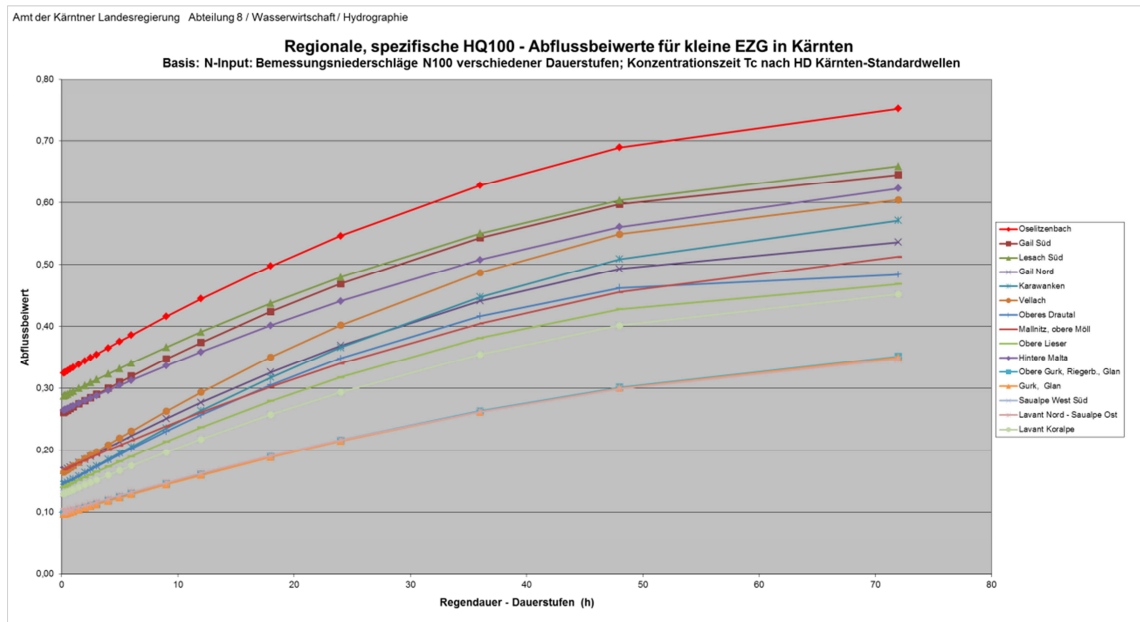
**Steckbrief Abb. 5:** HQ100 spezifische Kalibrierung des NA Modells (HQ100 aus Statistik bzw. Regionalisierung vorgegeben ( $HQ_{100} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$ ); N-Input: Bemessungsniederschläge (mittleren Werte) N100/1,5 h = 99 mm; N mittlere Flächenabminderung = 82 mm; spezif.  $HQ_{100}$  Abflussbeiwert 0,35

**Kurzbeschreibung der Standardisierungsmethode: Niederschlag Abfluss Berechnung – Analyse und statistische Kalibrierung des Modells und der Modellparameter. (Abb. 5, 6, 7, 8, 9, 10):**

Mit Hilfe von Niederschlag Abfluss Modellen wird unter Berücksichtigung der Gebiets- und Ereignisunterschiede die Analyse und Übertragung von HQ100 in unbeobachtete Gebiete vorgenommen. Dadurch wird die Qualität der Regionalisierung bzw. Übertragung von Hochwasserkennwerten auf Basis von Hochwasserstatistik und NA Modellierung deutlich verbessert. Die Verfahrensansätze werden vereinfacht so gewählt, dass die Übersicht, Zusammenhänge, Vergleichbarkeit und Nachvollziehbarkeit gegeben sind und eine praxisorientierte, überschaubare Anwendung möglich ist.

**Abflussscheitelwert HQ100 aus Extremwertstatistik des Pegels:**

Auf Basis der extremwertstatistischen Ergebnisse (Beispiel  $HQ_{100} = 160 \text{ m}^3/\text{s}$  für den Pegel Oselitzenbach) werden mit dem NA Modell die regionalen spezifischen (statistischen) Abflussbeiwerte ermittelt. Anmerkung: Abflussbeiwert = Verhältnis der effektiven Niederschlagsmenge bzw. Direkthochwasserabflussmenge in der Hochwasserwelle zu der Gesamtniederschlagsmenge. Dabei wird ein lokaler 100 jährlicher Bemessungsniederschlag mit einer Regendauer entsprechend der Konzentrationszeit des Einzugsgebiets und eine endbetonten zeitlichen Verteilung in Rechnung gestellt. Die Flächenabminderung des Niederschlags wird als Mittel zwischen sanfter und intensitätsabhängiger Abminderung festgelegt. Der Abflussbeiwert wird im Modell „kalibriert“, bis die statistische Hochwasserspitze erreicht wird und die Wellenform aus beobachteten Hochwasserwellen abgeleitet, der Abflusskonzentration des Gebiets, entspricht (Abb. 5).



**Steckbrief Abb. 6:** HQ<sub>100</sub> spezifische, regionale Abflussbeiwerte; ermittelt aus HQ<sub>100</sub>-statistisch kalibrierten NA Modellierungen; Anstieg der Abflussbeiwertekurve mit zunehmender Niederschlagsmenge und Dauer zu regional ermittelten Höchstabflussbeiwerten (Hochwasserszenarien-katalog Kärnten; TU Wien; Gutknecht)

### Regionale HQ<sub>100</sub>-spezifische (statistische) Abflussbeiwertekurven:

Die aus der standardisierten NA Berechnung (HD Standardwellen) regional ermittelten HQ<sub>100</sub> - spezifischen Abflussbeiwerte werden als Kurven in einem Diagramm dargestellt, wobei die Abflussbeiwerte entsprechend den regionalen Auswertungen von Abflussbeiwerten aus beobachteten NA - Ereignissen (TU Wien) mit zunehmender Regenmenge ansteigen (Abb. 6).

Die aus der HQ<sub>100</sub>-spezifischen Analyse von Pegeln ermittelten Abflussbeiwertekurven werden in weiterer Folge zur Übertragung herangezogen, wobei abweichende Gebietseigenschaften, wie zB. höherer Wiesenanteil etc. relativ (im Verhältnis) durch Zu- bzw. Abschläge berücksichtigt werden können.

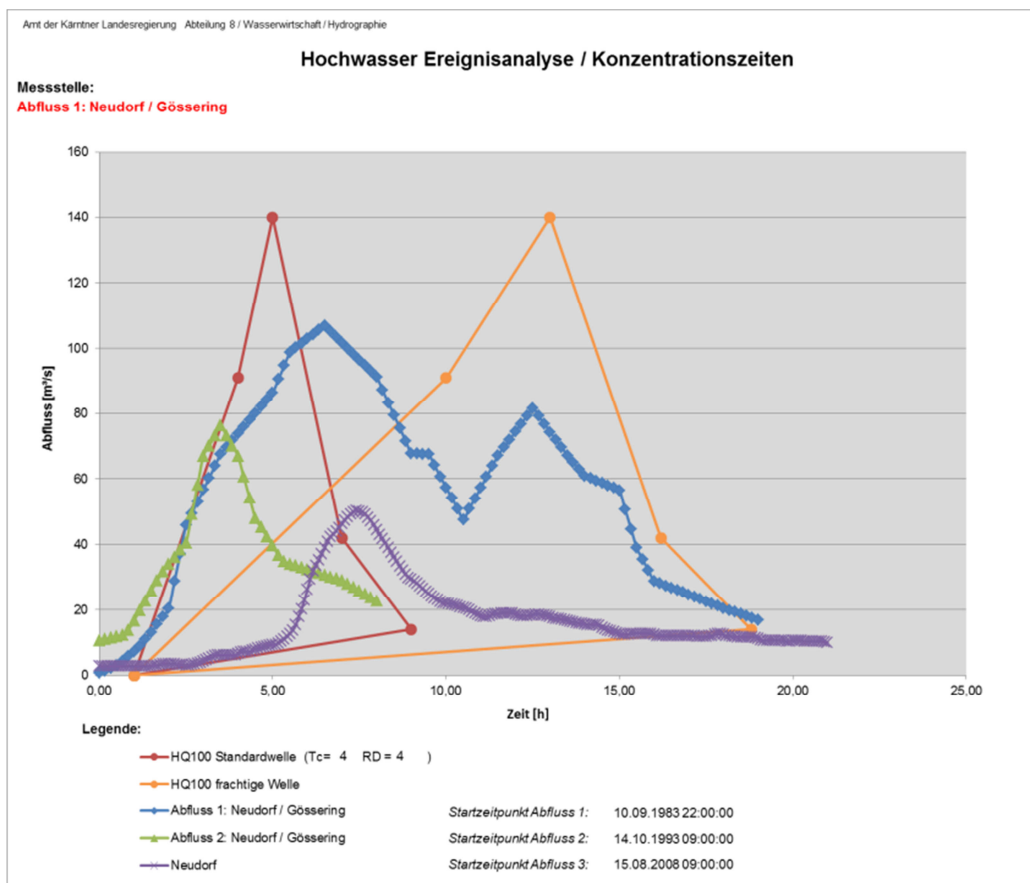
### Analyse und Berechnung der Konzentrationszeiten / Standard Polygon Hochwasserwelle:

Für die Wellenform (Wellenanstieg, Wellenspitze und Wellenabstieg bzw. Wellenrückgang) ist die richtige Einschätzung der Niederschlagsdauer und Konzentrationszeit sehr wesentlich. Die Konzentrationszeit kann vereinfacht, durch Beobachtung und Analyse von Hochwasserwellen abgeschätzt werden. Die Wellenrückgangszeit bis zum Basisabfluss ist ein Maß für das „Ausfließen des Gebiets“ laut Dyck. Zuerst werden aus den beobachteten Hochwasserwellen von Pegeln mit kleinen Einzugsgebieten die Abstiegszeiten für ein HQ<sub>100</sub> ermittelt ( Abb 7).

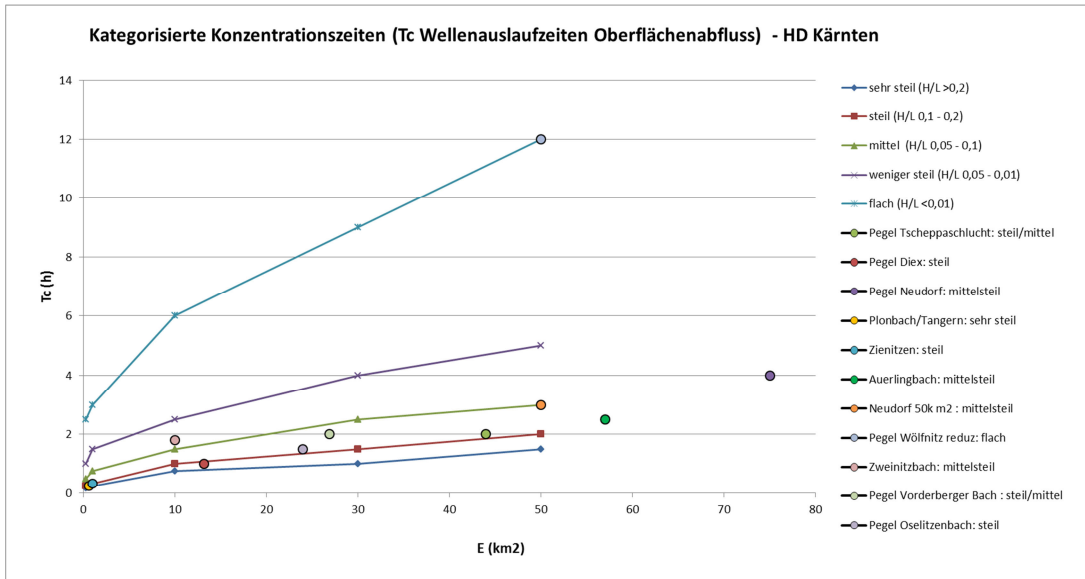
Die Konzentrationszeit setzt sich aus dem Anteil des Oberflächenabflusses zum Gerinne (langsamer Anteil) und dem Anteil der Konzentrationszeit im Gerinne (schneller Anteil )

zusammen. Dies ist wichtig zu unterscheiden, da bei sehr kleinen Flächen der Anteil des Oberflächenabflusses höher ist und die Konzentrationszeit damit größer wird als die Konzentrationszeit des Gerinneabflusses. Je größer das Einzugsgebiet, umso kleiner wird der Anteil der Konzentrationszeit des langsameren Oberflächenabflusses. In Abhängigkeit der Gerinnelänge (hängt natürlich von der Einzugsgebietsgröße ab) und des Gebietsgefälles werden die Auslaufgeschwindigkeiten  $v_O$  und  $v_G$  der Konzentrationszeit „kalibriert“; sodass die beobachteten Gesamt-Konzentrationszeiten entsprechend der Gebietsklasse sich wiederfinden ( Abb. 8).

Die Konzentrationszeitformel ist somit empirisch aus Beobachtungen hergeleitet und dient der grobschlägigen Abschätzung der Wellenauslaufzeit bzw. der maßgebenden Regendauer, die in etwa der Konzentrationszeit gleichgesetzt wird. Die Formel kann für verschiedene Fließlängen und Gebietsgefälle kategorien angewendet werden (Abb: 9).



**Steckbrief Abb. 7:** Analysen von Wellenauslaufzeiten (Konzentrationszeit nach Dyck); Beispiel Pegel Neudorf / Gössering Ereignis 1983, 1993 und 2008; rasche und frachtige Welle



**Steckbrief Abb. 8:** Kalibrierte und standardisierte Konzentrationszeiten in Abhängigkeit von kategorisierten Gebietsgefällen und Einzugsgebietsgrößen

MOSER – HD Kärnten (empirisch, für kleine Einzugsgebiete; < 50 km<sup>2</sup>):

$$Tc[h] = t_o + t_g = \frac{150 + \frac{L \cdot 1000 - 150}{vO}}{3600} + \frac{vG}{3600}$$

- Tc [h] Konzentrationszeit als Wellenauslaufzeit des Direktabflusses
- tO [h] Konzentrationszeit des Flächennabflusses (Annahme 150m bis zum gerinneartigen Abfluss) ; Flächenfließzeit“ bzw. Auslaufzeit
- tG [h] Konzentrationszeit des Gerinneabflusses („Gerinnefließzeit“ bzw. Gerinneauslaufzeit“
- L [km] maßgebend maßgebende Länge, bezogen auf die Hauptbeitragsfläche des EZG
- vO [m/s] Auslaufgeschwindigkeit der Fläche bis zum Gerinne (150 m angenommen)-Flächenabfluss
- vG [m/s] Auslaufgeschwindigkeit des Gerinnes – Gerinneabfluss

Konzentrationszeitklasse / Gefälle in %	vO (m/s)	vG (m/s)
sehr langsam / flach (Gefälle < 0,01)	0,02	0,35
langsam / weniger steil (Gefälle 0,01 - 0,05)	0,05	0,8
mittel / mittelsteil (Gefälle 0,05 - 0,1)	0,1	1,3
rasch / steil (Gefälle 0,1 - 0,2)	0,2	1,7
sehr rasch / sehr steil (Gefälle > 0,2)	0,35	2,3

**Steckbrief Abb. 9:** Formel zur Berechnung der Konzentrationszeit (Wellenauslaufzeit nach Def. Dyck) – HD Kärnten. Empirisch aus beobachteten Ereignissen abgeleitete Zeiten u. Werte f. vO und vG

**Standard Hochwasserwelle / Analyse:**

$$VD = (0,8.RD + 0,75.Tc).1800.Qs$$

VD... Direktabflussvolumen der Hochwasserwelle (m<sup>3</sup>)

Qs ... Scheitelwert aus Statistik (m<sup>3</sup>/s)

RD ... Regendauer (h); Wellenanstiegszeit

Tc... Konzentrationszeit (h); Wellenabstieg

$$\phi 100 = VD / V(N100;D)$$

"100...spezifischer HQ100 -Abflussbeiwert

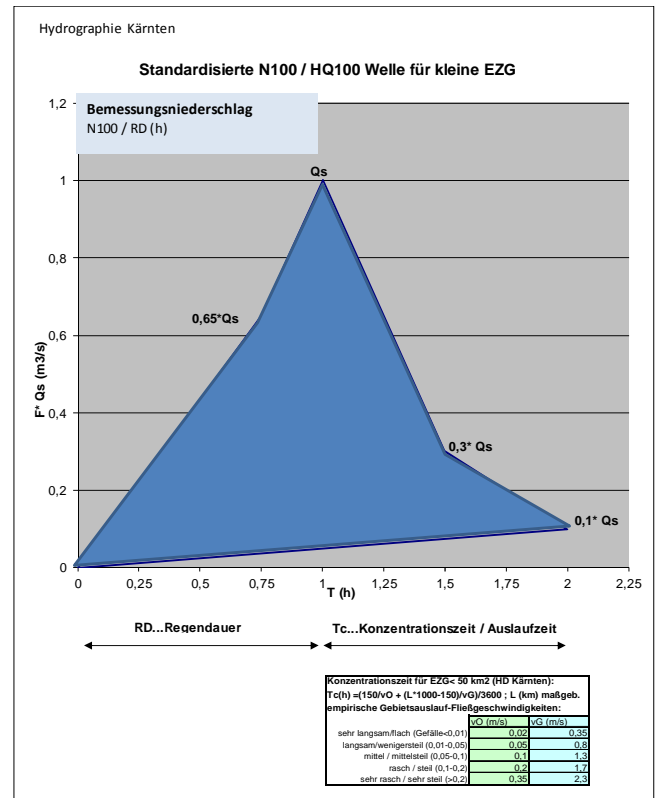
V(N100;D) ... Volumen des flächenabgeminderten 100- jährlichen Niederschlags mit einer Dauer, die der ermittelten Konzentrationszeit entspricht.

**Übertragung:**

$$Qs = (\phi 100.N_{100}.A_E) / ((0,8.RD+0,75.Tc).1,8)$$

N100 ... flächenabgeminderter Niederschlag (mm)

AE ... Einzugsgebietsfläche (km<sup>2</sup>)



**Steckbrief Abb. 10:** Standardisierter HW-Wellentyp zur vereinfachten NA – Berechnung und Übertragung der Kennwerte. Auf Basis von lokalen Bemessungsniederschlägen und statistisch kalibrierter HQ100-Standardwellen von Pegeln (HQ100-Scheitelwert aus Abflusst Statistik; Konzentrationszeit aus beobachteten Wellenabstiegszeiten abgeleitet) werden die regionalen HQ100-spezifischen Abflussbeiwerte ermittelt. Die Übertragung in unbeobachtete EZG erfolgt ebenfalls über den Standardwellentyp, entspr. der Konzentrationszeiteinschätzung, den regionalen spez. Abflussbeiwerten und auf Basis des maßgebenden Bemessungsniederschlags.

**Definition der Standardwelle für die rasche Welle und für die frachtige Welle bzw. Wellenschar:**

Definition T (h) rasche Hochwasserwelle
Wellenanfang (h); Q=0
Wellenanstieg (h) 0,75*RD; Q=0,65*Qs
Wellenscheitel/Regendauer (h); Qs
Wellenabstieg (h) RD+ 0,5*TC; Q=0,3*Qs
Wellenende (h) RD+TC; Q=0,1*Qs

Definition T (h) - frachtige Welle und Wellenschar
Wellenanfang (h); Q=0
Wellenanstieg (h) 0,75*RD; Q=0,65*Qs
Wellenscheitel/Regendauer (h) RD; Qs
Wellenabstieg (h) RD+ 0,5*TC+0,1RD; Q=0,3*Qs
Wellenende (h) RD+TC+0,15RD; Q=0,1*Qs

Formeln:

$$V=(0,8*RD*3600+0,75*Tc*3600)*QS/2$$

$$V= Qs*3600 * (0,4675*RD + 0,375*Tc)$$

$$Qs = 2*V / (0,8*RD*3600+0,75*Tc*3600)$$

$$Qs = V / (0,4675 *RD + 0,375 * Tc) / 3600$$

### **Vereinfachte NA Analyse und Übertragung in unbeobachtete Einzugsgebiete mit Standard Polygonwellen (für kleine Einzugsgebiete <50 km<sup>2</sup>):**

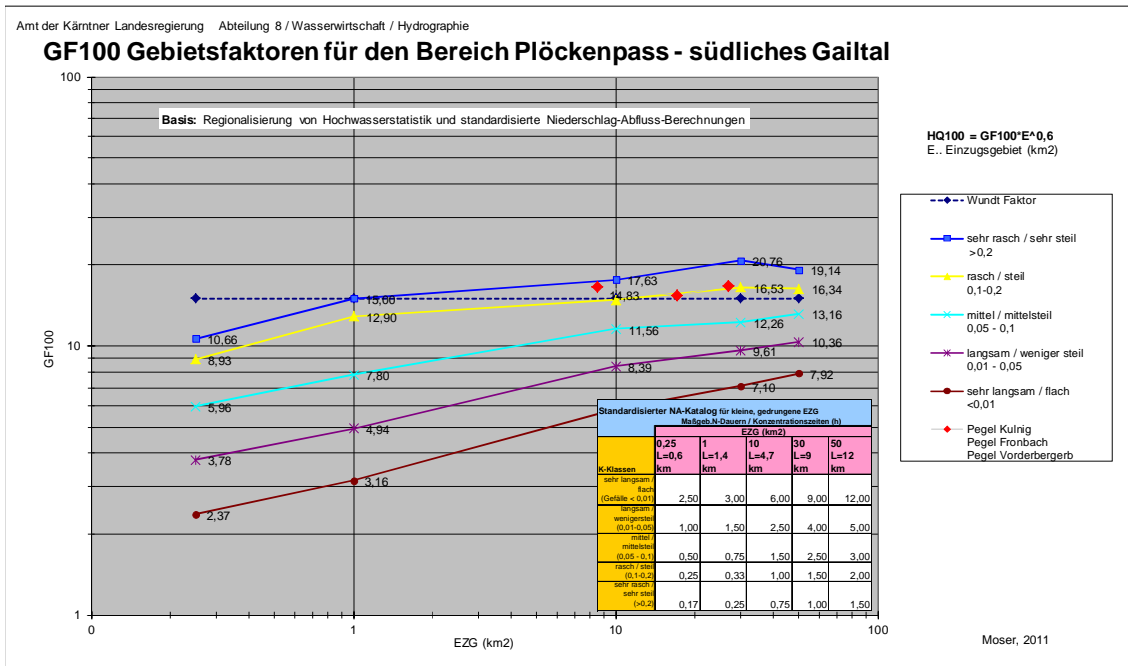
Vereinfacht werden für kleine Einzugsgebiete die NA - Analysen mit standardisierten Polygon-Hochwasserwellen (Abb.10) durchgeführt und die regionalsspezifischen Abflussbeiwerte dadurch ermittelt. Die Standardwelle ist definiert in Abhängig von der Regendauer als ansteigender Ast der Hochwasserwelle, der Spitzenabflussmenge, die aus der Statistik bzw. Regionalisierung entstammt und der Konzentrationszeit als abfallender Ast der Hochwasserwelle.

Die Bemessungsniederschläge verschiedener Dauerstufen werden entsprechend der Einzugsgebietsfläche abgemindert (mittlere Flächenabminderung). Das Volumen des maßgebenden flächenabgeminderten Bemessungsniederschlags mit der Dauerstufe gleich der Konzentrationszeit wird zur Ermittlung des spez. Abflussbeiwertes in Beziehung zur entsprechenden Standardwelle gebracht:  $100 = V_D / V_N$ . Der spezifische 100-jährliche Abflussbeiwert ergibt sich aus dem Quotienten: Abflussvolumen der DirektAbflussstandardwelle zum Volumen des flächenabgeminderten Niederschlags. Die auf diese vereinfachte Weise ermittelten regionalen spezifischen Abflussbeiwerte (Abb. 6) werden zur Übertragung herangezogen, wobei die ereignis- und gebietsspezifischen Unterschiede bei der Übertragung mit dem NA Modell (Polygonwellen) in Relation berücksichtigt werden.

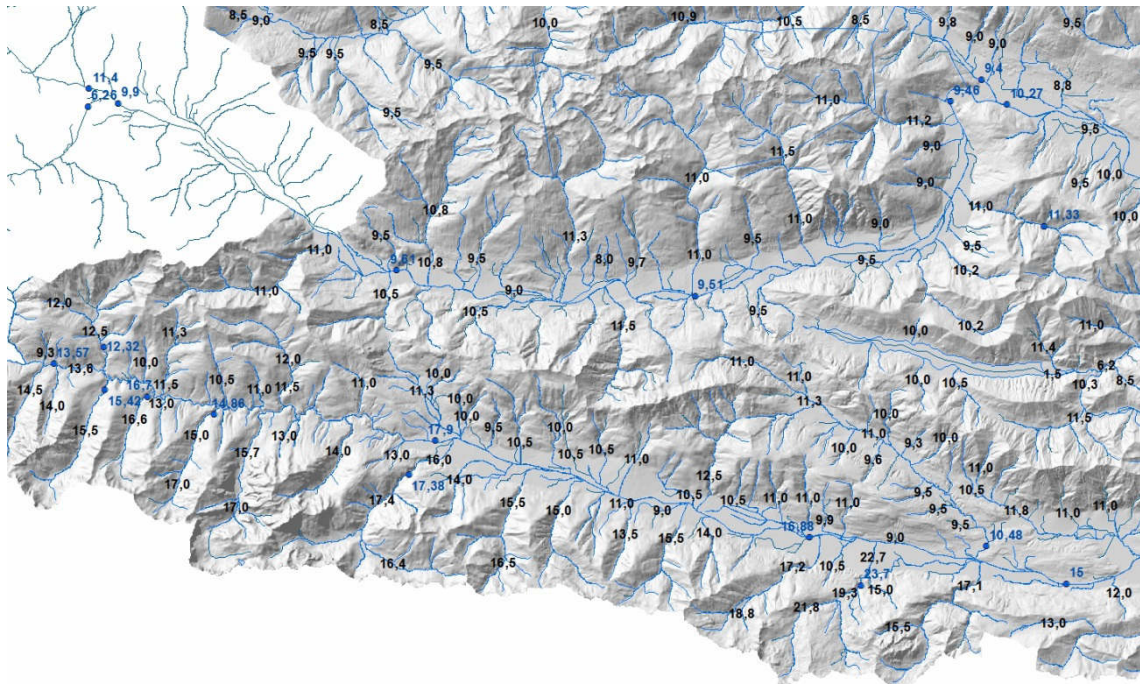
Die Übertragung auf unbeobachtete Gewässer erfolgt auf Basis der NA-Analyseergebnisse für verschiedene kategorisierte Einzugsgebiete (Einzugsgebietsgröße und Gebietsgefälletypen bzw. Konzentrationszeitklassen) in Form eines regionalen Katalogs. Die Ermittlung von HQn - Kennwerten kann somit entweder der Katalogbasis (Abb. 11) oder mit einer konkreten, standardisierten NA Berechnung mit Hilfe von Excelformblättern durchgeführt werden (Ergebnisse Abb. 12 und 13).

Die detaillierte Beschreibung des Verfahrens und die Vorlage-Berechnungsformblätter sind unter [www.wasser.ktn.gv.at/hydrographie](http://www.wasser.ktn.gv.at/hydrographie) downloadbar.

## Übertragung

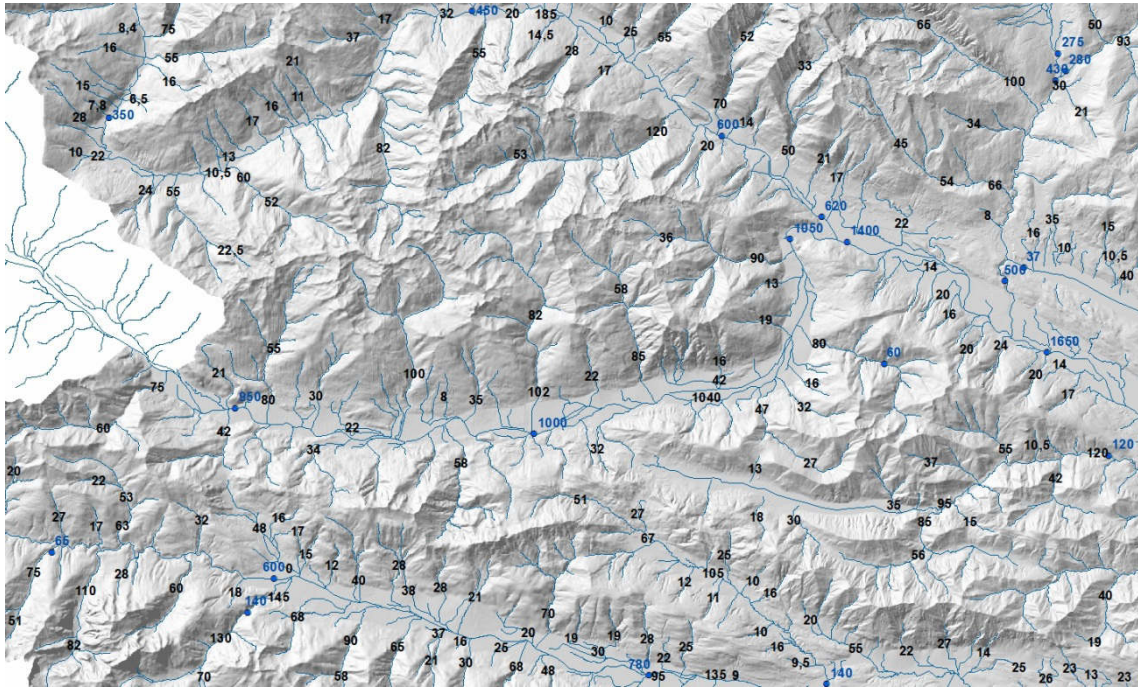


**Steckbrief Abb. 11:** Beispiel: Standardisierter Katalog mit statistisch basierten Gebietsfaktoren zur Ermittlung von  $HQ_{100}$  für kategorisierte Einzugsgebietsgrößen (0,25 km<sup>2</sup> bis 50 km<sup>2</sup>) und Konzentrationszeiten bzw. Gebietsgefälle (sehr rasch/sehr steil; rasch/steil, mittel/mittelsteil; langsam/weniger steil und sehr langsam/flach) für den Raum Gailtal Süd – ohne Nassfeld



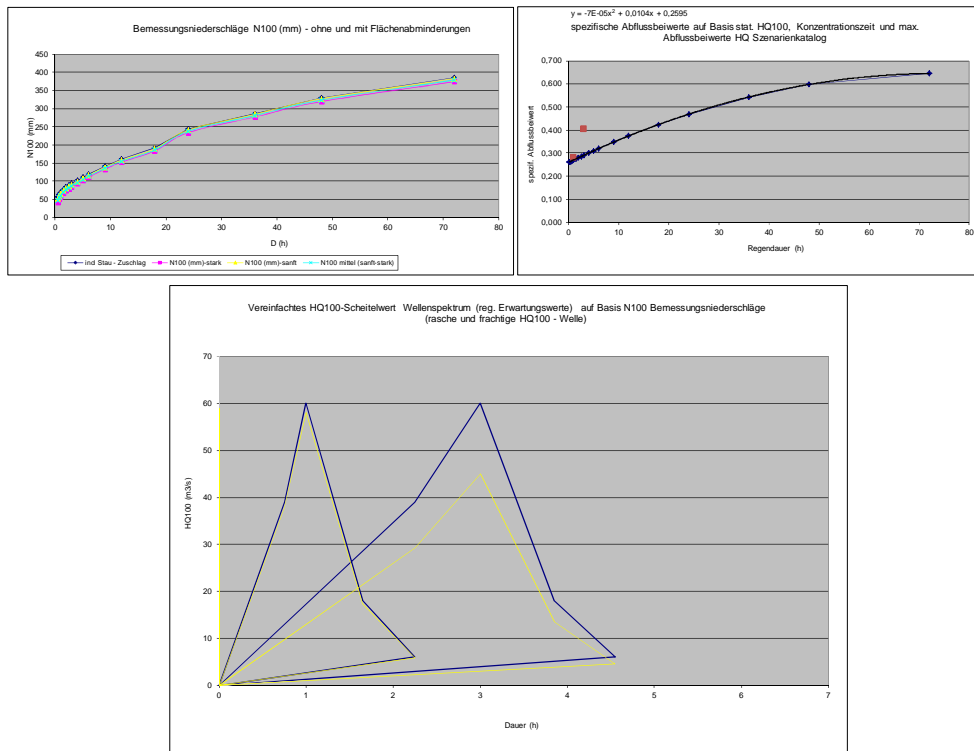
**Steckbrief Abb. 12:** Beispiel: Regionalisierte, statistisch basierte Gebietsfaktoren von Pegelstellen (in Anlehnung an Wundt:  $GF_{100} = HQ_{100(Statistik)} / EZG^{0,6}$ ) (blau) und mit NA Modell übertragene Gebietsfaktoren für unbeobachtete Gewässer (schwarz).

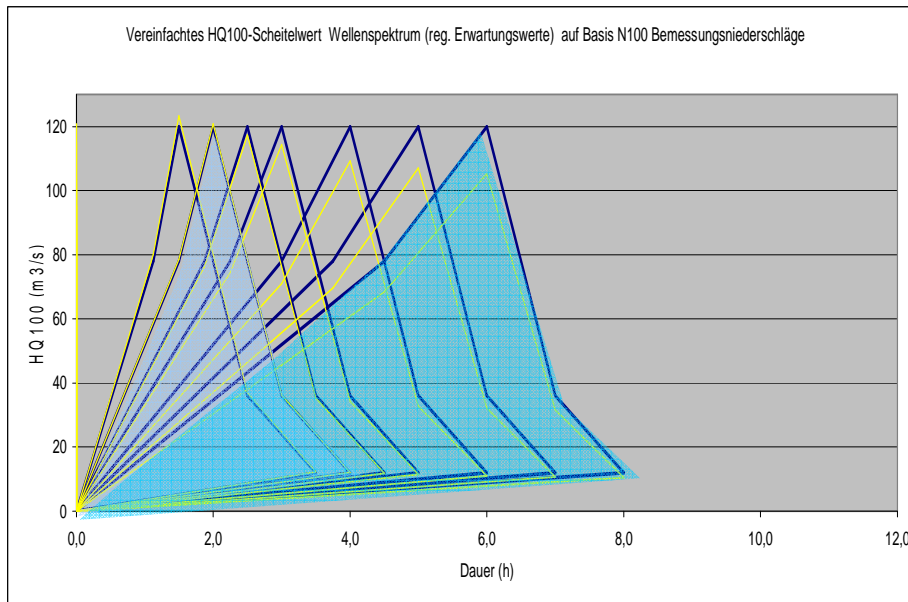
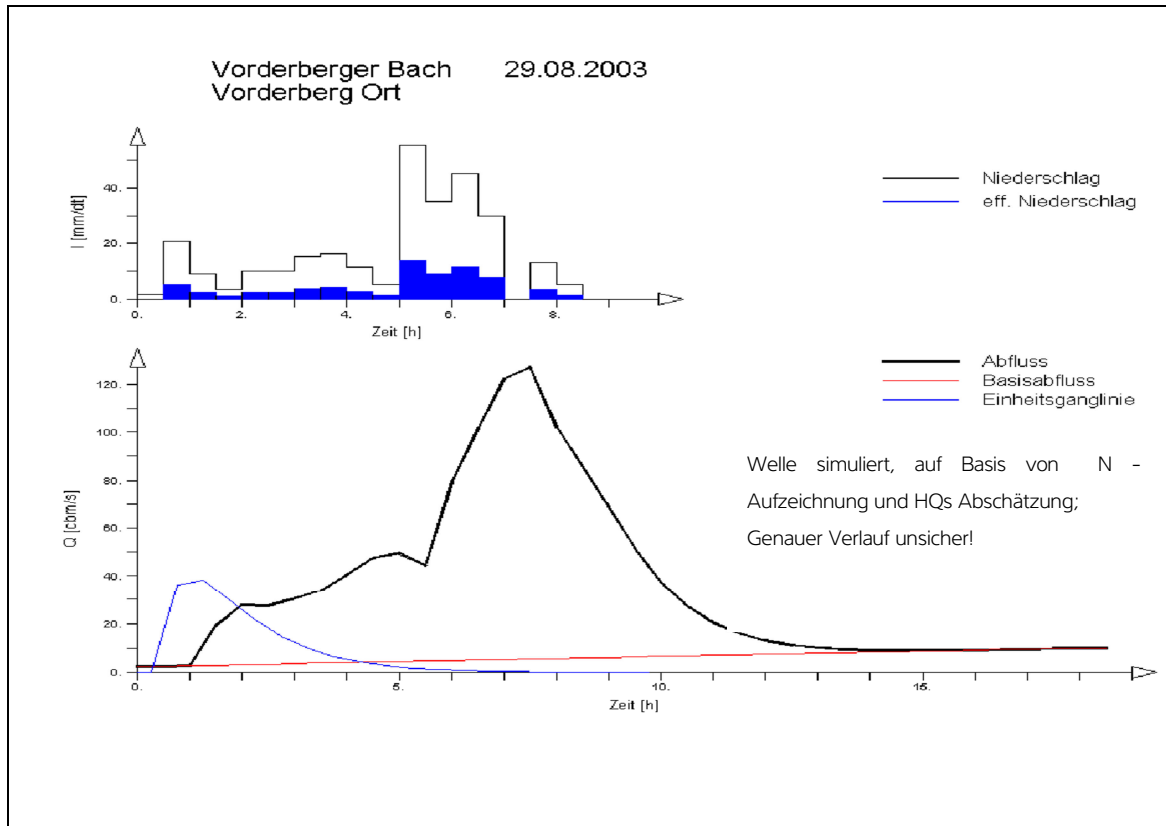




**Steckbrief Abb. 13:** Beispiel: Entsprechend der Einzugsgebietsgröße ermittelte HQ100 Abflussmengen: Pegelstellen (in Anlehnung an Wundt:  $HQ_{100} = GF_{100}(\text{Statistik}) \cdot EZG^{0,6}$ ) (blaue Werte) und mit NA Modell übertragene HQ100 - Hochwassermengen für unbeobachtete Gewässer (schwarze Werte). Unterhalb: Übertragung mit NA Berechnung für den Stittmoserbach;  $T_c=1,1h$  auf Basis der regionalen Niederschläge (N100) und der regionalen spezifische HQ100 Abflussbeiwertkurve. Für die frachtige HQ100 Welle wird der Abflussbeiwert entsprechend angehoben.

Stittmoserbach / Mündung





**Steckbrief Abb. 14:** Beispiel: rekonstruierte Hochwasserwelle am Vorderberger Bach 2003;  $HQ_{100} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$  aus HQ-Statistik; und standardisiertes Wellenspektrum (rasche bis frachtige Wellen) für  $HQ_{100}$ ; geschätzte Konzentrationszeit:  $T_c = 2 \text{ h}$ ; **rasche Welle:** (Wellenanstieg = Regendauer 2h; Wellenabstieg: 2h); **frachtige Welle:** (Wellenanstieg = Regendauer: 6 h; Wellenabstieg 2h) **Volumenzunahme** durch gleichbleibende  $HQ_{100}$ -Spitze bei frachtiger Welle: 14%.

**Kurzbeschreibung: Standardisierte HQ100 – Hochwasserwellen zur Berechnung der Fließretention (Spektrum an Wellen mit HQ100 – Scheitelwert; Abb. 14):**

Diese Festlegung wurde aus der Hochwasser-Analyse von aufgezeichneten, historischen Hochwässern an Pegeln getroffen, die aufzeigte, dass in der Natur sehr wohl Hochwässer mit längerer Regendauer und größeren Frachten als auch Hochwässer mit sehr raschen Anstiegszeiten entsprechend der Konzentrationszeit die statistisch ermittelten HQ100 Abflussscheitelwerte erreichten. Bei den raschen Wellen sind die Retentionseffekte zumeist groß, bei den frachtigen Wellen nicht mehr in diesem Ausmaß. Das bestätigt auch die Extremwertstatistik von Pegeln entlang des Flusses bzw. Gewässers, wo trotz riesiger Retentionsflächen, die HQ100 Scheitelwerte inklusive der Überlagerung des Zuflusses aus dem Zwischeneinzugsgebiet dennoch zunehmen.

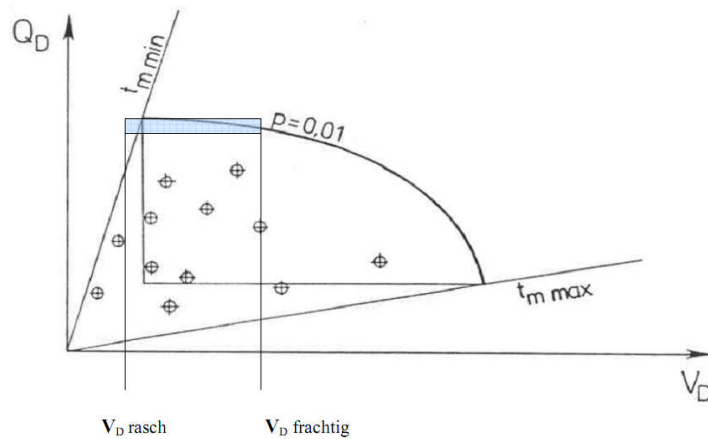
Neben den Hochwasserscheitelkennwerten ist daher für die Berücksichtigung der Fließretention in natürlichen Flussstrecken und zur Ausweisung von Retentionsflächen mittels stationärer Abflussberechnungen (2D) auch die Form der Welle (Fracht), die ein Hochwasser verursacht, zu berücksichtigen.

Auch bei Dimensionierung von Hochwasserrückhaltebecken sind die Abflussfrachten von Bedeutung.

Nachdem die Wellenberechnung wegen zumeist fehlender Aufzeichnungen bei größeren Hochwässern und wegen der Komplexität und Vielzahl an möglichen Wellenformen nicht einfach zu bewältigen ist, wird auch hier eine standardisierte Wellenbemessung vorgeschlagen.

Sie fußt auf empirischen (beobachteten) Annahmen, dass HQ<sub>100</sub>

1. durch **intensiven raschen Niederschlag** entstehen kann, in diesem Fall entspricht die Regendauer der ermittelten Fließ- bzw. Konzentrationszeit (HD Kärnten)
2. mit annähernd gleicher Wahrscheinlichkeit aus der Kombination **größerer Bodenfeuchte** und **weniger intensiven jedoch länger andauernden Niederschlag** entstehen kann. Bei dieser Situation entspricht die Regendauer ungefähr der empirisch festgelegten 2 bis 3-fachen Dauer der Fließ- bzw. Konzentrationszeit (siehe Beispiel Vorderbergerbach Abb. 14). Siehe auch Hochwasserszenarienkatalog Kärnten.
3. in der Betrachtung von Abflussfrachten und Abflussspitzen im Wahrscheinlichkeitsdiagramm der **bivariaten Statistik** ebenfalls die Annahme zulässt, dass für einen festzulegenden Bereich verschiedene Frachten mit annähernd gleichen Abflussspitzen möglich sind.
4. auch im **Hochwasserszenarienkatalog Kärnten** dargestellt von unterschiedlichen vielen Niederschlag-Bodenfeuchte Szenarien erreicht wird.

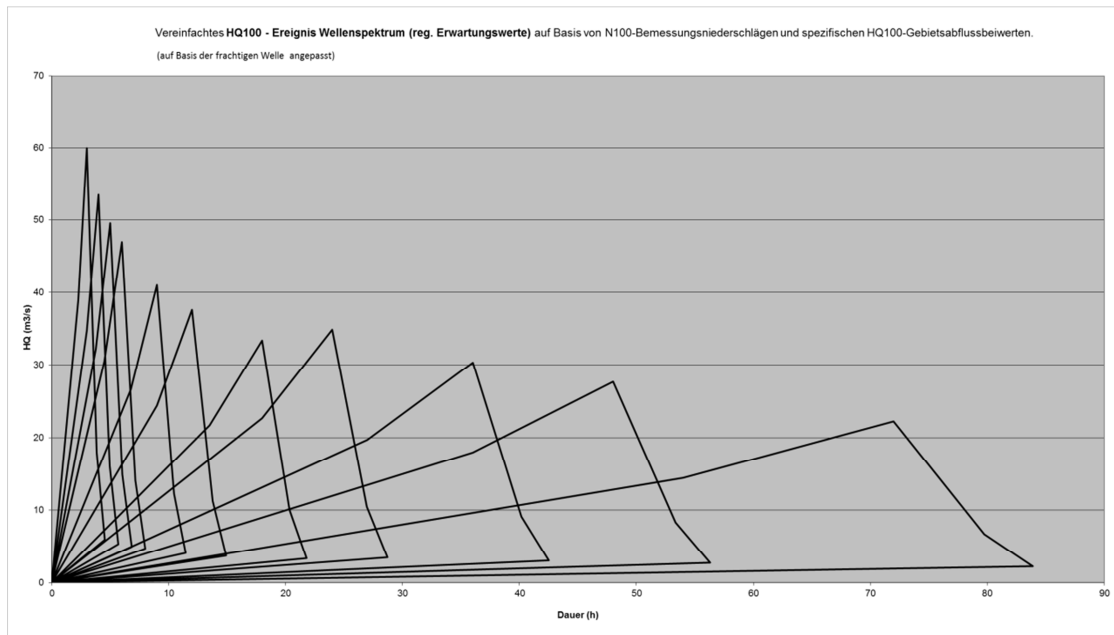


Bivariate Statistik (QD und VD) als statistische Eingangsgrößen

Viele Szenarien, Kombinationen von Parametern und hydrologische Ereigniszustände können also einen  $HQ_{100}$ -Scheitelwert hervorrufen, jedoch mit unterschiedlichen Wellenformen und Frachten: Intensiver rascher Niederschlag verursacht in der Regel **rasche Wellen** (Festlegung: Regendauer (Wellenanstiegszeit) entspricht der geschätzten Fließ- bzw. Konzentrationszeit (Wellenabstiegszeit)).

Länger anhaltende Niederschläge bewirken **frachtige Wellen** (Regendauer entspricht hier ca. der 2-3-fachen Fließ- bzw. Konzentrationszeit bzw. Erhöhung der spezifischen  $HQ_{100}$ -Abflussbeiwertkurve um 10 - 40 %; je nach EZG Größe.) Mit diesen standardisierten extremen Hochwasserwellen (rasch, frachtig) erscheint damit ein Spektrum an möglichen  $HQ_{100}$ -Scheitelwert Wellenszenarien realistisch – begrenzt durch eine Volumenzunahme von bis zu max. 40 % in Folge der angenommenen, gleichbleibenden  $HQ_{100}$  Spitze bei der frachtigen Welle – abgedeckt.

Die Bemessung kann letztendlich innerhalb der ermittelten Schankungsbereiche von  $HQ_{100}$ -Scheitelwert und der  $HQ_{100}$ -Wellenvolumen nach vorgegebenen Bemessungskriterien festgelegt werden.



**Steckbrief Abb. 15:** Wellenschar auf Basis der frachtigen HQ100 – Welle für zum Beispiel den Sittmoserbach : (Wellenanstieg = Regendauer: 3 h; Wellenabstieg 1,55 h. Für die generelle Betrachtung stehen die Scheitelwerte und Wellenvolumen im Vordergrund. Der Verlauf der Abflüsse kann natürlich variieren.

#### Kurzbeschreibung Hochwasserwellenschar auf Basis der frachtigen HQ100-Welle zur Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken (Abb. 15):

Über ein vereinfachtes Niederschlag-Abfluss-Modell wird die Ereignis-Hochwasserwellenschar für verschiedene Regendauern (6 bis 72 Stunden) und entsprechenden 100-jährlichen Regenmengen (Bemessungsniederschläge; mittlere Werte) berechnet. Je nach Einzugsgebietsgröße werden die Niederschläge abgemindert (mittlere Flächenabminderung). Die spezifische regionale HQ100-Abflussbeiwertekurve, die aus Pegelanalysen u.a. für den Bereich südliches Gailtal ermittelt wurde, die flächenabgeminderten Bemessungsniederschläge und die definierte Standardpolygonwelle (Wellenanstiegszeit=Regendauer; Wellenabstiegszeit=ermittelte Konzentrationszeit) bilden das Grundgerüst der vereinfachten Niederschlag-Abflussberechnung für die Ermittlung von Spitzenabflüssen bei unterschiedlichen Regendauern.

Bei der Niederschlag-Abflussberechnung auf Basis der ermittelten bzw. festgelegten frachtigen HQ100-Welle werden die spezif. HQ100- Abflussbeiwerte bzw. das daraus resultierende Effektiv-Niederschlagsvolumen (= Direktabflussvolumen der Standardwelle für die frachtige Welle und Wellenschar) entsprechend der Festlegung der frachtigen Welle (6h Wellenanstieg, 2,9 h Wellenabstieg; HQ100 Scheitelwert 120 m<sup>3</sup>/s aus HQ Statistik abgeleitet und entsprechend standardisiertes Polygonwellenvolumen) angepasst. Die Abflussbeiwertekurve auf Basis der frachtigen Hochwasserwelle wird für die Regendauer von 72 h wieder den Höchstwerten angepasst, also hier nicht mehr erhöht.

Vordergründig steht das Wellenvolumen und der Scheitelabfluss im Blickpunkt des Interesses und nicht unbedingt der genaue Wellenverlauf, weshalb der Standardwellentyp für die generelle Betrachtung von kleinen Einzugsgebieten ausreichend erscheint.

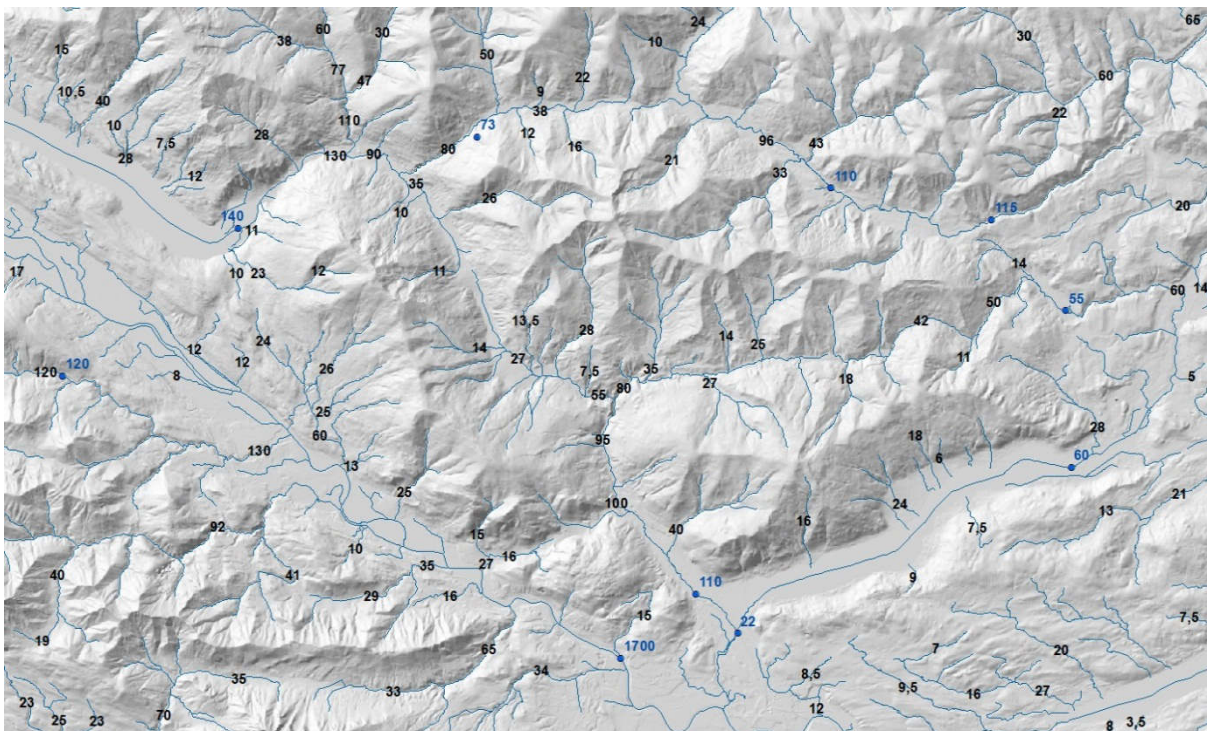
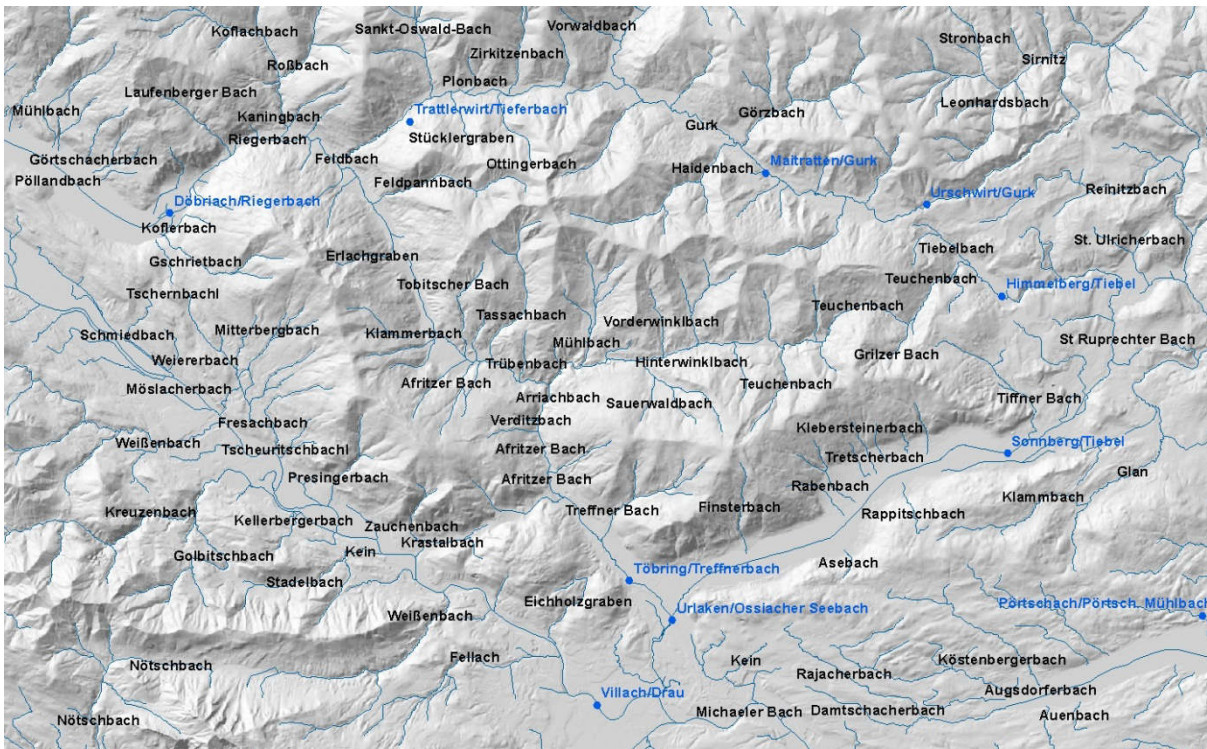




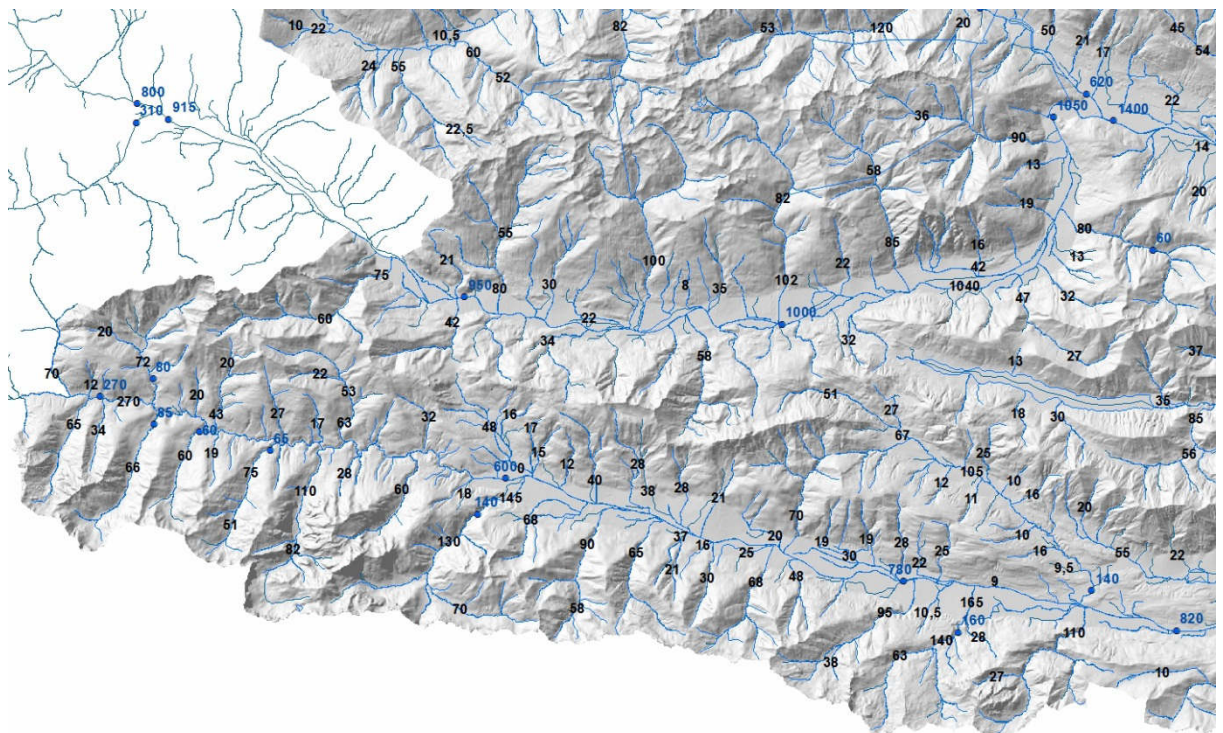
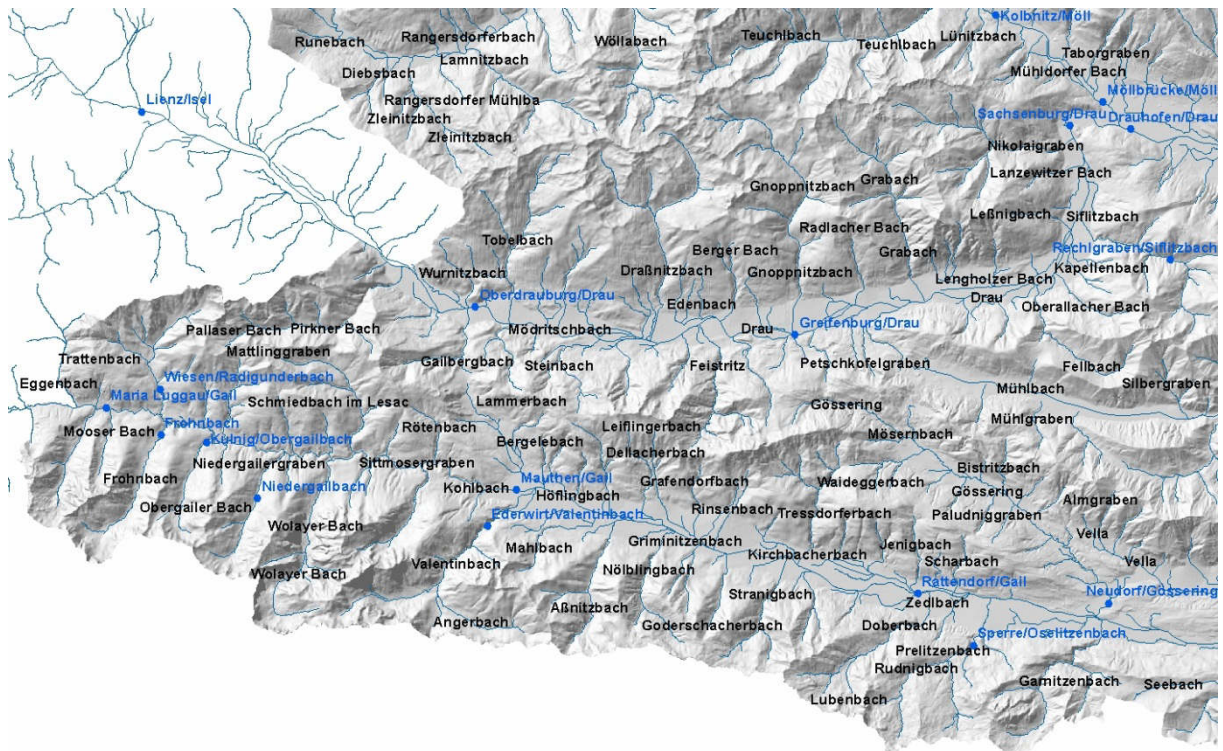






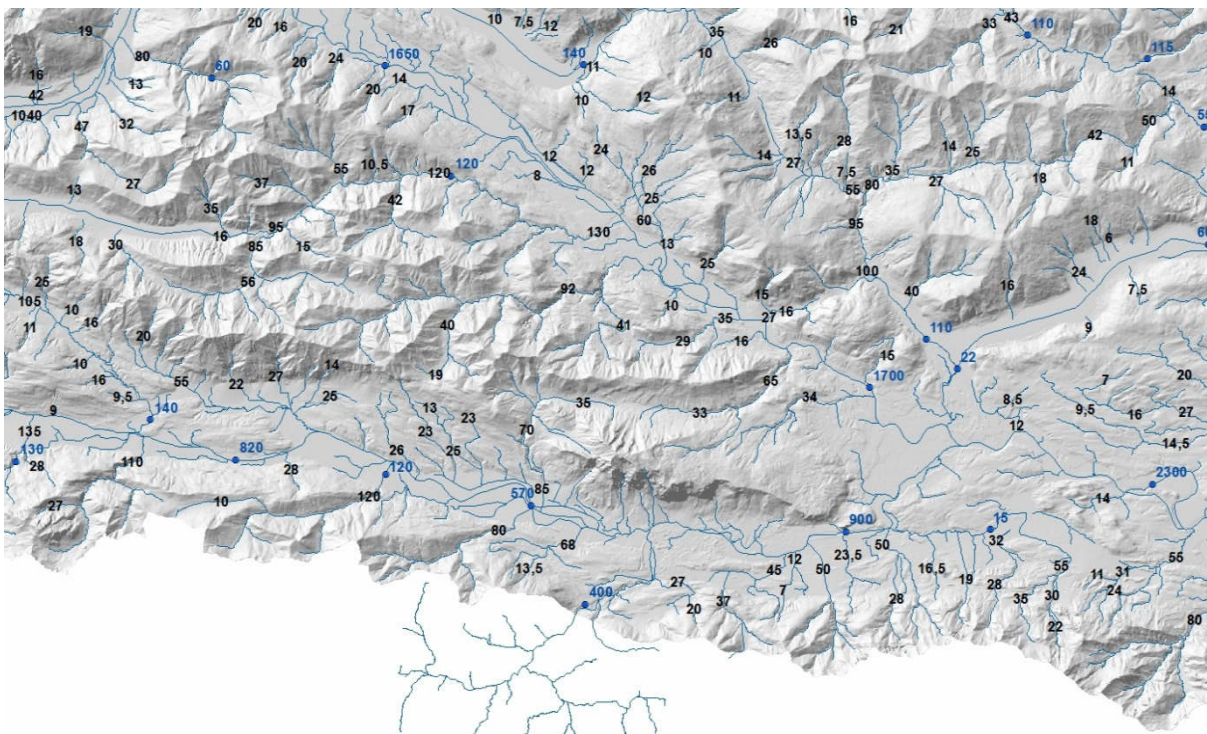
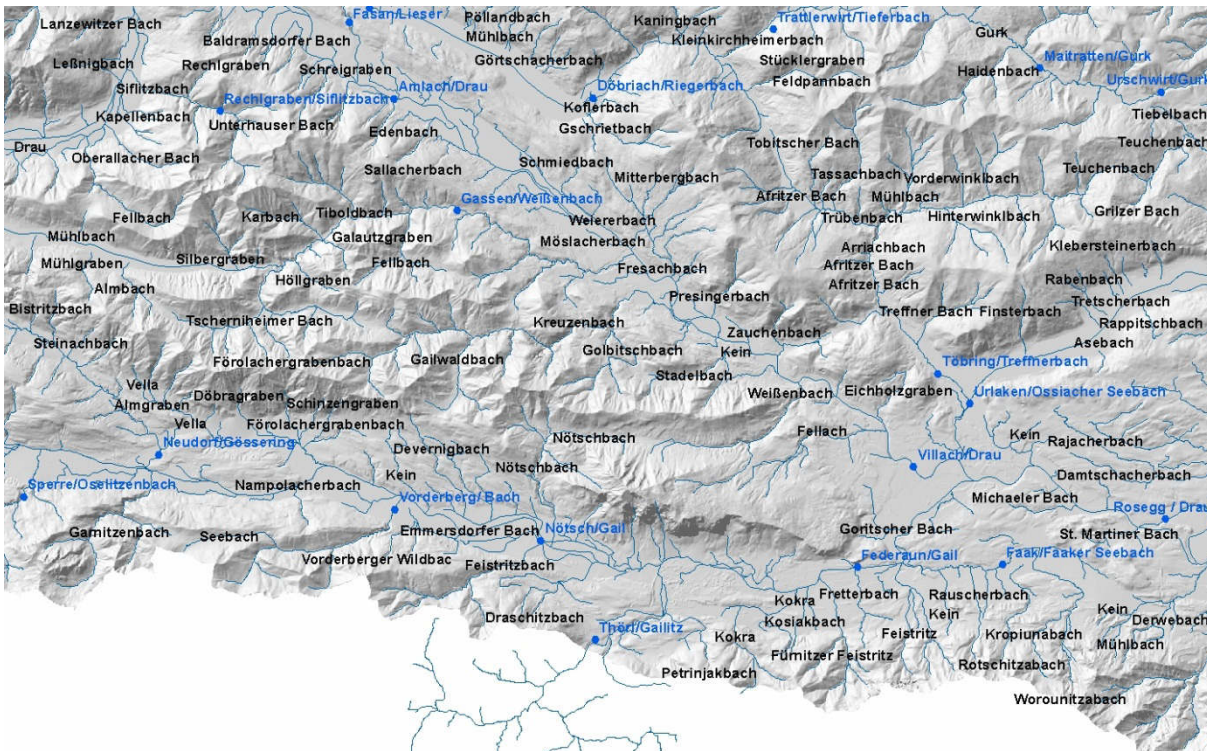


Flussgebiet Tiebel und Afritzer Bach: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)



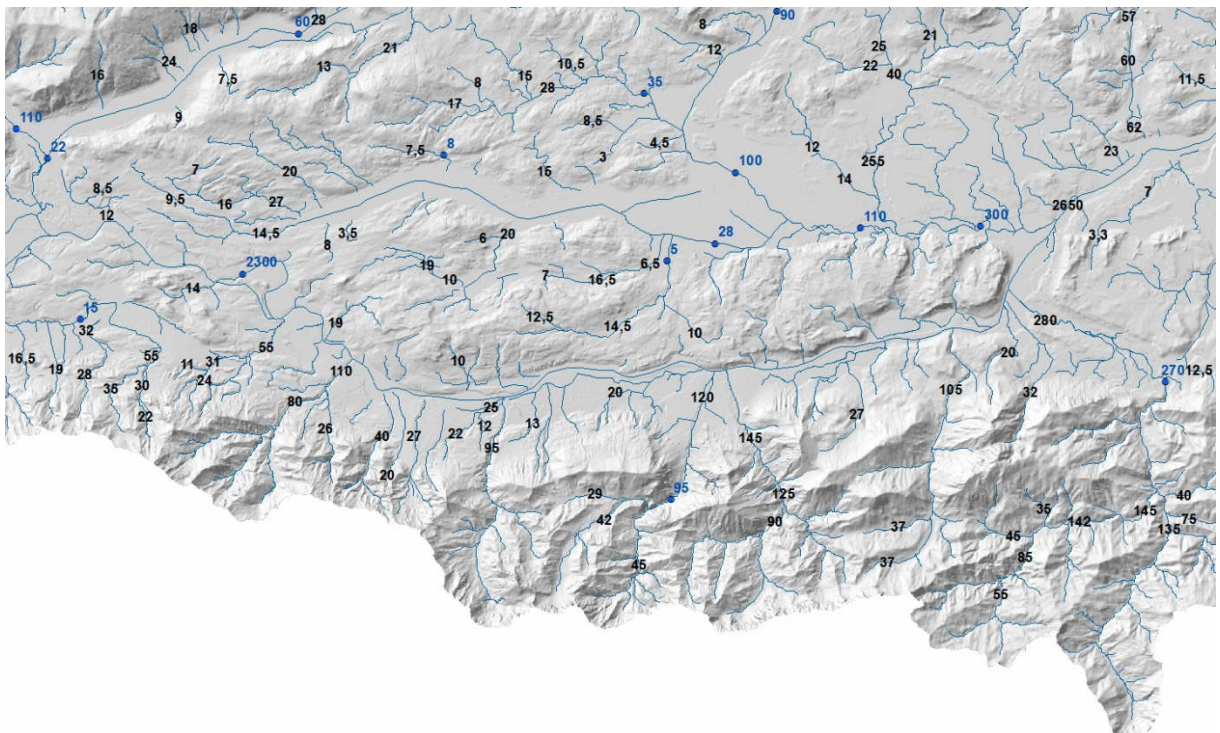
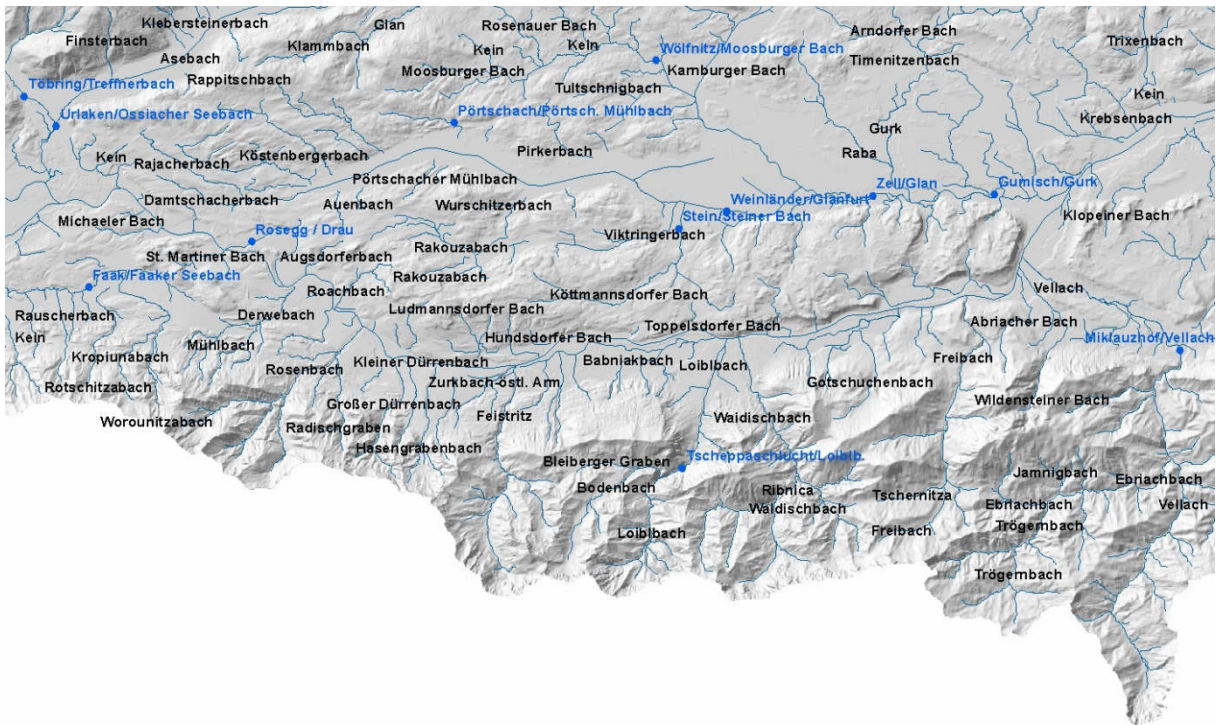
Flussgebiet Obere Gail: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)

Abflusskennwerte - HOCHWASSERKENNWERTE (HQ<sub>n</sub>)



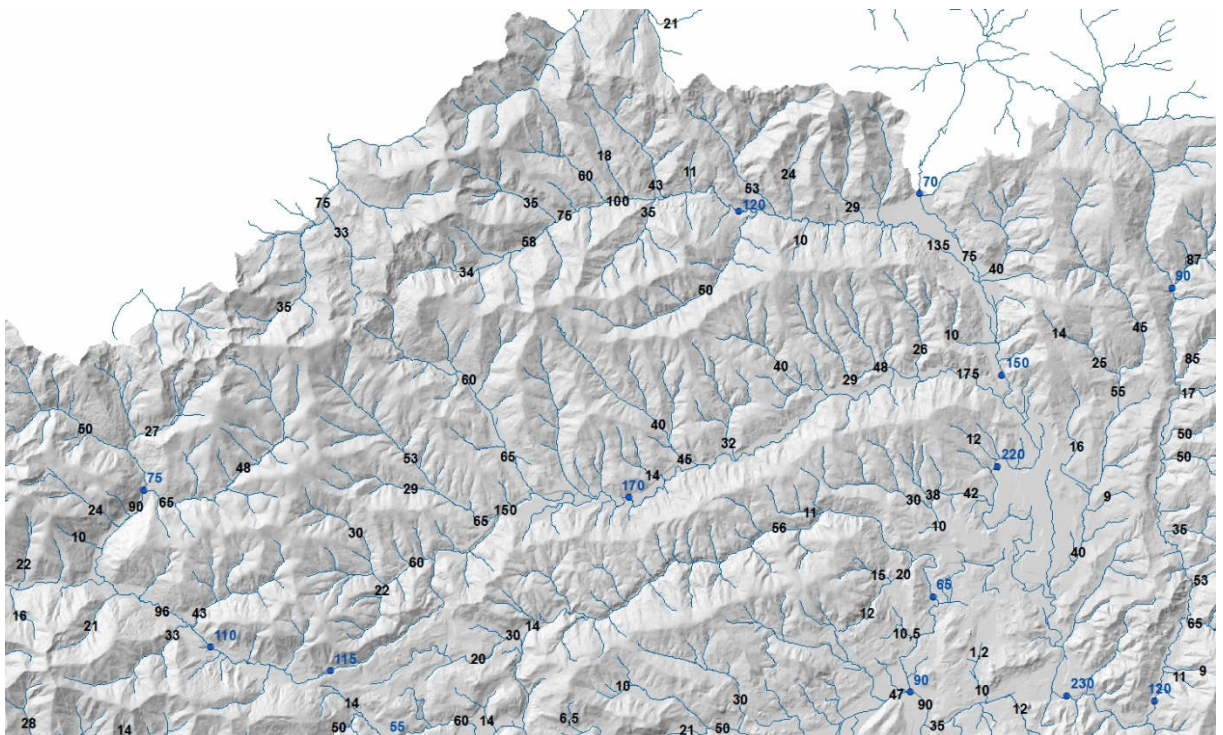
Flussgebiet Untere Gail: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)

Abflusskennwerte - HOCHWASSERKENNWERTE (HQn)



Flussgebiet Karawankenbäche West: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)

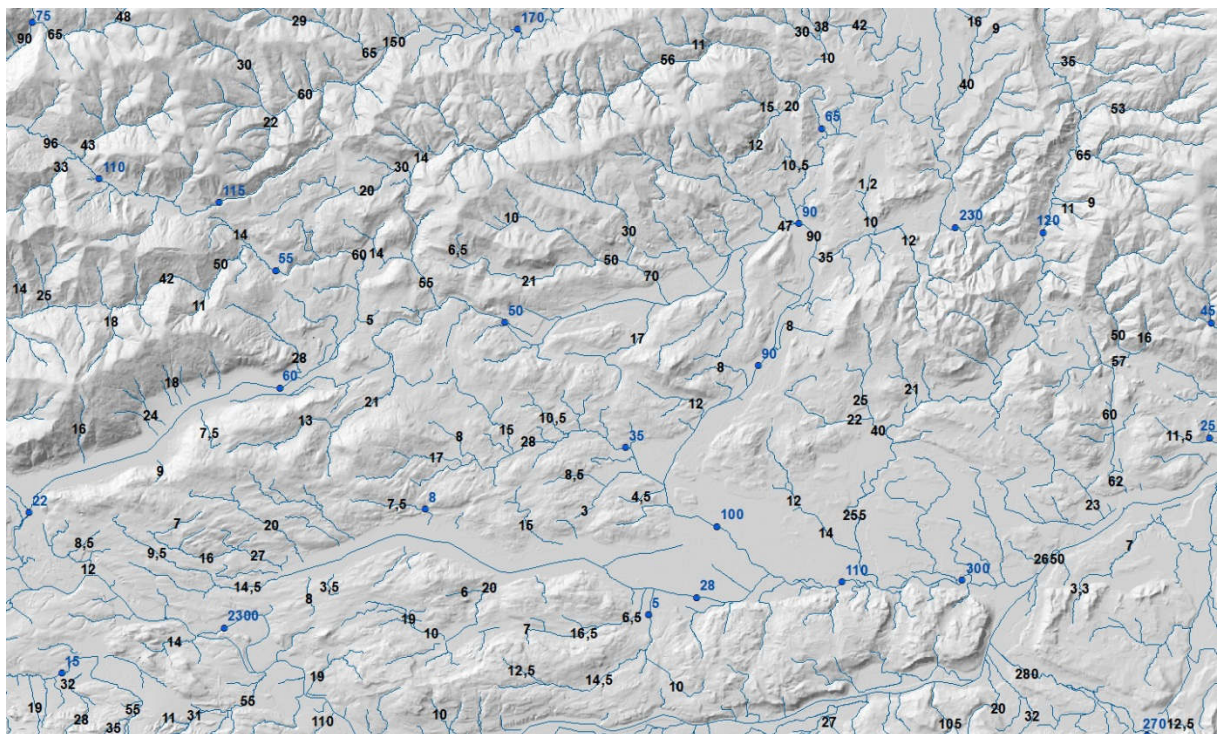
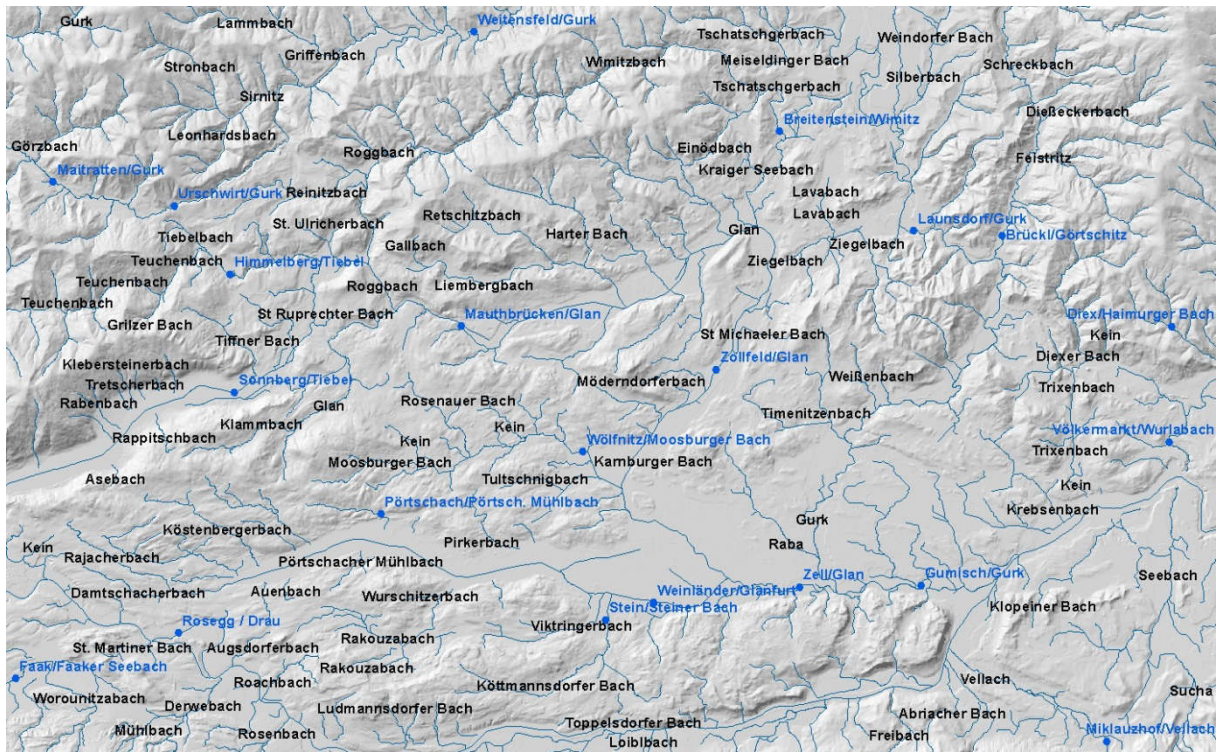




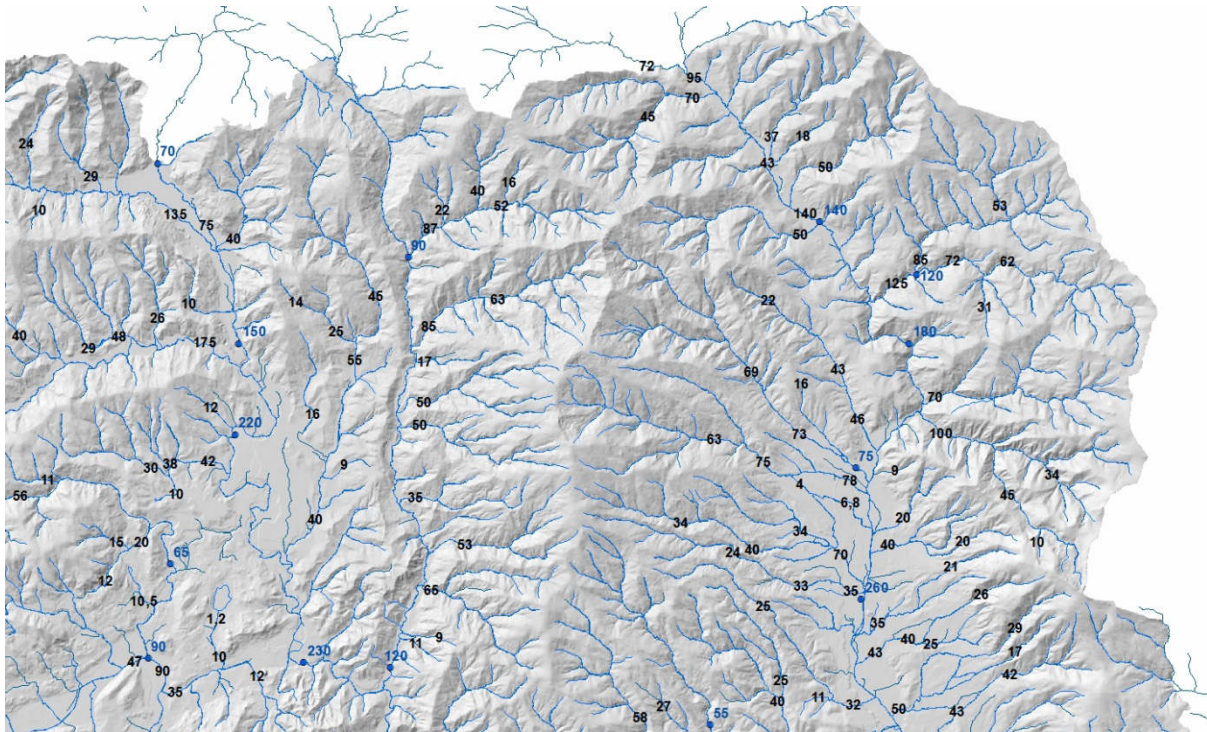
Flussgebiet Obere Gurk: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)



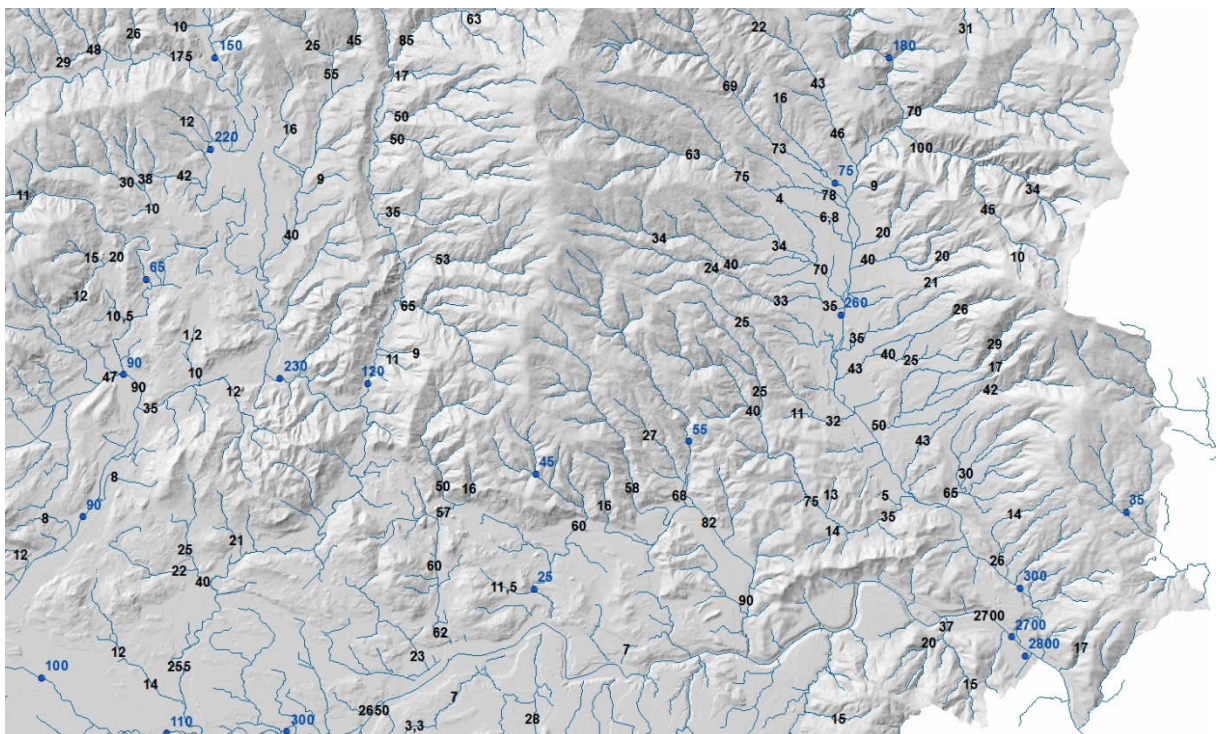




Flussgebiet Glan und Untere Gurk: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)



Flussgebiet Obere Lavant: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)



Flussgebiet Untere Lavant und Saualpe Süd: HQ<sub>100</sub> – regionalisierte Erwartungswerte in (m<sup>3</sup>/s)



# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abb. 1:	Geographische Raumeinheiten Kärntens (Tabelle und Karte); [Entwurf: M. Seger, Grafik: J. Gradenegger] (Vgl. SEGER 1999) .....	3
Abb. 2:	Links: Großglockner (Foto: HOLZEIS); Rechts: Blick aus dem Großelendtal auf die Hochalmspitze (Foto: KOPEINIG 2013) .....	4
Abb. 3:	Kreuzeckgruppe (Foto: HOLZEIS 2006) .....	5
Abb. 4:	Bild links: Inmitten der Periadriatische Naht; Bild rechts: Südkarawanken (Fotos: HOLZEIS) .....	6
Abb. 5:	Untere Drau tief eingeschnitten (Foto: HOLZEIS 2013).....	7
Abb. 6:	Bild links: Drömling; Bild rechts: Schmelzwasseransammlung in einem Kar am Großglockner (Fotos: HOLZEIS 2007) .....	7
Abb. 7:	Geologische Übersichtskarte von Kärnten (KRAINER 1999) .....	8
Abb. 8:	Glaziale Serie (HAACK WELTATLAS-ONLINE 2013) .....	8
Abb. 9:	Der Wasserkreislauf (Vgl. USGS Georgia Water Science Center) .....	9
Abb. 10:	Teilprozesse der Landphase im Wasserkreislauf (Vgl. DYCK und PESCHKE 1995) .....	11
Abb. 11:	Leichte Inversionswetterlage über dem Klagenfurter Becken (HOLZEIS 2005).....	14
Abb. 12:	Sonnenuntergang am Tresdorfer Feld im Mölltal mit Blick Richtung Sadniggruppe (HOLZEIS 2008) .....	14
Abb. 13:	Links: Landzerhütte mit einem Thermograph (analog), rechts: elektronischer Thermometer (digital) (Fotos: LJUBA, WERNEGGER).....	15
Abb. 14:	Messstationen des HD Kärntens (Temperatur und Niederschlag). Die orange Umrandung markiert die Stationen, welche unter den Punkten Lufttemperatur und Niederschlag „Stationsdaten“ detailliert gezeigt werden. ....	16
Abb. 15:	Interpolation (Kriging) zwischen Messstationen .....	18
Abb. 16:	Lufttemperatur Malta (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel).....	19
Abb. 17:	Lufttemperatur Waidegg (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel) .....	20
Abb. 18:	Lufttemperatur Klagenfurt Technikzentrum (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel) .....	21
Abb. 19:	Lufttemperatur Wolfsberg (Minimale-, mittlere-, und maximale Tagesmittel) .....	23
Abb. 20:	Mittlere Frühlingstemperaturen .....	24
Abb. 21:	Mittlere Sommertemperaturen.....	25
Abb. 22:	Mittlere Herbsttemperaturen.....	27

Abb. 23:	Vergleich der mittleren Herbst- und Frühlingstemperaturen .....	28
Abb. 24:	Mittlere Wintertemperaturen .....	29
Abb. 25:	Mittlere Jahrestemperaturen .....	30
Abb. 26:	Wetterzugstraßen nach Ferdinand Tschada 1971b.....	33
Abb. 27:	Konvektiver Niederschlag über dem Mölltal (HOLZEIS 2013).....	35
Abb. 28:	Zur Messung des Niederschlages links: ein Distrometer, rechts: ein Ombrometer und ein Ombrograph (Fotos: LJUBA, WERNEGGER) .....	36
Abb. 29:	Gemessener- im Vergleich zum tatsächlichen Niederschlag in Abhängigkeit zum Wind (LEGATES 1993).....	37
Abb. 30:	Niederschlag Malta (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 896 mm.....	38
Abb. 31:	Niederschlag Waidegg (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 1456 mm.....	39
Abb. 32:	Niederschlag Klagenfurt Technikzentrum (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 895 mm.....	39
Abb. 33:	Niederschlag Wolfsberg (Minimale-, mittlere- und maximale Monatssummen) Jahresmittel: 785mm.....	40
Abb. 34:	Verwendete Niederschlagsgradienten in Prozent pro 100 m Höhenzunahme .....	41
Abb. 35:	Mittlere Niederschlagssumme im Frühling .....	42
Abb. 36:	Mittlere Niederschlagssumme im Sommer.....	43
Abb. 37:	Mittlere Niederschlagssumme im Herbst.....	44
Abb. 38:	Gebiete mit höherem Niederschlag im Herbst gegenüber dem Sommer – Positive Werte (in blau gekennzeichnet) bedeuten mehr Niederschlag im Herbst.....	45
Abb. 39:	Mittlere Niederschlagssumme im Winter.....	46
Abb. 40:	Mittlere Jahresniederschlagssummen.....	47
Abb. 41:	Untere Drau bei Annabrücke (Foto: KERSCHBAUMER).....	49
Abb. 42:	Saisonale Ganglinien von Flüssen Oberkärntens (Möll, Lieser, Obere Drau) .....	50
Abb. 43:	Saisonale Abflussspenden von Flüssen Oberkärntens (Möll, Lieser, Obere Drau) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze.....	50
Abb. 44:	Die Möll bei Winklern (Fotos: KERSCHBAUMER).....	51
Abb. 45:	Links: Die Lieser bei Lieserhofen; Rechts: Die Lieserschlucht (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	52
Abb. 46:	Links: Kleinellendbach; Rechts: Malta Stausee (Fotos: KOPEINIG 2013) .....	52
Abb. 47:	Saisonale Ganglinien von Flüssen Südkärntens (Gail, Vellach).....	53

Abb. 48:	Saisonale Abflussspenden von Flüssen Südkärntens (Gail, Vellach) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze.....	53
Abb. 49:	Links: Die Gail im Lesachtal; Rechts: Die Gail bei Tröpolach (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	54
Abb. 50:	Links: Die Gail bei Nötsch; Rechts: Dambruch bei Rattendorf (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	54
Abb. 51:	Die Vellach ist mit ihrem Bestand an Äschen, Bach- und Regenbogenforellen ein beliebtes Fliegenfischgewässer (Fotos: KERSCHBAUMER).....	55
Abb. 52:	Saisonale Ganglinien von Flüssen Mittel- und Ostkärntens (Gurk, Lavant) .....	56
Abb. 53:	Saisonale Abflussspenden von Flüssen Mittel- und Ostkärntens (Gurk, Lavant) im Vergleich zur Drau an der Staatsgrenze.....	56
Abb. 54:	Links: Die Gurk mit Schotterbänken; Rechts: Die Gurk beim Wolschartwald (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	57
Abb. 55:	Links: Die Glan bei Seidlhof; Rechts: Die Glan nach der baulichen Umleitung beim LKH Klagenfurt (Fotos: KERSCHBAUMER).....	58
Abb. 56:	Lavant bei Mitterpichling (Fotos: KERSCHBAUMER).....	59
Abb. 57:	Flussverlauf der Drau (Wikipedia 2013) .....	59
Abb. 58:	Einzugsgebietsgröße (E), Mittlere Abfluss (MQ) und Abflussspende (Mq) der größten Flüsse Kärntens (Periode 1981-2010) .....	60
Abb. 59:	Links: Draukraftwerk Annabrücke; Rechts: Stausee Annabrücke (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	61
Abb. 60:	Links: Die Drau bei Greifenburg; Rechts: Die Drau bei Kleblach-Lind (Fotos: KERSCHBAUMER) .....	62
Abb. 61:	Die Drau bei Förderlach als wertvolles Biotop (Foto: KERSCHBAUMER) .....	62
Abb. 62:	Mess-/Pegellatte (Foto: <a href="http://www.wsa-ko.wsv.de">www.wsa-ko.wsv.de</a> ) .....	63
Abb. 63:	Messstation Rattendorf mit Seilkrananlage und Messflügel (Foto: MALLE) .....	64
Abb. 64:	Druckluftpegel (Vgl. <a href="http://iwhw.boku.ac.at">http://iwhw.boku.ac.at</a> ) .....	64
Abb. 65:	Pegelschlüssel (Vgl. <a href="http://iwhw.boku.ac.at">http://iwhw.boku.ac.at</a> ) .....	65
Abb. 66:	Abflussmessung mit dem Messflügel an der Glanfurt (Foto: MOSER).....	66
Abb. 67:	Messwehr Kaser Wiesel beim Gnoppnitzbach (Fotos: MALLE) .....	67
Abb. 68:	Abflussstationen des HD Kärntens. Die orange Umrandung markiert Stationen, welche zum Thema „Wasserstände und Abflüsse“ dargestellt werden. (Von West nach Ost sind dies Sachsenburg, Gmünd, Federaun, Gumisch, Miklauzhof und Krottendorf) .....	67
Abb. 69:	Abfluss der Oberen Drau am Pegel Sachsenburg (Minimale-, mittlere- und	

	maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 66,6m <sup>3</sup> /s .....	68
Abb. 70:	Abfluss der Lieser am Pegel Gmünd (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 6,4 m <sup>3</sup> /s.....	69
Abb. 71:	Abfluss der Gail am Pegel Federaun (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 41,2 m <sup>3</sup> /s.....	69
Abb. 72:	Abfluss der Gurk am Pegel Gumisch (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 27,8 m <sup>3</sup> /s.....	70
Abb. 73:	Abfluss der Vellach am Pegel Miklauzhof (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 5,7 m <sup>3</sup> /s.....	70
Abb. 74:	Abfluss der Lavant am Pegel Krottendorf (Minimale-, mittlere- und maximale Tagesmittel) Jahresmittel: 11,4 m <sup>3</sup> /s.....	71
Abb. 75:	Die größten Seen Kärntens; Fläche [ha], Tiefe und Seehöhe [m] (vgl. SAMPL 1999) .....	73
Abb. 76:	Temperaturschichtung im Wörthersee (vgl. SAMPL 1999).....	74
Abb. 77:	Seestationen in Kärnten (Techendorf am Weißensee, Presseggen am Pressegger See, Millstatt am Millstätter See, St. Andrä am Ossiacher See, Faak am Faaker See, Pörschach am Wörthersee, Keutschach am Keutschacher See, St. Georgen am Längsee, Unterburg am Klopeiner See) .....	74
Abb. 78:	Seestation in Pörschach am Wörthersee .....	75
Abb. 79:	Wörthersee Pegel Klagenfurt – Metnitzstrand Schiffsanlegesteg; November 2013 (Foto: MOSER) .....	75
Abb. 80:	Wassertemperatur des Weißensees .....	76
Abb. 81:	Wassertemperatur des Millstätter Sees .....	77
Abb. 82:	Wassertemperatur des Wörthersees.....	77
Abb. 83:	Wassertemperatur des Klopeiner Sees.....	78
Abb. 84:	Grundwasserleiter (Vgl. Skript Grundwasserabsenkung – Laborversuch für Schüler Ruhr Universität Bochum 2005).....	79
Abb. 85:	Quellkataster auf hydrologischen Einheiten (Stand 2012; Quelle der hydrographischen Einheiten: KAGIS); Die Ganglinien der markierten Quellen werden im Unterpunkt „Auswertung“ dargestellt. ....	81
Abb. 86:	Quellstube aus Beton (Fotos: JAUFER).....	82
Abb. 87:	Links: Quellstube (Wassertonne); Rechts: kreatives Messwehr aus Tonnen von Friedrich Gailberger (Fotos: JAUFER).....	82
Abb. 88:	Offensichtlicher Messfehler – Spitze geht bis 17500 l/s.....	83
Abb. 89:	Nahegelegene Quellen mit ähnlicher Ganglinie (Vgl. HOLZEIS 2011; Kartenmaterial KAGIS und ÖK50) .....	84



Abb. 90:	Auflistung von Quellschüttungsganglinien in Kärnten .....	87
Abb. 91:	Überflur-Grundwassermessstelle: 1=Kappe, 2=Aufsatzrohr, 3=Filterrohr, 4=Sumpfrohr, 5=Betonabdeckung, 6=frostsicherer Boden, 7=Abdichtung, 8=Bohrgut, 9=Filtersand (Vgl. GeoLexikon) .....	89
Abb. 92:	Porengrundwasserkörper und Grundwassermessstellen (Stand 2012; Quelle der Grundwasserkörper: KAGIS); Ganglinien der markierten GW-Messstellen werden im Unterpunkt „Auswertung“ dargestellt. ....	90
Abb. 93:	Größe der Grundwasserkörper (Vgl. WIDOWITZ 2003) .....	90
Abb. 94:	Grundwasserstation Moos im Jauntal (Tagesmittelwerte) .....	91
Abb. 95:	Grundwasserstation Spittal an der Drau (Tagesmittelwerte) .....	91
Abb. 96:	Schneehaushalts- und Bodenfeuchtemodellierung des HBV-Modells in einer Rasterzelle (Vgl. KOMMA 2007).....	95
Abb. 97:	Das Abflussmodul einer Rasterzelle (Vgl. KOMMA 2007 und eigene Bearbeitung) .....	96
Abb. 98:	Mittlere Bodenfeuchte.....	97
Abb. 99:	Mittlere jährliche Verdunstung.....	99
Abb. 100:	Mittlere Verdunstung im Frühling.....	100
Abb. 101:	Mittlere Verdunstung im Sommer.....	101
Abb. 102:	Mittlere Verdunstung im Herbst .....	102
Abb. 103:	Mittlere Verdunstung im Winter .....	103
Abb. 104:	Nassfeld Februar 2009 (Foto: WERNEGGER) .....	104
Abb. 105:	Nassfeld Februar 2009 (Fotos: WERNEGGER.....	104
Abb. 106:	Mittleres Schneewasseräquivalent im Dezember.....	105
Abb. 107:	Mittleres Schneewasseräquivalent im Jänner .....	106
Abb. 108:	Mittleres Schneewasseräquivalent im Februar.....	107
Abb. 109:	Mittleres jährliches Wasserdargebot minus Verdunstung (mm).....	108
Abb. 110:	Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Frühling (mm) .....	110
Abb. 111:	Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Sommer (mm).....	111
Abb. 112:	Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Herbst (mm).....	112
Abb. 113:	Mittleres Wasserdargebot minus Verdunstung im Winter (mm).....	113
Abb. 114:	Mittlere jährliche modellierte Abflusspende als Kartenhintergrund mit gemessenen mittleren Abflusspenden an den Pegeln [l/s/km <sup>2</sup> ].....	115
Abb. 115:	Mittlere Abflusspende im Frühling [l/s/km <sup>2</sup> ] .....	116

Abb. 116:	Mittlere Abflusssspende im Sommer [l/s/km <sup>2</sup> ].	117
Abb. 117:	Mittlere Abflusssspende im Herbst [l/s/km <sup>2</sup> ].	118
Abb. 118:	Mittlere Abflusssspende im Winter [l/s/km <sup>2</sup> ].	119
Abb. 119:	Wasserbilanz Kärnten (Periode 1981 – 2010).	121
Abb. 120:	Überschwemmung in Villach	126
Abb. 121:	Foto: Erdmuren im Lesachtal 1965.	127
Abb. 122:	Foto: zerstörte Brücke Pattendorf (Paternion) 1965.	128
Abb. 123:	Foto: überschwemmte Landschaft bei Töplitsch 1965	128
Abb. 124:	Foto: Gemeindegebiet von Dellach/Drautal 1965.	129
Abb. 125:	Foto: Döllach im Mölltal 1965 (dreimal vom Zirknitzbach schwer beschädigt)	129
Abb. 126:	Foto: Spittal/Drau 1965 – südliches Siedlungsgebiet	130
Abb. 127:	Foto: Villach 1966 – Stege auf dem überschwemmten Hauptplatz.	131
Abb. 128:	Foto: Die bedrohte neue Draubrücke in Villach (August 1966)	131
Abb. 129:	Foto: Villach Lederergasse 1966	132
Abb. 130:	Foto: Villach 1966 Gerbergasse	132
Abb. 131:	Monatsniederschlagssummen der Station Klagenfurt im Jahr 2012 (violett; Trockenheit im Frühjahr) und 2013 (grün - Trockenheit im Sommer). Deutlich erkennbar die Niederschlagsdefizite im Jänner Feb und März 2012 und im Juni, Juli und August 2013.	134
Abb. 132:	Abflüsse der Lavant in Krottendorf/St. Paul von Jänner 2012 bis Sept. 2013. Der Abfluss ging im Juli auf ca. 6 m <sup>3</sup> /s zurück. Das beobachtete NQt (kleinstes Tagesmittel) von 2,81 m <sup>3</sup> /s (2012) ist jedoch noch deutlich kleiner.	135
Abb. 133:	Fokus Niederwasserabflüsse der Lavant in Krottendorf/St. Paul von 1974 bis 2013. Markante Niederwasserperioden: 1978, 1979, 1984, 1993, 2002, 2003, 2005, 2012	135
Abb. 134:	Niederschlagssumme von Jänner bis April 2003 in Prozent vom Normalwert 1961-1990. HZB.	136
Abb. 135:	Jährliche Wasserstände des Wörthersees / Pegel Pörtschach (1903 – 2013); Hydrographie Kärnten	137
Abb. 136:	Abfluss-, Grundwasser-, Lufttemperatur- & Niederschlags- und Seestationen für die Darstellung klimatischer Veränderungen	138
Abb. 137:	Mittlere Lufttemperatur Oberdrauburgs im Dekadenvergleich	139
Abb. 138:	Mittlere Lufttemperatur Klagenfurts im Dekadenvergleich.	140
Abb. 139:	Mittlere Lufttemperatur Wolfsbergs im Dekadenvergleich.	140

Abb. 140:	Anstieg der Lufttemperaturen zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10. ....	141
Abb. 141:	Mittlere Wassertemperatur des Weißensees im Dekadenvergleich.....	142
Abb. 142:	Mittlere Wassertemperatur des Wörthersees im Dekadenvergleich .....	142
Abb. 143:	Anstieg der Seetemperaturen zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10.....	143
Abb. 144:	Mittlerer Abfluss an der Oberen Drau bei Sachsenburg im Dekadenvergleich ....	144
Abb. 145:	Mittlerer Abfluss an der Gail bei Federaun im Dekadenvergleich .....	145
Abb. 146:	Mittlerer Abfluss an der Gurk bei Gumisch im Dekadenvergleich .....	145
Abb. 147:	Mittlerer Abfluss an der Lavant bei Krottendorf im Dekadenvergleich .....	146
Abb. 148:	Veränderung der mittleren Abflüsse zwischen den Dekaden 1981-90 und 2001-10. Positive Werte bedeuten erhöhte Abflüsse der Dekade 2001-2010. ....	147
Abb. 149:	Glättungsgewichte: links mit 5 Werten (für Jahreswerte); rechts mit 15 Werten (für Monatswerte) .....	147
Abb. 150:	Jahresmittel der Lufttemperatur in Sachsenburg (Langzeitreihe) .....	148
Abb. 151:	Jahresmittel der Lufttemperatur in Klagenfurt (Langzeitreihe) .....	149
Abb. 152:	Jahresmittel der Lufttemperatur in Preblau (Langzeitreihe) .....	149
Abb. 153:	Die heißesten Jahresmittel bis 2010 an den Stationen Klagenfurt, Malta, Maria Luggau, Millstatt, Oberdrauburg, Preblau und Sachsenburg (Foto: WERNEGGER) .....	150
Abb. 154:	Jahresmittel des Niederschlags in Sachsenburg (Langzeitreihe) .....	151
Abb. 155:	Jahresmaxima der Schneehöhen in Sachsenburg (Langzeitreihe).....	151
Abb. 156:	Jahresmittel des Niederschlags in Klagenfurt (Langzeitreihe) .....	152
Abb. 157:	Jahresmaxima der Schneehöhen in Klagenfurt (Langzeitreihe) .....	152
Abb. 158:	Jahresmittel des Niederschlags in Preblau (Langzeitreihe) .....	153
Abb. 159:	Jahresmaxima der Schneehöhen in Preblau (Langzeitreihe).....	153
Abb. 160:	Die geringsten und die höchsten Niederschlags - Jahressummen bis 2010 an den Stationen Klagenfurt, Malta, Maria Luggau, Millstatt, Oberdrauburg, Preblau, Sachsenburg (Foto: WERNEGGER) .....	154
Abb. 161:	Monatsmittel der Grundwassermessstelle BR1 im Raum Villach (Langzeitreihe)	155
Abb. 162:	Monatsmittel der Grundwassermessstelle BL3 im Raum Villach (Langzeitreihe)	155
Abb. 163:	Monatsmittel der Grundwassermessstelle BR314 im Raum Völkermarkt (Langzeitreihe) .....	156
Abb. 164:	Starkniederschlagsauswertungen nach unterschiedlichen Methoden an einem diskreten Gitterpunkt für die Dauerstufe 2h .....	158

Abb. 165:	Beispiel: Bemessungsniederschläge (MaxModN, Bemessungsniederschlag, Ökostra); für Villach (ohne Flächenabminderung).....	159
Abb. 166:	Kontinuierliche Abflussganglinie der Drau am Pegel Oberdrauburg in der Periode 1965 - 2013.....	160
Abb. 167:	Zusammenstellung der Tagesmittel- und Monatsmittelabflüsse, Niederwasser- und Hochwasserabflüsse; Hydrographisches Jahrbuch 2010; Pegel Oberdrauburg / Drau .....	161
Abb. 168:	Abflussganglinie und hydrologische Kennwerte in der Zusammenschau .....	162
Abb. 169:	Kennwerteblatt für Nieder- und Mittelwassermengen; Hydrographischer Dienst Kärnten .....	163
Abb. 170:	Hochwasserschutzmaßnahmen an der Drau in Sachsenburg. Bild links: vor der Maßnahme. Bild rechts: Naturnahe Schutzmaßnahmen durch Aufweitungen und Dämme (Schutzwasserwirtschaft Kärnten).....	167
Abb. 171:	Hochwasserrückhaltebecken Zollfeld (simulierte Hochwassersituation). Nur eine begrenzte Wassermenge fließt unmittelbar durch das Entlastungsbauwerk flussab. Ein großer Teil der Hochwasserwelle wird im Becken retendiert und kommt später zum Abfluss. ....	167
Abb. 172:	Verbund Kraftwerk Feistritz im Rosental; Hochwasserentlastung in Betrieb .....	168
Abb. 173:	Einzugsgebiet Zirknitzenbach bei Bad Kleinkirchheim .....	169
Abb. 174:	Modellierte Niederwasserabflusspenden $NqT$ (l/s.km <sup>2</sup> ) .....	174
Abb. 175:	Modellierte mittlere Niederwasserabflusspenden $MJNqT$ (l/s.km <sup>2</sup> ) .....	174
Abb. 176:	Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden $Mq$ (l/s.km <sup>2</sup> ) .....	176
Abb. 177:	Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden $Mq$ (l/s.km <sup>2</sup> ), Detailausschnitt Kärnten – Nordwest.....	177
Abb. 178:	Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden $Mq$ (l/s.km <sup>2</sup> ), Detailausschnitt Kärnten– Südwest.....	177
Abb. 179:	Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden $Mq$ (l/s.km <sup>2</sup> ), Detailausschnitt Kärnten – Nordost .....	178
Abb. 180:	Modellierte und gemessene mittlere Abflusspenden $Mq$ (l/s.km <sup>2</sup> ), Detailausschnitt Kärnten- Südost .....	178
Abb. 182:	Statistische Auswertung und Ermittlung der Jährlichkeit der Hochwässer für den Pegel Oberdrauburg / Drau. Erwartungswerte und festgelegte Unsicherheitsbereiche (Konfidenz- bzw. Schwankungsbereiche) $HQ_{100} = 950$ m <sup>3</sup> /s; obere Schwankungsgrenze $HQ_{100}(o.S) = 1140$ m <sup>3</sup> /s; untere Schwankungsgrenze von $HQ_{100}(u.S) = 855$ m <sup>3</sup> /s. ....	181

# LITERATURVERZEICHNIS

---

- BERGSTRÖM, S.: Swedish Meteorological and Hydrological Institute  
URL: [http://ups.savba.sk/parcom/crossgrid/wp1/1\\_bergst.doc.html](http://ups.savba.sk/parcom/crossgrid/wp1/1_bergst.doc.html) (12.3.2010)
- Universität für Bodenkultur Wien: Bodenwasser – Bodenfeuchte  
URL: [http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde\\_alt/html/Kapitel7.html](http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/Kapitel7.html) (11.9.2012)
- BRINCKMANN, R. (1966): Abriß der Geologie. 9. Aufl., 2. Bd. Stuttgart.
- DYCK, S. und G. PESCHKE (1995<sup>3</sup>): Grundlagen der Hydrologie. Verlag für Bauwesen GmbH, Berlin, 536 S.
- GeoLexikon  
URL: [www.geodsz.com](http://www.geodsz.com) (24.10.2012)
- Haak Weltatlas-Online  
URL: <http://www2.klett.de> (22.08.201-32)
- HABERSACK, H. und SEREINIG, N. (2004): Die Obere Drau – Eine Flusscharakterisierung 24-28. In: PETUTSCHNIG, W. und HONSIG-ERLENBURG, W. (2004): Das Obere Drautal. Tiere, Pflanzen und Lebensräume einer inneralpinen Flusslandschaft. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt 1999, 285 S.
- HOLZEIS, F. (2011): Abschätzung von Quellschüttungen in Trockenperioden mit Pegeldata: Ein empirischer Modellansatz in Testgebieten des Alpenraums. VDM Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 216 S.
- HONSIG-ERLENBURG, W. (2002): Die Gail: In: PETUTSCHNIG, W. und HONSIG-ERLENBURG, W. (2004): Die Gewässer des Gailtales. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt 1999, S. 24-27.
- HONSIG-ERLENBURG, W. (1997): Allgemeines, Topologie und Siedlungsgeschichte. In: HONSIG-ERLENBURG, W. & WIESER, G. (Hrsg): Die Gurk und ihre Seitengewässer. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 11-15.
- Hydrographie Grundlagen:  
URL : <http://www.wasser.ktn.gv.at/hydrographie> (5.7.2012)
- Interpraevent  
URL: <http://www.interpraevent.at> (5.7.2012)

Kaernten.ORF

URL: <http://kaernten.orf.at/news/stories/2526973/> (30.3.2012)

KOMMA J. (2007): ZWISCHENBERICHT: Kontinuierliches Niederschlag-Abfluss-Modell Kärnten. Eine Kooperation der TU Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie & dem Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 18 für Wasserwirtschaft, 78 S.

KRAINER, K. (1988): Ein geologischer Streifzug durch Kärnten: S. 141-170. In: Carinthia II. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten. Klagenfurt 1988.

KRAINER, K. (1999): Geologie Kärntens im Überblick. In: MILDNER, P. & H. ZWANDER (Hrsg): Kärnten-Natur. Die Vielfalt eines Landes im Süden Österreichs. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten. 2. erweiterte Auflage, Klagenfurt, S. 179-188.

KRANZMAYER, E. (1958): Ortsnamenbuch von Kärnten, II. Teil - Alphabetisches Kärntner Siedlungsnamenbuch. Verlag des Geschichtsvereines für Kärnten, Klagenfurt.

LEITFADEN – VERFAHREN ZUR ABSCHÄTZUNG VON HOCHWASSERKENNWERTEN. (2011): Lebensministerium. Arbeitsgruppe Hochwasserstatistik des Hydrographischen Dienstes Österreich; 108 S.

LEGATES, D. R. (1993): Biases in precipitation gage measurements, Global Observations, Analyses an Simulation of Precipitation, WCRP-78, WMO/TD-No. 544, 31-34.

LIFE Lebensader Obere Drau

URL: [www.life-drau.at](http://www.life-drau.at) (29.8.2013)

MANIAK, U. (1992): Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 568 S.

MOSER, J. (2011): Standard zur Abschätzung von HQn -Hochwasserkennwerten in Kärnten, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 282 S.

MOSER, KOPEINIG, GUTKNECHT, FORDINAL, KOMMA. (2011): Hochwasserszenarien-katalog Kärnten. Offline Hochwasserprognose – Handbuch. 404 S.

PASCHINGER, H. (1976): KÄRNTEN – Eine geographische Landeskunde, Erster Teil: Allgemeine Darstellung. Verlag des Landesmuseums für Kärnten, 322 S.

ROHNER, MOSER, BERGER, SEREINIG. (2004): Hochwasserchronik Kärnten. Amt der Kärntner Landesregierung, 64 S.

SAMPL, H. (1999): Kärnten – ein Land der Seen. In: MILDNER, P. & H. ZWANDER (Hrsg.): Kärnten-Natur. Die Vielfalt eines Landes im Süden Österreichs. Verlag des

Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten. 2. erweiterte Auflage, Klagenfurt, S. 63-90.

SCHLAMBERGER, J. und WIESER, G. (1996): Das Einzugsgebiet der Lavant. In: GUTLEB, B. (Hrsg.): Die Gewässer des. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 9-15.

SEGER, M. (1999): Landeskundliche Einführung und geographische Gliederung. In: MILDNER, P. & H. ZWANDER (Hrsg.): Kärnten-Natur. Die Vielfalt eines Landes im Süden Österreichs. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten. 2. erweiterte Auflage, Klagenfurt S. 25-62.

SEGER, M. (2004): Eine geographische Einführung. In: PETUTSCHNIG, W. und HONSIG-ERLENBURG, W. (Hrsg.): Das Obere Drautal. Tiere, Pflanzen und Lebensräume einer inneralpinen Flusslandschaft. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 12-17.

Statistik Austria

URL: [www.statistik.at](http://www.statistik.at) (19.05.2014)

STEINHÄUSSER, H. (1967): Hochwasser-Wetterlagen und ihre orographische Beeinflussung in den Südostalpen.

TROSCHL, H. (1971): Die Hochwasserwetterlagen 1965 und 1966. In der Schriftenreihe für Raumforschung und Raumplanung, 11. Band. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 152 S.

TSCHADA, F. (1971a): Hydrologische Erkenntnisse im Osttiroler und Kärntner Draugebiet besonders hinsichtlich der Hochwässer. Verlag der Kärntner Landesregierung.

TSCHADA, F. (1971b): Wetterzugsstraßen. In der Schriftenreihe für Raumforschung und Raumplanung, 11. Band. Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 152 S.

USGS Georgia Water Science Center

URL: <http://ga.water.usgs.gov> (17.3.2010)

Wasserstandsnachrichten und Hochwasserprognosen Niederösterreich

URL: [http://www.noegv.at/Externeseiten/wasserstand/allgemein/begriff\\_wnd.htm](http://www.noegv.at/Externeseiten/wasserstand/allgemein/begriff_wnd.htm) (Sept. 2011)

WEISSEL, G. (2004): Zur Hydrographie des Gailtales. In: PETUTSCHNIG, W. und HONSIG-ERLENBURG, W. (Hrsg.): Die Gewässer des Gailtales. Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt, S. 19-21.

Wasser- und Schifffahrtsamt Koblenz

URL: [http://www.wsa-ko.wsv.de/wasserstrassen/anlagen\\_und\\_bauwerke/pegelanlagen/index.html](http://www.wsa-ko.wsv.de/wasserstrassen/anlagen_und_bauwerke/pegelanlagen/index.html) (April 2013)

Wetterlexikon

URL: <http://www.deutscher-wetterdienst.de> (Juli 2012)

WIDOWITZ, D. (2003): Grundwasser in Kärnten - Beschreibung der Grundwasserkörper, Hydrochemische Auswertung. Kärntner Institut für Seenforschung; Verein für angewandte Gewässerökologie, Abt. 15 – Umweltschutz und Technik des Amtes der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt, 97 S.

Wikipedia

URL: <http://de.wikipedia.org> (Juli 2013)