

125 Jahre Wasser im Blick

Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 89



125 Jahre Wasser im Blick

Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 89

Wien, 2019

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

bmnt.gv.at

Autorinnen und Autoren: G. Müller, C. Kopeinig, J. Moser, R. Godina, H. Wiesenegger, P. Kickingner, F. Hauer, J. Hubmann, A. Naderer, C. Csekits, K. Konrath, K. Maracek, C. Sailer, C. Mathis, B. Stromberger, J. Eybl, K. Kaiser, K. Niedertscheider, I. Kogelbauer, D. Pfurtscheller, P. Lalk

Gesamtumsetzung: Abteilung I/4 - Wasserhaushalt

Fotonachweis: Titelfoto: Pegel Linz, NDZW © viadonau; Foto S. 6: Abt. I/4 Wasserhaushalt; S. 19: Donauau im Winter, C. Wakolbinger; S. 37: Blockgletscher Berglerloch Ischgl, J. Eybl; S. 63: Pegel Graz, R. Godina; S. 88: Donau bei Orth, R. Godina; S. 103: Pegel Lange Lacke, K. Maracek; S. 120: Historische Hochwassermarken des Bodensees in Bregenz, G. Müller; S. 131: Grundwasserpegel Galtür, J. Eybl; S. 162: Speicher Kaprun, R. Godina

Wien, 19. November 2019

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtssprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an wasserhaushalt@bmnt.gv.at.

Inhalt

Die Beobachtung des Wassers.....	5
125 Jahre Hydrographischer Dienst in Österreich.....	7
Wasserkreislauf – Wasserbilanz.....	20
Schnee und Eis, zwei bedeutende Komponenten des quantitativen Wasserkreislaufes	38
Messen & Alarmieren seit mehr als 125 Jahren.....	56
Hochwasserprognosen in Österreich	64
Hydrographie: Basis für eine sichere und effiziente Schifffahrt	79
Auswirkung der Klimakrise auf den Abfluss der Donau	90
Starkniederschläge in Wien	98
Hydrographisches Monitoring am Neusiedler See als Grundlage angewandter Wasserwirtschaft	105
Messung des Wasserstandes und der Wassertemperatur am Bodensee	122
Beobachtung von Tiefengrundwasser im Hydrographischen Dienst in Österreich...	133
Feststoffe in Fließgewässern – Schwebstoff- und Geschiebemessung in Tirol	143
Meilensteine aus 125 Jahren Hydrographischer Dienst in Österreich	164

Die Beobachtung des Wassers



DIⁿ Maria Patek, MBA
Bundesministerin für
Nachhaltigkeit und Tourismus

Wasser ist unser aller Lebensgrundlage. Die ausreichende und sichere Versorgung mit dieser existenziellen Ressource hat die Menschheit schon immer zu innovativen Maßnahmen angetrieben. Neben der technischen Umsetzung, ausreichend Wasser zur Verfügung zu stellen, steht auch die Notwendigkeit, dass wir uns vor zu viel Wasser schützen müssen. Hochwasser-Katastrophen in der Vergangenheit haben gezeigt, wie wichtig eine genaue Analyse und weitere bauliche Vorkehrungen sind.

Unser gemeinsames Ziel muss lauten, eine auf das Gemeinwohl ausgerichtete Wassernutzung zu garantieren. Der Weg dorthin führt über Wasser-Daten, die durch sorgfältiges Beobachten und Messen gewonnen werden. Seit seiner Gründung im Jahr 1894 schafft der Hydrographische Dienst in Österreich mit seinen gewässerkundlichen Einrichtungen die Voraussetzung, die zur Verfügung stehenden Wasservorräte in Österreich in Zahlen zu fassen und fundierte Hochwasservorhersagen zu treffen. Zu den Leistungen der Hydrographie gehören aber nicht nur die Datensammlung, sondern auch darauf basierende Auswertungen und Interpretation der Wasserdaten.

In der Schriftenreihe „Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes“ wurden von Beginn an praktisch-wissenschaftliche Artikel zu verschiedenen hydrologischen Themen und Ereignisanalysen veröffentlicht. Das vorliegende Mitteilungsblatt Nummer 89 ist dem Anlass des 125-jährigen Bestehens der Hydrographie in Österreich gewidmet und gibt einen Überblick über das vielfältige Aufgabenspektrum der hydrographischen Arbeit in Österreich.

Ich freue mich, Ihnen diese umfangreiche Zusammenstellung der hydrographischen Tätigkeit zu präsentieren und danke allen, die im Dienst der Hydrographie Österreichs stets einen genauen Blick auf unser Lebenselixier haben.



HYDROGRAFISCHES JAHRBUCH 2012

Hydrographisches Jahrbuch 1997

1968

1954

Jahresübersicht

1936

1918

s k. k. hydrographischen Zentralbureaus. 1911. I

s k. k. hydrographischen Zentralbureaus. 1911. II

k. k. hydrographischen Zentral - Bureaus. 1893.

125 Jahre Hydrographischer Dienst in Österreich

Gabriele Müller

Seit 125 Jahren dem Wasserkreislauf auf der Spur zwischen Hochgebirge und Steppe, Monarchie und Europäischer Union

Österreichs Wasserschatze verbergen sich in ganz unterschiedlichen Naturräumen. Sie finden sich in Gletschern, wilden Gebirgsbächen, großen Talflüssen, langsam fließenden Gewässern im Flachland, in Karsthöhlräumen und Grundwasserspeichern, in Seen oder in Salzlacken der Steppengebiete. Auch die meteorologischen Bedingungen sind auf Grund der geographischen Lage des Landes zwischen maritim und kontinental geprägtem Klima und durch die Topographie der Alpen regional differenziert. Aus all dem resultiert eine große Vielfalt in den Erscheinungsformen der Elemente des Wasserkreislaufs. Seit 1894 ist der Hydrographische Dienst durch kontinuierliches Beobachten, Messen und Analysieren den Wasservorräten Österreichs und ihren Veränderungen in Raum und Zeit auf der Spur. Die archivierten und für alle frei verfügbaren Daten bilden das hydrologische Gedächtnis, sie sind Grundlage jeglicher Wassernutzung und der Entwicklung der Volkswirtschaft.

„Gründerzeit“

„Die katastrophalen Ereignisse der letzten Juli- und ersten Augusttage 1897, welche in Oesterreich, Sachsen und Preussen weite Gebiete betroffen haben, besitzen – ganz abgesehen von den schweren Schädigungen, welche sie dem Nationalwohlstande in diesen Gegenden brachten – ein so ausserordentliches wissenschaftliches Interesse, dass man dem hochverehrten Chef des Hydrologischen Centralbureaus gewiss überall zu hohem Danke verpflichtet sein wird für die große Beschleunigung, mit der diese erschöpfende und vorbildliche Darstellung jener Vorgänge der Oeffentlichkeit zugänglich gemacht worden ist.“ (Gravelius, 1898).

Mit diesen Worten beginnt der renommierte Wasserbau-Professor der Technischen Hochschule (heute Universität) in Dresden Harry (Heinrich) Gravelius seine „literarische Besprechung“ der Dokumentation des k. k. Hydrographischen Centralbureaus zu den Hochwasserereignissen in Österreich im Jahr 1897. Erschienen ist diese im Jahr 1898 im 1. Band der neu gegründeten „Zeitschrift für Gewässerkunde“. Und weiter schreibt Gravelius:

„In dieser Beziehung bietet denn die Lectüre des von Herrn Lauda mit seinen Mitarbeitern geschaffenen Werkes eine reine Freude. Es ist ein klar und nüchtern geschriebenes, vom besten wissenschaftlichen Geist erfülltes Buch, von dem ich wünschte, dass es in der Hand aller Ingenieure sein möchte, die sich mit der Hochwasserfrage beschäftigen.“

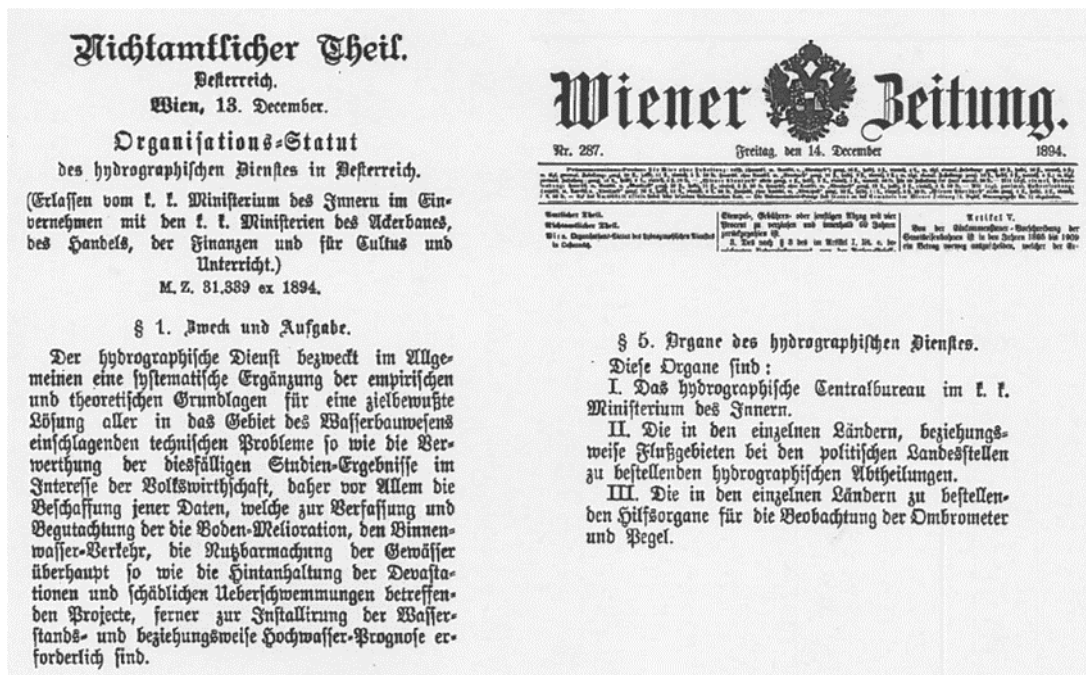
Diese Besprechung zeugt von einer hohen Wertschätzung der Arbeit des erst wenige Jahre zuvor gegründeten Hydrographischen Dienstes in Österreich mit dem k. k. Hydrographischen Centralbureau als zentralem Amt. Zugleich drücken diese Sätze eine der Kernaufgaben der Hydrographie aus, nämlich Daten und Informationen für all jene bereitzustellen, die sich mit dem Wasser beschäftigen.

Historische Hochwassermarken und „Hungersteine“ als Zeugen von Niederwasserständen künden davon, dass die Beobachtung der wechselnden Wasserführung von Flüssen und Seen bereits seit langem für die Menschen lebensnotwendig war. Die ersten Pegelbeobachtungen auf österreichischem Staatsgebiet sind aus dem 18. Jahrhundert überliefert. Im Laufe des 19. Jahrhunderts wurde das Messwesen ausgeweitet. Die Ergebnisse waren jedoch nicht ohne weiteres jedermann zugänglich. Der Mangel an systematischen hydrographischen Unterlagen wurde mit der starken Entwicklung der Siedlungsgebiete und der Industrie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer deutlicher und führte schließlich zur Forderung, staatliche Dienststellen einzurichten, die mit der Erhebung und Auswertung von gewässerkundlichen Daten beauftragt werden sollten. Im Jahr 1891 hatte der Österreichische Ingenieur- und Architektenverein Petitionen zur Einrichtung eines hydrographischen Amtes bei den beiden Hohen Häusern des Reichsrates und an die Hohen Ministerien eingebracht und im Jahr 1892 wurde ein elfköpfiges Beratungskomitee mit der Ausarbeitung eines Organisationsstatutes betraut (Schimpf, 1970).

Am 14. Oktober 1893 war in der Wiener Zeitung die Errichtung eines „hydrographischen Dienstes im k. k. Ministerium des Innern“ angekündigt worden. Das Organisationsstatut wurde im vollen Wortlaut am 14. Dezember 1894 ebenfalls in der Wiener Zeitung kundgemacht. Dieses Dokument regelte „Zweck und Aufgabe“ des Dienstes, die „Mittel“ zur Errei-

chung der Ziele, benannte die „Organe des hydrographischen Dienstes“, deren „Wirkungskreis“ und die im Gegensatz zum üblichen „Dienstweg“ unmittelbare Kommunikation zwischen den Organen und anderen hydrographischen Institutionen.

Ins Jahr 1895 datiert schließlich die Errichtung von 14 Hydrographischen Dienststellen in den Kronländern: in Wien, Linz, Salzburg, Graz, Klagenfurt, Laibach, Trient, Innsbruck, Prag, Brünn, Troppau, Lemberg, Czernowitz und Zara. Bestehende Messnetze werden übernommen und neue Messstellen errichtet. Die Dienststellen in Bregenz und Eisenstadt kamen 1920 bzw. 1921 hinzu (Schimpf, 1970, vgl. auch Chronik im Anhang dieses Heftes).



Auszüge aus dem Organisationsstatut des Hydrographischen Dienstes in Österreich von 1893, veröffentlicht in der „Wiener Zeitung“ am 14. Dezember 1894

Struktur und Aufgaben: aktuell seit 125 Jahren

Liest man das Organisationsstatut, beeindruckt sowohl die damalige Weitsicht als auch die Aktualität. Aufgabenstellung, Organisationsstruktur und die Regeln der Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Organen des Dienstes und anderen hydrographischen Institutionen waren damals wegweisend. Sie haben sich über 125 Jahre und durch turbulente Zeiten hindurch – Zusammenbruch der Monarchie, zwei Weltkriege, diverse Umstrukturierungen, rasante technische Entwicklung, Digitalisierung, Klimawandel – bewährt und als geeignet für eine leistungsstarke Wasserwirtschaft erwiesen. Die wesentlichen Inhalte blieben mit nur geringen Anpassungen vom ursprünglichen Statut über das Hydrographiegesetz

(1979) bis zur Novelle des Wasserrechtsgesetzes 2003 mit der Wasserkreislaufferhebungsverordnung 2006 erhalten.

Der Hydrographische Dienst in Österreich besteht heute aus der Abteilung Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro) im Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) als koordinierender Einheit und den hydrographischen Organisationseinheiten (hydrographische Landesdienste) bei den acht Landesregierungen der Bundesländer, beim Magistrat der Stadt Wien sowie bei der viadonau Wasserstraßengesellschaft.

Nicht zu vergessen sind die Beobachterinnen und Beobachter in ganz Österreich, die noch immer etwa 2500 Messstellen betreuen. Oft wurde und wird diese Aufgabe von Generation zu Generation in den Familien weitergegeben. Auf die längste ununterbrochen in derselben Familie ausgeübte Beobachtertätigkeit können Familien in Gramais in Tirol (Niederschlag, seit 1895), in Hohenems in Vorarlberg (Niederschlag, seit 1898), in Obsteig in Tirol (Niederschlag, seit 1900) und in St. Lorenz in Oberösterreich (Wasserstand, seit 1900) verweisen.

Das Messen und Beobachten des Wasserkreislaufs und seiner Teilkomponenten umfasst den atmosphärischen Bereich (Niederschlag, Lufttemperatur, Verdunstung, Gletscher), die Oberflächengewässer und Feststoffe (Wasserstände und Durchflüsse, Wassertemperatur, Feststoffführung), Grund- und Bodenwasser sowie Quellen. Damit die verfügbaren Wasserressourcen in Österreich zu erfassen, zu quantifizieren und die Daten für die Wirtschaft, Wissenschaft, politische Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit kostenfrei verfügbar zu machen, ist eine der Kernaufgaben des Hydrographischen Dienstes.

Grundlage dafür ist der gesetzliche Auftrag ein bundesweites Messnetz zu betreiben und regelmäßig dem Stand der Technik anzupassen. In kollegialer Zusammenarbeit werden die hydrographischen Daten bundesweit nach einheitlichen Richtlinien erhoben und mithilfe eines gemeinsamen Datenmanagementsystems geprüft, gespeichert, archiviert und veröffentlicht. Das Mitte der 1990er Jahre eingeführte Hydrographische DatenManagementSystem HyDaMS (Fa. aquaplan, jetzt toposoft) ermöglicht Datenspeicherung und -verarbeitung, die umfangreiche Qualitätsprüfung und die Veröffentlichung hydrologischer Daten auf modernem, digitalen Niveau. Seine regelmäßige Wartung und Erweiterung wird durch die Abteilung Wasserhaushalt im BMNT koordiniert.

Abenteuer Messen und Beobachten: tägliche Herausforderungen

Bis in die heutige Zeit sind die Anforderungen an den Hydrographischen Dienst und an die Bereitstellung von Wasserdaten immer weiter gestiegen. Wachsende Bevölkerungszahlen,

zunehmende Besiedlungsdichte, eine immer komplexere und sensiblere Infrastruktur, vernetzte Industrien, ein steigender Energiebedarf, der Klimawandel und seine Auswirkungen erfordern räumlich und zeitlich höher aufgelöste und aktuelle Daten und Informationen. Weitaus mehr Menschen als noch vor 30 Jahren sind heute gegenüber der Umwelt und ihrem Schutz sensibilisiert und an Umweltdaten interessiert. Jeder möchte Sicherheit bei der Versorgung mit Trinkwasser und Energie, für jeden Hausbau benötigt man Aussagen über die Wasserverhältnisse im Untergrund und alle sollten rechtzeitig vor Wassergefahren und zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel gewarnt werden.

Für die Bereitstellung der Daten in der geforderten Quantität und Qualität reichen einige wenige Pegel an den wichtigsten großen Flüssen nicht mehr aus. Das haben spätestens die großen Hochwasser 2002, 2005 und 2013 gezeigt. Eine Lehre aus diesen Ereignissen war, dass Hochwasserwarnungen und -prognosen nicht nur für die Donau, sondern auch für kleinere Gewässer gefragt sind. Die Verantwortlichkeit für Hochwasserwarnung und -information liegt dabei in der Kompetenz der Bundesländer (des Landeshauptmanns). Seit einigen Jahren wächst angesichts der zahlreichen Schaden bringenden Starkregenereignisse und Sturzfluten (flash floods) das Bedürfnis, auch vor solchen kleinräumigen und kurzfristigen Ereignissen zu warnen. Allerdings ist eine genauere räumliche und zeitliche Vorhersage solcher Ereignisse bis heute noch mit großen Unsicherheiten behaftet und für Meteorologen und Hydrologen gleichermaßen eine Herausforderung.

Heute umfasst das staatliche hydrographische Messnetz in Österreich ca. 6500 gewässerkundliche Einrichtungen (Godina, 2019). Die Messstellen sind über ganz Österreich verteilt und erfassen die ganze Vielfalt der Landschaftsformen. Sie befinden sich in den Steppengebieten des Seewinkels, in den Becken- und Hügellandschaften, im Mittelgebirge, im Alpenvorland und in den Hochgebirgsregionen. Gewässerkundliche Einrichtungen gibt es in Siedlungen ebenso wie in landwirtschaftlich genutzten Bereichen oder Naturschutzgebieten und Nationalparks. Deshalb sind für den Zugang und das Messen vor Ort zum Teil besondere Regeln zu beachten. Der Weg zu den Messstellen ist oft weit und vor allem im Winter und bei Hochwasser auch gefährlich.



Links – Messstelle Schwaighofbrücke/Lammer (HD Salzburg) am 14. Jänner 2019; rechts – Durchflussmessung bei Hochwasser am Pegel Neumarkt/Raab (HD Burgenland), 24. Juni 2009

Der hohe Standard und die Zuverlässigkeit von Datenqualität und -bereitstellung ist zur Selbstverständlichkeit geworden. Dass dies aber nicht auf Knopfdruck geschieht, ist oft schwer vermittelbar. Diese Standards zu gewährleisten, erfordert eine permanente Wartung und Pflege des hydrologischen Archivs (Gedächtnis) und die ständige Anpassung an den Stand der Technik. Und manchmal müssen die Messstellen gegen tierische Besiedler behauptet oder mit ihnen geteilt werden.



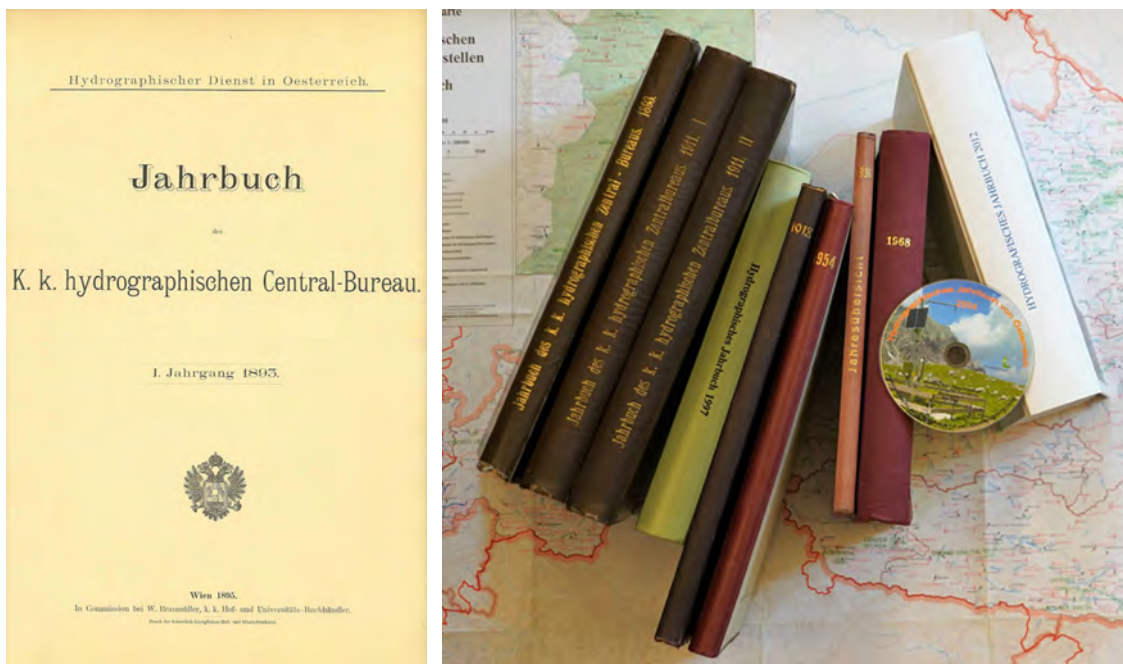
Links – Schlange im Pegelhaus (HD Steiermark), rechts – Hornissennest im Pegelhaus Gisingen/III (HD Vorarlberg)

Veröffentlichung hydrographischer Daten: bewährte und neue Produkte im 21. Jahrhundert

Das Hydrographische Jahrbuch von Österreich ist seit 1893 die maßgebliche und bewährte Form der Publikation dieser Daten und zahlreicher Auswertungen. In den frühesten Ausgaben – das erste Jahrbuch, jenes für das Jahr 1893, erschien 1895 – wurden hydrographische Daten von 18 meteorologischen und hydrographischen Dienststellen eingeholt, ausgewertet und veröffentlicht. Diese Daten stammten von 2261 Ombrometerstationen und 872 Gewässerpegeln, die eine Fläche von ca. 400.000 km² repräsentierten.

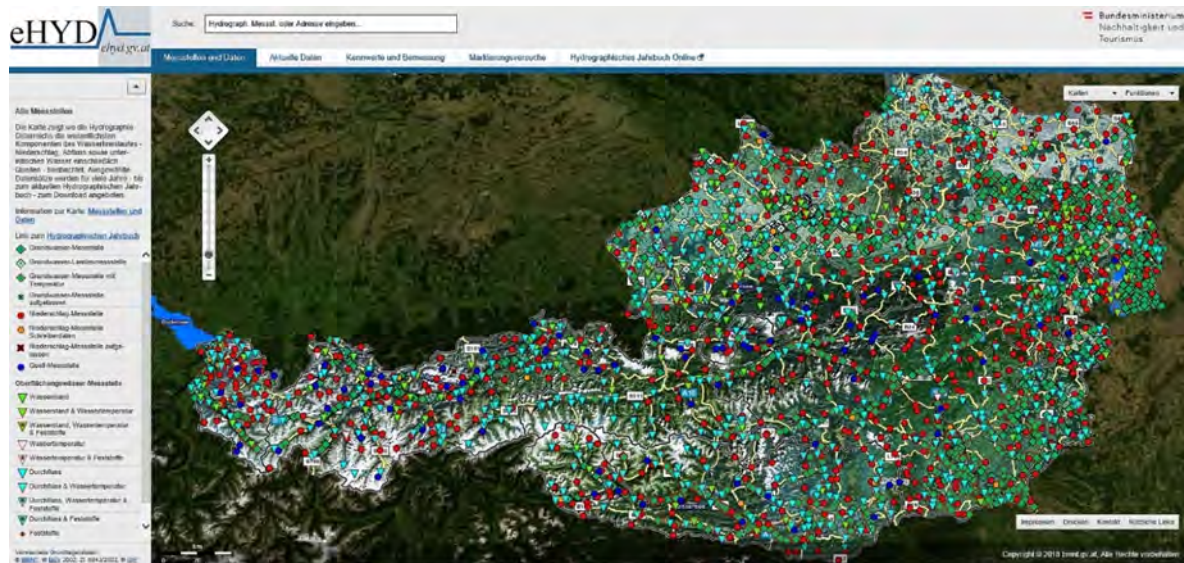
Ab der Jahrbuch-Ausgabe 2003 erfolgte die Veröffentlichung zusätzlich auch digital. Beginnend mit dem Jahrbuch für 2013 erscheint als gedruckte Broschüre nur mehr eine ausführliche hydrologische Jahrescharakteristik. Die Daten können digital über das Internet bezogen werden. Dafür steht seit der Jahrbuch-Ausgabe 2014 die gemeinsam mit dem Umweltbundesamt entwickelte Internet-Applikation „Hydrographisches Jahrbuch digital“ zur Verfügung (www.wasser.umweltbundesamt.at/hydjb/).

Ein Meilenstein der Digitalisierung der Hydrographie in Österreich und der Nutzbarmachung für die Öffentlichkeit war die Entwicklung der Internet-Plattform eHYD (www.ehyd.gv.at/). Diese im Jahr 2005 in Betrieb genommene Web-GIS Anwendung gibt einen Überblick, wo welche Parameter gemessen werden und bietet den Zugang zu den geprüften Zeitreihen des hydrographischen Archivs, Auswertungen des Gebiets- und Bemessungsniederschlages sowie eine Auswahl der in Österreich durchgeführten Markierungsversuche.



Auswahl Hydrographischer Jahrbücher, links – das erste Jahrbuch für das Jahr 1893

Die Daten können zur weiteren Bearbeitung heruntergeladen werden. Aktuelle, noch ungeprüfte Daten zu Niederschlag, Durchfluss und Grundwasserstand werden von den Hydrographischen Landesdiensten mit Hilfe des eingerichteten hydrographischen Datenverbundes halbstündlich online übertragen und über eHYD ebenfalls für ganz Österreich dargestellt. Damit ist eine bundesweite Übersicht über den aktuellen Status der Wasserbilanzgrößen möglich. eHYD ist mit stetig steigenden Zugriffszahlen die am häufigsten besuchte Web-GIS-Anwendung des Ministeriums. Eine eHYD-Version für mobile Endgeräte – Tablet oder Smartphone – wird mit Ende November 2019 zur Verfügung stehen.



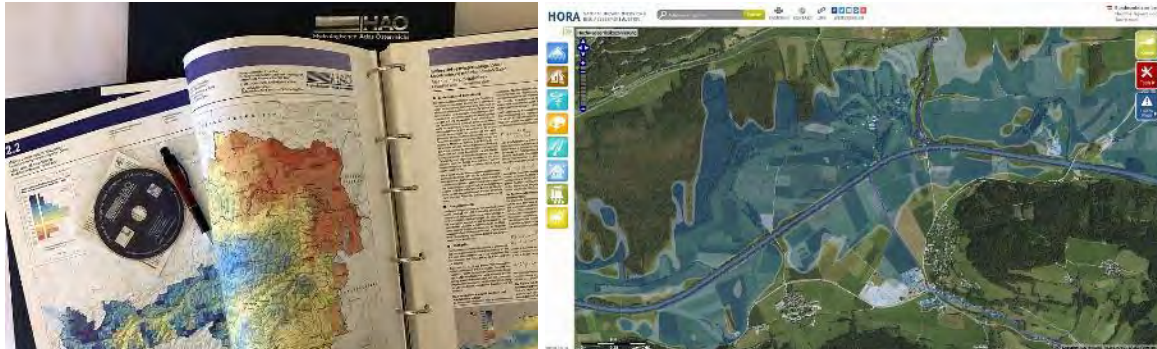
Hydrologische Daten Österreichs im Internet: Plattform eHYD

Seit seiner Gründung veröffentlicht der Hydrographische Dienst nicht nur Jahrbücher mit den geprüften Daten eines Jahres, sondern eine Vielzahl weiterer Druckwerke, zum Beispiel Zusammenstellungen von Daten unterschiedlicher Parameter über längere Zeiträume (Zusammenstellung von Daten vor 1893 oder später dekadenweise) oder Flächenverzeichnisse der Flussgebiete. Die meisten sind in der Schriftenreihe „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“ erschienen. In den Jahren 1906/1907 wurde mit der Erstellung eines Wasserkraftkatasters begonnen. Hervorzuheben sind weiters die ausführlichen Analysen von großen Hochwasserereignissen wie 1897 und 1899, 1954, 1965 und 1966, 2002, 2005, 2009 oder 2013.

Studien wie „Der Schutz der Reichs- und Residenzhauptstadt Wien gegen die Hochfluten des Donaustromes“ (Lauda, 1908) mit der Abschätzung größtmöglicher Hochwasserdurchflüsse an der Donau bei Wien bildeten eine wesentliche Grundlage für die Planung und Projektierung des Donau-Hochwasserschutzes für Wien im Zuge des Kraftwerksbaus Freudenau 70 Jahre später. Mittels Hochwassermarken und hydraulischer Berechnungen war als mengenmäßig größtes der historischen Ereignisse im Donaauraum jenes von 1501 mit einem geschätzten Maximaldurchfluss in Wien-Nußdorf von 13.850 bis 14.250 m³/s quantifiziert worden. Die Schutzbauten in Wien wurden auf einen Durchfluss von 14.000 m³/s ausgelegt und bestanden ihre Bewährungsprobe bei den 100-jährlichen Hochwasserereignissen im August 2002 (HQ: 10.500 m³/s) und Juni 2013 (HQ: etwas mehr als 11.000 m³/s).

Neben den seit der Gründung des Hydrographischen Dienstes bewährten Lageberichten, Analysen, Dokumentationen und Studien sind zahlreiche erfolgreiche Projekte zu nennen, die unter Federführung oder mit Beteiligung der Hydrographie in Österreich entstanden sind und die ohne deren Daten nicht denkbar wären. Stellvertretend seien der „Hydrologische Atlas von Österreich HAÖ“ und das mit dem „Amtsmanager 2007“-Preis ausgezeichnete Projekt

HochwasserRisiko zonierung Austria HORA (www.hora.gv.at/) zur Ausweisung von Überflutungsflächen (gemeinsam mit Schutzwasserwirtschaft und Versicherungsverband) angeführt. Derzeit ist HORA 3.0 in Vorbereitung.



links – Hydrographischer Atlas Österreichs, rechts – HochwasserRisiko zonierung Austria HORA, Beispiel für eine Überflutungskarte

Die Daten der Hydrographie sind national wie international gefragt. Onlinedaten von Niederschlagsmessstellen werden innerhalb kürzester Zeit an die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik gesandt und verbessern die Qualität der Niederschlagsvorhersage. Ebenso sind die Daten der Hydrographie die Basis für zahlreiche nationale und internationale Studien und Projekte zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserbilanz, auf Trockenperioden und auf die Entwicklung von Starkniederschlägen.

Wasser ohne Grenzen: die Hydrographie Österreichs in der internationalen Wasser-Familie

Wasser kennt keine Grenzen und so ist der Hydrographische Dienst fest in die internationale Zusammenarbeit auf dem Wassersektor integriert. Wie das Eingangszitat zeigt, gab es schon seit Gründung des Hydrographischen Dienstes einen regen Austausch mit den internationalen Fachkollegen. Daran hat sich nichts geändert. Besondere Anerkennung im Ausland finden dabei immer wieder die freie Verfügbarkeit hydrologischer Daten und deren hohe Qualität. Das ist international keine Selbstverständlichkeit. Nahezu täglich kommen Datenanforderungen von Fachkollegen, aus der Privatwirtschaft, von Universitäten oder Gremien aus dem Ausland.

Große Fortschritte gibt es im Bereich der staatenübergreifenden Hochwasserwarnung und -information. Inzwischen werden mit fast allen Nachbarstaaten grenzübergreifend gemeinsame Hochwasserprognosemodelle betrieben. Daten werden auch an das europäische Hochwasserfrühwarnsystem EFAS (European Flood Awareness System) geliefert. Nicht zu vergessen sind die Berichtspflichten an die Europäische Kommission.

Vertreter der österreichischen Hydrographie von Bund und Bundesländern sind als Experten in den bilateralen Grenzgewässerkommissionen mit den Nachbarländern Slowenien, Ungarn, Slowakei, Tschechien, Deutschland und der Schweiz sowie in Flussgebiets- und anderen internationalen Kommissionen tätig (siehe dazu auch Nobilis, 2000). Als Beispiele seien die Commission for Hydrology (CHy) der Weltorganisation für Meteorologie WMO, die Kommission für die Hydrologie des Rheineinzugsgebietes KHR und nationale und internationale Normausschüsse genannt.

Jubiläumsjahr 2019

Anlässlich des 75-jährigen Bestehens 1969 sagte der damalige Leiter des Hydrographischen Dienstes Dipl.-Ing. Hans Schimpf über das Feiern von Jubiläen: „Aber ein bewusstes Haltmachen in gewissen Zeitabständen zur Rechenschaftslegung über die vollbrachten Leistungen und zur Besinnung auf den Zweck des Tuns hat eine nicht zu unterschätzende Bedeutung“. Und so gab es im Jubiläumsjahr 2019 dem Wesen des Hydrographischen Dienstes entsprechend zahlreiche Aktivitäten in den einzelnen Bundesländern und im Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, um Bilanz zu ziehen und die Arbeit des Hydrographischen Dienstes für die breite Öffentlichkeit verständlich und erlebbar zu machen.

Der Hydrographische Dienst Oberösterreich hat während seiner Veranstaltung zum Tag des Wassers in Zusammenarbeit mit viadonau und Ars Electronica erstmals einen Hochwasserstand des Donaupegels Linz auf der Fassade des Ars Electronica Centers visualisiert. Künftig soll dies immer im Hochwasserfall geschehen. Der Hydrographische Dienst Kärnten präsentierte sich im Rahmen eines Thementages bei Radio Kärnten. In mehreren Fernsehbeiträgen des ORF-Landesstudios Salzburg wurde über die Arbeit des Hydrographischen Dienstes Salzburg zu Themen wie Gletscher und Klimawandel, Schmelzhochwasser und Trockenheit berichtet. Die Hydrographischen Dienste Tirol und Steiermark dokumentierten ihre Tätigkeit in Filmen. Den Abschluss des Jubiläumsjahres bildete eine zentrale Festveranstaltung unter Federführung der Abteilung Wasserhaushalt im BMNT in der Österreichischen Nationalbibliothek in Wien.

Zum 125-jährlichen Jubiläum sind neben einem Artikel auf der Homepage des BMNT auch zahlreiche Beiträge in Tages- und Lokalzeitungen in den Bundesländern erschienen. Umfangreiche Fachartikel wurden in den Zeitschriften „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (Heft 1-2, 2019) und der deutschen „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“ (Heft 2, 2019) publiziert. Bei den Konferenzen „Tag der Hydrologie“ 2018 und 2019 war die Hydrographie Österreichs durch Poster und Beiträge im Tagungsband zum Thema „125 Jahre Hydro-

graphie in Österreich“ vertreten. Für das vorliegende Mitteilungsblatt wurden aus dem breiten Aufgabenspektrum der Hydrographie einige Themen ausgewählt, um an diesen Beispielen Typisches „aus dem Alltag der Hydrographie in Österreich“ zu vermitteln. Dabei kommen alle „Organe“ des Hydrographischen Dienstes, d. h. alle Landesdienste, die Magistratsabteilung Wiener Gewässer der Stadt Wien und die viadonau Wasserstraßengesellschaft mit einem anderen Schwerpunkt zu Wort. Im Anhang informiert eine Chronik über Meilensteine aus 125 Jahren Hydrographischer Dienst.

Literaturverzeichnis und weiterführende Informationen:

BMLFUW (2006): Habersack, H. (Ed.): Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation der Bundeswasserbauverwaltung, des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung und des Hydrographischen Dienstes, Wien.

Eybl, J., Godina, R., Lalk, P., Lorenz, P., Müller, G., Pavlik, H., Weilguni, V. und Heilig, M. (2014): Die hydrographische Analyse des Hochwassers im Juni 2013. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Glasel, E. (1983): 90 Jahre Hydrographischer Dienst in Österreich 1893-1983. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 52, S. I-IX.

Godina, R., Lalk, P., Lorenz, P., Müller, G. und Weilguni, V. (2003): Die Hochwasserereignisse im Jahr 2002 in Österreich. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 82, 1–39.

Godina, R., Lalk, P., Müller, G. und Weilguni, V. (2007): Das Hochwasser an der March im Frühjahr 2006. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 84, 42–57.

Godina, R. (2019): Kontinuität und Wandel: Die Hydrographie Österreichs – 125 Jahre Wasser-Wissen schaffen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Band 71/1-2, Februar 2019: <https://link.springer.com/journal/506/71/1>.

Gravelius, H. (1898): Literarische Besprechungen: K. K. Hydrographisches Centralbureau. Beiträge zur Hydrographie Oesterreichs. II. Heft. Die Hochwasserkatastrophe des Jahre 1897 in Oesterreich. Wien, In: Zeitschrift für Gewässerkunde, 1. Band, Heft 6, 1898.

Kresser, W. (1955): Das Juli-Hochwasser 1954 im österreichischen Donaugebiet. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 29. Heft, Hydrographisches Zentralbüro, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

Kresser, W. (1994): Zur Geschichte der Hydrologie bis 1893. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft Jg. 46, Heft 3/4.

Lauda, E. (1898): Die Hochwasserkatastrophe des Jahres 1897 in Österreich. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, II. Heft, k. k. hydrographisches Central-Bureau, Wien.

Lauda, E. (1900): Die Hochwasserkatastrophe des Jahres 1899 im österreichischen Donaugebiete. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, IV. Heft, k.k. hydrographisches Central-Bureau, Wien.

Lauda, E. (1908): Der Schutz der Reichs- und Residenzhauptstadt Wien gegen die Hochfluten des Donautromes. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, IX. Heft, k.k. hydrographisches Central-Bureau, Wien.

Müller, G. und Godina, R. (2007): Übersicht über die Hochwasserereignisse des Jahres 2005 in Österreich. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 84, S. 1-14.

Nobilis, F. (2000): Der Hydrographische Dienst in Österreich im 21. Jahrhundert. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 79, S. 1-24.

Salcher, E. (1953): Die Entwicklung des Hydrographischen Dienstes in Österreich von 1893 bis 1953. In: Sechzig Jahre Hydrographischer Dienst in Österreich, Gedenkschrift, herausgegeben vom Hydrographischen Zentralbüro gemeinsam mit dem Forschungsinstitut für Technikgeschichte in Wien, Springer Verlag, S 1-13.

Schimpf, H. (1970): 75 Jahre Hydrographischer Dienst in Österreich. Österreichische Wasserwirtschaft Jg. 22, Heft 5-6, S 89-91.

Schreiber, H. (1994): Der hydrographische Dienst in Österreich. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft Jg. 46, Heft 3-4, S. 43-50.

Wiener Zeitung (1893): „Hydrographischer Dienst in Österreich“, Nr. 236, 14.10.1893, S. 3, abrufbar über <http://anno.onb.ac.at/>.

Wiener Zeitung (1894): „Organisationsstatut des hydrographischen Dienstes in Österreich“. Nr. 287, 14.12.1894, S. 6-8, abrufbar über <http://anno.onb.ac.at/>.

Wurzer, E. und Eichler, M. (1979): Die Erhebung des Wasserkreislaufes in Österreich – Hydrographiegesetz. Österreichische Wasserwirtschaft Jg. 31, Heft 7-8, S. 221-226.

Dipl.-Hydr. Dr. Gabriele Müller
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
Abteilung Wasserhaushalt
Marxergasse 2
1030 Wien
E-Mail: gabriele.mueller@bmnt.gv.at



Wasserkreislauf – Wasserbilanz

Christian Kopeinig, Johannes Moser, Reinhold Godina

Zu den wesentlichen Aufgaben des hydrographischen Dienstes zählt die Erfassung des Wasserkreislaufs. Niederschlag, Verdunstung, ober- und unterirdische Abflüsse und die Speicherung sind dabei die Hauptkomponenten. Ergänzend zu den Messdaten wird in Kärnten der Wasserkreislauf für das Einzugsgebiet der Drau und ihrer Zubringer mit einem Wasserhaushaltsmodell auf einer Rastergröße von 1 km² berechnet. Das Ergebnis dieser Berechnung, der Wasserhaushalt Kärntens, wird in diesem Artikel – auch mit einem Blick auf die Wasserbilanz von ganz Österreich – dargestellt. Ein abschließendes Kapitel beschäftigt sich mit den bereits messbaren Auswirkungen der Klimakrise auf die Komponenten des Wasserkreislaufs.

Das Messnetz des Hydrographischen Dienstes Kärnten besteht aus 80 Stationen zur Erfassung des Niederschlags und der Lufttemperatur. Zusätzlich werden Messstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und der Verbund Hydro Power AG mit ausgewertet. An 110 Pegeln werden die Wasserstände und Abflüsse der Fließgewässer und Seen gemessen, die Grundwasserstände werden mit 250 Grundwasserpegeln erfasst. Quellschüttungen werden an 16 Quellen kontinuierlich gemessen. Österreichweit stehen den hydrographischen Diensten zur Erfassung des Wasserkreislaufs ca. 6500 gewässerkundliche Einrichtungen zur Verfügung.

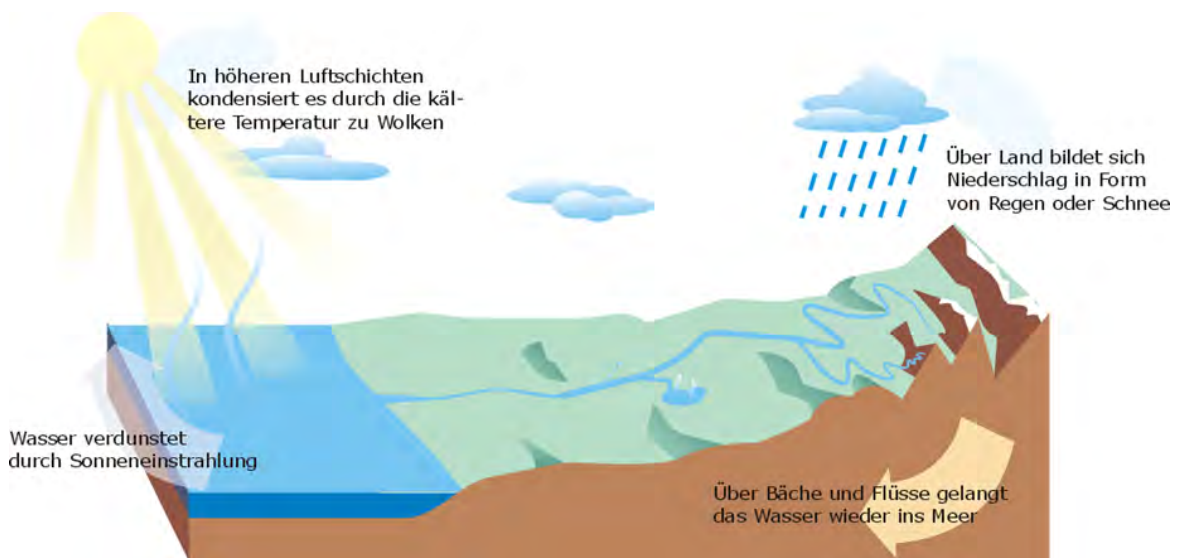
Die monatlichen bzw. jährlichen Auswertungen der Mess- und Modelldaten des Wasserkreislaufs sind häufig Grundlage für wasserwirtschaftliche, energiewirtschaftliche aber auch ökologische Fragestellungen und Projekte.

Neben den durchschnittlichen Niederschlags-, Abfluss- und Grundwasserdaten sind auch ereignisbezogene Extreme wie Trockenperioden und Niedrigwasser, Starkregen und Hochwasser sowie statistische Auswertungen darüber von Bedeutung.

Komponenten des Wasserkreislaufs

Unter dem Wasserkreislauf versteht man in der Hydrologie die Abfolge der Erscheinungsformen des Wassers als Niederschlag, Verdunstung, ober- und unterirdische Abflüsse und Speicherung von Wasser im Gebiet. Wasser geht nicht verloren, sondern verändert sich in den Erscheinungsformen sowohl zeitlich als auch räumlich. Die Komponenten des Wasserkreislaufs werden meist in Millimeter Wassersäule pro Zeiteinheit angegeben, zum Beispiel in Millimeter pro Jahr (mm/a). Dabei entspricht 1 Millimeter Wasserhöhe 1 Liter pro Quadratmeter.

Der Wasserkreislauf ist ein komplexes System, das jedoch über seine Hauptkomponenten näherungsweise gut beschrieben werden kann. Die wichtigsten Vorgänge sind in der Abbildung „Schema des Wasserkreislaufes“ dargestellt und werden hier kurz erläutert.



Schema des Wasserkreislaufes (Quelle: Wikipedia, GNU Free Documentation License)

Über die Verdunstung, die sich aus den Komponenten Evaporation und Transpiration zusammensetzt, 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 Wassertröpfchen einer Wolke verbinden sich zu größeren Tropfen. Wenn das Gewicht der Tröpfchen nicht mehr gehalten werden kann, fallen sie als Tau, Regen, Schnee oder Hagel auf die Erdoberfläche herab. 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

Schneeschnelze oder im geringen Umfang auch durch Sublimation (Übergang vom festen in den gasförmigen Aggregatzustand, ohne sich zu verflüssigen) abgebaut werden.

Ein Teil des Regen- und Schmelzwasser infiltriert entweder in den Boden, wird in Mulden an der Landoberfläche gespeichert und versickert verzögert oder verdunstet. Ist das Wasseraufnahmevermögen der Bodenoberfläche erschöpft, also die Oberflächensättigung erreicht, kann ein Teil des Regen- und Schmelzwassers auch sofort oder nur unwesentlich verzögert abfließen. Es kommt zu Oberflächen- oder Sättigungsflächenabfluss, der sich in Gräben, Bächen und Flüssen sammelt.

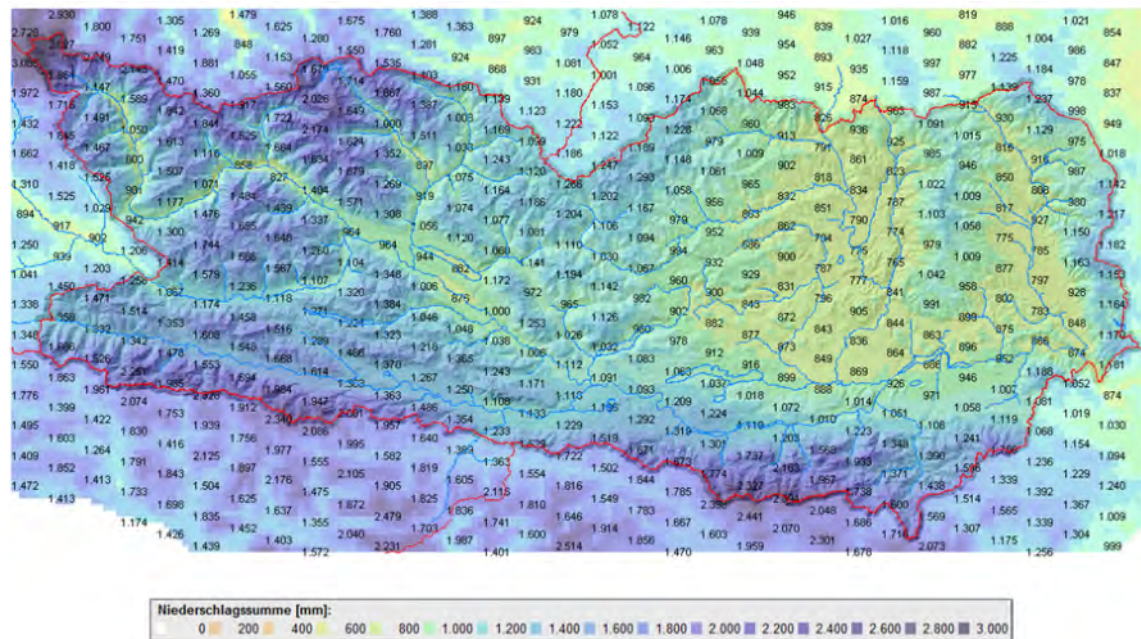
Das in den Boden infiltrierte Wasser wird teilweise in der ungesättigten Bodenzone gespeichert. Dieser Speicher kann durch Evaporation, Entzug durch die Vegetation (Transpiration) sowie durch einen lateralen bodeninneren Abfluss entleert werden. Letzterer wird auch als Zwischenabfluss bzw. hypodermischer Abfluss bezeichnet. Er fließt verzögert dem Gewässernetz zu oder versickert in die oberen Horizonte der Grundwasserzone. Die Speisung des Grundwassers wird als Grundwasserneubildung bezeichnet. Diese besitzt für die Erneuerung der Grundwasservorräte und somit für die Wasserversorgung immense Bedeutung. Aus der oberen Grundwasserzone fließt das Wasser mit entsprechender Verzögerung in Oberflächen- gewässer oder tritt über Quellen an die Oberfläche. Ebenso ist ein kapillarer Aufstieg von der Grundwasserzone in die ungesättigte Bodenzone oder weitere 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 (vgl. Dyck und Peschke, 1995).

Niederschlag

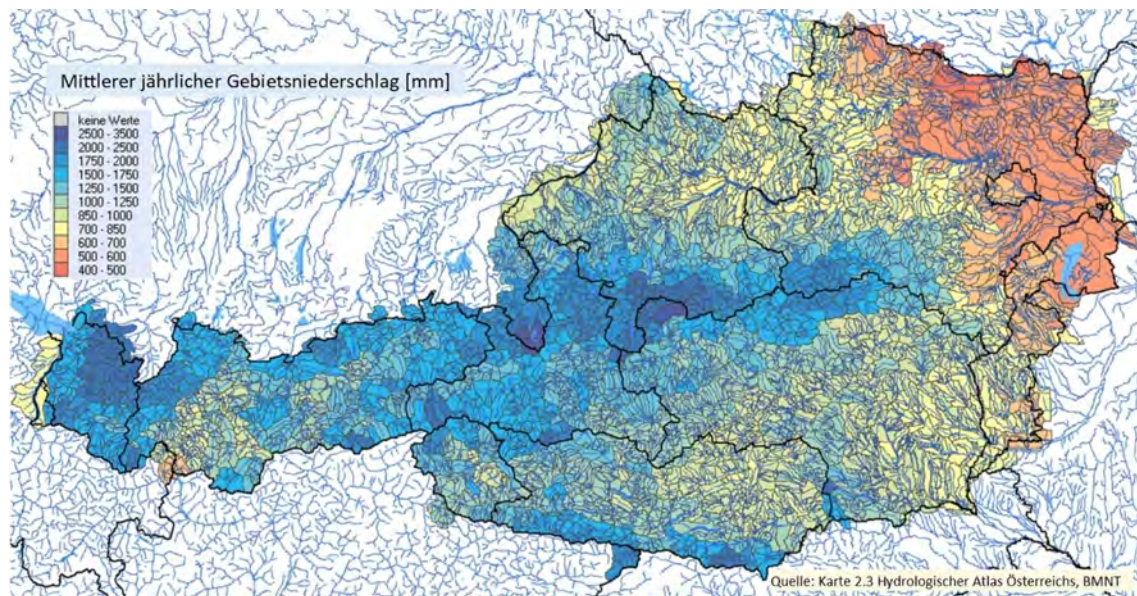
Zum Niederschlag zählen sämtliche Kondensationsprodukte, welche aus der Atmosphäre zum Boden gelangen. In erster Linie sind dies Regen, Schnee und Hagel, aber auch Nebel, Reif und Tau können in der Jahressumme bis zu 30 mm Niederschlagshöhe ausmachen. Advektive Niederschläge entstehen bei horizontalen Luftbewegungen und bilden große Niederschlagsgebiete mit mäßiger Regenintensität, jedoch langer Regendauer. Dadurch kann die während eines Ereignisses gefallene Niederschlagsmenge sehr hoch ausfallen.

Konvektive Niederschläge entstehen bei vertikalen Luftbewegungen, zumeist im Sommer, hervorgerufen durch hohe Temperatur- und Verdunstungswerte. Die verhältnismäßig kleinen und scharf abgegrenzten Niederschlagsgebiete (in der Regel kleiner 10 km²) mit mächtigen Wolkenschichten neigen zu kurzen kräftigen Schauern mit hohen Niederschlagsintensitäten, außerdem zu Gewitter und Hagel.

Die mittlere jährliche Niederschlagssumme in Kärnten beträgt für die Periode 1981-2010 1198 mm. Die räumliche Verteilung dieses Niederschlages ist sowohl in Kärnten (Abbildung: Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag von Kärnten, Periode 1981-2010) als auch in ganz Österreich sehr unterschiedlich (Abbildung: Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag von Österreich, über Wasserbilanz rückgerechnet, Hydrologischer Atlas Österreichs, Karte 2.3). Deutlich erkennbar ist der große Einfluss der Topographie (Gebirge, Beckenlandschaften etc.) auf die Niederschlagsverteilung.



Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag von Kärnten (Periode 1981-2010)



Mittlerer jährlicher Gebietsniederschlag von Österreich, über Wasserbilanz rückgerechnet, Hydrologischer Atlas Österreichs, Karte 2.3 (BMLFUW, 2005)

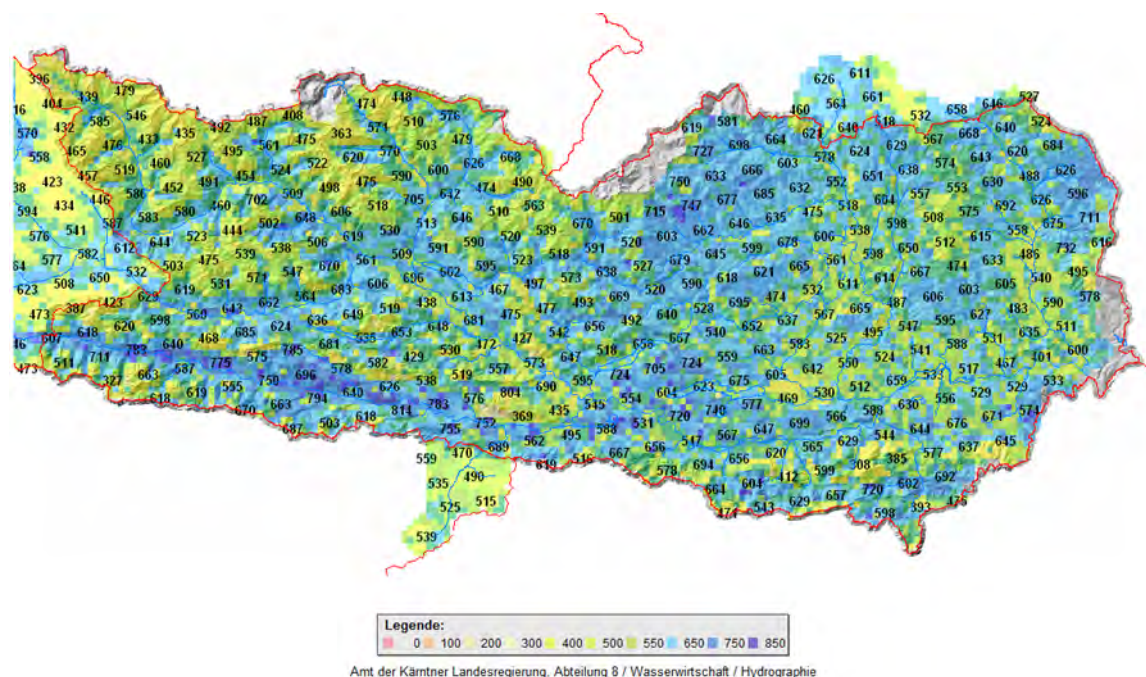
Verdunstung

Wenn Wassermoleküle vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergehen, spricht man von Verdunstung. Diese ist von meteorologischen Faktoren wie der Temperatur, der Sonneneinstrahlung, der Luftfeuchtigkeit (Partialdruck des Wasserdampfes in der Atmosphäre) und der Windgeschwindigkeit abhängig sowie von der Verfügbarkeit von Wasser aus Niederschlag, Bodenfeuchte und oberflächennahem Grundwasser. Zusätzlich beeinflussen Bodeneigenschaften und die Vegetation das Verdunstungsgeschehen.

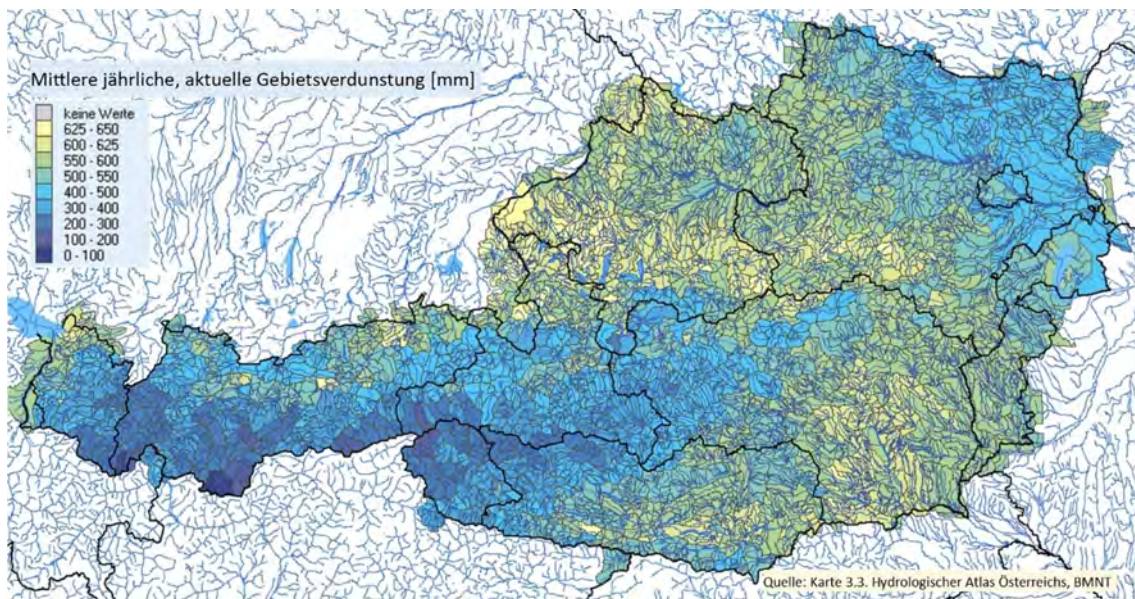
Die Evaporation beschreibt die Menge des verdampften Wassers von offenen Wasserflächen, Schnee und Eis, benetzten Blättern, unbewachsenen Flächen, feuchten Böden und künstlichen Oberflächen. Die Transpiration ist die physiologisch regulierte Abgabe von Wasserdampf über die Spaltöffnungen (Stomata) der Blätter der Vegetation. Die Summe von Evaporation und Transpiration wird als Evapotranspiration bezeichnet.

In den beschriebenen Auswertungen wird die tatsächliche Verdunstung (Evapotranspiration) betrachtet. Sie wird durch das aktuell vorhandene Energie- und Wasserangebot und die Bedingungen am Standort, vor allem durch den Umsatz durch die Vegetation bestimmt.

Die mittlere jährliche Verdunstung in Kärnten für die Periode 1981-2010 beträgt ca. 605 mm. Die Darstellung der modellierten mittleren jährlichen Verdunstung von Kärnten und die Karte 3.3 (Mittlere jährliche Verdunstung) des Hydrologischen Atlas von Österreich geben ein Bild über die räumliche Verteilung der Verdunstung in Kärnten und in ganz Österreich.



Modellierte mittlere jährliche Verdunstung von Kärnten in Millimeter (Periode 1981-2010)



Mittlere jährliche Verdunstung, über Wasserbilanz rückgerechnet, Hydrologischer Atlas Österreichs, Karte 3.3 (BMLFUW, 2005)

Die Hochgebirgsregionen und vor allem der Nordosten Österreichs fallen durch geringere Verdunstungswerte auf. Während die Verdunstung im Hochgebirge durch den temperaturbedingt geringeren Energieeintrag limitiert wird, so ist im niederschlagsarmen Nordosten Österreichs das verfügbare Wasser als Ursache anzusprechen.

Grundwasser

Grundwasser ist Wasser, das die unterirdischen Hohlräume zusammenhängend ausfüllt, unter gleichem oder größerem Druck steht, als er in der Atmosphäre herrscht und dessen Bewegung durch Schwerkraft und Reibungskräfte bestimmt wird. Einen Boden- oder Gesteinskörper, der aufgrund seines Gehalts an Hohlräumen in der Lage ist, Grundwasser zu speichern und weiterzuleiten, nennt man Grundwasserleiter oder Aquifer. Begrenzt wird ein Aquifer durch einen wasserundurchlässigen Grundwasserstauer, der oft aus tonhaltigen Gesteinen besteht. Mehrere Grundwasserleiter können durch undurchlässige Schichten voneinander getrennt übereinanderliegen. Man spricht in so einem Fall von Grundwasserstockwerken. Besitzt das Grundwasser in einem Grundwasserleiter eine freie Oberfläche, ist der Druck an der Oberfläche des Grundwassers also gleich dem atmosphärischen Druck, handelt es sich um einen ungespannten Grundwasserleiter. Solche Grundwasserleiter sind jene, die der Geländeoberfläche am nächsten liegen, also gegebenenfalls das erste Grundwasserstockwerk bilden.

Die Hohlräume der Grundwasserleiter in den tieferen Stockwerken sind vollständig mit Wasser gefüllt, so dass keine freie Grundwasseroberfläche auftritt, sondern der Druck im gesamten Leiter höher ist als der atmosphärische Druck. Diese Grundwasserleiter bezeichnet man als gespannt. Für die Quantifizierung des Wasserkreislaufs ist meist nur die Zu- und Abnahme des Grundwassers im obersten Stockwerk von Bedeutung. Aufgrund der langen Verweildauer (mindestens mehrere Jahrzehnte) des Wassers in gespannten Grundwasserleitern spielen die dortigen Nähr- und Zehrvorgänge in der Wasserbilanz eine untergeordnete Rolle.



Poren



Klüfte



Karst

Arten von Grundwasserleitern (aus Skript Grundwasserabsenkung – Laborversuch, Ruhr Universität Bochum 2005)

Porengrundwasserleiter: Als Poren bezeichnet man Hohlräume verschiedener Gestalt und Größe in Gesteinen oder im Boden, die mit Luft und/oder Wasser gefüllt sind und miteinander in Verbindung stehen können. Diese Art von Grundwasserleitern kommt vorwiegend in Lockergesteinen, die durch Sedimentation entstanden sind, (Sand, Kies) vor, aber auch in Festgesteinen wie z. B. Sandstein. Die Fließgeschwindigkeit in solch einem Leiter reicht von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern pro Tag. Porengrundwasserleiter sind meist in Tal- und Beckenlandschaften anzutreffen.

Kluftgrundwasserleiter: In solchen Leitern findet die Wasserbewegung in feinen Fugen, die durch Bruch infolge endogener Vorgänge entstanden sind, statt. Diese können durch Verwitterung aufgeweitet werden. Sie treten in nicht verkarstungsfähigen Festgesteinen auf. Die Speicherfähigkeit ist geringer als bei Porengrundwasserleitern. Das Wasser kann pro Tag eine Distanz von mehreren hundert Metern zurücklegen.

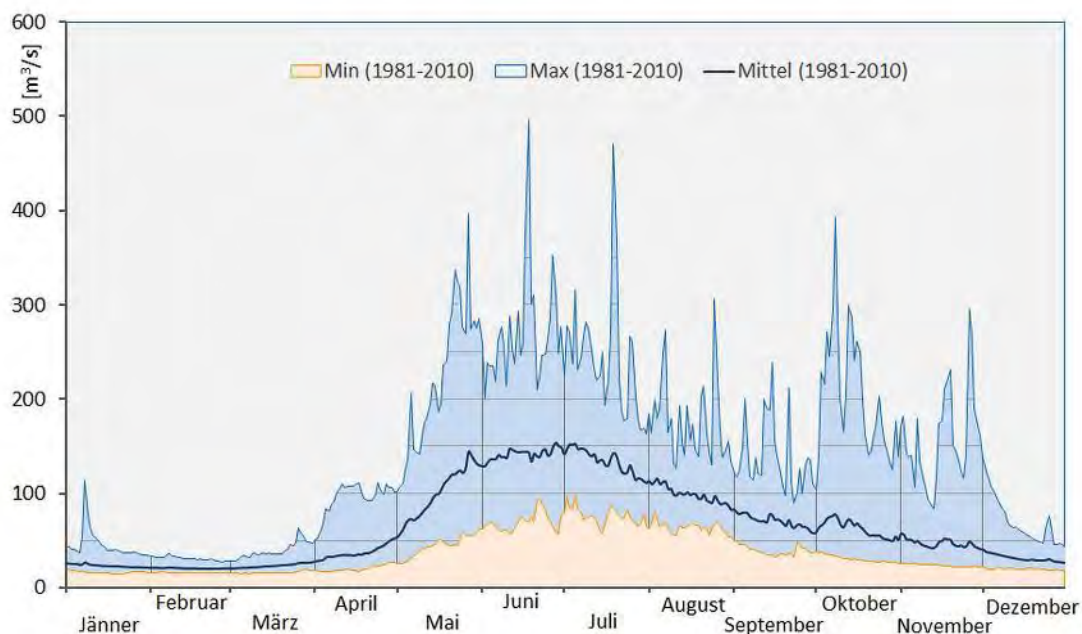
Karstgrundwasserleiter: In verkarstungsfähigen Festgesteinen (Gips, Anhydrit, Kalk, Dolomit) entstehen durch Lösungsvorgänge Hohlräume, die sich über lange Zeiträume bis zu großen Höhlen erweitern können. In Karstgefäßen sind Fließgeschwindigkeiten von mehreren Kilometern pro Tag möglich. Die Filterwirkung ist solcher Grundwasserleiter ist gering.

Quellen: Eine Quelle ist eine räumlich begrenzte, natürliche Austrittsstelle von unterirdischem Wasser. Die Menge an Wasser, welche innerhalb einer bestimmten Zeit aus einer Quelle entspringt, wird als Quellschüttung (Q) bezeichnet. Diese wird in der Regel in Liter pro Sekunde (l/s) angegeben. Der Typ des speisenden Aquifers ist bestimmend für die Schüttungscharakteristik einer Quelle. So reagieren zum Beispiel Karstaquifere in der Regel deutlicher auf Niederschlagsereignisse als Poren- oder Kluftaquifere, die meist eine ausgeglichene Ganglinie zeigen.

Abfluss

Die Wasserhaushaltskomponente Abfluss ist jene Wassermenge, die ein Einzugsgebiet in einer bestimmten Zeit ober- und unterirdisch verlässt. Der Abfluss setzt sich aus unterschiedlich schnellen Komponenten zusammen. Sie unterscheiden sich durch ihre Herkunftsräume (Oberflächenwasser, Boden- und Grundwasser), ihre Fließwege durch das Einzugsgebiet, ihre Verweilzeiten darin und durch ihre Dynamik und Beschaffenheit.

Wie am Beispiel der minimalen, mittleren und maximalen Tagesmittelabflüsse der Drau bei Sachsenburg in der Periode 1981-2010 dargestellt, hat der Abfluss meist charakteristische jahreszeitliche Schwankungen. Extremwerte des Abflusses bei Hochwasser können ein Vielfaches des mittleren Abflusses erreichen. Bei Trockenwetter kann der Gewässerabfluss zur Gänze durch die unterirdischen Abflussanteile gespeist werden.



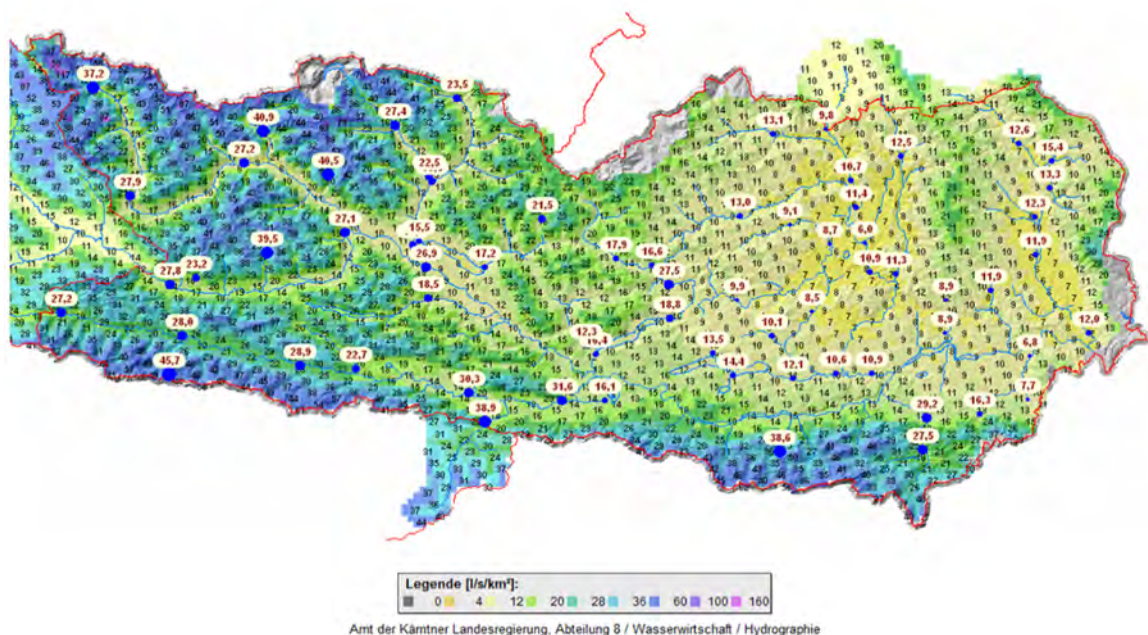
Minimale, mittlere und maximale Tagesmittelabflüsse der Drau bei Sachsenburg in der Periode 1981 bis 2010

Regionale Abflussspenden

Der Abfluss ist das Resultat aus dem Zusammenwirken von Niederschlag, Schneeschmelze, Verdunstung und Speicherung im Gebiet. Die Gebietseigenschaften, vor allem Boden und Vegetation, haben darauf großen Einfluss. Um Abflüsse aus Gebieten oder Teilgebieten unterschiedlicher Größe und naturräumlicher Ausstattung besser vergleichen zu können, werden die Abflüsse auf die Einzugsgebietsfläche bezogen und Abflussspenden q ermittelt (in $l/s \text{ km}^2$ oder $m^3/s \text{ km}^2$). Abflussspenden geben Auskunft über das Abflussentstehungspotenzial eines Gebietes. Der Parameter Mq beschreibt die mittlere Abflussspende, das heißt den mittleren, innerhalb eines Quadratkilometers eines Gewässereinzugsgebietes in einem

bestimmten Zeitraum entstehenden Abfluss, zum Beispiel innerhalb eines Jahres oder einer Periode von 30 Jahren.

In der Abbildung „Modellierte und gemessene Abflussspenden für die Periode 1990-2010 in Kärnten“ stellt der bunte Kartenhintergrund die mit dem Modell HBV berechneten und als „Modellierte Abflussspende“ bezeichneten Abflussspenden in Kärnten dar. Zusätzlich sind an den Pegelmessstellen zu Vergleichszwecken die sich aus den gemessenen Daten ergebenden Abflussspenden M_q eingetragen. Diese Werte bestimmen sich aus dem mittleren Abfluss am Pegel und dem abflusswirksamen Einzugsgebiet AE ($M_q = MQ/AE \cdot 1000$). Somit spiegeln die Punktwerte die mittlere Abflussspende ($l/s \text{ km}^2$) des betreffenden Einzugsgebiets wider. Durch die Verwendung der wirksamen anstelle der sich aus der Topographie ergebenden Gebietsfläche werden Änderungen des Einzugsgebietes durch Kraftwerknutzung (Ein-, Aus-, Überleitungen) berücksichtigt. Hohe Abflussspenden weisen z. B. Einzugsgebiete mit hohem Niederschlag, spärlicher Vegetation, geringer Verdunstung und schwer durchlässigen Böden auf. Niedrige Abflussspenden sind in Gebieten mit gut durchlässigen Böden und geringeren Niederschlagssummen anzutreffen.



Modellierte und gemessene Abflussspenden für die Periode 1990-2010 in Kärnten ($l/s \text{ km}^2$)

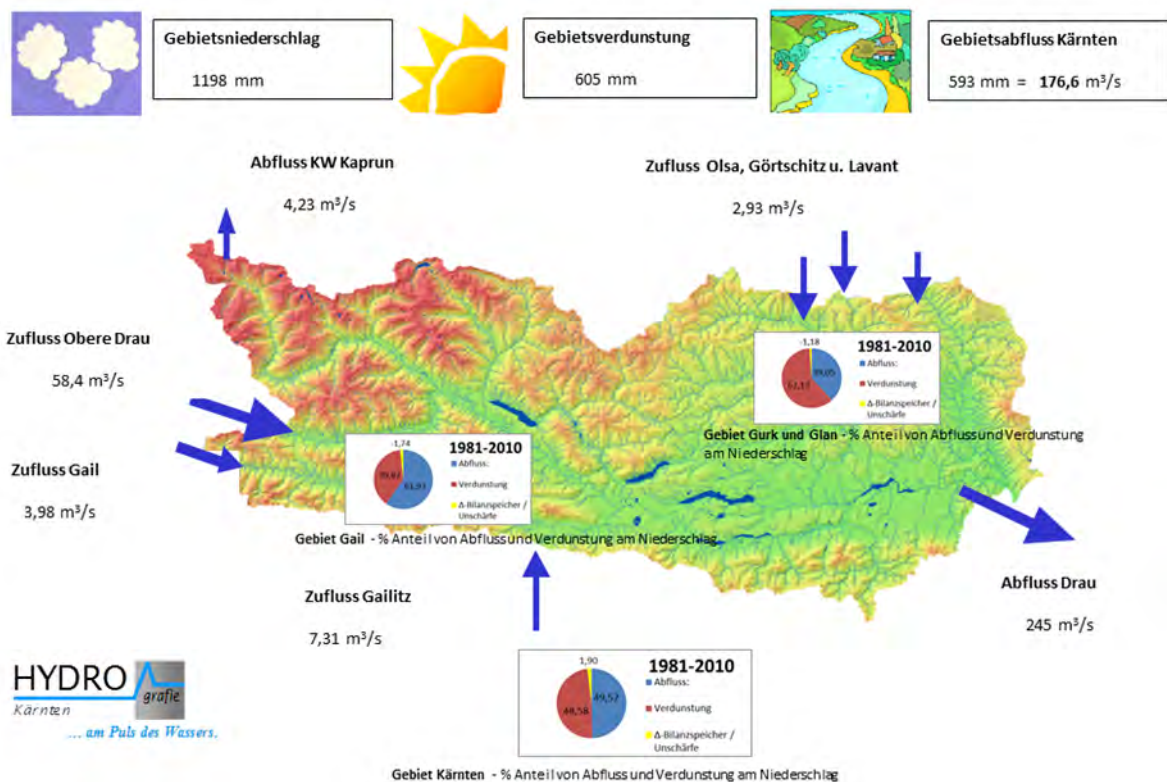
Wasserbilanz

Die Wasserbilanz ist die quantitative Beschreibung des Wasserkreislaufes durch Bilanzgleichungen. Sie wird meist für ein einzelnes Jahr oder als jährlicher Mittelwert einer Periode berechnet und beinhaltet die wichtigsten Komponenten des Wasserhaushaltes – den Niederschlag, die Verdunstung, den Abfluss und die Speicheränderung.

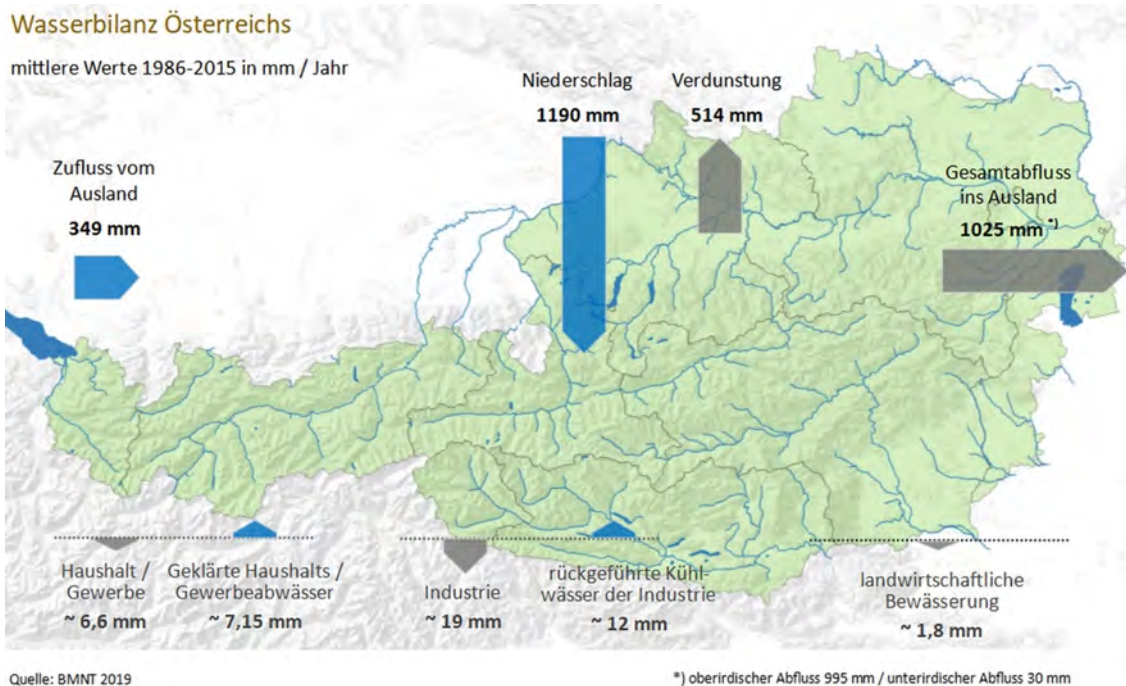
Während für die gesamte Erde gilt, dass der Niederschlag N gleich der Verdunstung V ist, so müssen für Wasserbilanzen der Festlandsflächen auch die Komponenten Abfluss A und Speicheränderung ΔS berücksichtigt werden: $N+V+A\pm\Delta S=0$. Für langjährige Mittelwerte wird die Speicheränderung gleich Null und kann vernachlässigt werden, weil sich Speicherfüllung in nassen und Speicherentleerung in trockenen Jahre im Mittel ausgleichen.

Das Einzugsgebiet der Drau bis Lavamünd beträgt 12.030 km². Kärnten selbst hat eine Fläche von 9.536 km², wovon der größte Teil zur Drau entwässert. Der Gebietsabfluss, umgerechnet auf die Fläche Kärntens, beträgt beispielsweise im Mittel 593 mm. Das heißt, dass ungefähr die Hälfte des gefallen Niederschlags über das Gewässernetz abfließt, der Rest verdunstet.

Die Darstellung Wasserbilanz für Österreich in der Periode 1986-2015 zeigt im Vergleich dazu die auf das gesamte Bundesgebiet bezogenen Komponenten des Wasserkreislaufes, ebenfalls in mm.



Wasserbilanz für Kärnten als Mittelwert der Periode 1981 bis 2010



Wasserbilanz Österreichs der Periode 1986 bis 2015

Veränderungen des Wasserhaushaltes Österreichs durch klimatische Veränderungen

Unumstritten ist die Tatsache, dass die durch den Menschen verursachte CO₂-Emission unser Klima verändert. Am deutlichsten manifestiert sich der Wandel an der Zunahme der globalen Lufttemperatur. Weit schwieriger ist es, die Auswirkungen der Klimakrise auf die Wasserbilanz Österreichs zu quantifizieren. Der Zeitpunkt, ab dem die Lufttemperatur über den natürlichen Schwankungsbereich hinaus in Österreich zu steigen begann, liegt zu Beginn der 1980er Jahre. Wir leben also bereits seit über 30 Jahren im Wandel. Auf Grund der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten in Österreich, von den Alpen bis zur Steppe im Osten, sind die Komponenten des Wasserkreislaufes – Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Grundwasserneubildung – von Natur aus durch große Schwankungen geprägt. Zwei der wichtigsten Fragen sind: in welchem Ausmaß hat die globale Veränderung durch die Klimakrise die ohnehin große, natürliche Varianz im Niederschlag und Abfluss in Österreich bereits verändert und auf welche Veränderungen muss sich die österreichische Wasserwirtschaft in Zukunft einstellen? Mit diesem Thema hat sich die von Bund und Ländern in Auftrag gegebene Studie „Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft“ bereits 2010 beschäftigt. Die Studie wurde 2017 durch eine Folgestudie „Follow-Up Klimawandel in der Wasserwirtschaft“ ergänzt. Jene Aussagen der Studie, deren Grundlage hydro-

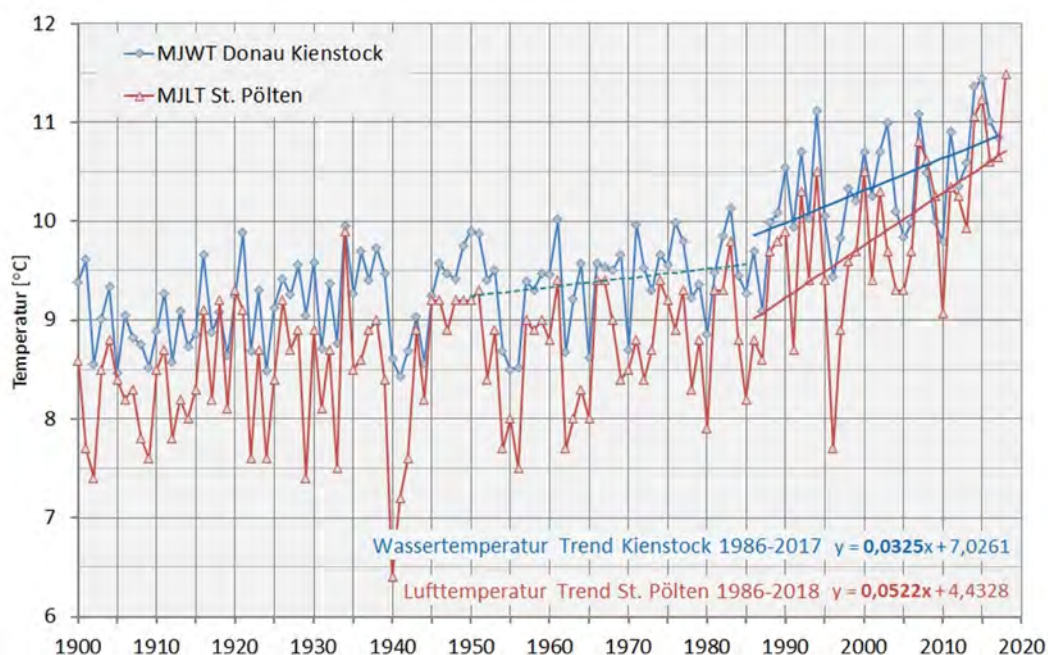
graphische Daten waren, werden im Folgenden hervorgehoben und die Bewertung der Ergebnisse (weiche, mittelharte und harte Aussage) mit Resultaten aus Analysen mit verlängerten Zeitreihen verglichen.

Änderungen der Lufttemperatur

Die Lufttemperatur hat in Österreich seit Mitte der 1970er Jahre deutlich (fast 1,5 °C) zugenommen. Es handelt sich dabei um einen für Österreich sehr einheitlichen Trend. Die Zunahme war stärker im Sommer (fast 2 °C) als im Winter (ca. 1 °C) (harte Aussage).

Die Lufttemperatur wird in Österreich gemittelt über den Zeitraum 2021 bis 2050 gegenüber 1976-2007 um ca. 1 °C steigen, wobei die Zunahme im Sommer stärker sein wird als im Winter (harte Aussage) (Blöschl et al., 2010).

Die Abbildung „Jahresmittelwerte der Luft- und Wassertemperatur an den Messstellen St. Pölten (ZAMG-HISTALP) und Kienstock Donau“ zeigt stellvertretend für viele Regionen, dass die Lufttemperatur seit den 1980er Jahren bis 2018 um ca. 2,0 °C zugenommen hat. Die Wassertemperatur der Donau am Pegel Kienstock ist in den vergangenen 30 Jahren um ca. 1,5 °C angestiegen.

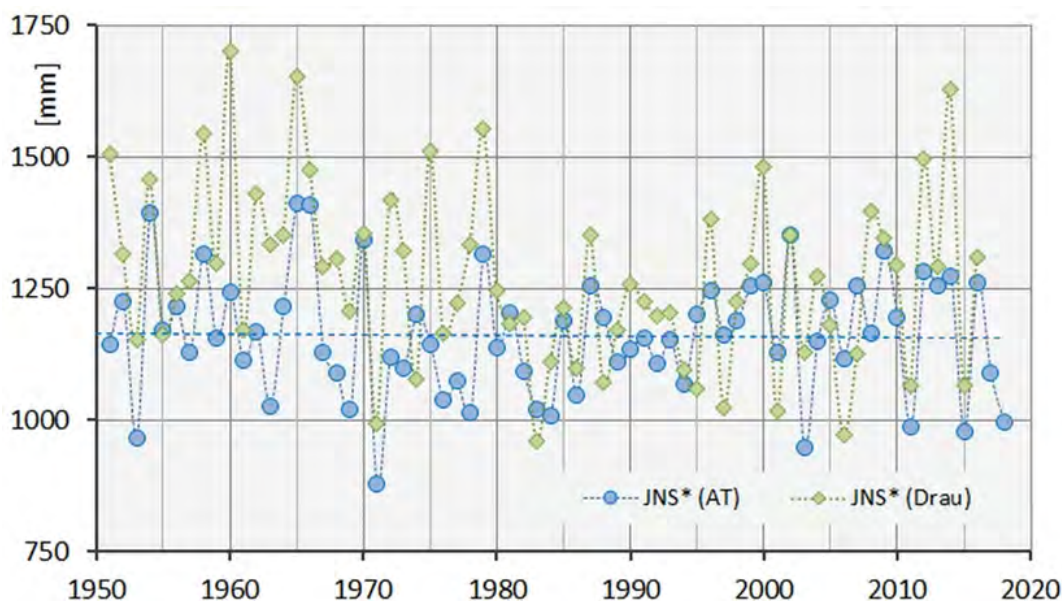


Jahresmittelwerte der Luft- und Wassertemperatur an den Messstellen St. Pölten (ZAMG-HISTALP) und Kienstock/Donau

Änderungen des Niederschlags

Die jährlichen Niederschlagssummen schwanken und lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Es wurden in den letzten Jahren regional unterschiedlich sowohl Zu- als auch Abnahmen der Niederschlagsmengen beobachtet (Blöschl et al., 2010)

Historische Daten belegen, dass es auch in der Vergangenheit Perioden mit steigender bzw. fallender Niederschlagstendenz gegeben hat. Der Vergleich der Jahresniederschlagssumme in Österreich mit jener im Draugebiet lässt Ähnlichkeiten im Verlauf erkennen, jedoch sind die niederschlagsarmen Jahre seit 2010 im Draugebiet weniger stark ausgeprägt. In der Zeit von 1975 bis 2000 ist die Varianz – die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren – geringer als in der Zeit davor. Auch danach, ab dem Trockenjahr 2003 sind wieder etwas größere Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren zu erkennen, vor allem deshalb, weil die Jahresniederschlagssumme österreichweit in den Jahren 2003, 2011, 2015 und 2018 deutlich unter dem Durchschnitt lag. In sechs Jahren von 1950-2018 blieb die Jahresniederschlagssumme in Österreich unter 1000 mm. Am wenigsten regnete es im Jahr 1971. Vier der sechs niederschlagsarmen Jahre unter 1000 mm Niederschlag gab es in der Zeit von 2003 bis 2018.



Vergleich der Jahresniederschlags-Summen für Österreich (blau) mit jener im Draugebiet

Änderungen der Verdunstung

Die potentielle und auch die aktuelle Verdunstung werden gemittelt über den Zeitraum 2021 bis 2050 gegenüber 1976-2007 zunehmen (mittelharte Aussage). Die Größenordnung der Änderung ist jedoch unsicher (Blöschl et al., 2010).

Mit dem Anstieg der Lufttemperatur erhöht sich auch die Verdunstung und verringert sich das verfügbare Wasserdargebot. Unsicher ist das Volumen der möglichen Verdunstung, da an den Messstellen der Hydrographie nur die potentielle Verdunstung ermittelt wird. Die aktuell mögliche Verdunstung hingegen ist durch die Bodenfeuchte der Oberfläche begrenzt. Sind die Böden während langanhaltender Trockenperioden ausgetrocknet, ist auch der Wassernachschub im Boden unterbrochen. Da der Abfluss in den Sommermonaten an vielen Pegeln seit 1985 abnimmt, die Niederschlagssumme im Sommer hingegen bei hoher Varianz in etwa gleichgeblieben ist, bestätigt sich die Aussage, dass die Verdunstung zugenommen hat.

Änderungen der Gewässerabflüsse

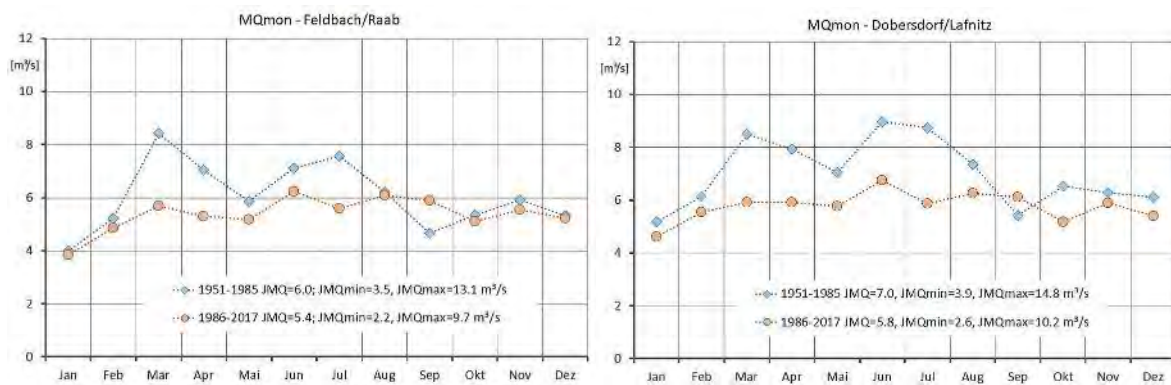
Der Jahresabfluss im Zeitraum 1976-2007 zeigt für die meisten Pegel (81 %) keine signifikanten Trends. Für einen Teil der Gebiete sind jedoch Trends abzulesen: im Süden fallende Trends, im östlichen Alpenraum steigende Trends und in Vorarlberg fallende Trends. Im Mittel für Österreich heben sich diese Trends ungefähr auf (9 % der Pegel steigend, 10 % fallend). Das grobe räumliche Muster von Jahresabfluss und Niederschlag ist zwar konsistent, aber generell gibt es beim Niederschlag eine wesentlich stärkere Tendenz zu Zunahmen als beim Abfluss (harte Aussage) (Blöschl et al., 2010).

Mit den noch nicht geprüften hydrographischen Daten der Jahre 2017 und 2018 wurden Regimeauswertungen für die Zeit vor 1985 und nach 1985 an charakteristischen Abflussmessstellen in Österreich durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich seit 1985 an allen untersuchten Messstellen die Verteilung der Abflüsse innerhalb eines Jahres verändert hat. Die Abflussregimeänderungen bestätigen die harten Aussagen der Studie für Gebiete, in denen eine Abnahme des Oberflächenabflusses prognostiziert wurde. Steigende Trends der Jahresmittelwerte des Abflusses im östlichen Alpenraum und die Tendenz zu einer generellen Zunahme des Niederschlages in der Zeit ab 1986 – wie als Ergebnis der Studie formuliert – sind nicht mehr zu erkennen. Mit den niederschlagsarmen Jahren seit 2015 ist an keiner Messstelle ein signifikanter Anstieg der Abfluss-Jahresfracht belegt.

Jahreszeitlich sind generell sinkende Sommerabflüsse zu verzeichnen mit Ausnahme des Ostens Österreichs, wo die Abflüsse steigen. Im Frühjahr nehmen die Abflüsse in Kärnten ab. Im Herbst ist in den östlichen Teilen der Alpen eine Zunahme der Abflüsse festzustellen. Generell sind keine steigenden Winterabflüsse festzustellen (harte Aussage) (Blöschl et al., 2010).

Betrachtet man den längeren Zeitraum 1950-2007, ist ebenfalls die Anzahl der Pegel mit nicht signifikanten Trends der Jahresabflüsse groß. Die Pegel mit fallenden Trends überwiegen aber gegenüber den Pegeln mit steigenden Trends. Die fallenden Trends treten vor allem im Süden und Südosten Österreichs auf und finden sich in allen Jahreszeiten wieder, besonders im Frühjahr und Winter. Die räumlichen Unterschiede im Jahresabfluss stimmen gut mit dem Niederschlag überein (harte Aussage) (Blöschl et al., 2010).

Die Abnahme der Sommerabflüsse hat sich fortgesetzt und ist auf Grund der Trockenjahre 2015, 2017 und 2018 auch an den Messstellen im Osten Österreich zu erkennen (siehe Veränderung der Abflussregime an Messstellen im Südosten Österreichs).

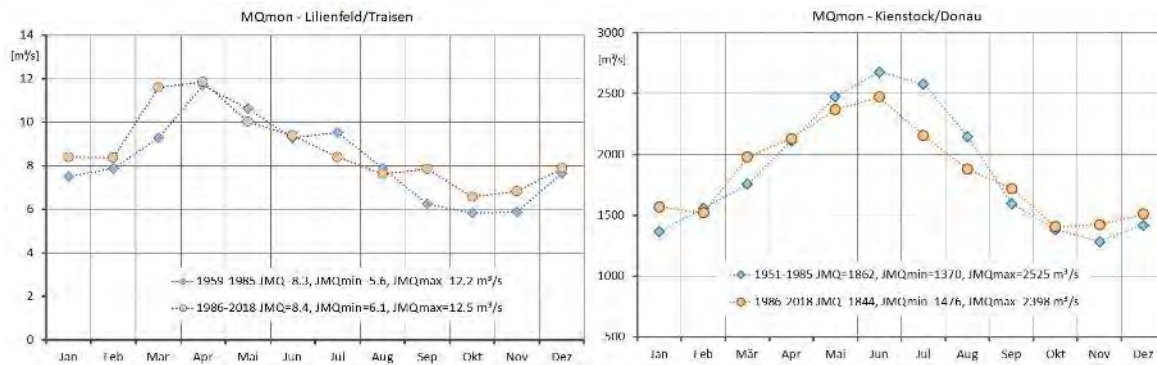


Veränderung der Abflussregime an Messstellen im Südosten Österreichs

Saisonalität des Abflusses:

In ganz Österreich mit Ausnahme des Südens ist eine Erhöhung der Winterabflüsse um ca. 20 % zu erwarten (mittelharte Aussage) (Blöschl et al., 2010).

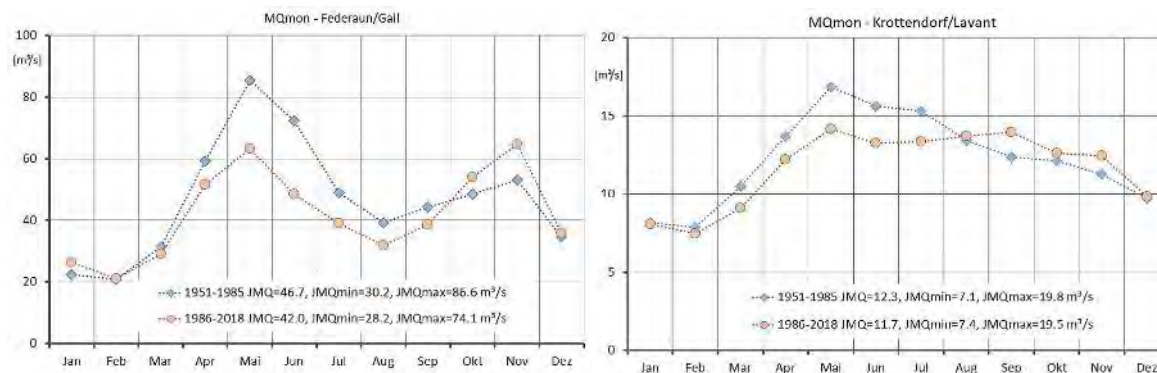
Eine Erhöhung der Winterabflüsse zeigt sich nur im Westen Österreichs sowie nördlich der Alpen bis in das niederösterreichische Mostviertel und am Abflussregime der gesamten Donau in Österreich.



Veränderung des Abflussregimes an der Traisen (Niederösterreich) und an der Donau

Im Osten (Flachland) ist eine Abnahme des Frühjahrsabflusses und im Westen (Alpen) eine Abnahme des Sommerabflusses um jeweils ca. 10-20 % zu erwarten (weiche Aussage) (Blöschl et al., 2010).

Die Abflüsse im Frühjahr sind auch an den Zubringern der Drau im Süden Österreichs geringer geworden, die Abflüsse in den Sommermonaten haben sich an allen untersuchten Messstellen im Vergleich zur Periode vor 1985 reduziert.



Veränderung des Abflussregimes an Messstellen im Süden Österreichs

Literaturverzeichnis

Blöschl, G., Parajka, J., Blaschke, A. P., Hofstätter, M., Haslinger, K. und Schöner W.: in BMNT (Hg.): Klimawandel in der Wasserwirtschaft – Zusammenfassung, Follow Up zur Studie Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft, Wien 2017.

Blöschl, G., Blaschke, A. P., Parajka, J., Viglione, A., Böhm, R., Haslinger, K., Schöner, W., Kroiß, H. und Kreuzinger N.: in BMNT (Hg.): Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft, Wien 2010.

BMLFUW: Hydrologischer Atlas Österreichs. 2. Lieferung 2005. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

Dyck, S. und Peschke G.: Grundlagen der Hydrologie. Verlag für Bauwesen, Berlin 1995.

Dipl.-Ing. Christian Kopeinig, Dipl.-Ing. Johannes Moser
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft, Unterabteilung Hydrographie
Flatschacher Straße 70
9020 Klagenfurt
E-Mail: christian.kopeinig@ktn.gv.at

Dipl.-Ing. Reinhold Godina
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
Abteilung Wasserhaushalt
Marxergasse 2
1030 Wien
E-Mail: reinhold.godina@bmnt.gv.at



Schnee und Eis, zwei bedeutende Komponenten des quantitativen Wasserkreislaufes

Hans Wiesenegger

Schnee und Eis werden seit vielen Jahrzehnten vom Hydrographischen Dienst beobachtet und prägen wesentlich den Jahresverlauf des Abflusses in alpinen Gewässern. Während die Schneedecke nur einen temporären Zwischenspeicher darstellt, der im Verlauf eines hydrologischen Jahres über den Winter aufgebaut und im Frühsommer wieder geschmolzen wird, kann Niederschlag im Gletschereis über einen wesentlich längeren Zeitraum (Jahre bis zu Jahrhunderten) gespeichert werden.

Schnee und Eis stellen somit einen wesentlichen Bestandteil des „Rückhaltes“ in der Wasserbilanz dar, die sich jedoch aufgrund der messbaren Erwärmungstendenz der Lufttemperatur seit den 1980er Jahren in einzelnen Beobachtungsgrößen (Verdunstung), aber auch im Jahresverlauf deutlich verändert hat. Reichte das Einzugsgebiet entsprechend hoch hinauf, schmolz der Schnee bisher im Frühsommer kontinuierlich auch noch in höheren Lagen und verbesserte so „gleichmäßig“ die Wasserführung in Trockenperioden. Im Frühsommer 2019 sind jedoch erstmalig und durch intensive Schneeschmelze bedingt, größere Hochwasser an alpinen Gewässern (Inn, Salzach) aufgetreten.

Gletscher wiederum vermögen in Abhängigkeit von ihrem Anteil an der Gesamtgröße des Einzugsgebiets sowie von der Entfernung zum Betrachtungspunkt in heißen, trockenen Sommern etwaige Niederschlagdefizite teilweise auszugleichen. Der Sommer 2018 hat die Erfahrungen aus dem Trockenjahr 2003 eindrucksvoll bestätigt. Die Frage ist nur, wie lange ist noch ausreichend „ewiges“ Eis zur Aufbesserung der Wasserführung vorhanden.

Die Beobachtung von Schnee und Eis

Im Organisationsstatut des Hydrographischen Dienstes vom Dezember 1894 wurde mit großem Weitblick das Aufgabengebiet des Hydrographischen Dienstes festgelegt, dass laut § 2

„... auch die Sammlung statistischer Daten, Beobachtungen, Erhebungen und Studien zu den Niederschlagsverhältnissen in Bezug auf ihre Art (Regen, Schnee, Hagel), aber auch die durch die Schwerkraft bedingte Bewegung des Niederschlages mit seinen Begleiterscheinungen (Verdunstungs- und Gefrierungsverhältnisse; Schneeschmelze und Gletscherschwankungen)“ erfassen sollte.

Ein weiterer Hinweis findet sich im Hydrographischen Jahrbuch 1893 (im Jahr 1895 vom k. k. hydrographischen Central-Bureau veröffentlicht):

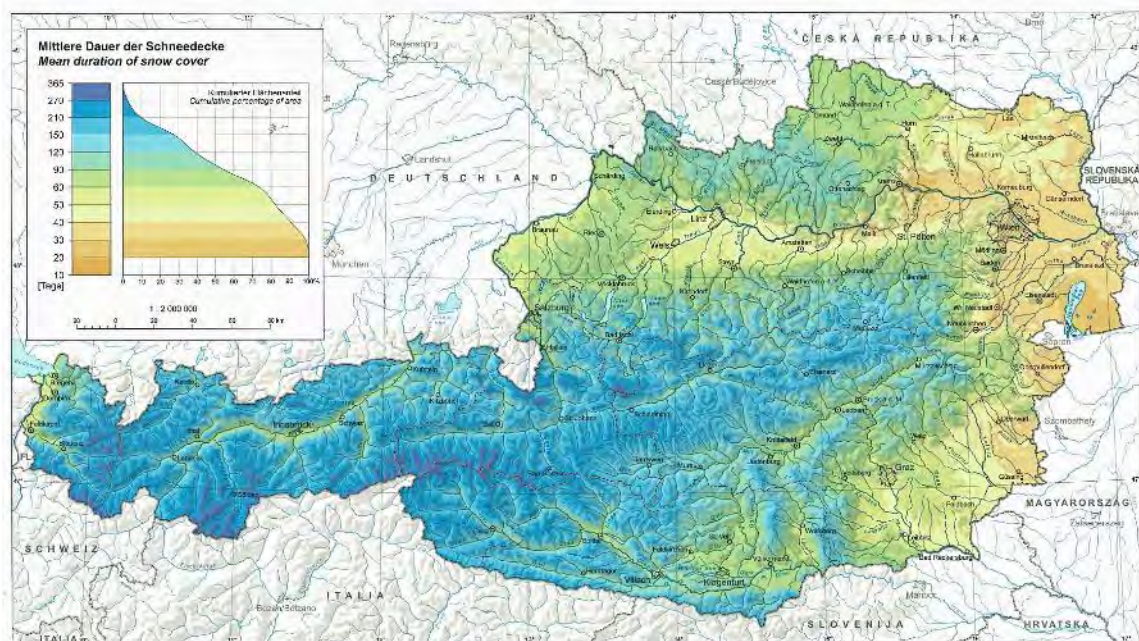
„... das bisherige Netz der ombrometrischen und Pegelstationen weist noch viele Lücken auf, deren Ausfüllung – bei gleichzeitiger Ergänzung des Beobachtungsdienstes, so namentlich durch Erhebung der Höhe der Schneedecke, der Wassertemperatur u.d.gl. – eben auf Grund des allgemeinen Organisationsplanes des hydrographischen Dienstes im Jahre 1895 erfolgt.“

Schnee

Schnee, die häufigste Form des festen Niederschlags, besteht meist aus vielen verzweigten kleinen Eiskristallen. Abhängig von der Lufttemperatur sowie vom Grad der Übersättigung des Wasserdampfes bilden sich unzählige Variationen einer Grundkristallform, die meist aus hexagonalen Plättchen, Säulen oder Sternchen besteht. Aktuell wird vom Hydrographischen Dienst an insgesamt 693 Messstellen in Österreich täglich um 7 Uhr (MEZ) die Höhe der Schneedecke und des Neuschnees, das ist jener Schnee der in den 24 Stunden davor gefallen ist, gemessen. Die Schneehöhe wird dabei von einem geschulten Beobachter an einem repräsentativ positionierten Schneepegel, der meist als Messlatte mit Zentimetereinteilung ausgeführt und lotrecht im Boden verankert ist, abgelesen. Parallel zur täglichen manuellen Schneehöhenmessung wird der Niederschlag mittels Ombrometer registriert und die Neuschneehöhe mit einem Neuschneebrett, eine weiße quadratische Grundplatte von etwa 50 cm Seitenlänge mit senkrechter Messlatte, abgelesen. Nach der Messung wird der Schnee auf dem Neuschneebrett wieder beseitigt und dieses wiederum auf der natürlichen Schneeoberfläche aufgestellt.

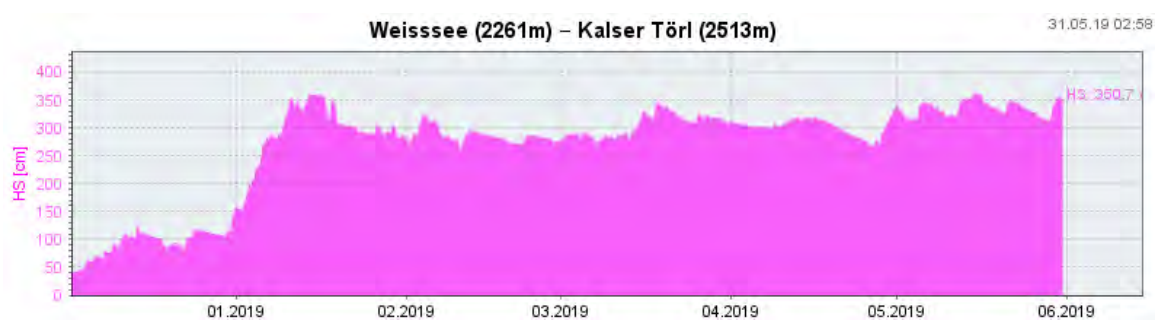
Die langjährigen Messwerte der beobachteten Stationen werden im Hydrographischen Jahrbuch sowie auf eHYD <https://www.ehyd.gv.at/>, dem online Zugang zum hydrographischen Archiv Österreichs, veröffentlicht.

Zur flächenhaften Darstellung der Gesamtschneehöhe, Neuschneehöhe, Neuschneesumme, Dauer der Winterdecke bzw. Schneedecke, wurde im Hydrologischen Atlas Österreichs (HAÖ) die Jahresreihe 1961-1990 an mehr als 500 Stationen in Österreich analysiert.



Mittlere Schneedeckendauer 1961-1990 (Quelle: Hydrologischer Atlas Österreichs)

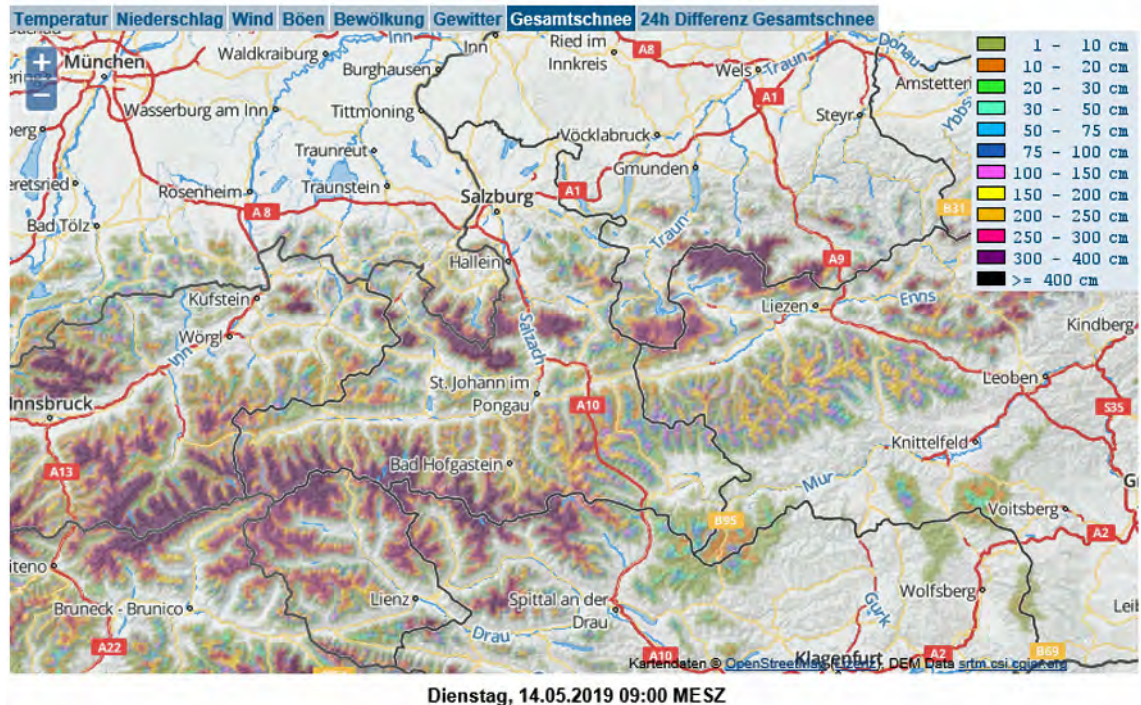
Zur Messung der Schneehöhe werden immer häufiger auch kontinuierlich registrierende Messgeräte (z. Bsp. Laser und Ultraschall) eingesetzt und die aktuellen Messwerte der Schneehöhe auf den homepages der Hydrographischen Dienste (z. Bsp. <https://apps.tirol.gv.at/hydro/>) oder in Kooperation mit den amtlichen Lawinenwarndiensten <https://www.lawis.at/station/> der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.



Schneehöhenentwicklung Station Weißsee/Rudolfshütte Winter 2018/2019 (Quelle: Land Salzburg)

Zur Ermittlung der aktuellen flächenhaften Verteilung des Schnees wird von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) das operationell betriebene Schneedeckenmodell SNOWGRID verwendet. Dabei finden Niederschlagswerte aus Radardaten und Wetterstationen, die vertikale Verteilung der Lufttemperatur und Luftfeuchte in der Atmosphäre sowie genaue Geländedaten Verwendung, um den Aufbau und den Abbau der Schneedecke

zu berechnen. Täglich um ca. 7 Uhr 30 (MEZ) werden Karten der aktuellen Gesamtschneehöhe und die Differenz (Neuschnee, Schmelze und/oder Setzung) der letzten 24-Stunden auf <http://www.zamg.ac.at/incaanalyse/> veröffentlicht.



Schneeverteilung im Mai 2019 (Quelle: ZAMG)

An einigen Schneemessstellen erfolgt zusätzlich die Ermittlung des Wasseräquivalents der Schneedecke. Dazu wird manuell mit einem zylindrischen Ausstecher eine Schneeprobe der Schneedecke entnommen und durch Schmelzen oder Wägung der ausgestochenen Schneeprobe die äquivalente Höhe der Wassersäule ermittelt (CEN/TR 16588:2014).

Zur kontinuierlichen Registrierung des Schneewasseräquivalents werden unterschiedliche Methoden (Bache et al., 2015) eingesetzt: Schneekissen (hydrostatischer Druck), Schneewaagen (Gewicht), Schneebänder (Messung des elektrischen Widerstandes), Gamma Sensoren (Dämpfung der natürlichen Strahlung) oder GPS Empfänger (Signaldämpfung), die teilweise von der CEN TC318 Arbeitsgruppe 11 - Schneewasseräquivalent beschrieben und standardisiert wurden (CEN/TR 15996:2010).



Verlauf des Schneewasseräquivalents Hochwinter 2019 (Quelle: HD Tirol)

Firn

Als Firn, der Begriff stammt vom althochdeutschen firni = vorjährig, wird in der Glaziologie Schnee, der mindestens ein Jahr alt ist und somit eine Ablationsperiode überstanden hat, bezeichnet. Firn entsteht, wenn Schneekristalle durch wiederkehrendes Auftauen und Gefrieren in einer Schmelz-Gefrier-Druck-Metamorphose zu größeren graupelartigen, körnigen Gebilden verbunden werden und dadurch der Luftanteil kontinuierlich abnimmt. Die Metamorphose zu Eis, die klimaabhängig mehrere Jahre bis einige Jahrzehnte dauern kann, ist dann vollendet, wenn die miteinander verbundenen Luftkanäle innerhalb einer Firnschicht geschlossen worden sind. Dabei kann in die einen hohen Porengehalt besitzende Firnschicht Wasser einsickern und gefrieren.

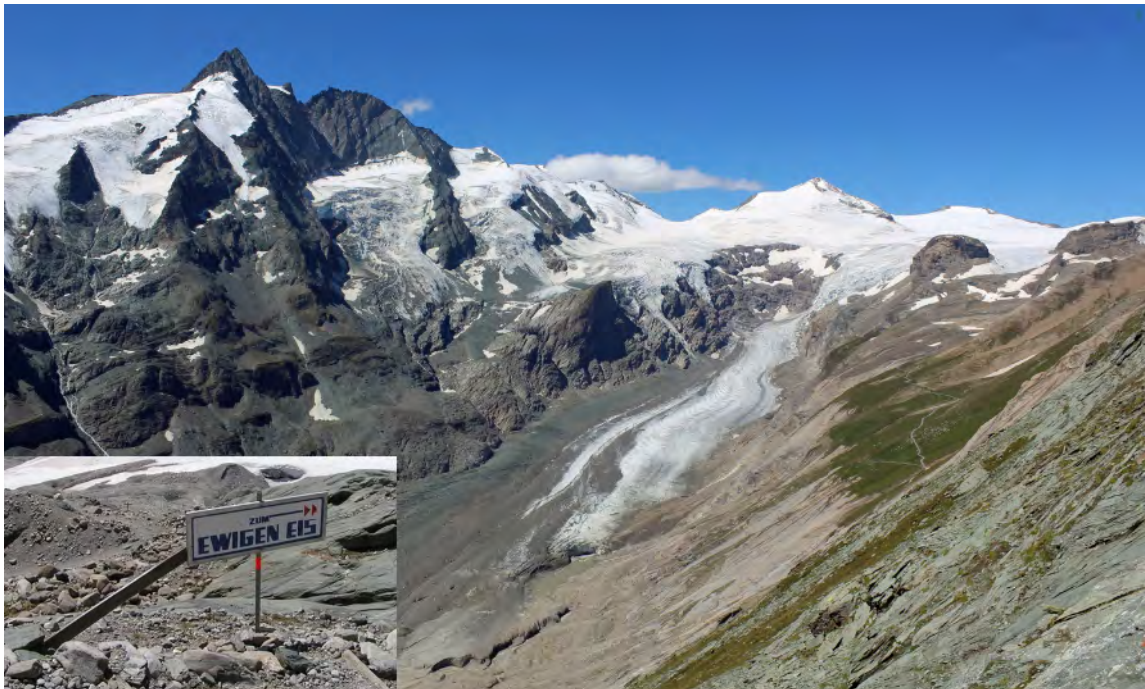
Eis

Bei der Umwandlung von Schnee zu Eis wird der Anteil der Luft im Firneis immer geringer, die Dichte dagegen immer größer. Neuschnee hat meist eine Dichte von 100 bis 200 kg/m³, die Dichte von Firn, der einen Übergangszustand von Schnee zu Eis darstellt, liegt bereits zwischen 450 bis 750 kg/m³ und im Endstadium der Metamorphose erreicht Gletschereis mit nur mehr 10 % Luftanteil eine Dichte von rund 900 kg/m³ bzw. als reines Eis eine theoretische Dichte von 917 kg/m³.

Das „ewige Eis“

Gletscher

Je nach Sprachraum werden unterschiedliche Bezeichnungen verwendet: In Vorarlberg und Oberösterreich ist die Bezeichnung Gletscher (vom lateinischen *glacies* = Eis) gebräuchlich, in Tirol wird vom Jamtal bis zum Tuxertal die Bezeichnung „Ferner“ (mittelhochdeutsch *vert*, *vernt* = voriges Jahr) und vom Tiroler Zillertal ostwärts, in Salzburg und in Kärnten das „Kees“ (mittelhochdeutsch *kes* = Gletscher) verwendet. Oft werden sie auch als „ewiges Eis“ bezeichnet. Doch ganz so alt ist es meist nicht und es hält auch nicht ewig: Gletschereis, das heute auf dem langen Weg vom Johannesberg in 3.453 m über Adria an der Stirn der Pasterze, dem seit 1850 deutlich geschrumpften, aber immer noch größtem Gletscher der Ostalpen angekommen ist, hat Schätzungen zufolge seine Reise im ausgehenden Spätmittelalter begonnen (Lieb und Slupetzky, 2004).



Das ewige Eis der Pasterze (Foto: Dollinger & Wiesenegger)

Unter gleichbleibenden klimatischen Bedingungen stellt sich für Gletscher ein Gleichgewichtszustand ein, aber schon geringfügige Veränderungen können dieses Gleichgewicht stören. Hohe Lufttemperaturen und intensive Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten bewirken starke Gletscherschmelze (Ablation), die sich über einen längeren Zeitraum durch Verlust an Eismasse bemerkbar macht und einen Gletscher zwingt, sich in größere Höhen zurückzuziehen. Niedrige Lufttemperaturen und erhöhter fester Niederschlag im Winter führen zu mehr Ablagerung von Schnee (Akkumulation) und so in weiterer Folge zu einem Zuwachs an Eismasse und wie zuletzt in den 1970er Jahren zu einem Gletschervorstoß.

Da Gletscher sehr sensibel auf Veränderungen in den Umweltbedingungen reagieren, sind sie ein vom Menschen leicht wahrnehmbarer bzw. sichtbarer Indikator für Klimaänderungen. Der Auftrag an den Hydrographischen Dienst, die „Gefrierungsverhältnisse und Gletscherschwankungen“ zu beobachten, erfolgte bereits 1894 im Organisationsstatut, etwa zeitgleich mit der Gründung der internationalen Gletscherkommission und etwa 3 Jahre nach der Gründung des Gletschermessdienstes beim Österreichischen Alpenverein.

Aktuell werden in Kooperation mit den Universitäten Innsbruck, Salzburg und Graz sowie mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und dem Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften meist auf Basis von Werkverträgen Beobachtungen (Längenmessungen, Geschwindigkeitsmessungen, Volumen, Massenbilanzen etc.) an verschiedenen österreichischen Gletschern durchgeführt und vom Hydrographischen Dienst zum Teil auch logistisch und / oder personell unterstützt. Die an der Gletscherforschung beteiligten Institute sind auf der Homepage der „Glaziologie Österreichs“ <http://www.glaziologie.at/> genannt. Die Anzahl der österreichischen Gletscher, an denen tatsächlich Massenbilanzen gemessen werden, ist jedoch wegen des doch relativ hohen Arbeitsaufwandes ziemlich überschaubar:

- Jamtalferner in der Silvretta-Gruppe
- Hintereisferner, Kesselwandferner und Vernagtferner in den Ötztaler Alpen
- Mullwitzkees und Venedigerkees (Obersulzbachkees) in der Venedigergruppe
- Stubacher Sonnblickkees in der Granatspitzgruppe
- Pasterze in der Glocknergruppe
- Goldbergkees, Kleinfleißkees und Wurtenkees in der Goldberggruppe
- Hallstätter Gletscher am Dachstein

Blockgletscher

Im Hochgebirge gibt es neben den „konventionellen“ Gletschern noch eine weitere Erscheinungsform des Eises, die in Österreich erst seit den 1990er Jahren im Zusammenhang mit Folgewirkungen des Klimawandels näher untersucht wurde: „Permafrost“. Dieser tritt in den Alpen in unterschiedlicher Form auf, wobei der größte Anteil des Permafrost-Eises vermutlich in Blockgletschern anzutreffen ist. Diese lappen- bis zungenförmigen Gebilde aus ständig gefrorenem Lockermaterial bewegen sich langsam hangabwärts und heben sich deutlich von ihrer Umgebung ab (Krainer und Ribis, 2009).

Man unterscheidet dabei: aktive Blockgletscher, die Eis enthalten und sich langsam hangabwärts bewegen, inaktive Blockgletscher, die auch noch Eis enthalten, sich aber nicht mehr bewegen und fossile Blockgletscher, die kein Eis mehr enthalten.

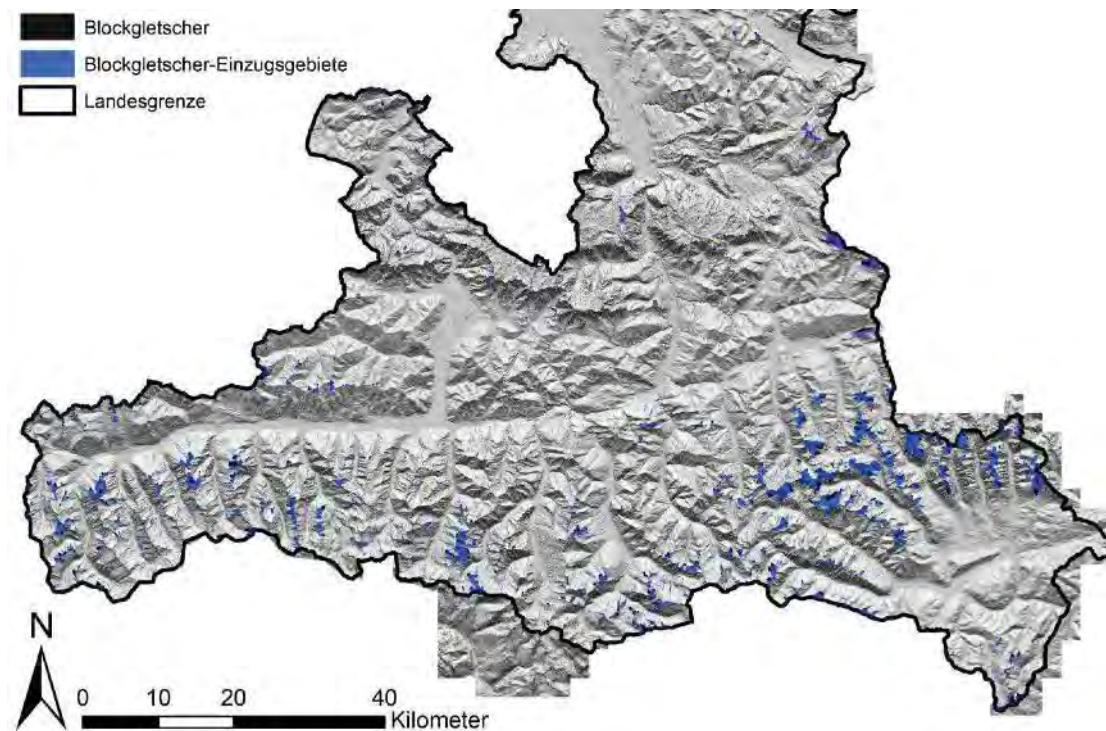
Die Forschung, die vor allem an den Universitäten Innsbruck und Graz erfolgt, wird vom Hydrographischen Dienst aktiv gefördert und u.a. durch die Errichtung und Betreuung von Messstellen tatkräftig unterstützt.



Pegelstation des Hydrographischen Dienstes Tirol im Vorfeld des aktiven Blockgletschers Inneres Bergli (Foto: Winkler)

Im Rahmen der Bund-Bundesländer Forschungsk Kooperation (BBK) wurde das Projekt „Wasserwirtschaftliche Aspekte von Blockgletschern in Kristallingebieten der Ostalpen - Speicherverhalten, Abflussdynamik und Hydrochemie mit Schwerpunkt Schwermetallbelastung“ vom Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus gemeinsam mit den Bundesländern Kärnten, Salzburg, Steiermark, Tirol und Vorarlberg initiiert. Die Institute für Erdwissenschaften sowie Geographie und Raumforschung an der Universität Graz erstellten in Zusammenarbeit mit der Universität Innsbruck, Institut für Geologie u.a. ein Blockgletscherinventar der o.a. Bundesländer.

Im Untersuchungsgebiet konnten dabei 5.770 blockgletscherverdächtige Landschaftsformen auf Basis von Airborne Laser Scan-Daten (ALS-Daten) erfasst werden. Davon liegen 3.149 in Tirol (Nord- und Osttirol), 816 in Kärnten, 789 in Salzburg, 713 in der Steiermark, die kleinste Anzahl (303 Blockgletscherformen) findet sich in Vorarlberg. Die Gesamtfläche der Blockgletscher, die sich zwischen einer minimalen Höhe von 476 Meter über Adria (Kärnten) und 3.312 Meter über Adria (Tirol) befinden, wurde mit rund 300 km² ermittelt, wobei ihnen eine Gesamteinzugsgebietsfläche von ca. 1.279 km² zugeordnet werden konnte.



Blockgletscherinventar für Salzburg (Quelle: Wagner et al., 2019)

Wieviel Eis in Österreich im alpinen Permafrost gebunden ist, konnte bisher noch nicht genau berechnet bzw. abgeschätzt werden. Dazu fehlen flächendeckende Angaben über Eisanteil und Mächtigkeit des Permafrostes (Krainer und Ribis, 2009). Eine Abschätzung des gesamten, in aktiven und inaktiven Blockgletschern Tirols gespeicherten Eises ergab ein Volumen von 0,19 bis 0,27 km³, das im Vergleich zum Eisvolumen der Tiroler Gletscher (13 km³) gering erscheint (Krainer und Ribis, 2012).

Besondere Eisformen

Eiskapellen

Es handelt sich dabei meist um einen von Hohlräumen durchzogenen Lawinenkegel aus stark verdichtetem Firn, der am Fuß von Steilwänden und Rinnen abgelagert wurde und die Sommermonate überdauert hat.

Die Eiskapelle am Königsee

Am Fuß der 1800 m hohen Watzmann-Ostwand befindet sich auf ca. 850 m Seehöhe das tiefstgelegene permanente Firneisvorkommen im deutschen Alpenraum. Dieses „Embryonal-

stadium eines Gletschers" existiert seit vielen Jahren und wird seit 1953 regelmäßig vermessen (Wolf und Vogel, 2017). Es wird vom „Lawinenschnee“, der im Winter und Frühjahr aus Watzmann-Ostwand ins Eisbachtal abgeht, ernährt. Der Eingang zur Eiskapelle ähnelt einem Gletschertor, im Inneren befinden sich Schächte und Gänge, die im Sommer bis über 30 m Breite und 15 m Höhe erreichen können. Bei der ersten vollständigen topografischen Aufnahme der bayerischen Gletscher durch Sebastian Finsterwalder im Jahre 1892 wurde die Eiskapelle noch als eigenständiger kleiner Gletscher dargestellt, ein Status, den sie mit dem Abschmelzen der Gletscherzunge in den Jahren zwischen 1920 und 1950 verlor. Das schattige Trogtal des Eisbaches mit relativ geringer jährlicher Sonneneinstrahlung begünstigt den Erhalt der Firn- und Eismassen, der Schneezuwachs reicht aber nicht aus, um einen fließenden Gletscher zu erzeugen. Die Ausdehnung der Eiskapelle hat sich in den vergangenen 60 Jahren durch die immer häufiger auftretenden warmen Sommer von ca. 50.000 m² auf aktuell 12.000 m² verringert (Wolf und Vogel, 2019).

Die Eiskapelle im Gießbachgraben

Aus der ostexponierten Steilwand des in der Osterhorngruppe gelegenen Wieserhörndl (1567 m über Adria) gehen häufig Lawinen ab, die auf einen 40 bis 60 m hohen Moränen- und Schuttkegel als Gegenhang stoßen. Dieser verhindert ihr großflächiges Ausbreiten und so bilden sich fast jedes Jahr auf einer Seehöhe von 800 bis 860 m große Lawinenkegel, die bis zu 30 m hoch sein können. Sie werden im schattigen Gießbachkessel nur im Mai und Juni bei hohem Sonnenstand länger beschienen und das kühle Kleinklima, das sich selbstverstärkend ausbildet, trägt ebenfalls zur verzögerten Abschmelzung bei (Slupetzky, 1998). Kleine Bäche, die von den Rinnen der Steilwand unter die Lawinenkegel fließen, bilden erste niedrige Tunnel im Lawinenschnee. Nachfolgende Schmelzvorgänge und vor allem die dann zirkulierende warme Luft vergrößern die Hohlräume, die in der Regel vom Spätfrühjahr bis zum Sommer bestehen bleiben. Gewölbe und Pfeiler, Schmelzschalen sowie die kreuzrippenartigen Verschneidungen der Innenwände der Tunnel erinnern stark an gotische Formen. Der Name "Eiskapelle" erscheint in Verbindung mit der spürbar kälteren Luft am Ende der bis zu 380 m langen Tunnel sehr treffend (Slupetzky, 2007).



Eiskapelle im Griesbachgraben Oktober 2006 (Foto: Wiesenegger)

In Ausnahmejahren, wie zum Beispiel 2006, kann die Eiskapelle im Griesbachgraben nicht nur den Sommer überstehen, sondern auch im nächsten Jahr erhalten bleiben. Eine im Auftrag des Hydrographischen Dienstes Salzburg in Zusammenarbeit mit der Universität Salzburg durchgeführte Vermessung (terrestrischer Laserscan) ergab im Mai 2006 ein Gesamtvolumen der Schneeakkumulation von ca. 230.000 m³ auf einer Fläche von ca. 22.000 m². Die mittlere Tiefe wurde mit ca. 10 m und die maximale Tiefe mit 28 m ermittelt. Bei einer weiteren im November 2006 durchgeführten Messung waren immerhin noch ca. 20.000 m³ Lawinenrest auf einer Fläche von 5000 m² bei einer mittleren Dicke von ca. 4 m und einem Maximum von 10 m vorhanden.

Am 20. Dezember 2006 ereignete sich ein tragischer Unfall in der Eiskapelle, bei dem ein bekannter österreichischer Eiskletterer ums Leben kam. Am 21. Dezember wurde unter Mithilfe des HD Salzburg eine Firneisprobe an der Unfallstelle gezogen und eine Dichte von 710 kg/m³ ermittelt. Die mittlere Dichte der Lawinenablagerung wurde mit 700kg/m³ abgeschätzt, nur wenige Stellen wiesen ca. 650 kg/m³ auf, ebenso wenige Bereiche 800 kg/m³, d.h. annähernd luftfrei und nur stellenweise wurden schon Eislinsen vorgefunden.



Eiskapelle im Griesbachgraben Oktober 2006 (Foto: Slupetzky)

Die entnommene Probe wurde als „Firneis“ eingestuft, die hohe Dichte, die nahe am Wert für Gletschereis liegt, wurde aufgrund der starken primären Verdichtung durch den Lawinen-
druck, den nachfolgenden Überlagerungsdruck sowie die Durchfeuchtung und Durchnässung
in der Abschmelzperiode im Sommer erreicht (Slupetzky, 2007). Der schneereiche Winter
2018/2019 hat, nach drei Jahren ohne genügend Schnee, die Eiskapelle im Griesbachgraben
wieder im ähnlichen Ausmaß entstehen lassen. Das Volumen wird mit 250.000 bis
300.000 m³ (Juni 2019) und 200.000 m³ (August 2019) abgeschätzt (mündliche Auskunft
Slupetzky, 2019).

Der Einfluss von Schnee und Eis auf die Abflusscharakteristik alpiner Flüsse

Fester Niederschlag wird im hydrologischen Winterhalbjahr als Schnee oder Eis gebunden
und gelangt durch Schmelzen erst zu einem späteren Zeitpunkt wieder zum Abfluss.

In alpinen Einzugsgebieten wird das Abflussgeschehen im Jahresverlauf wesentlich durch die
temporäre Speicherung von Niederschlag geprägt. Schnee und Eis sind daher wichtige Bi-
lanzgrößen der Speicheränderung im quantitativen Wasserhaushalt. Während die Schnee-
decke nur einen temporären Zwischenspeicher darstellt, der im Verlauf eines hydrologischen

Jahres über den Winter aufgebaut und im Frühsommer wieder geschmolzen wird, kann Niederschlag im Gletschereis über einen wesentlich längeren Zeitraum (Jahre bis zu Jahrhunderten) gespeichert werden.

Nival geprägte Flüsse, wie zum Beispiel die Salzach, bei denen der Auf- und Abbau der Schneedecke den Jahresgang des Abflusses maßgeblich bestimmt, weisen meist ein Abflussminimum im Winter und ein -maximum im Frühjahr und Frühsommer zum Zeitpunkt der großräumigen Schneeschmelze, die auch noch von Niederschlagsereignissen überlagert werden kann, auf. Reicht das Einzugsgebiet entsprechend hoch hinauf, schmilzt der Schnee erst im Frühsommer und liefert somit auch während Trockenperioden einen entsprechenden Beitrag zum Abfluss.

Viele alpine Gewässer, wie zum Beispiel die südlichen Zubringer der Salzach, die „Tauernachen“, weisen ein nivo-glaziales Abflussregime auf. An Krimmler Ache, Obersulzbach und Untersulzbach wird der Jahresrhythmus des Abflusses zusätzlich zum Schnee noch maßgeblich von den Gletschern in den hochgelegenen Einzugsgebieten beeinflusst. In den Sommermonaten Juli und August, wenn große Bereiche der Eisflächen schneefrei sind und immer noch ein hohes solares Strahlungsangebot verfügbar ist, zeigt sich der Einfluss der Gletscher auch in einem ausgeprägten Tagesgang: Abflussminimum am Morgen und -maximum, je nach Tallänge und Fließzeit, nachmittags bis abends. Aber auch im Oberlauf der Salzach ist zum Beispiel in Mittersill der Einfluss der ca. 30 km² großen Gletscher der Venedigergruppe noch immer deutlich feststellbar. An heißen, trockenen Tagen (August 2003) kann der Beitrag der Gletscherschmelze im fast 600 km² großen Einzugsgebiet bis zu 60 % des Gesamtabflusses betragen (Koboltschnig, 2007).

Gletscher können das Abflussgeschehen in Abhängigkeit von der Gesamtgröße des Einzugsgebiets sowie der Entfernung zum Betrachtungspunkt teilweise ausgleichen. Der Sommer 2018 hat diese Erfahrungen aus 2003 eindrucksvoll bestätigt. Nach Verschwinden der Gletscher würde dieser bedeutende Abflussbeitrag im Sommer in niederschlagsarmen Phasen fehlen, hochalpine Bäche könnten dann nahezu trockenfallen und alpine Schutzhütten, die für ihre Wasser- und Energieversorgung u.a. auch auf Gletscherbäche angewiesen sind, wären dadurch merkbar beeinträchtigt.

Gletscher haben in ihrem Nahbereich aber auch einen wesentlichen Einfluss auf die Wassertemperatur und damit auf die Ökologie der Fließgewässer, da Schmelzwasser deutlich kälter ist als Quellwasser. Der Hydrographische Dienst wird daher in Zukunft auf die weitere Entwicklung der Wassertemperaturen in hochalpinen Bächen und gletscherbeeinflussten Oberläufen von Flüssen ein besonderes Augenmerk legen.

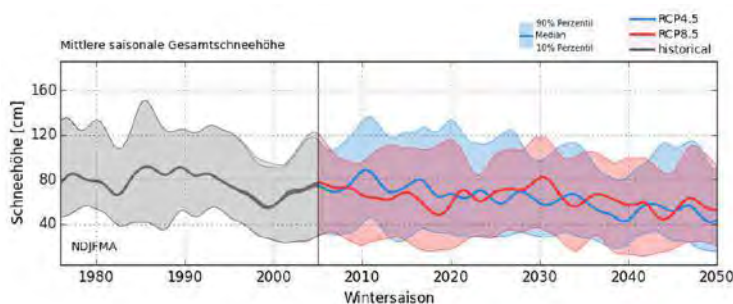
Schnee und Eis in Zeiten des Klimawandels

Die Änderung von Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen wird naturgemäß auch eine Veränderung der Schnee- und Eiskomponente des Wasserkreislaufes bewirken.

Eine von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, 2019) im Auftrag des Landes Salzburg durchgeführte Studie zur vergangenen und zukünftigen Schneedeckenentwicklung kommt zu dem Ergebnis, dass die stärksten klimatischen Veränderungen in den 1980ern und in den letzten 5 bis 8 Jahren auftraten, der Naturschnee im Bereich unter 1500 m ü. A. um ca. 30 % und in höheren Lagen um ca. 10 % abgenommen hat, sich Niederschlag, Starkschneefälle, Kalt- und Warmluftvorstöße nicht signifikant verändert haben. Die Temperaturerhöhung in der „Ski-Vorsaison“ (November, Dezember) bzw. vor allem in der Nachsaison (März, April) ist mess- und spürbar. Bis 2050 ist mit einer langsamen Temperaturerhöhung (im Kernwinter wahrscheinlich in Wellen) zu rechnen, der Niederschlag wird tendenziell zunehmen und die Winter insgesamt kürzer werden (Koch, Olefs und Niedermoser, 2019).

Künftige Entwicklung der Schneedecke

Die zukünftige Entwicklung von Schneeniederschlag und Schneedeckendauer ist stark von der Seehöhe abhängig, nichtlinear und regional sehr unterschiedlich. Hochaufgelöste regionale Simulationen (ÖKS15 Klimaszenarien) für Österreich zeigen, dass der Winterniederschlag um ca. 14 % ansteigen wird, wobei die Zunahme im Nordosten etwas stärker sein dürfte als auf der Alpensüdseite (Blöschl et al., 2018).



Entwicklung der mittleren saisonalen Gesamtschneehöhe (Quelle: ZAMG)

Laut der o.a. ZAMG-Studie mit Prognosehorizont 2050 wird sich der „Naturschneewinter“ in Salzburg im Höhenbereich 1800 bis 2000 m nicht wesentlich ändern und es wird nach wie vor starke Schwankungen und Fluktuationen geben. Im Höhenbereich 1600 bis 1700 m ist mit einer Abnahme der mittleren Gesamtschneehöhe um ca. 20 % zu rechnen, wobei diese Abnahme hauptsächlich im Zeitraum nach 2030 auftreten wird. Ähnlich zu bewerten sind Trend und Abnahme im Höhenbereich 1200 bis 1400 m, nur das Ausgangsniveau ist etwas niedriger als 400 Höhenmeter weiter oben.

Die Vergänglichkeit des „ewigen Eises“

Für Österreichs 921 Gletscher wurde, basierend auf Laserscandaten und Orthophotos, die zwischen 2004 und 2012 aufgenommen wurden, im bisher letzten Gletscherinventar 3 (GI3) eine Gesamtfläche von 415,5 km² ermittelt. Die Gletscherfläche hat sich kontinuierlich, von kurzen Vorstößen um 1920 und Ende der 70er/Anfang der 80er Jahre abgesehen, verringert und seit der Maximalausdehnung (Gletscherinventar 0,941 km²) am Ende der kleinen Eiszeit mehr als halbiert (Fischer et al., 2015). Aber auch das Volumen der Gletscher hat sich im o.a. Zeitraum deutlich verändert. Patzelt (1980) schätzte das Eisvolumen der im Gletscherinventar GI1 (1969) erfassten Gletscher auf 21 km³, im GI2 (1998) wurde ein Eisvolumen von 17,7 km³ ermittelt (Lambrecht und Kuhn, 2007). Modellberechnungen unter Verwendung von Eisdickenmessungen an 58 Gletschern und Kalibriergrößen aus Massenbilanzmessungen ergaben für GI3 (2006) ein Volumen von $16,3 \pm 3,5$ km³, welches innerhalb einer weiteren Dekade (2016) auf $12,9 \pm 3,9$ km³, d.h. um 21 %, abgenommen hat (Helfricht et al., 2018).

Auf die Gesamtfläche von Österreich umgerechnet entspricht dieses Eis-Volumen einem Wasseräquivalent von rund 140 mm oder 12 % eines mittleren Jahresniederschlags in Österreich; eine Größenordnung die absolut gesehen nicht sonderlich groß erscheint und im Schwankungsbereich von jährlichen Niederschlagssummen liegt, die qualitativen Folgen auf den Wasserkreislauf könnten jedoch wesentlich bedeutender sein. Insgesamt ist in Österreich mit einem weiteren Rückgang der Gletscher bis 2100 zu rechnen. Das Maximum der Gletscherschmelze dürfte um die Jahre 2040 bis 2050 erreicht werden, wobei der Zeitpunkt des Maximums je nach Gletscher unterschiedlich auftreten wird.

Das Stubacher Sonnblickkees – ein lang beobachteter Gletscher verschwindet

Das Stubacher Sonnblickkees (SSK), in der Granatspitzgruppe in den Hohen Tauern gelegen, wird im World Glacier Monitoring Service (WGMS) <https://wgms.ch/> als langjährige ununterbrochene Referenzreihe, von denen es weltweit nur etwa zwei Dutzend gibt, gelistet. Die Besonderheit der Messreihe, die auch zu den längsten in Österreich gehört, liegt aber auch darin, dass die im Haushaltsjahr 1963/64 begonnenen Messungen mehr als 50 Jahre von ein und derselben Person, i.e. Heinz Slupetzky, durchgeführt und betreut wurden.

Seit 1981 werden Massenbilanzmessungen im Auftrag des Hydrographischen Dienstes (HD) von der Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie und seit 2015 in enger Kooperation mit dem Fachbereich Geoinformatik Z_GIS <https://zgis.at/> an der Universität Salzburg durchgeführt. Im Zeitraum 1964 bis 1981 kam die direkte glaziologische Methode zum Einsatz. Basierend auf den Erfahrungswerten wurde eine einfachere, semidirekte

Methode (Accumulation Area Ratio) entwickelt, die es ermöglichte, Jahresbilanzen mit reduziertem Personalaufwand unter Verwendung von Fotos der maximalen Ausaperung in Kombination mit beobachteten Ausaperungsmustern zu berechnen.



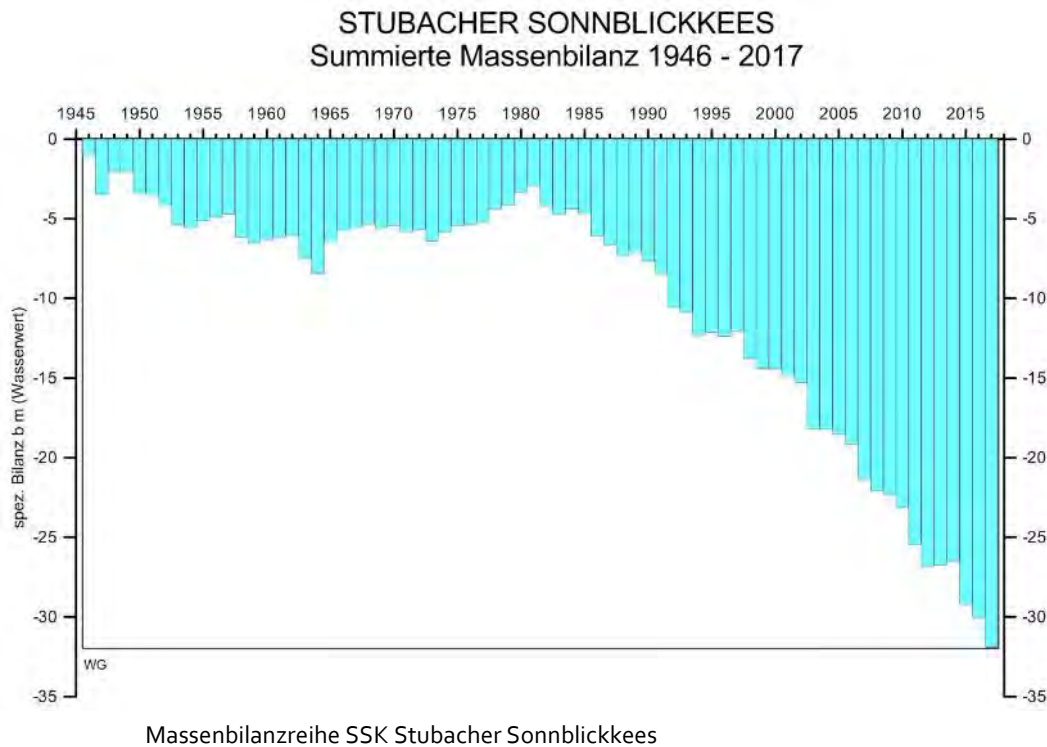
Automatische Kamera am Stubacher Sonnblickkees zur Erfassung der maximalen Ausaperung und Beobachtung von Ausaperungsmustern

Die Messreihe wurde auch über den tatsächlichen Beobachtungsbeginn zeitlich gesehen rückwärts verlängert und mit der semidirekten Methode Massenbilanzen von 11 Haushaltsjahren in der Zeit von 1946 bis 1963 berechnet. Zusätzlich konnten Lücken von sieben Jahren mit aus Klimadaten berechneten 8 Jahresbilanzen geschlossen werden (Slupetzky, 2015).

Das SSK hat im Zeitraum 1960 bis 1982 rund 10 Mio. m³ an Masse zugenommen und seitdem kontinuierlich rund 40 Mio. m³, das entspricht mehr als der Hälfte des ursprünglichen Volumens, verloren. Bei einer Fortsetzung des derzeitigen Trends mit großen jährlichen Massenverlusten könnte das Stubacher Sonnblickkees in weniger als 3 Jahrzehnten verschwunden beziehungsweise im hochgelegenen Nährgebiet in 2 bis 3 Eisreste zerfallen sein.

Seit 2017 werden im Auftrag des Hydrographischen Dienstes vom Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

<https://www.oeaw.ac.at/igf/> zusätzlich wieder Parallelmessungen mit der direkten glaziologischen Methode durchgeführt, um die indirekte Methode unter aktuellen Bedingungen abzusichern bzw. neu zu kalibrieren.



Literaturverzeichnis

Bache Stranden, H., Lirhus Ree, B. and Møen, K. (2015): Recommendations for automatic measurements of snow water equivalent in NVE; Norwegian Water Resources and Energy Directorate; ISBN 978-82-410-1148-1.

Blöschl, G. et al, 2018: Auswirkung der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht <https://doi.org/10.1007/s00506-018-0498-0>.

CEN/TR 15996 (2010): Hydrometry – Measurement of snow water equivalent using snow mass registration devices.

CEN/TR 16588 (2014): Manuelle Messung des Schneewasseräquivalents; Deutsche Fassung.

Fischer, A., Seiser, B., Stocker Waldhuber, M., Mitterer, C. & Abermann, J. (2015): Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria, *The Cryosphere*, 9, 753-766.

Helfricht, K., Huss, M., Fischer, A. and Otto J. (2018): Calibrated ice thickness estimate for all glaciers in Austria; Submitted to Journal: *Frontiers in Earth Science*.

Koboltschnig, G.R. (2007): Mehrfachvalidierung hydrologischer Eis- und Schneeschmelzmodelle in hochalpinen, vergletscherten Einzugsgebieten. Wien: Universität für Bodenkultur.

Koch, R., Olefs, M. und Niedermoser, B. (2019): Studie zur Schneedeckenentwicklung, Zusammenfassung allgemeiner Ergebnisse; Auftragsarbeit für das Land Salzburg (unveröffentlicht).

Krainer, K. und Ribis, M. (2009): Blockgletscher und ihre hydrologische Bedeutung im Hochgebirge. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 86, S 65-78, Wien.

Krainer, K. and Ribis, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria), Austrian Journal of Earth Sciences 105(2): 32-47.

Lambrecht, A. and Kuhn, M. (2007): Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory, Annals of Glaciology. 46, pp 177-184.

Lieb, G. und Slupetzky, H. (2004): Gletscherweg Pasterze – Naturkundlicher Führer zum Nationalpark Hohe Tauern, Band 2, Innsbruck, 122 S.

Patzelt, G. (1980): The Austrian Glacier inventory: status and first results. IAHS Publication 126, pp 181-183.

Slupetzky, H. (1998): Die „Eiskapelle“ im Grießbachgraben (Osterhorngruppe, Salzburg, Österreich) – temporäre Höhlen unter Lawinenkegeln. Salzburger Geographische Materialien 28: 81-87.

Slupetzky, H. (2007): Tod in der Eiskapelle. In: Bergundsteigen 1/07; S 30 – 33; ÖAV Innsbruck.

Slupetzky, H. (2015): Die Massenbilanzreihe vom Stubacher Sonnblickkees 1946 bis 2014 und die semidirekte Berechnung des Massenhaushalts von Gletschern, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie Band 47/48 (2013/14).

Wolf, A. und Vogel, B. (2017): Speleology in the Berchtesgaden National Park; Eiskapelle: 26 years of surveying, in Symposium for research in protected; p 753 – 756; Salzburg 2017.

Wagner, T. et al. (2019): Wasserwirtschaftliche Aspekte von Blockgletschern in Kristallingebieten der Ostalpen Speicherverhalten, Abflussdynamik und Hydrochemie mit Schwerpunkt Schwermetallbelastungen (RGHeavyMetal) Endbericht.

Dipl.-Ing. Hans Wiesenegger
Amt der Salzburger Landesregierung
Abteilung Wasser, Referat Hydrographischer Dienst
Michael-Pacher-Straße 36
5020 Salzburg
E-Mail: hans.wiesenegger@salzburg.gv.at

Messen & Alarmieren seit mehr als 125 Jahren

Peter Kickingner

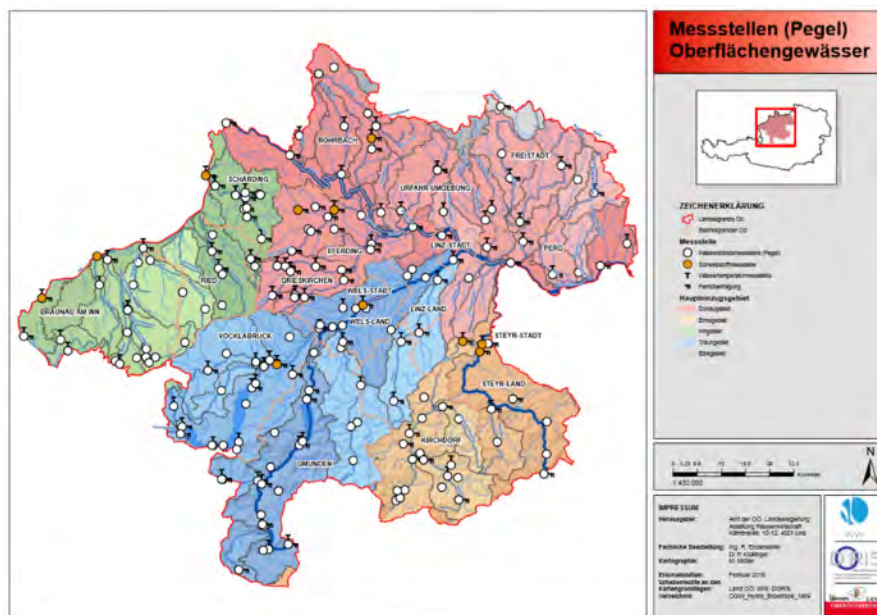
Die Erhebung von hydrographischen Messdaten und die Warnung vor Hochwassergefahren existierte schon vor der Gründung der hydrographischen Dienste, wurde aber mit Ende des 19. Jahrhunderts vereinheitlicht und strukturiert. Die Entwicklung der Messmethodik und Datenübertragung beeinflusste stark die Möglichkeiten der Warnung und umgekehrt!

Messen

Das Messen bildet die Grundlage für die Hydrographie und ihre umfangreichen Aufgabenstellungen. Ohne Messung keine Messergebnisse und ohne Messergebnisse keine hydrographischen Daten. Die Anzahl und die räumliche Verteilung des hydrographischen Basismessstellennetzes ist in der WKEV (Wasserkreislaufferhebungsverordnung) festgelegt. Die Messstellen sind so angeordnet, dass die charakteristischen Eigenschaften des Wasserkreislaufes in jedem ober- und unterirdischen Einzugsgebiet erfassbar sind. Lokale Besonderheiten können durch zusätzliche Landesmessstellen und Sondermessstellen berücksichtigt werden. Die Abbildung zeigt am Beispiel der Messstellen an Oberflächengewässern, wie diese in den farblich unterschiedenen Haupteinzugsgebieten in Oberösterreich (Inn, Donau, Traun und Enns) angeordnet sind.

Laut Definition ist eine Messung das Ausführen von geplanten Tätigkeiten zu einer quantitativen Aussage über eine Messgröße durch Vergleich mit einer Einheit (DIN 1319-1:1995; Nr. 2.1).

Derartige Messungen werden von den Hydrographischen Diensten in folgenden Bereichen durchgeführt: In der Atmosphäre der Niederschlag, die Lufttemperatur und die Verdunstung, an Oberflächengewässern und Seen der Wasserstand, der Durchfluss, die Wassertemperatur und Feststoffe, sowie im unterirdischen Bereich der Grundwasserstand, die Grundwassertemperatur und die Quellschüttung.



Messstellenübersicht
Oberflächengewässer,
Hydrographischer
Dienst Oberösterreich

Aber nicht nur der Umfang der ermittelten Parameter hat sich im Laufe der Zeit aufgrund unterschiedlicher Anforderungen geändert, sondern auch die Ansprüche an das Messstellennetz. Durch die dichtere Besiedlung und Erschließung von neuen Gebieten ist der Bedarf an Informationen und einem dichteren Messstellennetz weiter steigend. Die Erfüllung dieser Anforderungen kann nur durch laufende Verbesserungen in den Messmethoden gewährleistet werden, wobei hier nicht nur die Quantität, sondern insbesondere die Qualität der Daten eine besondere Rolle spielt.

Ausschlaggebend für die Qualität der Messungen ist insbesondere die Wahl der Messeinrichtung oder des Messgerätes. Ausgehend vom Messprinzip und der Messmethode wird ein Messverfahren angewendet, das in einer Messeinrichtung für den jeweiligen Parameter passend zu der Lage und der Umgebung ein optimiertes Messergebnis liefert. Wobei hier nicht zwingend notwendig die Messgröße selbst, sondern auch eine andere Messgröße mit bekannter Gesetzmäßigkeit ermittelt werden kann. Der Wasserstand kann beispielsweise sowohl mit der Höhe eines Schwimmers, als auch über den Wasserdruck an einer Messsonde bestimmt werden. Als Beispiel sind in der nachfolgenden schematischen Darstellung (Abbildung: Wasserstandsmessung, HTL1, Linz) die unterschiedlichen Messmethoden zur Erhebung des Wasserstandes gezeigt.

Nicht nur die Wahl der Messgeräte ist ausschlaggebend für die Qualität der Daten, sondern auch einheitliche Standards garantieren auf Basis der nationalen und europäischen Normen sowie der darauf aufbauenden Pegelordnung der Hydrographie Österreichs (Richtlinien zur Messung an Pegeln oberirdischer Gewässer) eine vereinheitlichte, bestmögliche Messdatenerhebung.

WASSERSTANDSMESSUNG

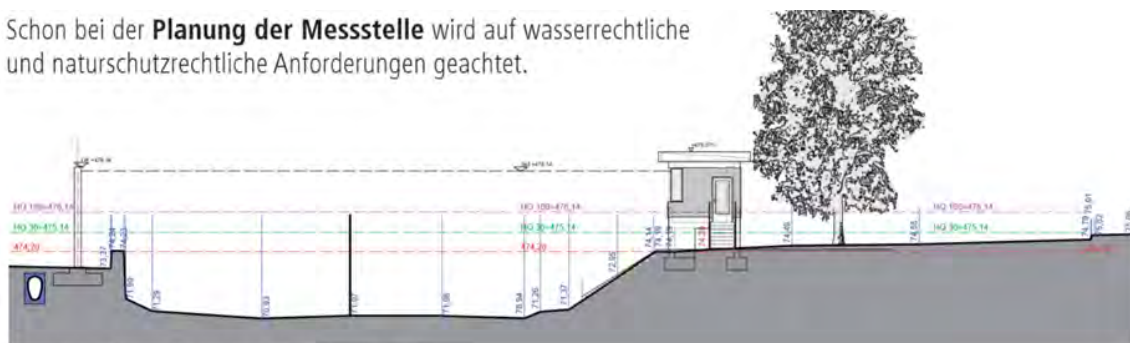
Hydrografischer Dienst



Messprinzip Wasserstandsmessung (Quelle: HTL1, Linz)

Dazu gehören insbesondere bei den automatisierten Messeinrichtungen, neben der Umsetzung des Messvorgangs selbst, auch Vorgaben für die Wartung und den Betrieb sowie die regelmäßige Kontrolle durch Pegelbeobachter bzw. Messtechniker vor Ort. Für eine langjährige, kontinuierliche, lückenlose und unbeeinflusste Erhebung spielt natürlich ebenso die Planung und Standortwahl eine entscheidende Rolle und kann vor allem in abgelegenen Gebieten oder auch anthropogen beeinflussten Gewässern zu einer nahezu unlösbaren Herausforderung werden.

Schon bei der **Planung der Messstelle** wird auf wasserrechtliche und naturschutzrechtliche Anforderungen geachtet.



Einreichplan Messstelleneinrichtung Giselabrücke / Ischl

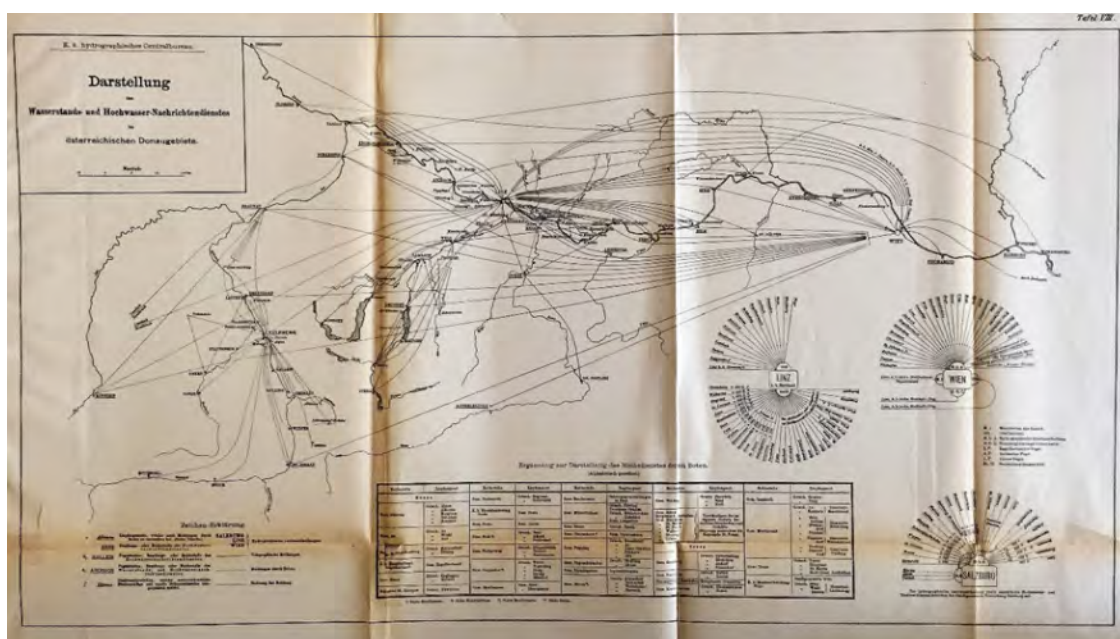
Messstellenplanung am Beispiel Giselabrücke/Ischl

Die Anforderung an die Messergebnisse hat sich im Laufe der Zeit immer wieder verändert und ist vor allem durch die fortschreitende Digitalisierung unseres Alltags in einem raschen Wandel begriffen. Waren im 20. Jahrhundert noch tägliche Messungen und monatliche Datenlieferungen für hydrographisch-wasserwirtschaftliche Fragestellungen ausreichend, liegt

die Auflösung der Daten standardmäßig jetzt bei 5- bis 15-Minutenwerten und die Messdaten stehen wenige Minuten später im Internet zum Download bereit. Die Ansprüche steigen weiterhin kontinuierlich und bestenfalls sollten die Daten online (ohne Verzögerung) bereits geprüft, kontrolliert und offiziell freigegeben zur Verfügung stehen. Die treibenden Kräfte hinter dieser Entwicklung sind hier natürlich der technische Fortschritt und insbesondere die steigenden Anforderungen an die Alarmierung und Warnung vor Hochwasserereignissen!

Alarmieren und informieren

Da das Alarmieren und Informieren neben der Erhebung des Wasserkreislaufes mittlerweile zu den Kernaufgaben der Hydrographischen Dienste zählt, spielt die zeitnahe Datenverfügbarkeit eine immer zentralere Rolle. Die Notwendigkeit, die Bevölkerung und Einsatzorganisationen rechtzeitig vor Hochwasser zu warnen, wurde aber bereits Ende des 19. Jahrhunderts mit den Ereignissen an der Donau von 1897 und 1899 erkannt. Dazu wurde ein Hochwassermeldesystem aufgebaut, das zur damaligen Zeit als sehr fortschrittlich galt und sogar bei der Weltausstellung in Paris um 1900 für großes Aufsehen sorgte.



Schema des Wasserstands- und Hochwasser-Nachrichtendienstes im österreichischen Donaugebiet um 1900 (aus: Beiträge zur Hydrographie Österreichs, IV. Heft: Die Hochwasserkatastrophe des Jahres 1899, Wien 1900)

Zu diesem Zeitpunkt wurde erstmals ein zentraler Hochwassernachrichtendienst in Österreich eingerichtet und seither laufend ausgebaut und entwickelt. Heute liegt die Zuständigkeit beim jeweiligen Landeshauptmann und diese ist im Wasserrechtsgesetz WRG § 59i (1b) definiert.

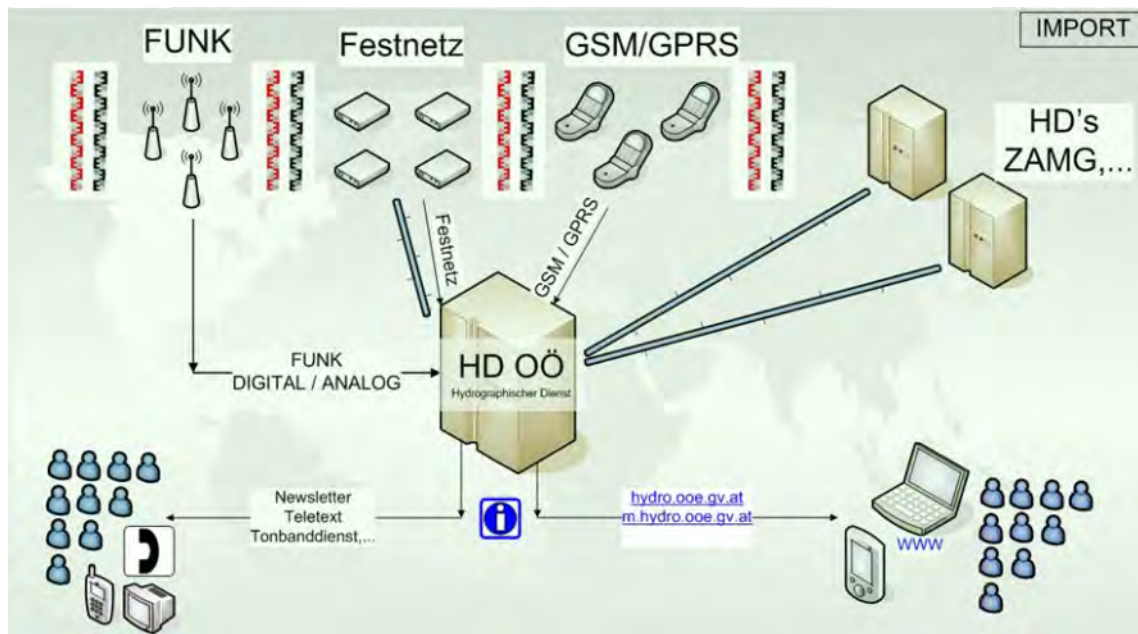
Im Rahmen der Erhebung und Überwachung hat der Landeshauptmann (Wasserrechtsgesetz WRG § 59i (1b)), ohne dass daraus jemandem ein Recht erwächst, für die Verbreitung von hydrographischen Nachrichten insoweit zu sorgen, als dies für den Betrieb der Schifffahrt, die Wassernutzung, die Erfüllung internationaler Verpflichtungen und die Abwehr von Gefahren für Leben und Eigentum notwendig wird. Diese Aufgaben werden durch den Wasserstands- und Hochwassernachrichtendienst der hydrographischen Dienste wahrgenommen und die Informationen für ganz Österreich von der Abteilung Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro) im Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus gebündelt.

Am Grundprinzip der Warnung hat sich im Laufe der Zeit aber nichts Wesentliches verändert und in allen Bundesländern funktioniert die Alarmierungskette grundsätzlich nach dem gleichen Schema.



Alarmierungskette am Beispiel des Hydrographischen Dienstes in Oberösterreich

Aufgrund des gefallenen und prognostizierten Niederschlages sind die Hydrographischen Dienste in Alarmbereitschaft und können mithilfe der Erfahrung und der vorhandenen Niederschlags-Abfluss-Modelle eine erste Einschätzung der Situation geben und sich auf einen nahenden Hochwassereinsatz vorbereiten. Die Alarmpegel an den Oberflächengewässern werden kontinuierlich überwacht und bei Überschreitung von vordefinierten Alarmgrenzen wird die Hochwassernachrichtenzentrale informiert. Hier sind es neben den Pegeln vor Ort insbesondere die Pegel an den Oberliegern (flussaufwärts liegenden Gewässern), die eine frühzeitige Warnung der Unterlieger ermöglichen. Nach einer automatisierten Vorprüfung der Messdaten werden die Alarmierungsstufen an die Landeswarnzentrale und Bedarfsträger, wie Gemeinden und Feuerwehren, weitergegeben.



Ablauf Alarmierung am Beispiel des Hydrographischen Dienstes Oberösterreich

Außerdem kann sich jeder Betroffene und interessierte Bürger auf den Webseiten der Hydrographischen Dienste und des Hydrographischen Zentralbüros über Messdaten und Hochwasserberichte informieren und sich einen Überblick zur aktuellen hydrologischen Situation verschaffen.

Die weitere Koordination der Einsätze wird auf Basis von Notfallplänen und Alarmplänen von den Einsatzleitungen und Krisenstäben durchgeführt. Der eigentliche Hochwassereinsatz, mit dem Aufbau von mobilen Hochwasserschutzanlagen, Straßensperren, eventuell notwendigen Evakuierungen und weiteren Verteidigungsmaßnahmen, erfolgt dann durch die Einsatzkräfte und Bürger vor Ort.

Seit Anfang des 21. Jahrhunderts stehen unterstützend für die frühzeitige Alarmierung auch Hochwasserprognosesysteme zur Verfügung, die auf Basis von prognostizierten Niederschlägen und hydrologischen sowie meteorologischen Messdaten bereits Stunden zuvor eine relativ gute Aussage über die kommenden Wasserstände liefern.

Eine rechtzeitige Alarmierung ist ein wesentlicher Bestandteil des integrierten Hochwassermanagements. Dahingehend ist es notwendig, die Information auch rechtzeitig dorthin zu bringen, wo sie benötigt wird.

Durch unterschiedlichste unterstützende und bewussteinbildende Maßnahmen wird versucht, diese Information direkt an die Bevölkerung zu bringen. Als Beispiel kann die Mess-

stelle Linz an der Donau herangezogen werden. Hier wird bei Hochwasserereignissen der Pegelstand zusätzlich auf der Fassade des ArsElectronicaCenters (AEC) angezeigt und eine steigende oder fallende Tendenz der Wasserführung visualisiert (siehe Abbildung: Darstellung des Wasserstandes am Pegel Linz auf der Fassade des AEC).



Darstellung des Wasserstandes des Pegels Linz auf der Fassade des AEC (Quelle: Land Oberösterreich, Kraml)

Die Nutzung der hydrographischen Messdaten hat in den letzten Jahren aufgrund der technischen Möglichkeiten rasant zugenommen. Neben dem nationalen und internationalen Austausch der Daten zwischen hydrographischen und meteorologischen Organisationen verwenden immer mehr auch private Organisationen hydrographische Messdaten für unterschiedlichste APP-Entwicklungen wie Alarm-Apps und Wasserinformationsplattformen. Um diese Entwicklungen zu unterstützen, werden hydrographische Daten als „Open Government Data“, soweit es technisch möglich ist, für jeden zugänglich zur Verfügung gestellt.

Dipl.-Ing. Peter Kickingner
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft, Referat Hydrographie
Kärntner Straße 10-12
4021 Linz
E-Mail: peter.kickingner@ooe.gv.at

G R A Z



Hochwasserprognosen in Österreich

Franz Hauer

Historische Anfänge der Hochwasserprognosen

Zu den ersten Hochwasservorhersagen gehören jene der „Nilschwemmen“ in Ägypten, die seit rund 5000 Jahre nachgewiesen sind und welche im sonst unfruchtbaren Land die Grundlage für die Landwirtschaft und damit die frühe Hochkultur im Niltal bildeten. Der Beginn der jährlichen Hochwässer, deren Auftreten anhand von Sternbeobachtungen bereits relativ genau vorhergesagt werden konnte, wurde in Oberägypten erfasst und das Eintreffen der Hochwasserspitze im Unterlauf durch die bekannte Wellenlaufzeit bis ins Nildelta weitergemeldet. Dazu erfolgte bereits damals die Beobachtung der Wasserstände mittels Pegel (Nilometer) von Assuan bis Kairo. Die Bedeutung dieser Nilschwemmen als Grundlage für die Landwirtschaft, aber auch als zerstörendes Hochwasser, war so groß, dass sie erst mit der Inbetriebnahme der Staudämme nahe Assuan Anfang bzw. Mitte des 20. Jahrhunderts ihre Bedeutung verloren.

Im Großen und Ganzen waren Hochwässer aber mit Zerstörung verbunden, weshalb immer Mittel und Maßnahmen zur Warnungen der Bevölkerung gesucht und verbessert wurden. Prognosen im heutigen Sinn waren bis ins 20. Jahrhundert nicht möglich, allerdings sind bereits spätestens seit dem Mittelalter Warnsysteme bekannt, bei denen die Unterlieger vor allem durch akustische Mittel, zum Beispiel Kanonenschüsse, beim Überschreiten bestimmter Pegelstände vor drohenden Überflutungen gewarnt wurden.

Ende des 19. Jahrhunderts wurde ein eigenes elektrisches Wasserstandsfernmeldenetz an der Donau aufgebaut und der Hydrographische Dienst in Wien begann mit der regelmäßigen Bekanntgabe von Wasserstands- und Hochwassermeldungen in erster Linie für die Donau:

„...Für Zwecke des Wasserstandsnachrichten- und Prognosendienstes werden von der k. k. Hydrographischen Landesabteilung in Wien seit dem Jahre 1899 auf Grund täglicher und unter besonderen Verhältnissen (Hochwasser, Eis) noch viel dichter Wasserstandsmeldungen zahlreicher Pegelstationen an der Donau und ihren wichtigeren Konfluenten für jedermann erhältliche Wasserstandsberichte ausgegeben. Bei normaler und

unternormaler Wasserführung erscheinen diese Berichte wöchentlich und bestehen der Hauptsache nach aus graphischen Darstellungen der seit Veröffentlichung des letzten Berichtes eingelangten Wasserstandsnachrichten und Eisstandsrapporte. Je nach Bedürfnis enthalten dieselben auch eine Wasserstandsprognose. Beim Eintritt von Hochwasser sowie bei Eisstoßbildungen in der österreichischen Donautrecke wird statt dieser wöchentlichen Berichte täglich ein Wasserstands- beziehungsweise Eisstandsrapport in Tabellenform publiziert, in welchen je nach Zweckmäßigkeit auch die Niederschlags-, Witterungs- und Temperaturverhältnisse im Einzugsgebiet sowie die für Wien zu gewärtigenden Wasserstände ersichtlich gemacht sind. Außerdem veröffentlicht das genannte Amt täglich die Wasserstände von fast 30 Pegelstationen des Donauebietes in der amtlichen „Wiener Zeitung“ (Kortz, 1905).

Diese Vorschrift für die Donau von 1899 wirkt bis heute nach: es gibt z. B. noch immer einen „Wasserstandsnachrichtendienst“ und die täglichen Wasserstandsmeldungen, bei Hochwasser werden die Meldungen verdichtet und auf Medien entsprechend dem Stand der Technik, das heißt im Internet und im Teletext, auf Anrufbeantwortern und über SMS usw., für jedermann zugänglich gemacht.

Aktuelle Sicht von Hochwasserprognosen

Abteilung Wasserhaushalt im Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT)

Die Anforderungen an die hydrologische Vorhersage haben sich in den vergangenen 100 Jahren aufgrund der Besiedelung unserer Talräume und des damit gesteigerten Schadensrisikos stark verändert. War es vor 100 Jahren nur der Donaauraum, für den ein Hochwassernachrichtendienst als wichtig erachtet wurde, sind gegenwärtig an fast jedem größeren Gewässer in Österreich Prognosemodelle im Einsatz, die permanent die aktuelle Abflusssituation und Abflussvorhersagen für bis zu 2 oder mehr Tage im Voraus berechnen. Insbesondere die großen Schäden der Hochwasserereignisse 2002, 2005 und 2013 haben deutlich gezeigt, dass sowohl für die Prognose als auch für die Ereignisanalyse das hydrographische Beobachtungsmessnetz des BMNT unerlässlich ist.

Vor allem in den letzten 15 Jahren hat sich die Modellstruktur für die Hochwasserprognose wesentlich geändert. Mehr oder weniger einfache, ereignisbezogene Korrelationsmodelle wurden durch kontinuierliche Wasserhaushaltsmodelle abgelöst. Die Anforderungen an die dazu notwendigen Eingangsdaten und an das Datenmanagement der Modellbetreiber sind enorm gestiegen.

Der Wert einer zuverlässigen Prognose lässt sich nur sehr schwer in Zahlen angeben. Zum Beispiel hatte das Hochwasser 1991 an der Donau eine Eintrittswahrscheinlichkeit von ca. 25 Jahren und verursachte in Stein-Krems einen Schaden von ca. € 6 Mio. Der in den 1990-iger Jahren errichtete mobile Hochwasserschutz für diesen Donau-Abschnitt kostete ca. € 12 Mio. und verhinderte allein in den letzten 15 Jahren Hochwasserschäden, die die Investitionssumme um ein Vielfaches übersteigen.

Ein mobiler Hochwasserschutz funktioniert nur mit einer geeigneten Hochwasserprognose und einer Vorwarnzeit, die das Errichten bei jedem potentiellen Schadenereignis ermöglicht.

Wie kommt man zu Hochwasserinformationen?

Jede hydrographische Organisationseinheit in den Bundesländern bietet im Internet aktuelle Informationen und Daten zur Wasserbilanz im eigenen Zuständigkeitsbereich an. Die Daten fast aller mit einer Datenübertragung ausgestatteten Messstellen werden über den hydrographischen Datenverbund an das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) übertragen. Die Abteilung Wasserhaushalt (HZB) veröffentlicht in Zusammenarbeit mit dem Land- und Forstwirtschaftlichen Rechenzentrum (LFRZ) eine WEB-GIS-Internetseite, auf der diese aktuellen Informationen zusammengefasst dargestellt werden. Dieser Internetauftritt enthält auch alle Links zu den Landesseiten.

Von Hochwasser betroffene oder mit Hochwasserrisiko lebende Personen sollten im Anlassfall auch die Warnungen der Wetterdienste (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG, Österreichischer Rundfunk – ORF) beachten, um Maßnahmen zur Schadenbegrenzung bzw. Verhinderung rechtzeitig vornehmen zu können.

Die Aktivitäten der hydrographischen Dienste (HD) zur Hochwasservorhersage

viadonau

Für die hydrographischen Angelegenheiten der Donau inklusive des Donaukanals, der March und der Thaya flussab von Bernhardsthal ist die viadonau Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH als Organisation zuständig. In ihrem Wirkungsbereich errichtet und betreut sie die hydrographischen Messstellen und erfüllt generell die Aufgaben des hydrographischen Dienstes.

Für die Schifffahrt an der österreichischen Donau betreibt viadonau ein Prognosesystem, das – im Gegensatz zu den auf Hochwasserprognosen optimierten Modellen der Bundesländer – speziell auf Niederwassersituationen ausgelegt ist. Für die beiden Messstellen Kienstock und Wildungsmauer werden Prognosen veröffentlicht, die als Richtpegel für die freifließenden Strecken (Wachau und östlich Wien) dienen. Um Missverständnissen im Hochwasserfall vorzubeugen, werden Wasserstandsprognosen ausschließlich für den schifffahrtsrelevanten Bereich (d.h. unterhalb Mittelwasser) bekannt gegeben. Eine Besonderheit dieses Niederwasserprognosesystems ist der lange Vorhersagezeitraum, von dem 5 Tage veröffentlicht werden. Link: <http://www.doris.bmvit.gv.at/fahrwasserinformation/pegelstaende-und-prognosen>

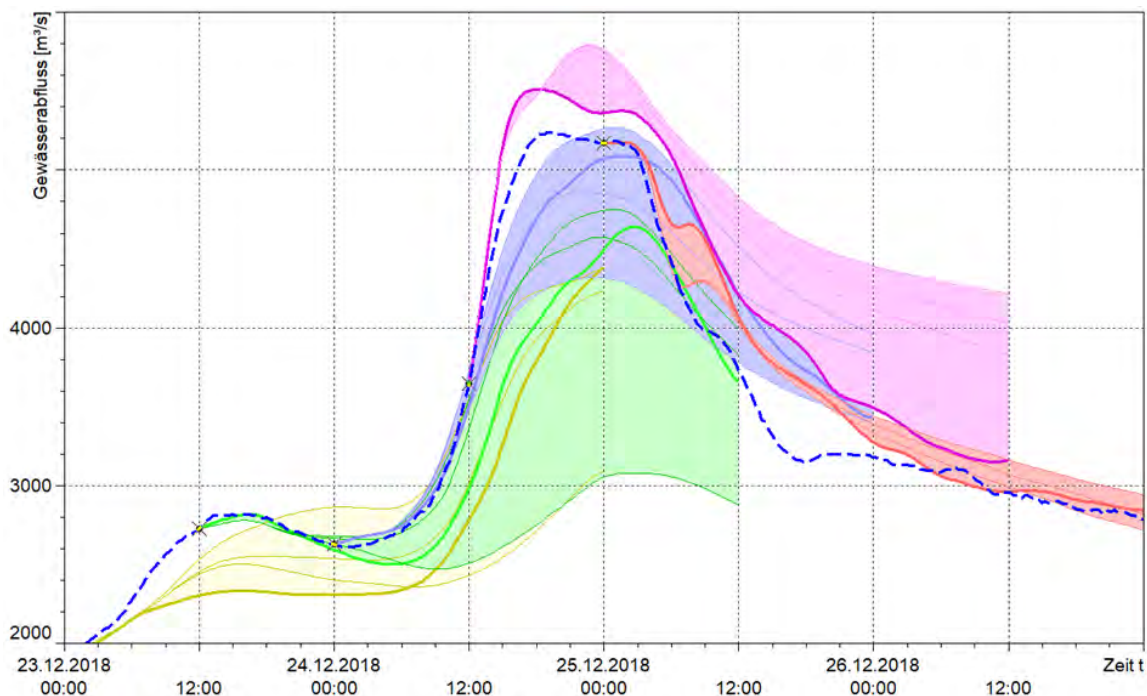
Die Daten der maßgeblichen Pegel der Donau werden von viadonau an die hydrographischen Dienste von Ober- und Niederösterreich als Eingangsdaten für deren Prognosemodelle zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig bezieht viadonau Daten von Pegelstellen der Donauzubringer und steht dazu mit allen anderen hydrographischen Diensten im Donaueinzugsgebiet in Kontakt.

Wien

Die Stadt Wien betreibt kein eigenständiges Prognosemodell, Informationen über anlaufende Hochwässer, die weitere Maßnahmen erfordern, werden von den Oberliegern, den Hydrographischen Diensten in Ober- und Niederösterreich, übernommen.

Niederösterreich - Oberösterreich

Nach dem verheerenden Hochwasser 2002 wurde für die Donau in Nieder- und Oberösterreich ein gemeinsames Hochwasserprognosemodell entwickelt, das ursprünglich als ein System redundant an den beiden Standorten St. Pölten und Linz betrieben wurde. Die Donau wird als hydrodynamisches 1D Modell („Flux^{DSS/Designer}/Floris²⁰⁰⁰“, Scietec Flussmanagement GmbH) abgebildet, die Zubringer zur Donau sind als vereinfachte HBV-Niederschlag-Abfluss-Modelle (TU Wien) integriert. An der Donau werden damit für 9 Pegel Wasserstands-Durchflussprognosen berechnet und publiziert.



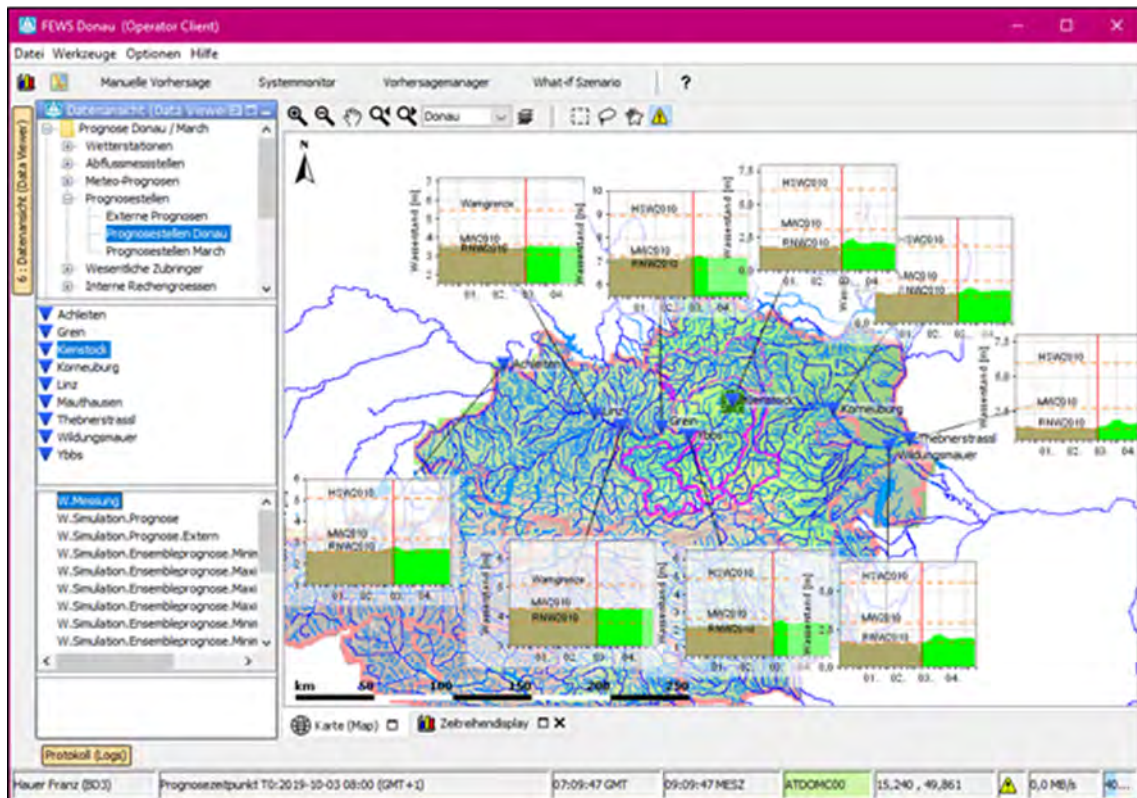
Ensembleprognosen während des Weihnachtshochwassers 2018; angezeigt werden die Durchflussprognosen mit den Startzeitpunkten 23.12.2018 00:00 (gelb), 23.12.2018 12:00 (grün), 24.12.2018 00:00 (blau), 24.12.2018 12:00 (violett) und 25.12.2018 00:00 (rot), sowie die Messwerte (blau strichliert)

Die in der Abbildung hervorgehobenen Ensembleäste sind die Prognosen mit den Eingangsdaten aus den deterministischen Niederschlagsprognoseläufen und den an den HD Oberösterreich weitergegebenen Prognosen vom Hochwassernachrichtendienst (HND) Bayern („externe Prognosen“). Das bestehende Hochwasserprognosemodell wird laufend erweitert und verbessert.

Mit der Entwicklung und Inbetriebnahmen von eigenständigen Hochwasserprognosemodellen für die großen Zubringer Enns, Ybbs, Erlauf, Traisen (jeweils Modell COSERO, BOKU - Universität für Bodenkultur Wien) und Kamp (HBV-Modell, TU Wien) als komplexe Nieder-

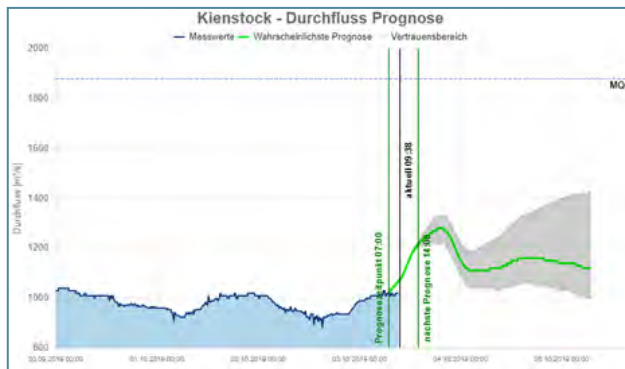
schlag-Abfluss-Modelle, zum Teil mit hydraulischen Komponenten, wurden diese in das Gesamtmodell integriert und ersetzen nun die ursprünglichen, vereinfachten Zubringermodelle, welche aber als Backup-Systeme erhalten bleiben.

In Niederösterreich werden darüber hinaus für 19 Durchfluss-Messstellen mit kleinen Einzugsgebieten („Nebeneinzugsgebiete“) vereinfachte Prognosen mit einem Unit-Hydrograph-Verfahren (BOKU Wien) berechnet.



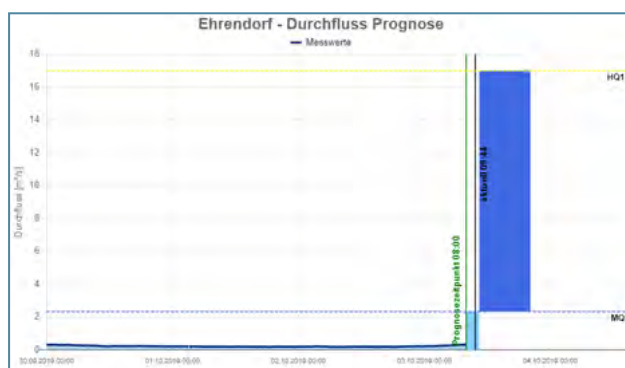
Das Modellsystem FEWS (Deltares) als Integrationsplattform zur Steuerung und Visualisierung von verschiedenen Prognosemodellen auf einer einzigen Benutzeroberfläche (Quelle: HD Niederösterreich)

Die Wasserstands-Durchfluss-Prognosen werden automatisch stündlich berechnet und in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße und damit von der zu erwartenden Genauigkeit und dem Ansprungsverhalten des Einzugsgebietes in unterschiedlichen Intervallen, unterschiedlichen Prognosefristen und unterschiedlicher Darstellungsart im Internet publiziert. An den Donau- und Marchpegeln werden 48-Stunden-Prognoseganglinien mit einem statistischen Vertrauensbereich, basierend auf Niederschlagsensembles, veröffentlicht.



Darstellung einer Prognose des Pegels Kienstock im Internet mit statistischem Vertrauensbereich (Quelle: HD Niederösterreich <http://wasserstand-niederoesterreich.at/> bzw. <http://hydro.ooe.gv.at/#Startseite>)

Die Prognosen für die Zubringer zur Donau in Niederösterreich werden analog, jedoch nur für einen Zeitraum von 24 Stunden dargestellt. Im Hochwasserfall werden die Prognosen manuell berechnet und bei Bedarf manuell publiziert.



Die „Nebeneinzugsgebiete“ und die kleinen Einzugsgebiete in den Oberläufen der Zubringer werden als Größenordnungen bis 12 Stunden in die Zukunft angezeigt (Quelle: HD Niederösterreich)

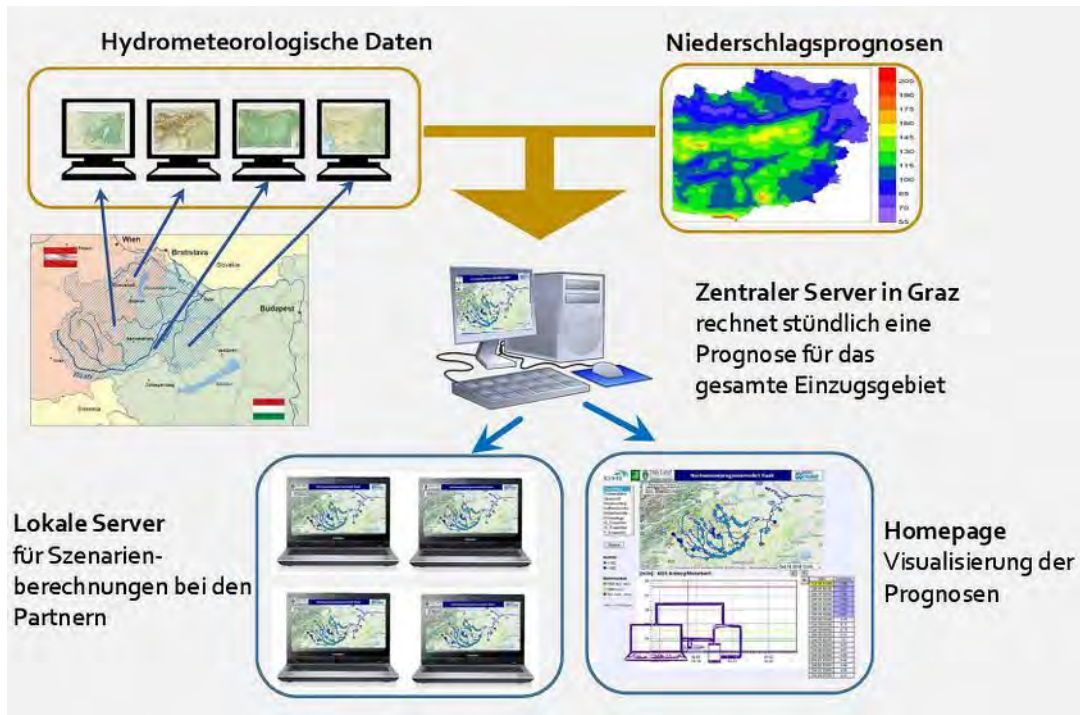
Steiermark und Burgenland

Im Rahmen von EU-Projekten wurden in Zusammenarbeit mit Slowenien, Kroatien und Ungarn ein Hochwasserprognosemodell für die gesamte Mur, in Zusammenarbeit mit dem Burgenland und Ungarn das für die Raab aufgebaut. Darüber hinaus läuft ein lokales Prognosemodell für die Enns, dessen Ergebnisse an das Enns-Prognosemodell beim HD Oberösterreich weitergegeben werden.

Die Internationalen Prognosemodelle für Raab und Mur basieren auf Softwareprodukten der Firma Danish Hydrological Institute (DHI), wobei für die Niederschlag-Abfluss-Komponenten das Modell NAM verwendet wird, das den Input für das hydrodynamische Modell MIKE11 liefert.

Die staatsübergreifenden Prognosemodelle für die Mur und die Raab wurden als verteilte Systeme entworfen: Das Kernstück der Hochwasserprognosemodelle Mur bzw. Raab ist ein zentraler Server, der physisch beim Hydrographischen Dienst Steiermark in Graz steht. Die

hydrometeorologischen Eingangsdaten werden per ftp von den hydrographischen und meteorologischen Diensten der einzelnen Länder an diesen zentralen Rechner übermittelt, wo stündlich automatische Prognosen für Wasserstand und Durchfluss für Vorhersagepegel an den Hauptgewässern und ausgewählten Zubringern 6 Tage in die Zukunft berechnet werden. Die Prognosen werden per ftp wieder an die Partnerländer übermittelt, auf deren lokalen Servern auch eigene Szenarien für das gesamte Einzugsgebiet berechnet werden können.



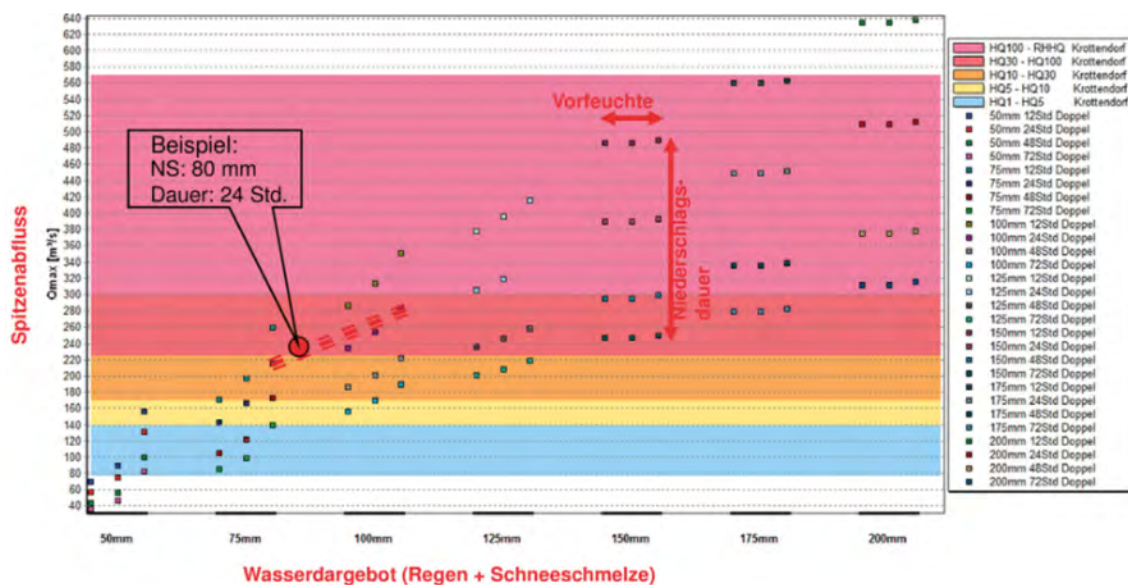
Systemaufbau der internationalen Prognosemodelle in der Steiermark (Quelle: HD Steiermark)

Es werden nur Prognosen von insgesamt 20 Pegeln des Raabmodells mit einer Prognosefrist von 48 Stunden über das Internet der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt (http://app.hydrographie.steiermark.at/bilder/Hochwasserzentrale/Source/RaabOverview_at_Pub.htm), die Ergebnisse der übrigen Modelle sind nur intern verfügbar. Darüber hinaus werden Lageeinschätzungen für das Raab-, Mur- und Ennsgebiet im Internet veröffentlicht.

Kärnten

Der Hydrographische Dienst Kärnten erstellt hydrologische Prognosen mittels eines kontinuierlichen HBV-Modells der TU Wien für die Flüsse Drau, Möll, Lieser, Gail, Gurk, Glan und Lavant. Die Veröffentlichung erfolgt im Internet als Situationsberichte, weiters werden Warnungen per SMS versendet und Expertisen in Krisenstäben abgegeben.

Die Prognosen für die Drau werden informativ mit dem HD Tirol und Slowenien ausgetauscht. Eine Besonderheit in Kärnten ist ein Hochwasserszenarienkatalog, der durch hydrologische Modellierung mit dem Modell HEC-HMS des U.S.A.C.E erstellt und als Tabellenblatt für jeden Pegel vorliegt. Der Katalog berücksichtigt die Prognose der Niederschlagsmenge und eventuelle Schneeschmelze, sowie Größenordnungen für Niederschlagsdauer und -verteilung sowie Bodenfeuchte. Es ergeben sich damit für jeden Pegel für unterschiedliche meteorologische Situationen Szenarien, anhand derer man den zu erwartenden Spitzenabfluss abschätzen kann.



Katalogdiagramm für den Pegel Krottendorf/Lavant für das Szenario Doppelwelle (Quelle: HD Kärnten)

Generelle Eingangsgrößen zur Abschätzung: Prognose Niederschlagsmenge (mm) – es kann auch eine Schneeschmelze (mm) berücksichtigt werden; Niederschlagsdauer (12 h, 24 h, 48 h, 72 h); Niederschlagsverteilung (anfangs-, endbetont, Blockregen, Doppelwelle) und Bodenfeuchte (trocken, mittel, feucht). Zwischen den Simulationsergebnissen kann auch interpoliert werden. Ergebnis: Q_s – geschätzter Spitzenabfluss. Die Hochwasserinformationen werden über das Hochwasserwarnservice im Internet textlich veröffentlicht (<https://info.ktn.gv.at/asp/hydro/daten/hydroportal/index.asp>).

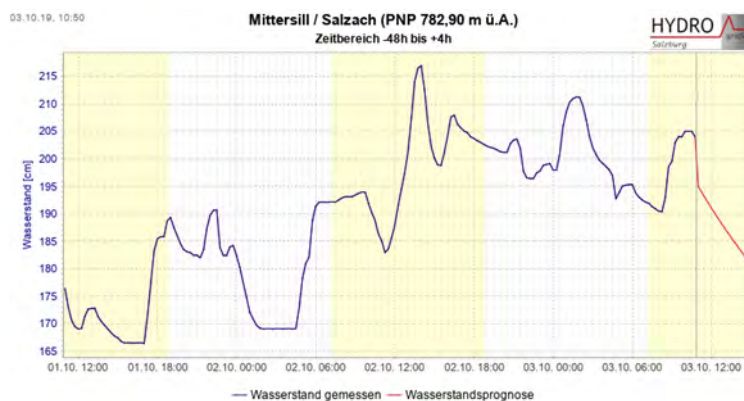
Salzburg

Beim Hydrographischen Dienst Salzburg wird seit 1997 das modular aufgebaute Hydrologische Informationssystem HYDRIS gemeinsam mit Energieversorgern verwendet. Aufgrund des modularen Aufbaues kann und wird es laufend erweitert. Es ist als Echtzeit-Vorhersagemodell auf Ereignis- und Flussgebietsbasis konzipiert. Die Abflussvorgänge im Einzugsgebiet

wurden durch Bausteine in Form von Niederschlag-Abfluss-, Wellenablauf- und Überlagerungsmodellen nachgebildet, die je nach vorliegender Charakteristik des Flussgebietes und vorliegender Messstellenstruktur zusammengesetzt werden können.

Die Zusammenarbeit mit den Energieerzeugern ergibt sich unter anderem durch die Bereitstellung von Online-Daten und der mit dem Hydrographischen Dienst abgestimmten Betriebsführung der Kraftwerkskette für ein gezieltes Hochwassermanagement.

In HYDRIS besteht die Möglichkeit, Prognosesimulationen bis zu 72 Stunden in die Zukunft zu rechnen. Aufgrund der komplexen Hydrologie des Einzugsgebietes und der sehr kurzen Anlaufzeiten von Hochwasserwellen werden vom Hydrographischen Dienst Salzburg hydrologische Prognosen nur für 4 Pegel an der Salzach mit einem Prognosezeitraum von 4 Stunden veröffentlicht (<https://www.salzburg.gv.at/hydris>).



Darstellung der hydrologischen Prognose für den Pegel Mittersill (Quelle: HD Salzburg)

Tirol

Im Rahmen des Projekts HoPI (Hochwasserprognose für den Tiroler Inn) wurde ein Abflussprognosesystem für den Vorhersagehorizont von 48 Stunden für den Tiroler Inn entwickelt, wobei die Prognosefrist mittlerweile auf 120 Stunden erhöht wurde. Das Vorhersagesystem hat einen hybriden modularen Aufbau, in das verschiedene Modelltypen integriert sind. Für schnee- und eisschmelzdominierte Kopfeinzugsgebiete wird das räumlich voll verteilte Energiebilanzmodell SES eingesetzt. Die Modellierung des Abflusses von nicht oder nur kaum vergletscherten Flächen erfolgt mit dem räumlich halb-verteilten Wasserbilanzmodell HQsim, das die Abflussbildung, die Abflusskonzentration sowie den Gerinneabfluss modelliert. Die Simulation des Wellenablaufes im Tiroler Inn wird mit dem 1D-hydraulischen Modell Flux^{DSS/DESIGNER} durchgeführt.



Topographische Übersicht, räumliche Gliederung des Hochwasser Prognosesystems für den Tiroler Inn (HoPI) und die Werteverteilung an Inventar und Gebäuden nach HUTTENLAU & STÖTTER (2011) (Quelle: HD Tirol)

Die hochalpinen Verhältnisse im Einzugsgebiet des Inns stellen besondere Herausforderungen an die Hochwasserprognosen. Aus diesem Grund wird das System laufend erweitert und verbessert, wobei die Schwerpunkte auf der Verbesserung der Qualität meteorologischer Eingangsdaten unter Berücksichtigung der alpinen Topographie, der Berücksichtigung verschiedener Wettermodelle sowie der Assimilation von Systemzuständen (mit dem Fokus auf Schnee) aus großflächigen Fernerkundungsdaten sowie lokalen Punktmessungen liegen.

In seiner aktuellen Form wird das System seit 2008 für die operationelle Vorhersage des Hydrographischen Dienstes des Landes Tirol und der Tiroler Wasserkraft AG eingesetzt.

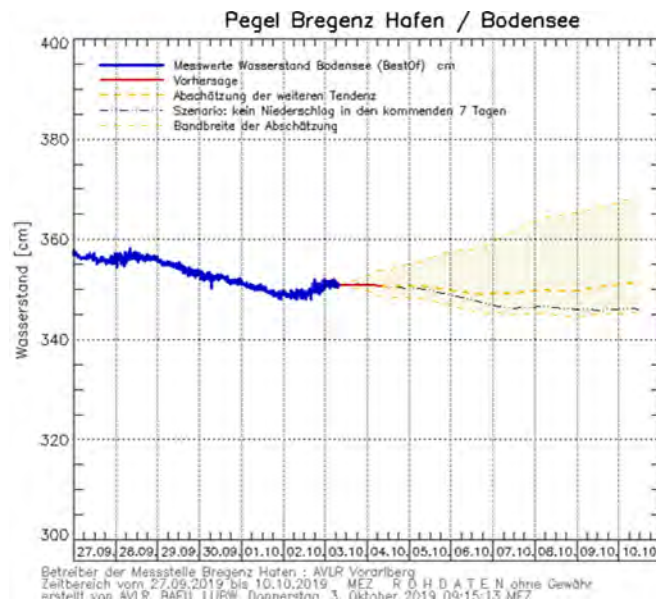
Für die Einzugsgebiete von Lech, Großache und Drau erfolgt die hydrologische Modellierung mit dem Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model). Eine enge Zusammenarbeit besteht dabei mit den jeweiligen Unterliegern in Bayern bzw. Kärnten sowie mit Südtirol. Die Weiterentwicklung des Modells erfolgt im Rahmen der großen Anwendergemeinschaft des Modells, welches auch in Deutschland, Frankreich, Luxemburg und der Schweiz eingesetzt wird.

Vorarlberg

Der Hydrographische Dienst Vorarlberg betreibt 2 Wasserhaushaltsmodelle: das Modell LARSIM für die Bregenzerach und die Ill mit einer Prognosefrist von 10 Tagen. Aufgrund des Hochgebirgscharakters der kleinen Einzugsgebiete und der damit verbundenen großen Unsicherheiten in den Prognosen werden diese nicht im Internet veröffentlicht.

Weiters betreibt Vorarlberg gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU, Schweizerische Eidgenossenschaft) und dem Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW, Baden-Württemberg) eine Wasserstandsprognose für den Bodensee. Die Ergebnisse

der Wasserstandsprognosen werden für 5 Pegel im Internet (<http://www.bodensee-hochwasser.info/>) veröffentlicht. Die Prognosedauer beträgt 24 Stunden, zusätzlich wird für 6 Tage der weitere Trend berechnet.



Veröffentlichung der Hochwasserprognose am Bodensee für den Pegel Bregenz Hafen (Quelle: HD Vorarlberg)

Weitere Kooperationen und Datenaustausche für Hochwasserprognosen bestehen mit dem HD Tirol und dem Wasserwirtschaftsamt (WWA) Kempten.

Nationale und internationale Zusammenarbeit bei der Hochwasservorhersage

Im Laufe der vergangenen Jahre und Jahrzehnte entstanden länderübergreifende Netzwerke zum Austausch von hydrologischen Daten und Prognosen mit dem Ziel, durch nationale und internationale Zusammenarbeit die Vorhersage von Hochwässern zu verbessern.

Trotz unterschiedlichster Systeme für die Datenhaltung, unterschiedlichen Prognoseprogrammen, Prognoseintervallen und -längen sowie unterschiedlichen Datenformaten, ist ein Austausch zwischen den hydrographischen Diensten mittlerweile Standard und problemlos möglich. Damit sind alle Bundesländer und die Nachbarstaaten Österreichs direkt oder indirekt vernetzt, sei es durch Weitergabe von „fertigen“ Prognosen und/oder durch die Weitergabe von hydrometeorologischen Eingangsdaten.

Als Beispiel für eine derartige Vernetzung kann die Prognosekette entlang der Donau dienen:

1. Der Hydrographische Dienst Tirol gibt hydrologische Daten und Prognosen für den Inn an den Unterlieger Bayern als Eingangsdaten für deren Hochwasserprognose weiter.
2. Der Hydrographische Dienst Salzburg übergibt Daten und Prognosen für die Salzach an den Hydrographischen Dienst Bayern.

3. Der Hydrographische Dienst Bayern berechnet eine Hochwasserprognose für die gesamte Donau unterhalb von Passau, also die Donau einschließlich dem Inn und gibt diese an den Hydrographischen Dienst Oberösterreich weiter.
4. Der Hydrographische Dienst Oberösterreich erstellt in Zusammenarbeit mit dem Hydrographischen Dienst Steiermark Prognosen für die Enns und integriert diese in das Prognosemodell der Donau.
5. Der Hydrographische Dienst Oberösterreich gibt die Ergebnisse an den Hydrographischen Dienst Niederösterreich weiter.
6. Der Hydrographische Dienst Niederösterreich übernimmt Prognosen vom Tschechischen Hydrometeorologischen Dienst als Eingangsparameter für die Prognose für die March, das Marchmodell ist ein Seitenast des Donauprognosemodells.
7. Schlussendlich gibt der Hydrographische Dienst Niederösterreich seine Prognosen für die Donau an den Unterlieger, den Slowakischen Hydrometeorologischen Dienst in Bratislava, weiter.

Zusammenarbeit mit anderen Diensten und Institutionen

Neben dem Netzwerk der Hydrographischen Dienste haben auch weitere Organisationen und Institutionen – zum Teil großen – Anteil an der Erstellung der Hochwasserprognosen.

Der bedeutendste Partner im Bereich der Hochwasservorhersage ist die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Sie stellt ihre Daten, das sind meteorologische Analysen und Prognosen, die mehrmals stündlich aktualisiert und übermittelt werden, als grundlegende Basis für Mittel- und Langfristvorhersagen allen hydrographischen Diensten bereit.

In Österreich tätige Energieversorgungsunternehmen tragen durch die Bereitstellung von eigenen hydrologischen und meteorologischen Messdaten, bei der Mitentwicklung der Prognosemodelle und zum Teil auch durch den operativen Betrieb von Abflussprognosemodellen zu einer maßgeblichen Verbesserung der Datengrundlage und damit zur Erhöhung der Prognosequalität bei.

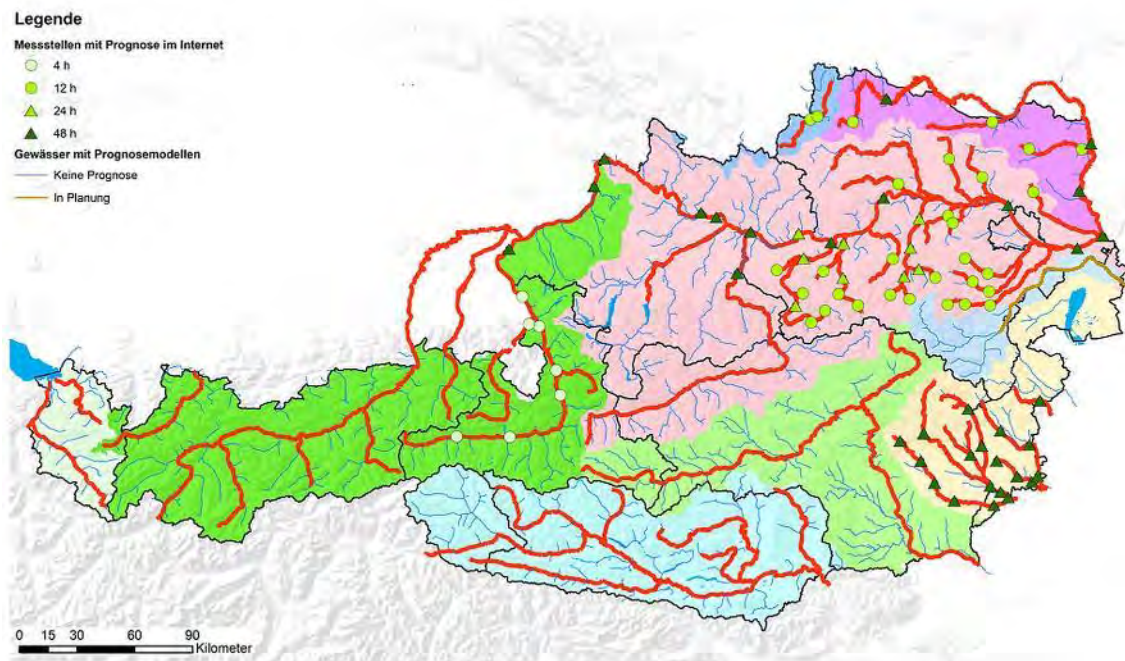
Zusammenfassung

Die Hydrographie in Österreich ist eine Organisation, deren Zentralstelle als Abteilung Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro, HZB) dem BMNT zugehört. Die neun

Bundesländer plus die viadonau setzen deren hydrographische Aufgaben in mittelbarer Bundesverwaltung um. Das Erstellen von Hochwasserprognosen liegt auf Basis des Wasserrechtsgesetzes im Aufgabenbereich des Landeshauptmannes.

Durch die gesetzliche Regelung wird eine Trennung zwischen der Hydrographie im eigentlichen Sinn und dem Erstellen von Hochwasserprognosen als Mittel zur Katastrophenvorsorge gezogen, auch wenn sich Aufgaben bzw. Tätigkeiten aus fachlicher Sicht oft nicht trennen lassen. So werden hydrographische Messstellen und deren Wartung von beiden Fachbereichen genutzt und benötigt, ebenso hydrographische Auswertungen, wie z. B. die Ermittlung von Wasserstand-Durchfluss-Beziehungen und statistische Analysen.

Aus dem verteilten System über 10 hydrographische Dienste ergeben sich unterschiedliche Prognosesysteme und Modelle, die eine individuelle Anpassung an die jeweiligen Notwendigkeiten darstellen. Dieses heterogene System der Hochwasservorhersagesysteme umfasst nun alle größeren Flüsse Österreichs und ist untereinander intensiv durch Daten- und Prognose-Austausch vernetzt, wobei dieses Netzwerk weit über die Staatsgrenzen hinausreicht und auch andere Dienste, insbesondere meteorologische, als wesentliche Komponenten umfasst.



Abdeckung der Flüsse und Einzugsgebiete mit Prognosemodellen, Veröffentlichung von Prognosen für konkrete Pegelmessstellen (Quelle: Abteilung Wasserhaushalt)

Alle Hydrographischen Dienste veröffentlichen die Prognosen in einer speziellen, für ihre Bedürfnisse und an die hydrologischen Verhältnisse angepassten Weise.

Literaturverzeichnis

Bellinger, J., Schattan, P., Förster, C., Schöber, J., Achleitner, S., Huttenlau, M., Schneider, K., Kirnbauer, R., Strasser, U., Raffener, G.: Hochwasserprognose für den Tiroler Inn (HoPI): Anwendung und Weiterentwicklung eines modularen Vorhersagesystems für alpine Einzugsgebiete, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung Heft 35.15 (2015).

Kopeinig, C., Moser, J.: Hochwasserszenarienkatalog Kärnten, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 7-8/16, Springer-Verlag Wien 2016.

Mag. Franz Hauer
Amt der Niederösterreichischen Landesregierung
Abteilung Hydrologie und Geoinformation
Landhausplatz 1, Haus 13
3109 St. Pölten
E-Mail: franz.hauer@noel.gv.at

Hydrographie: Basis für eine sichere und effiziente Schifffahrt

Johannes Hubmann, Achim Naderer

Was kann die Hydrographie für die Schifffahrt leisten? Welche Herausforderungen ergeben sich für die Arbeit eines Hydrographischen Dienstes an einer Binnenwasserstraße? viadonau hat den gesetzlichen Auftrag, die in der Verwaltung des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) stehenden Bundesgewässer, dies sind die Wasserstraße Donau sowie March und Thaya, zu erhalten und zu verwalten. Gleichzeitig wurden ihr die Agenden eines hydrographischen Dienstes übertragen. Der folgende Artikel beleuchtet Herausforderungen und Synergien, die sich aus dieser Doppelrolle ergeben.

viadonau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH erfüllt ein Bündel an Aufgaben: Sie schafft eine sichere und leistungsfähige Wasserstraße, erhält und verbessert den Lebensraum Donau, fördert mit innovativen Lösungen den umweltfreundlichen Schiffsverkehr und stärkt damit den Wirtschaftsstandort Österreich. Darüber hinaus betreibt und modernisiert viadonau Anlagen zum Schutz der Bevölkerung vor Hochwasser an Donau, March und Thaya und nimmt an diesen Flüssen die Agenden des hydrographischen Dienstes wahr.

Zur Erfüllung dieses umfangreichen Aufgabengebiets ist ein breites Spektrum an hochwertigen Grundlagendaten erforderlich, die von den Expertinnen und Experten des Teams Infrastruktur Services in den Fachbereichen Hydrologie, Geoinformation und Vermessung bei viadonau erhoben werden. So liefern regelmäßige Aufnahmen der Gewässersohle wertvollen Input für Geoinformationsdienste und River Information Services (RIS) und sind damit entscheidend für die Sicherheit entlang der Wasserstraße. Daten zu Wasserstand und Durchfluss sind die Basis für Informationen über aktuelle Fahrwassertiefen, für Prognosen zur Wasserstandsentwicklung sowie für die Planung wirkungsvoller Hochwasserschutzmaßnahmen und die effiziente Abwicklung des Hochwasserdienstes.

Anforderungen seitens der Schifffahrtstreibenden

Etwa 350 Kilometer der Donau liegen auf österreichischem Staatsgebiet. Dieser Abschnitt ist gekennzeichnet durch die Wasserkraftnutzung durch insgesamt zehn Laufkraftwerke. Nur zwei Abschnitte sind als freifließende Strecken erhalten: die Wachau (Strom-km 2038 bis ca. Strom-km 2009) und östlich von Wien (Strom-km 1920 bis ca. Strom-km 1880) bis zur österreichisch-slowakischen Staatsgrenze. Während in den Stauhaltungen generell gute Voraussetzungen für die Schifffahrt hinsichtlich Fahrwassertiefe und Fließgeschwindigkeiten bestehen, können im Bereich der freifließenden Strecken insbesondere Seichtstellen eine Herausforderung darstellen. Für eine bessere Planbarkeit und damit eine ökonomisch und ökologisch optimierte Schifffahrt sind regelmäßig und häufig aktualisierte Informationen über die zu erwartende Fahrwassertiefe innerhalb der definierten Schifffahrtsrinne essentiell.

viadonau steht in ständigem Austausch mit den Stakeholdern und holt die Meinungen und Anforderungen der Schifffahrtstreibenden mittels regelmäßigen Online-Befragungen ein. Gefordert werden ständig aktualisierte Messwerte sowie langfristige und treffsichere Prognosen des Wasserstands und regelmäßige Aufnahmen der Stromsohle mittels Echolots. Die aus dem aktuellen Wasserstand und der letzten Stromsohlenaufnahme bestimmte Fahrwassertiefe ist den Schifffahrtstreibenden ein Maß für den Grad der Beladung der Schiffe sowie eine wichtige Information, um Bereiche mit Seichtstellen unfallfrei zu befahren.

Insbesondere für die Personenschifffahrt und für Spezialtransporte kann die Durchfahrt unter niedrigen Brücken eine Herausforderung darstellen. Gewünscht werden daher eine exakte und aktuelle Angabe der Durchfahrtshöhen unter den kritischen Brücken Österreichs. Als kritisch bezeichnet man Brücken, deren Durchfahrtshöhe beim Höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW) weniger als 8 Meter beträgt.

Werden in internationalen Verträgen vorgegebene Grenzwerte zur Fahrwassertiefe unterschritten, so sind Baggerungen der jeweiligen Seichtstellen durchzuführen. Für die österreichische Donau ist dieser Grenzwert mit 2,5 Meter unter dem Regulierungsniederwasser (RNW) definiert.

Services von viadonau als hydrographischer Dienst

viadonau betreibt als zuständiger Hydrographischer Dienst ein Messnetz entlang der Donau, des Donaukanals, sowie der March und der Grenzstrecke der Thaya ab Bernhardsthal. Neben der kontinuierlichen Aufzeichnung von Wasserstand, Wassertemperatur und Schwebstoff-

konzentrationen werden östlich von Wien und an einem Teilgebiet der March Grundwasserstände und Grundwassertemperatur erhoben. Aus diesen Messungen werden Durchflüsse und Schwebstofffrachten ermittelt sowie statistische Auswertungen durchgeführt, beispielsweise Hochwasserkennwerte (HQ_{30} , HQ_{100}) und Abflusswerte der Kennzeichnenden Wasserstände der österreichischen Donau (z.B. RNQ = Abfluss mit einer Überschreitungsdauer von 94 %). Das Messnetz der viadonau ist so geplant und ausgerichtet, dass einerseits die Aufgaben eines hydrographischen Dienstes optimal erfüllt und andererseits die Anforderungen seitens der Schifffahrtstreibenden abgedeckt werden können.

Alle Daten der Pegelmessstellen stehen innerhalb weniger Minuten in einem zentralen **Hydrographischen DatenManagement System (HyDaMS)** zur Verfügung und dienen als Input für automatisierte hydrologische Auswertungen, welche die Grundlage für im Web veröffentlichte kundenorientierte Serviceleistungen bilden. Beispielsweise betreibt der Fachbereich Hydrologie ein Echtzeit-Wasserspiegellagenmodell für die Darstellung der aktuellen Wassertiefen in den Binnenschifffahrtskarten sowie eine auf die Bedürfnisse der Schifffahrtstreibenden abgestimmte Niederwasserprognose. Andererseits werden die an den Pegelmessstellen erhobenen Daten den hydrographischen Landesdiensten übermittelt und dort für den Betrieb der Hochwasserprognosesysteme sowie für die Abwicklung von Hochwassereinsätzen verwendet.

Aktuelle Messwerte

Gemeinsam mit den Schifffahrtsexpertinnen und -experten der **Obersten Schifffahrts-Behörde (OSB)** im BMVIT werden jene Datenquellen ausgewählt, die in Echtzeit veröffentlicht werden sollen. Derzeit werden Wasserstände von zehn Pegelmessstellen sowie die Durchfahrtshöhen von sieben Brücken veröffentlicht.

viadonau sieht sich verpflichtet, die Pegelmessstellen laufend zu modernisieren und an den Stand der Technik anzupassen. Werden die Messwerte in Echtzeit veröffentlicht oder an Prognosesysteme weitergegeben, so sind zusätzliche Vorkehrungen hinsichtlich der Ausfallsicherheit zu treffen. viadonau ist bestrebt, diese Pegelmessstellen hinsichtlich ihrer technischen Geräte vollkommen redundant auszustatten (zwei Messsonden, zwei Datensammler und zwei voneinander unabhängige Wege der Datenfernübertragung). Regelmäßige Kontrollen und eine gewissenhafte Wartung durch die Pegeltechniker gewährleisten die korrekte Funktion der Messgeräte und exakte Daten.

Aktuelle Messwerte der Wasserstände werden zudem verwendet, um die Durchfahrtshöhen unter den kritischen Brücken zu berechnen. Die Höhe der Brückenunterkante ist aus Plänen oder Vermessungen bekannt. Auf Basis der Messung der Wasserspiegellage unter der Brücke

kann die Brückendurchfahrtshöhe (minimale lichte Höhe innerhalb der Schifffahrtsrinne) berechnet werden.

Die Veröffentlichung der oben genannten aktuellen Messwerte erfolgt über mehrere Kanäle: Über die Webseite doris.bmvit.gv.at, die frei verfügbare DoRIS mobile App (DoRIS **D**onau **R**iver **I**nformation **S**ervices) und mittels **N**achrichten für die **B**innenschifffahrt (NfB). Diese Informationen zählen zu den am häufigsten abgefragten Bereichen des Webauftritts von [viadonau](http://viadonau.at). Etwa 80 % aller Klicks zielen auf aktuelle Pegeldata und Prognosen ab.

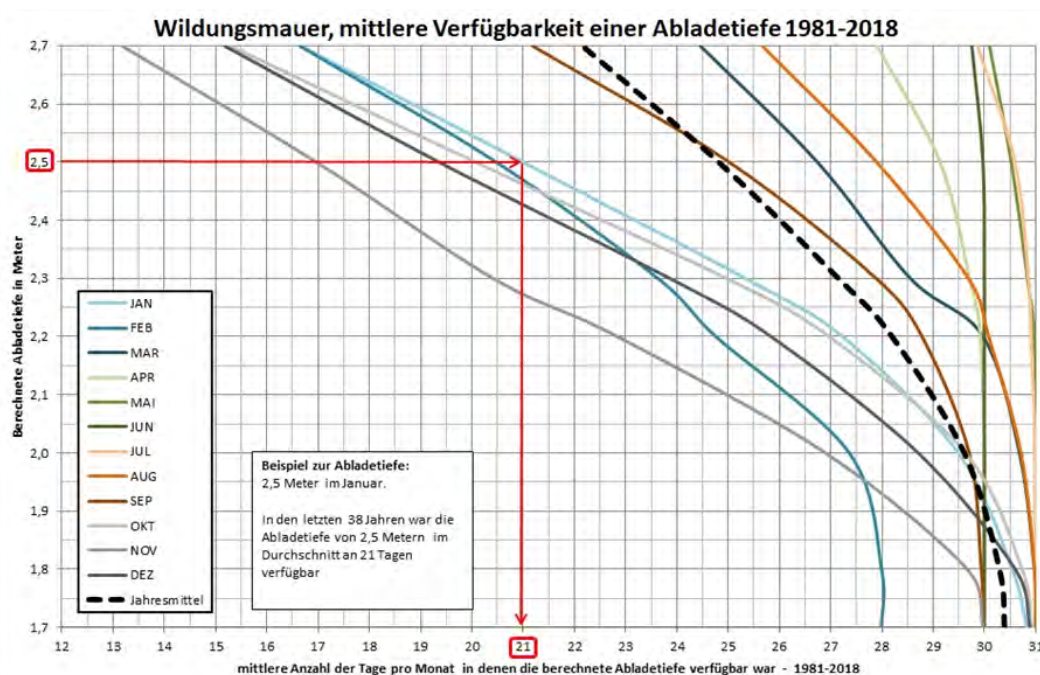
Niederwasserprognose

[viadonau](http://viadonau.at) betreibt ein Niederwasserprognosesystem und veröffentlicht mehrmals täglich aktualisierte Wasserstandsprognosen für die kommenden 5 Tage (= 120 Stunden) an den beiden Richtpegeln Kienstock (Strom-km 2015,2) und Wildungsmauer (Strom-km 1894,7). Prognosen über Mittelwasser werden ausgeblendet, weil sie für die Schifffahrtstreibenden von geringerem Interesse sind und Differenzen zu den vom Hydrographischen Dienst Niederösterreich prognostizierten Werten für Verwirrung und Unsicherheit sorgen könnten. Neben den meteorologischen Prognosen, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zugekauft werden, sind Messwerte der Pegelmessstellen ein wichtiger Input für das Prognosesystem. Diese werden von den Hydrographischen Diensten aus dem gesamten Einzugsgebiet in Echtzeit bereitgestellt. Hier zeigt sich einmal mehr die hervorragende Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Hydrographischen Diensten Österreichs und auch über die Grenzen hinaus nach Deutschland (Bayerisches Landesamt für Umwelt). Die Prognosen kommen unter den Schifffahrtstreibenden gut an und wurden in den vergangenen Jahren bei Befragungen durchwegs mit „gut plus“ (Schulnotenprinzip) beurteilt. Das Prognosesystem wird von [viadonau](http://viadonau.at) laufend weiterentwickelt und optimiert, um die Qualität der Prognosen zu steigern. Dazu werden auch Forschungsaufträge erteilt.

Analyse Schiffbarkeit

Unter dem Titel „Analyse Schiffbarkeit“ wurden Messdaten der letzten Jahrzehnte des für die Schifffahrt kritischen Abschnitts östlich von Wien bis zur Staatsgrenze ausgewertet und entsprechend der Anforderungen verschiedener Nutzergruppen aus dem Logistiksektor aufbereitet. Ergebnis sind grafische Darstellungen der jahreszeitlich unterschiedlichen Fahrwasserhältnisse unter Angabe von Wahrscheinlichkeiten zur Verfügbarkeit der Wasserstraße. Diese wurden konkret auf die an der österreichischen Donau vorherrschenden Schiffstypen und Transportgüter zugeschnitten.

viadonau verwendet diese Unterlagen in Beratungsgesprächen zur objektiven Information von Akteuren aus dem Logistiksektor, die Interesse an einer Beförderung ihrer Güter auf der Donau haben. So kann beispielsweise anhand der Unterlagen schnell ermittelt werden, wie groß die Wahrscheinlichkeit in den einzelnen Monaten eines Jahres ist, ein bestimmtes Schiff mit einem gewissen Transportgut voll auszulasten bzw. bis zu welchem Grad Schiffe beladen werden können.



Grafik zur Unterstützung von Schifffahrtstreibenden bei der Entscheidung über die mögliche Beladung (Quelle: viadonau)

Kennzeichnende Wasserstände der Donau (KWD)

Die Instandhaltung der Wasserstraße und die Bereitstellung von Fahrwasserinformationen für die Schifffahrtstreibenden ist eine Kernkompetenz von viadonau. Dazu müssen entsprechende Datengrundlagen geschaffen werden. Als essentieller Bestandteil werden entlang der gesamten österreichischen Donautrecke charakteristische Wasserstände herangezogen, welche unter der Bezeichnung KWD (**K**ennzeichnende **W**asserstände der österreichischen **D**onau) firmieren. Neben den für die Schifffahrt relevanten Wasserständen **R**egulierungs-**n**iederwasser (RNW), **M**ittelwasser (MW) und **H**öchster Schifffahrtswasserstand (HSW) enthalten die KWD je Strom-km auch Angaben zu den Hochwasserständen, beispielsweise den Werten für HW₁₀₀ und stellen damit den zentralen Baustein bei der Planung und Ausführung der Hochwasserschutzmaßnahmen entlang der österreichischen Donau dar. Die KWD sind ein nach einheitlicher Methodik und zum Zeitpunkt der Erarbeitung jeweils aktuellem Stand der Technik berechneter Längenschnitt der Donau und bilden daher auch eine wertvolle Grundlage für jegliche ökologischen Wasserbaumaßnahmen.

Ausschlaggebend für die Schifffahrt und die Instandhaltung der Wasserstraße Donau sind jene Wasserstände, welche Niederwasserabflüsse repräsentieren. Das RNW 2010 ist – entsprechend den Richtlinien der Donaukommission – als jener Wasserstand anzusehen, der einem Abfluss mit einer Überschreitungsdauer von 94 % entspricht. Für die Bestimmung der Abflussdauerlinie wird derzeit eine Periode von 30 Jahren (1981-2010) herangezogen. Internationale Verträge enthalten die Vorgabe bei der Instandhaltung der Wasserstraße, eine Fahrwassertiefe von 2,50 Meter bei RNW zu gewährleisten. Um dies verifizieren zu können, wird die Gewässersohle der Donau regelmäßig mittels hochmoderner Echolotsysteme (Fächerecholot, Multi Beam) aufgenommen und, basierend auf der einheitlichen Bezugshöhe der Wasserstände des RNW, als relative Tiefendaten ausgewertet und den Schifffahrtstreibenden öffentlich zur Verfügung gestellt. Dieses regelmäßige Monitoring der für die Schifffahrt relevanten Veränderungen der Flusssohle – vornehmlich Bereiche mit Seichtstellen (Furtbereiche) – bildet die Grundlage für ein effizientes Wasserstraßenmanagement und, falls notwendig, für die Planung von Baggerungen.



Die Kennzeichnenden Wasserstände der Österreichischen Donau (KWD) von 1940 bis 2010

Die KWD haben eine mittlerweile fast 90-jährige Historie. Bereits 1934 wurde eine erste Version des RNW für die österreichische Donau berechnet (KWD 1929). Diese Arbeiten fanden im Jahr 1941 mit der Veröffentlichung der KWD 1940 ihre Fortsetzung, in welcher erstmals neben dem RNW auch die Werte für MW und den HSW abgedruckt wurden. In der KWD 1949 wurde das Spektrum der für die wasserwirtschaftliche Praxis relevanten Wasserstände um charakteristische Hochwasserstände erweitert, welche damals unter der Bezeichnung Katastrophenhochwasser (KHW) erarbeitet wurden und sich an den Beobachtungen von zwei maßgeblichen Donau-Hochwasserereignissen (1862 und 1899) orientierten. In den KWD 1956 wurden statt den KHW erstmalig das HW₁₀₀ abgedruckt.

Seit den KWD 1956 berücksichtigen die Kennzeichnenden Wasserstände die zunehmende energiewirtschaftliche Nutzung der Donau durch die Laufkraftwerke und stellen die sich dadurch sukzessive verändernden Gefälleverhältnisse der Wasserspiegel im Längsverlauf dar. Diese Entwicklung ist seit der Errichtung des Vollstaus des Kraftwerks Freudenau in Wien im Jahr 1996 abgeschlossen und in den KWD 1996 entsprechend abgebildet.

Die derzeit aktuellen KWD 2010 wurden im September 2012 veröffentlicht und gemäß dem aktuellen Stand der Technik unter Verwendung von hydrodynamisch-numerischen Modellen berechnet. Gleichzeitig wurden der Kontinuität und langfristigen Betrachtungsweise bei Hochwasserschutzmaßnahmen Rechnung getragen. Die Arbeiten zu KWD werden entsprechend der Erfordernisse der wasserwirtschaftlichen Praxis in Zukunft fortgesetzt. Dabei werden die aktuellen und zukünftigen Anforderungen aus den Bereichen Hochwasserschutz, Ökologie und Instandhaltung der Wasserstraße berücksichtigt, um den Stellenwert der KWD als wertvolle Datengrundlage zu erhalten. Analog gilt dies für die Kennzeichnenden Wasserstände der March (KWM), die 2018 in enger Zusammenarbeit der slowakischen und österreichischen Expertinnen und Experten neu berechnet wurden.

Hydrodynamische Modellierung

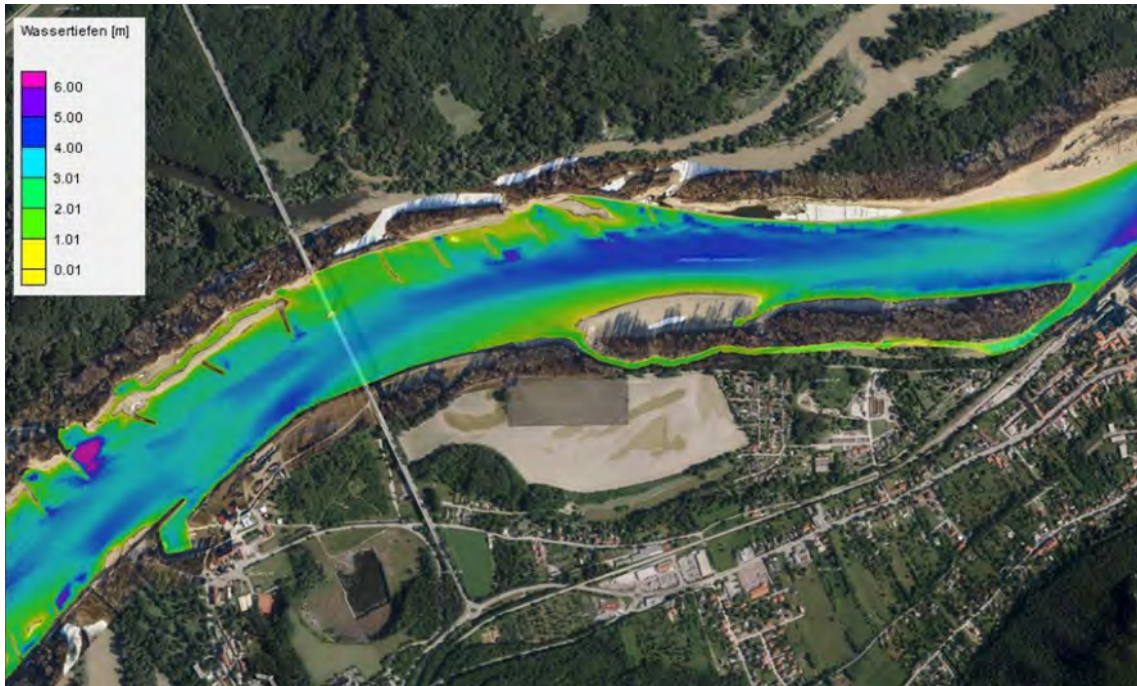
Die hydrodynamisch-numerische Modellierung ist in den letzten Jahrzehnten zu einem zunehmend unverzichtbaren Werkzeug in der Praxis der angewandten Wasserwirtschaft geworden. Die Anwendungsmöglichkeiten sind äußerst vielfältig und reichen von der klassischen Simulation von Hochwasserereignissen und der Projektierung von Hochwasserschutzmaßnahmen über die Entwicklung von ökologisch orientierten Projekten bis hin zu permanent laufenden Echtzeitsimulationsmodellen zur Berechnung aktueller Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten.

Grundsätzlich wird in der hydrodynamisch-numerischen Modellierung in eindimensionale (1D), zwei- und dreidimensionale (2D bzw. 3D) Modelle unterschieden. Die angegebene Dimensionalität bezieht sich dabei auf die errechneten räumlichen Komponenten der Fließgeschwindigkeit und spiegelt somit die für die numerische Lösung notwendigen mathematischen Vereinfachungen wieder. Aktuell werden in der Wasserwirtschaft hauptsächlich 2D-Modelle verwendet und stellen somit den Stand der Technik dar. Bei 2D-Modellen wird für jeden Punkt im räumlichen Modell die Höhe des Wasserspiegels und die über die Wassertiefe gemittelte Fließgeschwindigkeit in 2-dimensionalen Richtung (x,y) berechnet. 3D-Modelle sind aktuell aufgrund ihrer Komplexität und des weitaus höheren Bedarfs an Rechnerkapazitäten speziellen Fragestellungen und universitären Einsatzbereichen vorbehalten.

Die hydrodynamisch-numerische Modellierung wird bei viadonau vielfach und regelmäßig eingesetzt, um wasserwirtschaftliche und ökologische Projekte zu bearbeiten, beispielsweise für die Projektierung von Anbindungen ehemaliger Seitenarme, um die ökologische Diversität positiv und nachhaltig zu entwickeln. Mit diesen Modellen (in der Regel 2D-Modelle) können aber auch wichtige Erkenntnisse für die Wasserstraße und die Schifffahrt gewonnen werden. Bei viadonau wird beispielsweise der Effekt von geplanten Wasserbauwerken (Buhnen) auf die schifffahrtsrelevanten Parameter Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit oder die zu erwartenden Strömungsverhältnisse an neu errichteten Anlegestellen modelliert. Auch Fragestellungen aus der Hydrographie können unter Einsatz der hydrodynamisch-numerischen Modellierung beantwortet werden, wenn beispielsweise Pegelschlüssel nachgerechnet werden. Daneben findet die hydrodynamisch-numerische Modellierung bei viadonau auch für die Bearbeitung von Projekten im klassischen Umfeld der Hochwasserszenarien ihre Anwendungsbereiche.

Wie oben erwähnt, betreibt der Fachbereich Hydrologie ein Echtzeit-Wasserspiegellagenmodell, das im 15-Minuten-Intervall aktuelle Wassertiefen in den beiden freifließenden Strecken berechnet und für die Darstellung in den Binnenschifffahrtskarten bereitstellt. Diese Online-Systeme sind ein typischer Anwendungsfall für 1D-Modelle. Auch bei der Berechnung der derzeit aktuellen KWD 2010 wurden 1D-Modelle verwendet.

Die Basis eines hydrodynamischen Modells sind räumliche Daten wie ein digitales Höhenmodell (Airborne Laserscan), Vermessungsdaten der Gewässersohle und erforderlichenfalls Bestandsdaten von Hochwasserschutzmaßnahmen, aus welchen eine für die numerische Berechnung geeignete Geometrie abgeleitet wird. Dieses Modell wird anhand von Messdaten von Abflussereignissen kalibriert und validiert und bildet somit den Referenzzustand für die eigentliche Planungstätigkeit. Unter Verwendung derartiger Modelle können einzelne Projektvarianten geometrisch in das Modell integriert und deren Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen im Vergleich zum zuvor definierten Referenzzustand visualisiert und ausgewertet werden.



Darstellung der Wassertiefen bei Niederwasserabfluss im Bereich Bad Deutsch-Altenburg (Quelle: viadonau)

Die für die Erstellung von hydrodynamischen Modellen notwendigen Grundlagendaten sowie das erforderliche Know-how sind bei viadonau im Team Infrastruktur Services konzentriert. Der Fachbereich Vermessung ist für die regelmäßige Aufnahme der Gewässersohle verantwortlich. Im Fachbereich Geoinformation werden diese Daten aufbereitet und vorgehalten. Zusätzlich werden digitale Höhenmodelle (Airborne Laserscan) verarbeitet. Im Fachbereich Hydrologie werden laufend Wasserstände und Durchflüsse erfasst, qualitätsgeprüft und im HyDaMS gespeichert. Bei Hochwasserereignissen werden zusätzliche Messungen veranlasst. Die genannten Daten werden auf Anfrage von Behörden und Institutionen sowie an von Behörden beauftragte Zivilingenieure oder an Forschungseinrichtungen weitergegeben. Zudem arbeitet der Fachbereich Hydrologie eng mit Universitäten zusammen und bringt sich bei der Bearbeitung von spezifischen Fragestellungen in der hydrodynamisch-numerischen Modellierung proaktiv ein und unterstützt so die methodische und softwaretechnische Weiterentwicklung der Modelle.

Zusammenfassung

viadonau betreibt ein modernes Messnetz von Pegelstellen, um sowohl die Aufgaben eines hydrographischen Dienstes optimal zu erfüllen als auch die Anforderungen seitens der Schifffahrtstreibenden abzudecken. Messdaten werden in statistischen Auswertungen zielgerichtet aufbereitet oder auch in Echtzeit veröffentlicht und dienen als Input für interne und externe Prognosesysteme. Insbesondere hinsichtlich der Prognosen zeigt sich die hervorragende Zusammenarbeit unter den hydrographischen Diensten, welche aufgrund des länderübergreifenden Einzugsgebiets der Donau über die Grenzen Österreichs hinausreicht. Im Team Infrastruktur Services sorgen die drei Fachbereiche Hydrologie, Geoinformation und Vermessung für die Erhebung aller erforderlichen Datengrundlagen, von der kontinuierlichen Erfassung der hydrologischen Parameter bis zur Vermessung der Gewässersohle. Die dafür eingesetzten Technologien werden dafür laufend am Stand der Technik gehalten. Gemeinsam mit den daraus abgeleiteten Kennzeichnenden Wasserständen der Donau bilden Daten die Basis für die Instandhaltung und das Management der Wasserstraße Donau. Somit ist viadonau gut aufgestellt, um ein breites Bündel an Aufgaben zu erfüllen, die auch unter den drei Säulen des Unternehmens – Umwelt, Wirtschaft, Sicherheit – zusammengefasst sind.

Links:

<http://www.viadonau.org>

<http://www.doris.bmvit.gv.at/>

<http://www.viadonau.org/infrastruktur/betrieb-zu-wasser/pegelwesen>

Dipl.-Ing. Johannes Hubmann und

Dipl.-Ing. Achim Naderer

Viadonau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH

Fachbereich Hydrologie

Donau-City-Straße 1 – 5. Stock

1220 Wien

E-Mail: johannes.hubmann@viadonau.org



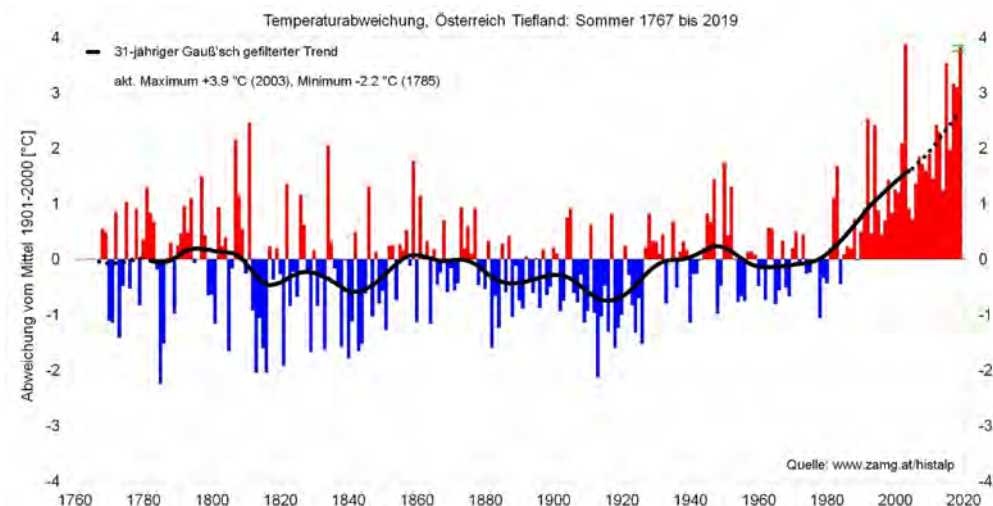
Auswirkung der Klimakrise auf den Abfluss der Donau

Reinhold Godina

Seit über 30 Jahren bewirkt die rasche Änderung des Klimas einen kontinuierlichen Anstieg der Lufttemperatur auch in Österreich. Die langfristige Wirkung dieses Wandels auf das Wasserdargebot ist auf Grund der vielfältigen naturräumlichen Eigenschaften Österreichs, der Komplexität in der Wechselwirkung der Prozesse und der Unsicherheit in den Prognosen nur schwer in Zahlen zu fassen. Die Auswertungen vieljähriger Abflusszeitreihen der Hydrographie zeigen, dass sich die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse und saisonale Niederwasserkennwerte der Gewässer in Österreich bereits verändert haben.

Sommerliche Hitzeperioden sind keine Ausnahmen, sie werden zur Regel

Bereits der heiße Sommer 2015 mit einer Abweichung von 2,4 °C über dem vieljährigen Mittel weckte Erinnerungen an den Rekordsommer 2003. Nur vier Jahre später erreichte die Lufttemperatur im Sommer 2019 ein Niveau, das dem im Jahr 2003 entsprach. Zwar bleibt der Sommer 2003 mit einer Abweichung von +2,8 °C nach wie vor der heißeste in der 253-jährigen Messgeschichte der ZAMG, mit einer Anomalie von +2,7 °C war es im Sommer 2019 aber ähnlich heiß wie 2003, an einzelnen Messorten wurde der Sommer 2003 sogar übertroffen. Mit Abweichungen von +2,0 °C vervollständigen die Jahre 2017 und 2018 die Reihung der fünf wärmsten Sommer in der Messgeschichte Österreichs. Damit wird klar, dass die Bezeichnung „Jahrhundertsommer 2003“ statistisch gesehen nicht mehr zutreffend ist. Für das österreichische Flach- und Hügelland gibt es Temperaturaufzeichnungen seit Mitte des 18. Jahrhunderts, die für den ZAMG-HISTALP-Datensatz homogenisiert wurden. Über mehr als 200 Jahre wechseln sich mehr oder weniger stark ausgeprägte warme mit kühleren Sommer ab. Seit Beginn der 1980er Jahre jedoch gibt es nur mehr positive Abweichungen mit einem eindeutigen und raschen Anstieg der Anomalie bis zum Ende der 2010er Jahre auf ein Niveau von +2,5 °C über dem Vergleichswert.



Abweichung der Sommer-Lufttemperatur im Flach- und Hügelland Österreichs seit 1767 (Quelle: www.zamg.at/histalp)

Zur hohen Lufttemperatur kommt auch hinzu, dass es in den Sommermonaten wenig geregnet hat. In den Jahren 2015 und 2019 fehlte österreichweit im Sommer auf den Normalwert des Niederschlags circa ein Drittel der Niederschlagsmenge und reiht diese Jahre unter die zehn trockensten der Messgeschichte.

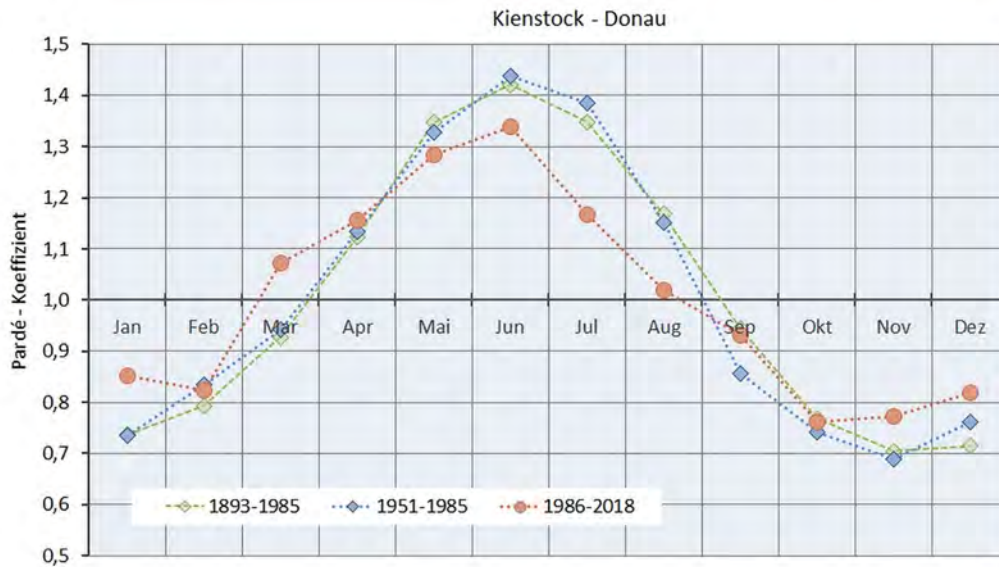
Der Klimawandel verändert das Abflussregime der Donau

Um Veränderungen hydrologischer Parameter berechnen zu können, sind möglichst vieljährige, geprüfte und homogenisierte Zeitreihen notwendig. Die längste Zeitreihe von Abflusstagesmittelwerten gibt es für zwei Messstellen an der Donau. Sowohl für den Pegel Kienstock als auch für den Pegel Korneuburg (ursprünglich Wien - Reichsbrücke) an der Donau sind Abfluss-Zeitserien seit 1894 überliefert. Damit wurden Veränderungsanalysen des Abfluss- und Niederwasserregimes an der Donau durchgeführt. Mit dem Klimawandel haben sich in den letzten 35 Jahren sowohl das Abfluss- als auch das Niederwasserregime im Sommer verändert.

Mehr Abfluss im Winter, weniger in den Sommermonaten

Das Abflussregime bezeichnet den typischen, mittleren Jahresgang des Abflusses in einem Fließgewässer. Es wird durch das Klima, das Relief, die Vegetation und die hydrogeologischen Eigenheiten des Gebietes bestimmt. Zur Charakterisierung des Abflussregimes an einem Gewässer – also die Verteilung des Abflusses im Jahresverlauf – wird häufig der Pardé-Koeffizient verwendet. Dieser Koeffizient ist das Verhältnis des Abflussmonatsmittelwertes

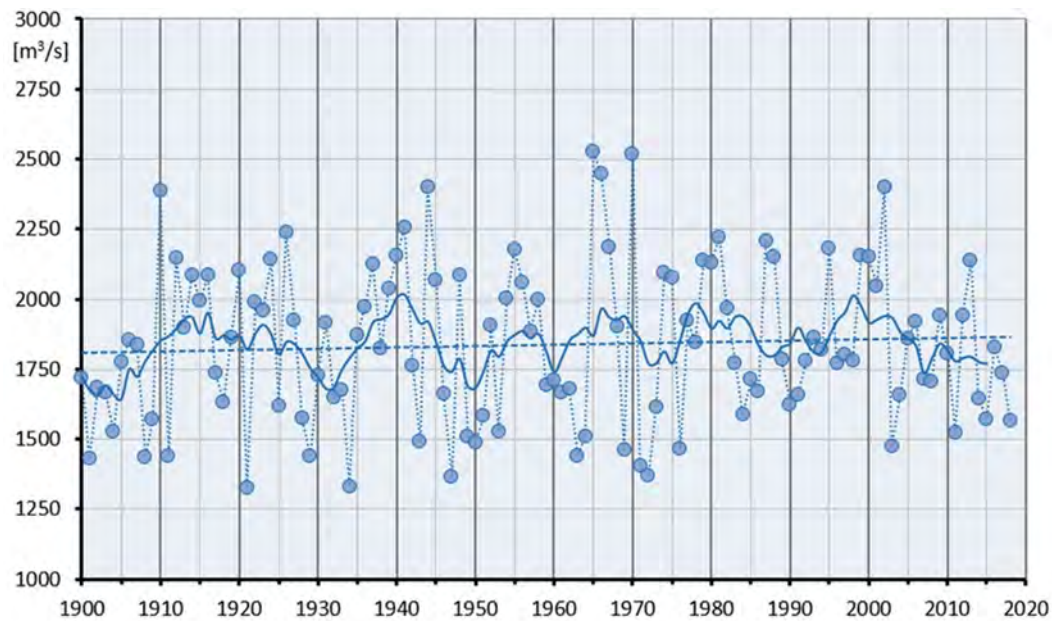
zum Jahresmittelwert. Das Abflussregime der Donau in Österreich ist grundsätzlich ein nivales Regime, das heißt, das Abflussverhalten wird durch eine großflächige und regelmäßige Schneedecke bestimmt. Die Winterniederschläge, in der Regel in Form von Schnee, werden gespeichert und erhöhen den Abfluss im Frühjahr und Frühsommer während der Schneeschmelze. Der Pardé-Koeffizient an der Messstelle Kienstock/Donau zeigt sowohl für den langen Zeitraum 1893-1985 als auch für die Periode 1951-1985 einen eingipfligen Verlauf mit dem Maximum im Sommer und dem Minimum im Winter. Im Vergleich dazu hat sich das Regime in der Periode 1986-2018 deutlich verändert.



Pardé-Koeffizient des Abflusses an der Messstelle Kienstock/Donau

Der Rückgang der Abflüsse in den Sommermonaten wird durch den Anstieg im Winter und Frühling kompensiert. Die höheren Abflüsse im Dezember und Jänner sind nicht auf mehr Niederschlag, sondern eher auf weniger Niederschlag in fester Form – also Schnee – zurückzuführen. Da im Sommer der Niederschlag im Durchschnitt nicht weniger geworden ist, deutet vieles darauf hin, dass ein Teil dieser Abflussreduktion mit einer höheren Verdunstung im Zusammenhang steht.

Dem gegenüber erkennt man am Verlauf der Jahresmittelwerte des Durchflusses seit 1900 keinen Trend. Das gleitende Mittel der Jahreswerte über neun Jahre macht deutlich, dass auf eine gewisse Anzahl feuchter Jahre immer wieder abflussschwächere Jahre folgen. Die visuelle Betrachtung der Ganglinie der Jahresmittelwerte zeigt auch, dass sich die Varianz der einzelnen Jahre seit 1985 etwas reduziert hat.



Jahresmittelwerte und gleitendes Mittel des Durchflusses an der Messstelle Kienstock/Donau

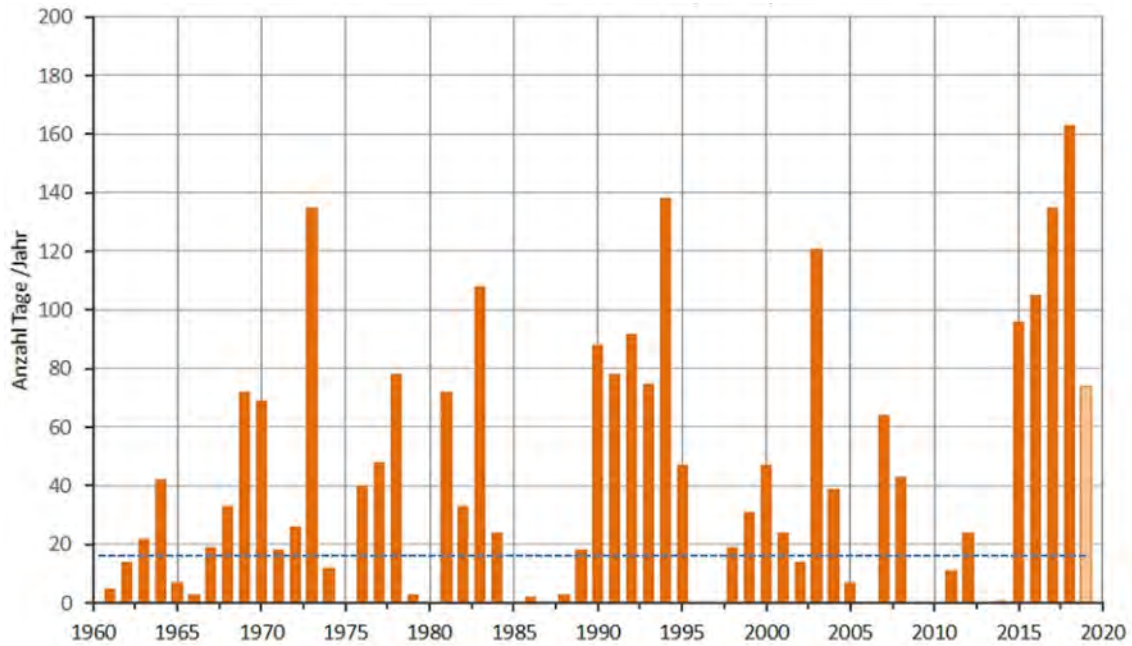
Mit dem Klimawandel verändern sich die Niederwasserabflüsse

Der niederschlagsarme Winter 2016/2017 und das in weiten Teilen Österreichs extrem trockene Frühjahr 2018 erfasste auch den ansonsten niederschlagsreichen Westen Österreichs. Die Folgen waren niedrigere Seewasserspiegel im Salzburger Flachgau und an den Seen im Salzkammergut sowie langanhaltende Niederwasserperioden im Norden und Osten Österreichs. So zum Beispiel wurde der Abflusskennwert $Q_{95\%}$ (Abfluss, der im Mittel an 345 Tagen im Jahr erreicht beziehungsweise überschritten wurde) am Pegel Raabs an der Thaya im Waldviertel seit 2015 jedes Jahr an hundert und mehr Tagen unterschritten. Im Mittel sollten es nur ca. 20 Tage sein. Diese Auswertungen sind ein deutliches Signal dafür, dass die Abflussregime und die Niederwasserperioden der Gewässer auf den Klimawandel reagieren.

Niederwasserperioden entwickeln sich langsam

Die Wasserführung der Gewässer im Süden, Osten und Norden Österreichs befindet sich bereits seit 2015 in einer mehr oder weniger ausgeprägten Niederwassersituation. Vor allem im Osten Österreichs haben unterdurchschnittliche Niederschlagssummen seit Juni 2016 und ein extrem schneearmer Winter 2016/2017 die Grundwasserspeicher reduziert. Eine Niederwassersituation in den Oberflächengewässern ist an die Grundwasserstände in den Tallagen gebunden. Die Grundwasserstände reagieren nicht sofort auf geringe Niederschlagsmengen. Anders als bei Hochwasserereignissen stellt sich eine Niederwassersituation erst viel später, nach einer längeren niederschlagsfreien Zeit ein. Auch sind niedrigere Grundwasserstände nicht

nur von unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen allein, sondern auch von der Geologie, den Bodenverhältnissen, der regionalen Klimatologie und den Entnahmen abhängig.



Anzahl der Tage im Jahr mit Unterschreitung des $MQ_{95\%}$ -Kennwertes (1960-2018) des Abflusses am Pegel Raabs/Thaya

Die Winter- und Sommerniederwasserperioden haben generell unterschiedliche Ursachen und eine andere räumliche Verteilung. Kalte, schneereiche Winter können trotz ausreichend Niederschlag in fester Form eine Winterniederwasserzeit bewirken. Die Ursache von Sommerniederwasser ist in der Regel eine längere niederschlagsfreie Zeit in Kombination mit geringen Grundwasserständen und hoher Verdunstung. Niederwassersituationen hat es zwar in der Vergangenheit auch gegeben, mit der Erhöhung der Luft- und Wassertemperatur durch den Klimawandel verändern sich jedoch die Auswirkungen von Trockenperioden auf die Wasserbilanz.

Es gibt Niederwasser-Anpassungsempfehlungen, die Forschung zur Niederwasserentwicklung durch den Klimawandel steht erst am Anfang

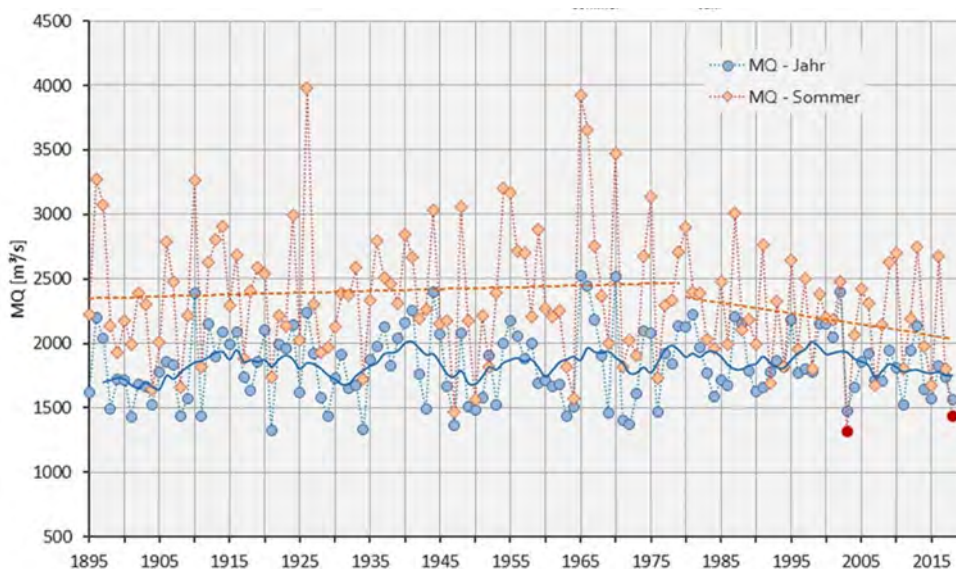
Hochwasser und die Hochwasservorsorge stehen in Österreich seit Jahrzehnten im Mittelpunkt der hydrologischen Forschung. Immer dann, wenn spektakuläre Hochwasserereignisse große Schäden verursacht haben, kommt die Hydrologie für kurze Zeit in die öffentliche Aufmerksamkeit und wird nach der Ursache der Ereignisse gefragt. Im Gegensatz dazu erfahren, in einem niederschlagsreichen Land wie Österreich, ausgeprägte Niederwasserereignisse in der Öffentlichkeit, in der Politik und in der hydrologischen Forschung weniger Beachtung. Sowohl die wiederholt seit 2015 aufgetretenen Hitzeperioden, als auch die Trockenheit 2003

sind ein deutlicher Hinweis, in welche Richtung es sich entwickeln wird. Im Jahr 2003 sprach man von einem „Jahrhundertsommer“ mit selten auftretenden Niederwasserwerten.

Seitdem wird es Jahr für Jahr wärmer und vieles deutet darauf hin, dass schneearme Winter, Hitzeperioden im Sommer, Trockenheit- und Niederwasserphänomene und Unwetter nicht die seltene Ausnahme sind, sondern zur Regel werden. Um sich zukünftig auf Niederwasserperioden und Phänomene der Trockenheit besser einstellen zu können, widmen sich Anpassungsstrategien der EU und jene des Bundes dem Umgang mit Niederwasserperioden. Auch die aktuellen Bewirtschaftungspläne für die österreichischen Flusseinzugsgebiete nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, 2000/60/EG) enthalten Kapitel zum Umgang mit Niederwasser.

Im Sommer ist der Abfluss der Donau weniger geworden

Die Jahresmittelwerte der Abflüsse am Pegel Kienstock seit 1895 zeigen weder eine Zu- noch eine Abnahme. Erst die Darstellung der Mittelwerte über die Sommermonate macht deutlich, dass sich seit 1980 die Wasserführung mit einem signifikanten Trend verringert hat. Bei einem nivalen Abflussregime wie jenem der Donau sind die Abflüsse im Sommer in der Regel höher als die Jahresmittelwerte. Die Zeitreihen der Jahres- und Sommermittelwerte des Abflusses entsprechen mit wenigen Ausnahmen bis 2003 dieser Eigenschaft. Ab Mitte der 1970er Jahre zeigt sich ein Trend zu immer kleineren Abflüssen im Sommer, in den Jahren 2003 und 2018 blieben die Sommermittelwerte deutlich unter dem Jahresmittelwert.

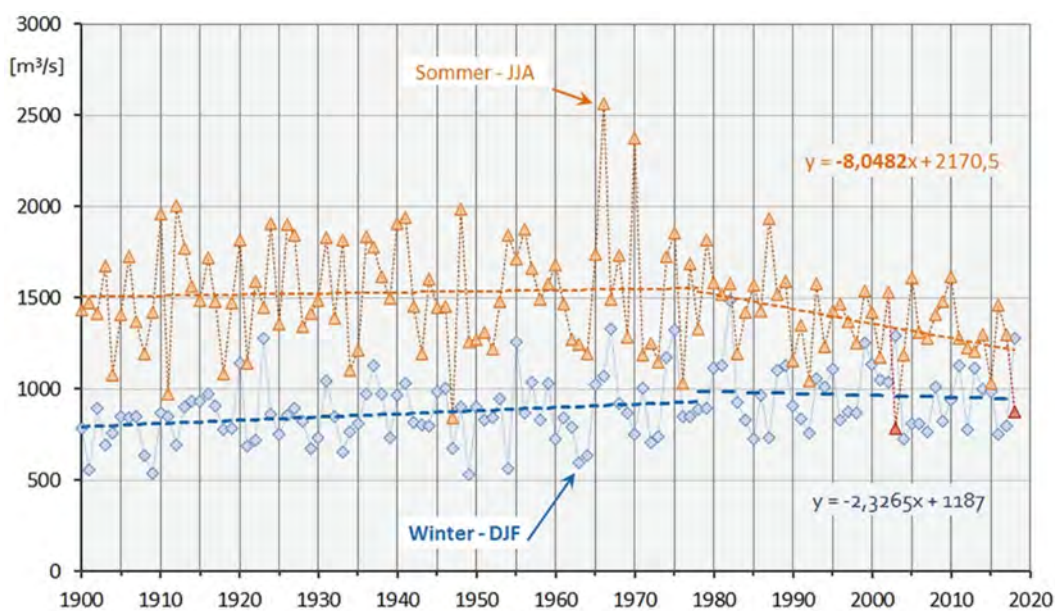


Entwicklung der Jahresmittelwerte des Abflusses und der Abflüsse im Sommer am Pegel Kienstock/Donau seit 1895

Niederwasserperioden haben sich vor allem im Sommer ausgeprägt

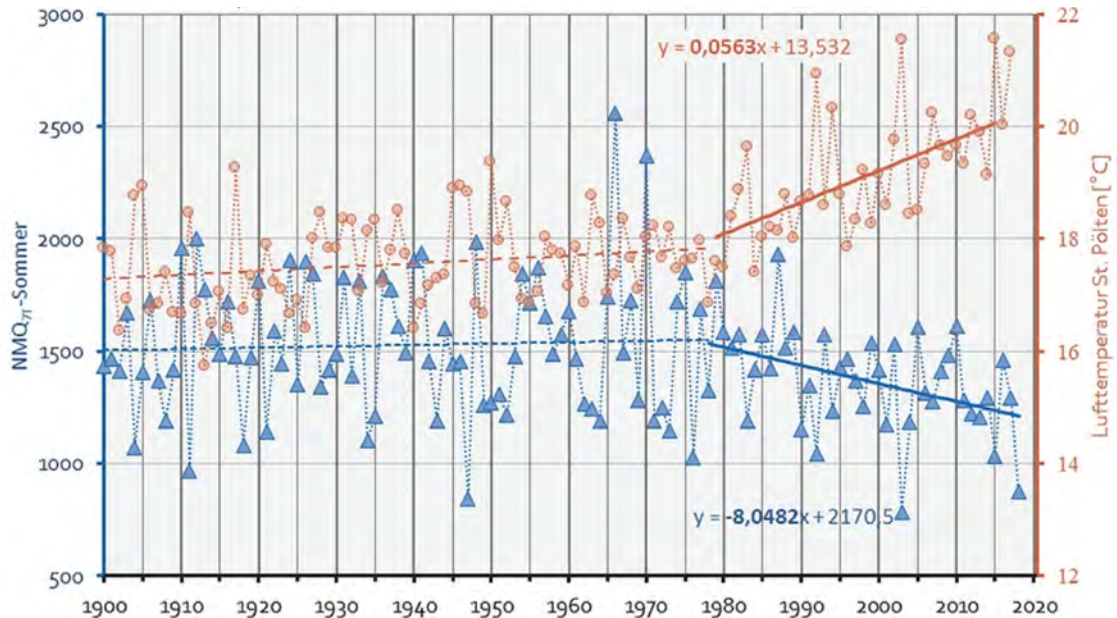
Als robuste und zuverlässige Kenngröße für das Niederwasser wird häufig in der Literatur das NQ7T – das niedrigste arithmetische Mittel des Durchflusses an sieben aufeinander folgenden Tagen – verwendet. Ermittelt man nun mit dem über den Zeitraum von 1900-2018 vorliegenden Datensatz der Tagesmittelwerte des Durchflusses an der Donau beim Pegel Kienstock in der Wachau für jedes Jahr den kleinsten NMQ7T-Wert, ist kein signifikanter Trend festzustellen. Diese NMQ7T-Jahreswerte haben sich im letzten Jahrhundert zwar gering erhöht, ein signifikanter Wechsel im Anstieg ist nicht erkennbar. Im Gegensatz zum Verlauf der jährlich niedersten MQ7T-Werte – mit keinem auffälligen Trend – zeigen die saisonal niedersten MQ7T-Werte an der Donau im Sommer seit Mitte der 1970er Jahre, wie auch die Mittelwerte der Sommermonate, eine deutliche Abnahme. Von 1900 bis 1980 schwankten die Sommerniederwasserwerte ohne Trend um einen Mittelwert von 1500 m³/s.

Erst in den Jahren seit 1980 ist eine Änderung in der Trendgeraden erkennbar, die auch statistisch signifikant ist und eine Abnahme um ca. 320 m³/s (pro Jahr -8,0 m³/s) in knapp 40 Jahren ergibt. Das sind ca. 15 % des NMQ7T-Sommer-Mittelwertes der Periode 1900 bis 1980. Die NMQ7T-Abflusswerte im Winter hingegen erhöhten sich in der Zeit vor 1980 gering und schwanken seither um 1000 m³/s. Auch hier fällt auf, dass in den Jahren 2003 und 2018 der NMQ7T-Wert im Sommer deutlich unter jenem des jeweiligen Winters liegt. Da im Donaueinzugsgebiet die Niederschlagssumme im Sommer nicht in diesem Ausmaß abgenommen hat, liegt der Schluss nahe, dass dieser Rückgang mit der durch den Klimawandel angetriebenen Erhöhung der Lufttemperatur im Zusammenhang steht.



Saisonale NMQ7T-Kennwerte am Pegel Kienstock/Donau in den Winter- und Sommermonaten. NMQ7T-Kennwerte (Rot ... Sommermonate, Blau ... Wintermonate)

Die Gegenüberstellung der Zeitreihe der Lufttemperatur im Sommer an der Klimastation St. Pölten (ZAMG-HISTALP) mit den NMQ7T-Sommerwerten ist ein weiteres Indiz dafür, dass die – durch die um fast +2 °C im Sommer erhöhte Lufttemperatur – verstärkte Verdunstung den Niederwasserabfluss im Sommer beeinflusst hat.



Gegenüberstellung der NMQ7T-Sommerwerte mit der mittleren Lufttemperatur im Sommer an der Klimastation St. Pölten

Mit dem Zeitpunkt, ab dem ein deutlicher und anhaltender Anstieg der Lufttemperatur – ausgelöst durch die globale Klimakrise – begonnen hat, ist auch der Durchfluss der Donau in Österreich im Sommer weniger geworden. Auch die jahreszeitliche Verteilung des Durchflusses hat sich an der Donau und regional unterschiedlich auch an vielen anderen Gewässern in den vergangenen 30 Jahren verändert. Die Jahressummen des Niederschlags und die Jahresmittelwerte des Abflusses hingegen folgen diesem seit 1980 begonnenen Trend noch nicht.

Dipl.-Ing. Reinhold Godina
 Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
 Abteilung Wasserhaushalt
 Marxergasse 2
 1030 Wien
 E-Mail: reinhold.godina@bmnt.gv.at

Starkniederschläge in Wien

Christian Csekits, Karl Konrath

Das Auftreten von Starkregenereignissen ist für Wien von besonderer Bedeutung. Einige der Wienerwaldbäche weisen Gebirgsflusscharakter auf, was bedeutet, dass in sehr kurzer Zeit sehr hohe Wasserstände auftreten können.

Im besonderen Maß von Bedeutung ist dies für den sogenannten „Wienflussradweg“, welcher von der westlichen Stadtgrenze Wiens bis zur Kennedybrücke verläuft. Das Einmünden des Halterbaches und des Lainzerbaches, sowie ein durch die hohe Versiegelung verursachtes, rasches Anspringen der Regenwasserkanäle, kann in sehr kurzer Zeit zu relativ hohen Wasserständen führen. Im weiteren Verlauf des Wienflusses gibt es zwar keinen Radweg mehr, die Problematik ist aber dieselbe und verstärkt sich noch. Mit Erhaltungsarbeiten beauftragte Firmen müssen rechtzeitig das Wienflussbett verlassen können. Eine möglichst zeitnahe Information über herannahende Regenereignisse ist somit von sehr großer Bedeutung. Diese Aufgabe wird seitens der ZAMG, mittels Internetportal und persönlicher Warnung wahrgenommen.

Stellvertretend für die vielen Ereignisse der letzten Jahre, wurde ein heftiges Gewitter im Jahr 2017 von der ZAMG näher untersucht und wie folgt dargestellt.

Heftiges Gewitter im Süden und Südosten Wiens am 10. Juli 2017

Gewitter sind infolge des Klimawandels zu einer der heftigsten Wetterphänomene in unseren Breiten geworden, die zu enormen Schäden führen können. Bei Gewittern sind die Wettererscheinungen und die damit verbundenen Auswirkungen vielfältig, sie reichen von hoher Blitzdichte (Gefahr von Blitzeinschlägen), Starkregen (Gefahr von Überflutungen, Hangrutschungen, Muren, etc.), Sturmböen (Gefahr von umstürzenden Bäumen, abgedeckten Dächern, gerissenen Hochspannungsleitungen, etc.) bis hin zu Hagel (zerstörte Glashäuser, Schäden an Vegetation, etc.). Die rechtzeitige und räumlich exakte Warnung vor solchen Ereignissen ist enorm wichtig, um Verletzungen bzw. Tod von Menschen sowie Schäden an der Infrastruktur zu reduzieren bzw. minimieren.

Wetterlage und Auswirkungen

In Bodennähe (siehe Abbildung 1) herrschten über Mitteleuropa am 10. Juli 2017 nur geringe Luftdruckgegensätze. Das Frontensystem eines Tiefdruckgebietes über dem Nordatlantik reichte von der Norwegischen See über Skandinavien und die Nordsee bis nach England sowie Frankreich. In der Höhe (siehe Abbildung 2) befand sich eine Tiefdruckrinne über West- und Nordwesteuropa. An ihrer Vorderseite wurden sehr warme und labil geschichtete Luftmassen nach Österreich transportiert.

Zusätzlich baute sich an diesem Tage in Bodennähe eine Konvergenz über Ostösterreich auf, das heißt, dass im Westen Wiens der Wind von Westen herkommt und im Osten aus Südosten. Somit bewegten sich die Luftmassen auf einander zu und wurden zum Aufsteigen gezwungen. Die sehr warmen und somit leichten Luftmassen unterstützten diesen Prozess noch. Damit setzte Konvektion ein und Gewitterzellen konnten entstehen. Auch vorlaufende Kaltluft in der Höhe über dem stark aufgeheizten Boden ließ Gewitter befürchten. Darüber hinaus gab es in unterschiedlichen Höhen verschiedene Windrichtungen und Windstärken. In der Meteorologie sprechen wir hierbei von starker Richtungs- und Windgeschwindigkeits-scherung. Wenn die Scherungskomponente sowohl in der Geschwindigkeit als auch in der Richtung des Windes stark ausgeprägt ist, dann sind heftige Gewitter mit hohem Schadenspotential wahrscheinlich.

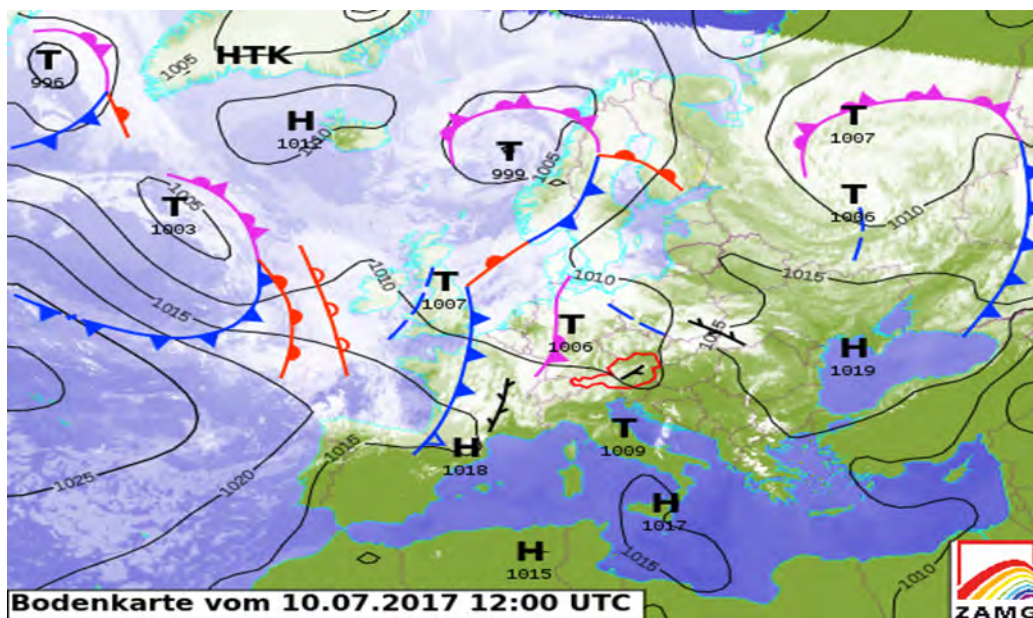


Abbildung 1: Analyse des Luftdruckes 2 m über Grund vom 10. Juli 2017 um 14 Uhr MESZ. Rote Linien markieren Warmfronten, blaue Kaltfronten und violette Okklusionen (Quelle: ZAMG)

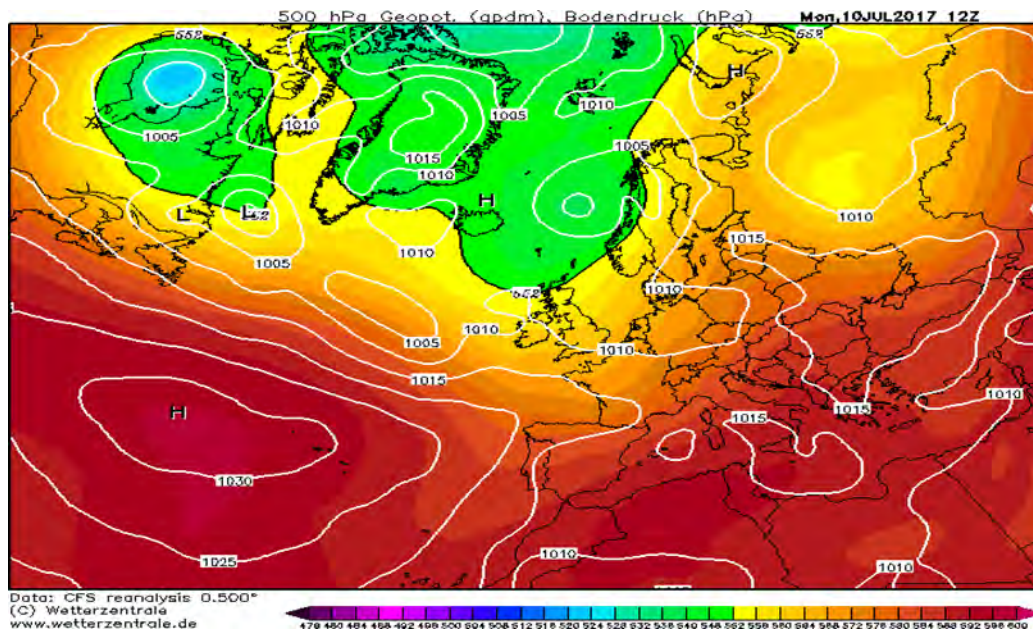


Abbildung 2: Analyse des Luftdruckes in 2 m Höhe über Grund (weiße Linien) und des Geopotentials in 500hPa (farbige Flächen) am 10. Juli 2017 um 14 Uhr MESZ (Quelle: www.wetterzentrale.de)

Am Vormittag schien über der Osthälfte Österreichs verbreitet die Sonne und trieb die Temperaturen im Flachland auf Werte um oder knapp über 30 °C. Der Taupunkt, das ist jene Temperatur, bei der die Luft kondensiert, lag bei 20 °C. Bei Taupunkttemperaturen über 15 °C spricht man in unseren Breiten von Schwüle.

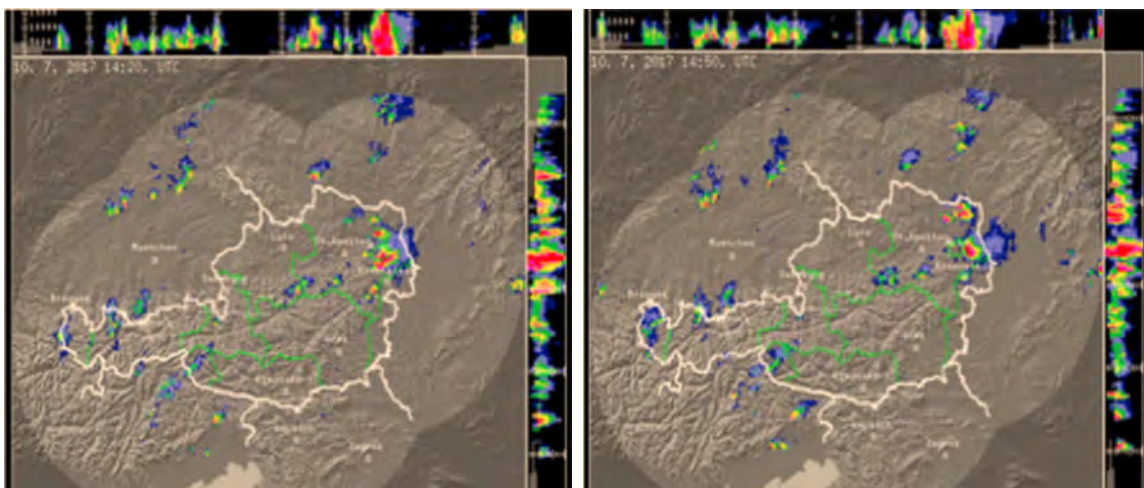


Abbildung 3: Radarbilder vom 10. Juli 2017 um 16:20 MESZ (links) und 16:40 MESZ (rechts) (Quelle: www.austrocontrol.at)

Am Nachmittag setzte im östlichen Flachland Konvektion ein und Gewitterzellen entstanden. Mittels Radarbildern (siehe Abbildung 3) erkennt man, in welchen Gebieten aktuell Niederschlag fällt (farbige Flächen über grauem Untergrund) sowie wie stark dieser Niederschlag ist (blaue Radarechos repräsentieren nur leichte Niederschläge, die Farbskala geht über grün,

gelb und orange bis hin zu rot, wobei rote Radarechos Gebiete mit starken Niederschlägen zeigen, das sind in der Regel Gewitterzellen).

Am 10. Juli 2017 bildete sich die Gewitterzelle südwestlich von Wien aus und überquerte die südlichen Teile der Stadt mit Hagel und starkem Regen. Östlich von Wien verstärkte sich die Gewitterzelle weiter und wuchs zu einem kleinräumigen Tornado heran, der zwischen Rauchenwarth und dem Flughafen Schwechat gesichtet wurde (siehe Abbildung 4). Hagel trat vor allem in den südlichen Bezirken Wiens und in den benachbarten niederösterreichischen Gemeinden auf. Meist wurden Hagelgrößen von 2 bis 5 cm beobachtet, vereinzelt gab es aber auch Hagel mit einem Durchmesser von 6 bis 8 cm (solche Hagelgrößen kommen in Österreich eher selten vor).

In Gewitterzellen können die in sehr kurzer Zeit fallenden Regenmengen sehr hoch sein (in der Regel innerhalb von 20 bis 60 Minuten). Ebenso variieren die Regenmengen in einer Gewitterzelle oft auf kleinstem Raum. Dies traf auch auf die Gewitterzelle vom 10. Juli 2017 zu, zumal sie nicht einmal ganz Wien betroffen hatte.



Abbildung 4: Tornado der Stärke 2 nördlich von Rauchenwarth in Niederösterreich am 10.7.2017 (Quelle: www.skywarn.at)

In der Abbildung 5 sind die analysierten 24-stündigen Regensummen vom 10. Juli 2017 für Wien und Umgebung dargestellt. Hier erkennt man, dass die höchsten Regenmengen von etwa 70 mm in der südöstlichsten Ecke Wiens und den angrenzenden niederösterreichischen Gemeinden verzeichnet wurden. Im Bereich des unteren Liesingbaches wurden zwischen 30 und 45 mm Regen verzeichnet. Währenddessen blieb beispielsweise der nördlichste Bereich des 21. Wiener Gemeindebezirkes komplett trocken.

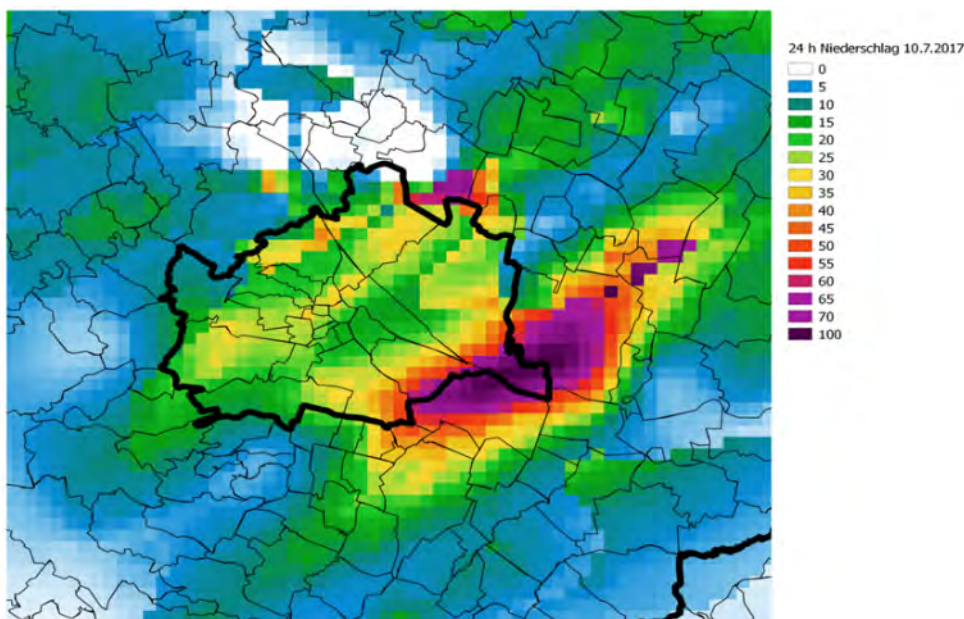


Abbildung 5: Analysierte 24-stündige Regensummen vom 10. Juli 2017 (Quelle: INCA-Modell ZAMG)

Tabelle 1: Regensummen in Großenzersdorf, Donauefeld und Schwechat am 10. Juli 2017

Station	24-h Summe	10-Min Summe	20-Min Summe	Summe Gewitter
Großenzersdorf	52,3 mm	11,9 mm	17,5 mm	37,5 mm/1h
Donauefeld	32,1 mm	11,3 mm	18,6 mm	25,4 mm/1h
Schwechat	24,1 mm	5,4 mm	10,1 mm	10,1 mm/20Min

Bei Gewittern sind die kurzzeitigen Regenraten extrem hoch, diese sind für das Gewitterereignis vom 10. Juli 2017 in der Tabelle 1 dargestellt. In Großenzersdorf fielen während des gesamten Gewitterereignisses innerhalb von einer Stunde knapp 38 mm Regen, davon allerdings alleine in 10 Minuten fast 12 mm sowie in 20 Minuten 17,5 mm. In Donauefeld gab es ähnliche kurzzeitige Regenraten von 11,3 mm in 10 Minuten sowie 18,6 mm innerhalb von 20 Minuten. Hier brachte das Gewitter 25,4 mm Regen innerhalb von einer Stunde. In Schwechat waren beispielsweise die 10-minütigen Regenraten mit ca. 5 mm deutlich geringer. Vergleicht man diese Niederschlagsraten mit konvektiven Ereignissen aus der näheren Vergangenheit, so kann man in Wien bei Regenraten ab etwa 10 bis 15 mm innerhalb von 10 Minuten bei einer Dauer von zumindest 20 Minuten mit markanten Auswirkungen rechnen. In solchen Starkregenfällen kann die Kanalisation die Wassermengen nicht mehr aufnehmen und rasch werden Verkehrswege überflutet. Der Boden hat mit solchen Wassermengen ebenso Probleme, so kann es zu Wassereintritt in Gebäude kommen oder Pegel kleinerer Bäche (wie beispielsweise der Liesingbach oder der Halterbach) können sehr rasch ansteigen.

In den letzten Jahren sind aber auch schon höhere kurzzeitige Regenraten in Wien gemessen worden, wie zum Beispiel am 23. Juli 2009, als in Teilen von Wien etwa 25 mm Regen innerhalb von nur 10 Minuten gefallen sind und während des gesamten Gewitters (innerhalb von 30 Minuten) 30 bis 50 mm. Die Abbildung 6 zeigt Schäden, die das Gewitter am 10. Juli 2017 in Wien und Umgebung hinterlassen hatte. Einerseits gab es durch den Hagel massive Schäden an Glashäusern, Autos und landwirtschaftlichen Kulturen, andererseits führte der Starkregen zu kleinräumigen Überschwemmungen und überfluteten Unterführungen.



Abbildung 6: Hagelschäden in Mannswörth (Quelle: www.hagel.at) und Überflutung der Schnellbahnunterführung in Wien-Atzgersdorf am 10. Juli 2017 (Quelle: www.meinbezirk.at)

Abschließende Bemerkungen

Die Abschätzung eines erhöhten Gewitterpotentials ist zwar schon oft mehrere Tage im Voraus möglich. Allerdings sind die exakte Zugbahn und das genaue Timing der Gewitterzellen in vielen Fällen nur sehr kurzfristig prognostizierbar und zwar häufig nur wenige Minuten bis maximal wenige Stunden vor dem Eintritt dieses markanten Wetterphänomens. Darüber hinaus gibt es zum Teil noch Unsicherheiten, um welchen Gewittertypus es sich handeln wird, sprich welche schadensrelevanten Auswirkungen die Markanten sein werden. Um die Auswirkungen besser prognostisch abschätzen zu können, sind die Miteinbeziehung aller verfügbaren Datenquellen, wie auch die Messungen und Aufzeichnungen des Hydrographischen Dienstes, unverzichtbar und enorm wichtig.

Mag. Christian Csekits
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Hohe Warte 38
1190 Wien
E-Mail: christian.csekits@zamg.ac.at

Ing. Karl Konrath
Magistrat der Stadt Wien Ma45 – Gewässerschutz, Team Hydrographie
Am Kaisermühlendamm 132
1220 Wien
E-Mail: karl.konrath@wien.gv.at



140	E
130	E
120	E
110	E
100	E
90	E
80	E
70	E
60	E
50	E
40	E
30	E
20	E

Hydrographisches Monitoring am Neusiedler See als Grundlage angewandter Wasserwirtschaft

Karl Maracek, Christian Sailer

125 Jahre Hydrographie in Österreich geben Anlass, diesen Zeitraum zu beleuchten und davon ausgehend einen Blick in die Zukunft zu wagen. Die Bundesländer Österreichs weisen unterschiedlichste hydrographische Charakteristika auf, die Anforderungen an die Hydrographie könnten somit vielfältiger nicht sein. Herrschen im alpinen Bereich Schnee, (schwindende) Gletscher und satte Wasserbilanzen vor, so ändert sich das Bild Richtung Osten grundlegend.

Das Burgenland im Übergangsbereich der Ausläufer der Alpen hin zur Ungarischen Tiefebene ist zumindest im Norden und im Mittleren Burgenland durch pannonisches Klima geprägt. Hier beschreibt die Wasserbilanz in der Abfolge der Jahre wie auch im Jahresverlauf eine Gratwanderung zwischen Plus und Minus. Das Ausschlagen in eine Richtung kann zu entsprechenden Extrema in der jeweiligen Kategorie (Trockenheit oder Überflutungen) führen. Hier ist die Wasserwirtschaft gefordert und diese benötigt für ihre Planungen unter diesen besonders sensiblen Verhältnissen fundiertes Datenmaterial.

Der Neusiedler See nimmt im Burgenland u.a. hinsichtlich seiner wasserwirtschaftlichen Bedeutung eindeutig eine herausragende Position ein. Es ist daher nicht verwunderlich, dass der Neusiedler See einen Schwerpunkt der Arbeiten der Hydrographie im Burgenland (Hydro Burgenland) ausmacht. Die nachstehenden Ausführungen sollen dabei vor Augen führen, welche große Bedeutung eine umfassende hydrographische Datenbasis innehat, wie eng die Entwicklung der Messnetze mit planerischen Herausforderungen im Wandel der Zeit einhergeht und welche hohen Anforderungen Planungen an die Datenbasis stellen.

Der Neusiedler See

Der Neusiedler See ist mit höchster Wahrscheinlichkeit in der letzten Interglazialzeit des Pleistozäns im Zuge einer tektonischen Absenkung entstanden und wurde so mit dem Hanság zu einem abflusslosen Gebiet (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Neusiedler See und Hanság 1783 (Quelle: Wikipedia)

Das gesamte Seebecken des Neusiedler Sees weist eine Fläche von 320 km² auf, davon befinden sich 240 km² auf österreichischem Staatsgebiet im Burgenland, der Rest in Ungarn.

Der Schilfgürtel bedeckt etwa 181 km², wobei ca. 117 km² auf österreichischem und 64 km² auf ungarischem Staatsgebiet liegen. Aus einem Zahlenvergleich ist erkennbar, dass die offene Wasserfläche in Ungarn ziemlich gering ist.



Abbildung 2: Neusiedler See, Seebecken (Quelle: Archiv Nationalpark Neusiedler See)

Als wesentliche Zubringer zum Neusiedler See sind vor allem die Wulka, der Rákos-patak und auch der Golser Kanal zu nennen. Das gesamte Einzugsgebiet des Neusiedler Sees liegt bei 1.120 km², womit das Verhältnis der Seefläche inklusive Schilfgürtel zum verbleibenden Einzugsgebiet 1:2,5 beträgt.

Die Entwicklung der hydrographischen Messnetze

Bis 1918, also bis zum Ende des Ersten Weltkriegs, gehörte das Gebiet des heutigen Burgenlandes zum ungarischen Teil der österreichisch-ungarischen Monarchie. Schon in dieser Zeit bestanden nachweislich hydrographische Messeinrichtungen im heutigen Burgenland, vor allem Niederschlagsstationen und einige Lattenpegelanlagen an Flüssen. Messdaten zu diesen Stationen sind bis dato (noch) nicht verfügbar. Um die Jahreswende 1921/22 kam das Burgenland als „selbständiges, gleichberechtigtes Bundesland“ zur Republik Österreich.

Erste Niederschlagsdaten zu Stationen im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees wurden im Jahr 1923 für die Stationen Apetlon, Donnerskirchen und Eisenstadt im Hydrographischen Jahrbuch veröffentlicht. Die Errichtung der Pegelstationen am Neusiedler See geht auf die 1930er Jahre zurück. Im Hydrographischen Jahrbuch startete die Veröffentlichung von Wasserstandsdaten im Jahr 1930 für den Pegel Neusiedl, 1931 folgte Podersdorf und 1932 dann Rust.

Im Grundwasserkörper Seewinkel wurden erste Grundwassermessstationen in den frühen 1950er Jahren errichtet. Die Publikation erster Daten im Hydrographischen Jahrbuch startete im Jahr 1954.

Die Errichtung der Messnetze erfolgte entsprechend den wasserwirtschaftlichen Anforderungen im Burgenland und unter Bedachtnahme auf die generellen Zielsetzungen der Hydrographie, die zunächst im Organisationsstatut der Hydrographie und nunmehr in der geltenden Fassung im Wasserrechtsgesetz 1959 (kurz WRG 1959) formuliert sind und sich hauptsächlich an der Erfassung des Wasserkreislaufes orientieren (siehe WRG 1959, Siebenter Abschnitt, Erhebung des Zustandes von Gewässern – Wasserkreislauf und Wassergüte). Für den speziellen Fall des Einzugsgebietes des Neusiedler Sees orientierte sich der Ausbau der Messnetze wiederholt an den Anforderungen und offenen Fragen im Zusammenhang mit der Erarbeitung der Wasserbilanz des Neusiedler Sees und in späterer Folge mit der Regelung des Wasserstandes.

Aktuell werden im Sachgebiet „Oberirdisches Wasser und Feststoffe (OWF)“ Pegelstationen im Einzugsgebiet der Wulka und am Golser Kanal betrieben. Die Wulka und der Golser Kanal sind Zubringer zum Neusiedler See und die Daten werden für die Wasserbilanz des Sees benötigt. Es werden die Parameter Wasserstand, Abfluss und zum Teil auch die Wassertemperatur erfasst. Am Neusiedler See selbst bestehen acht Pegelanlagen. Hier werden jeweils der Wasserstand und die Wassertemperatur erfasst.

Im Sachgebiet „Niederschlag, Lufttemperatur und Verdunstung (NLV)“ werden an einer direkt im Neusiedler See gelegenen Messstation der Niederschlag und die Lufttemperatur erfasst (siehe Abbildung 3). Weitere Messstationen befinden sich im seenahen Bereich bzw. im Einzugsgebiet. Erwähnenswert ist noch eine Verdunstungsstation, die im Uferbereich des Sees bei der Biologischen Station Illmitz zur Erfassung der potentiellen Evaporation betrieben wird (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Messstation Apetlon A79 (links) und Biologische Station Illmitz (rechts) (Quelle: Hydro Burgenland)

Grundwasserstände und zum Teil auch die Grundwassertemperatur wie auch Daten zur Quelle Winden werden im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees in den Grundwasserkörpern Wulkatal, Leithagebirge, Seewinkel und Parndorfer Platte im Sachgebiet „Unterirdisches Wasser und Quellen (UWQ)“ erfasst.

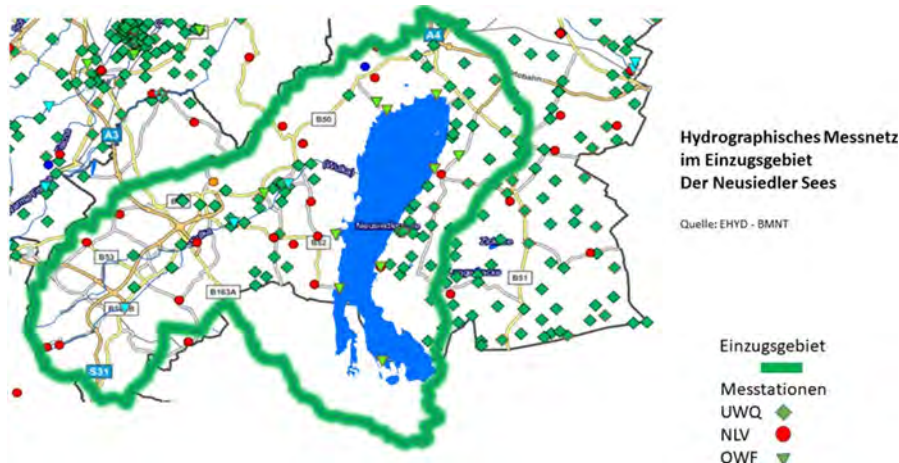


Abbildung 4: Hydrographische Messnetze im Einzugsgebiet Neusiedler See (Quelle: eHYD – BMNT)

Neue Medien

Die enorme technische Entwicklung im hydrometrischen Messwesen wie auch im IT-Bereich hat es speziell in den letzten 10 Jahren ermöglicht, hydrologische Daten aktuell und in ansprechender Form über neue Medien verfügbar zu machen.

Viele der Stationen aus den drei vorgenannten Sachgebieten werden bereits automatisiert erfasst und somit in nahezu Echtzeit aktuell im Wasserportal Burgenland (<https://wasser.bgld.gv.at>) veröffentlicht. Dabei werden aktuelle Daten zum Wasserkreislauf im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees und zur Wasserstandsregelung des Sees in transparenter und in einer für jedermann zugänglichen Form dargestellt.

Dies ist vor allem auch zur Umsetzung der aktuellen Betriebsbewilligung für die Wehranlagen Mekszikópuszta und Mosonszentjános, die noch später im Kapitel im Detail erläutert wird, erforderlich, da diese die Kenntnis des jeweils aktuellen Wasserstandes des Neusiedler Sees voraussetzt. Der aktuelle Wasserstand des Neusiedler Sees wird in einem ersten Schritt durch arithmetische Mittelung der zeitgleichen Wasserstände der sieben Pegelstationen – Neusiedl, Podersdorf, Illmitz, Apetlon A79, Mörbisch, Rust und Breitenbrunn – ermittelt. Dadurch werden windbedingte Wasserverfrachtungen eliminiert. Derartige Wasserverfrachtungen können Ausmaße von über einem Meter Differenz zwischen den Pegelanlagen am See mit sich bringen. Die Abbildung 5 zeigt die Standorte der zur Ermittlung des mittleren Wasserstandes

herangezogenen vorgenannten Pegelanlagen in einer Grafik aus dem Wasserportal Burgenland. Das in Seemitte im Norden dargestellte Symbol steht für das Ergebnis der Berechnungen – den mittleren Seewasserstand.

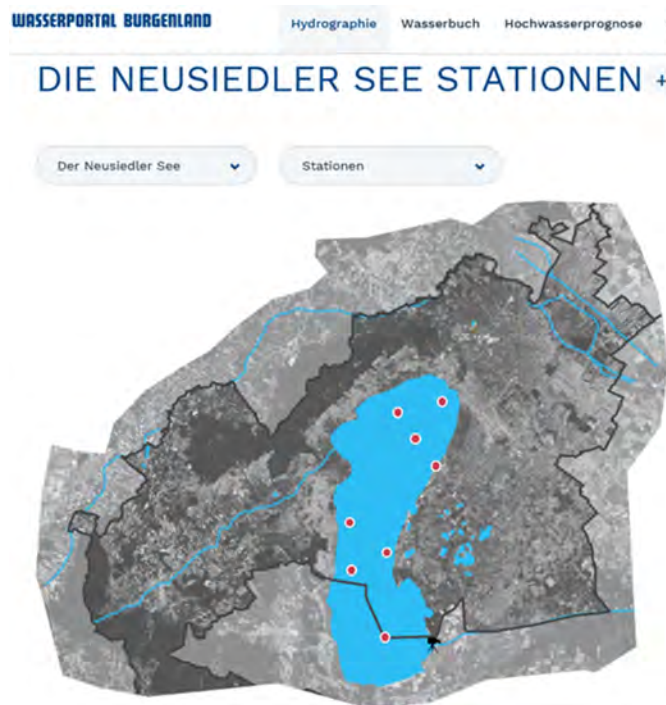


Abbildung 5: Die sieben Pegelmessstellen am Neusiedler See (Quelle: Wasserportal Burgenland)

Es ist ersichtlich, dass die einzelnen Pegelanlagen den jeweiligen zugehörigen Seebereich nicht „Seevolumens - aliquot“ repräsentieren. Bei Verlagerungen des Seewassers in den Süden des Sees werden die Pegelanstiege bei weniger Pegelanlagen wirksam als bei Verfrachtungen in den Norden. Daher wird der mittlere Seewasserstand in einem zweiten Schritt mit einem

Algorithmus geglättet. Dieser lässt maximale Wasserstandsanstiege von 50 mm/24 h bzw. Reduktionen des Wasserstands in der Höhe von 10 mm/24 h zu. Diese Werte orientieren sich an maximal möglichen täglichen Verdunstungswerten bzw. Tagesniederschlägen mit einer geringen Jährlichkeit.

Die Abbildung 6 zeigt die Abweichung des Pegelstandes zwischen dem Pegel Breitenbrunn (unterste Ganglinie) und dem Pegel Apetlon A79 (oberste Ganglinie) bei einem markanten Nordweststurm im März 2013. Die maximale Differenz lag damals laut den dargestellten Aufzeichnungen bei 1,11 m.

Das Ableitungssystem

Historisches

Ursprünglich bildete der Neusiedler See mit den umliegenden Sumpfgebieten ein abflussloses Feuchtgebiet (siehe Abbildung 1). Gegen Ende des 19. Jahrhunderts bestand das Ziel, den Neusiedler See zur weiteren landwirtschaftlichen Nutzung trocken zu legen. An der Raab und

der Rabnitz erfolgte die Errichtung von Dammbauwerken, um im Fall von Hochwasserereignissen ein Austreten der Wassermassen in den Hanság und den Bereich des Neusiedler Sees zu verhindern. Im Zeitraum 1892 bis 1910 entstand der Hanságkanal (Einserkanal) mit einer Wehranlage in Mekszikópuszta, dem heutigen Fertőújlak.

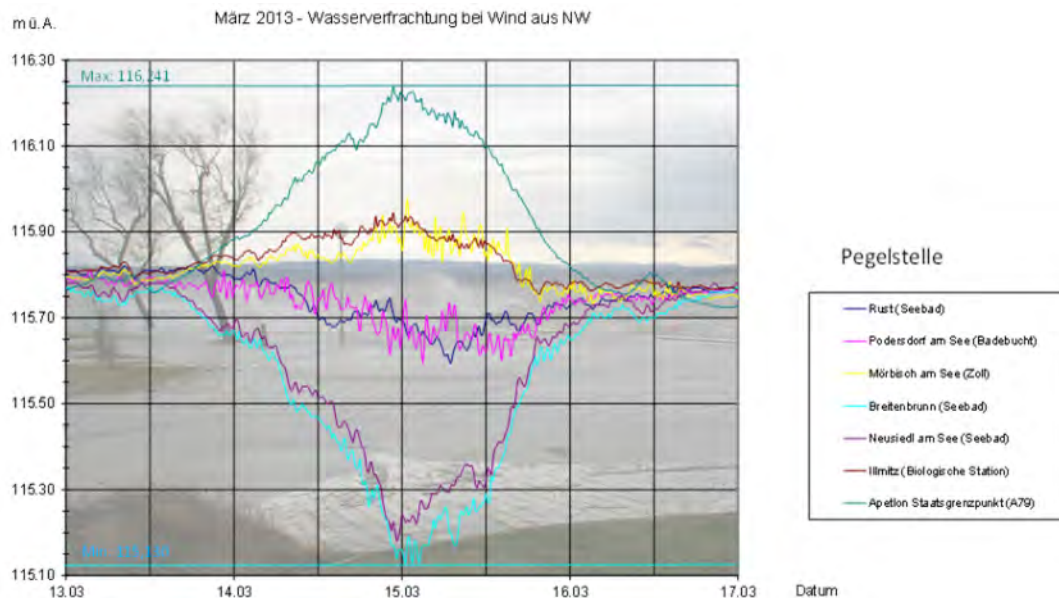


Abbildung 6: Wasserverfrachtung bei starkem Wind aus NW im März 2013 (Quelle: Hydro Burgenland)

Die Trockenlegung des Sees gelang aufgrund von weiteren Pegelhochständen nicht. Bodenuntersuchungen zeigten auch, dass der Seeboden für eine landwirtschaftliche Nutzung zu minderwertig ist. Mit der Zeit wurde zudem erkannt, dass die große Wasserfläche für das Klima eine große Bedeutung hat.

Bis 1956 gab es kein rechtlich verbindliches zwischenstaatliches Übereinkommen bezüglich der Wehrbedienung. Dieser Umstand war schuld daran, dass bis nach dem Zweiten Weltkrieg wiederholt Niedrigwasserstände auftraten. Erst mit dem am 9. April 1956 in Wien unterzeichneten Vertrag zwischen der Republik Österreich und der Ungarischen Volksrepublik über die Regelung der wasserwirtschaftlichen Fragen im Grenzgebiet änderte sich dieser Zustand. Dieser Vertrag ist am 31. Juli 1959 in Kraft getreten.

Die in der Abbildung 7 dargestellte Ganglinie lässt erkennen, dass ab 1965, mit der Umsetzung und dem Wirken einer ersten Wehrbedienungs Vorschrift für die Wehranlage Mekszikópuszta, höhere Wasserstände verzeichnet werden konnten. Zudem haben die hohen Niederschlagssummen im Jahr 1965 zur Anhebung des Wasserspiegels geführt. Durch die Regelung des Wasserstands werden geringere Wasserstandsschwankungen bei höheren durchschnittlichen Wasserständen bewirkt. Der durchschnittliche Wasserstand liegt seit 1965 bei 115,50 m ü. A. Davor lag dieser bei etwa 114,98 m ü. A., also rund 0,5 m tiefer.

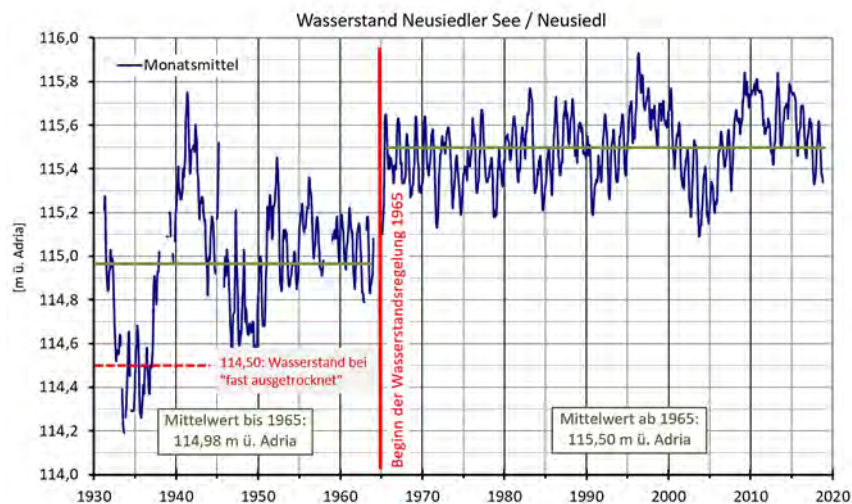


Abbildung 7: Ganglinie des mittleren Wasserstands im Neusiedler See (Quelle: Hydro Burgenland)

In den beginnenden 1990er Jahren wurde mit den Rekonstruktionsarbeiten am Ikva-Hanság-kanal-Rábca-System durch Entfernen der Sedimentablagerungen bis zur Mündung der Rábca in Győr begonnen. Dadurch sollte die Wiederherstellung der ursprünglichen Abflusskapazität des Neusiedler Sees erreicht werden.

1992 wurde das bestehende Nadelwehr in Mekszikópuszta modernisiert (siehe Abbildung 8). Das Nadelwehr wurde durch eine Wehranlage mit zwei Wehrfeldern und hydraulisch gesteuerten Stauklappen aus Stahl ersetzt.



Abbildung 8: Wehranlage in Mekszikópuszta (Quelle: Hydro Burgenland)

Begleitend wurde die Wehrbedienung neu verfasst. Diese ging 2001 in Betrieb und beruhte nunmehr auf jahreszeitlich abhängigen Regelungswasserständen. Ziel war es, den Anforderungen des Hochwasserschutzes, der Ökologie, des Fremdenverkehrs und anderer Interessen besser gerecht zu werden. Weiters sollte nach Fertigstellung der Rekonstruktionsarbeiten die Möglichkeit zur Erhöhung des Regulierungswasserstandes geprüft werden.

Aktuelle Situation – Wehrbetriebsordnung 2011

Die Wehrbetriebsordnung wurde mit Hilfe eines Wettergenerators optimiert. Dabei fanden Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees“ Berücksichtigung. Auf Grundlage einer simulierten Reihe mit einer Dauer von 500 Jahren wurden mehrere Varianten für eine Wehrbetriebsordnung hinsichtlich ihrer Auswirkungen geprüft und die optimale Variante ausgewählt.

Mit Bescheid vom 28. Juli 2011, Zl.: 854-9/2011 wurde für die Wehranlagen Mekszikópuszta und Mosonszentjános die wasserrechtliche Betriebsbewilligung erteilt.

Die Wasserstandsregelung für den Neusiedler See zielt primär darauf ab, hohe Wasserstandsverhältnisse im See zu gewährleisten. Es wurden jedenfalls Regelungswasserstände festgelegt, bei deren Überschreitung Wasser aus dem See über den Hanságkanal abgeleitet werden muss. Gegenüber der ursprünglich eher starren Regelung verfügt das derzeit bestehende System über eine gewisse Flexibilität. Bei der Regelung des Wasserstandes werden die unterschiedlichen Nutzungsinteressen beider Staaten, welche an das System Ikva-Hanságkanal-Rábca angrenzen, berücksichtigt (Abbildung 9).

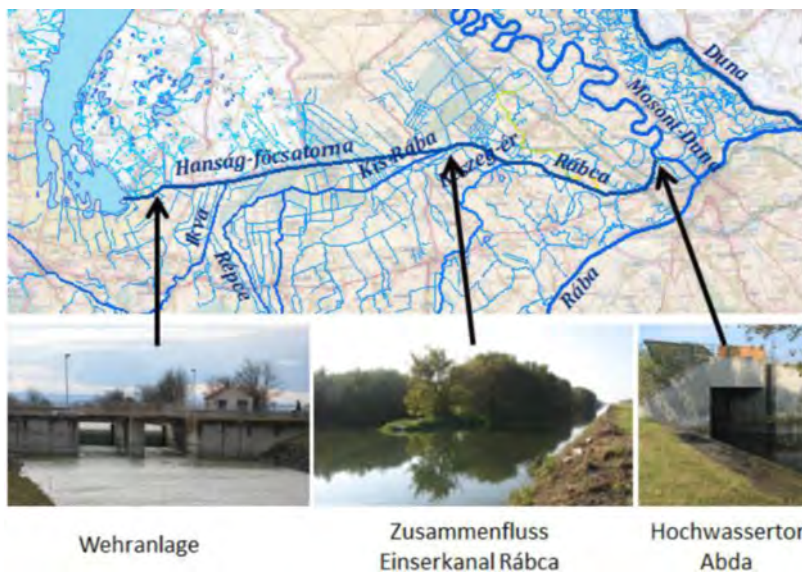


Abbildung 9:
Ableitungssystem von der Wehranlage Mekszikópuszta bis zu Mosoni Duna (Quelle: Wasserportal Burgenland)

In der Winterperiode (Oktober bis Februar) wird die Entlastung des Neusiedler Sees durch die Festlegung eines niedrigen Regelungswasserstandes (Vorabsenkung) und in der Sommerperiode (März bis September) die Regelung der Binnenwasserverhältnisse durch die Festlegung eines höheren Wasserstandes – mit einer flexiblen Übergangsphase – durchgeführt.

Die Ermittlung des für die Regelung maßgebenden Wasserstandes erfolgt bei zu erwartender Überschreitung der Regelungswasserstände durch die Hydro Burgenland. Die maximal über

die Wehranlage Mekszikópuszta geführte zulässige Entlastungsmenge beträgt in der Winterperiode 15 m³/s, in der Sommerperiode 6 m³/s. Diese Entlastungsraten entsprechen einem täglichen Ablaufvolumen von 1,30 Mio. m³ in der Winterperiode bzw. 0,5 Mio. m³ in der Sommerperiode. Bezogen auf die Gesamtfläche (Schilfgürtel und freie Wasserfläche) von 320 km² bedeutet das eine maximale tägliche Absenkung von 4,1 mm in der Winter- und 1,6 mm in der Sommerperiode.

Ein Öffnen der Wehrfelder ist nur zur Entlastung des Neusiedler Sees entsprechend der zeit- und wasserstandsabhängigen Festlegungen zulässig. In der übrigen Zeit sind die Wehrfelder bis auf einige Ausnahmeregelungen generell geschlossen zu halten. Für die Ermittlung der maßgebenden Wasserstände werden die Daten der Pegelmessstellen Mörbisch, Rust, Breitenbrunn, Neusiedl, Podersdorf, Illmitz und Apetlon A 79 herangezogen. Die Festlegung des für die Regelung maßgebenden Wasserstandes erfolgt einerseits kontinuierlich in automatisierter Form und wird im Wasserportal veröffentlicht. Zudem führt der Hydrographische Dienst des Amtes der Burgenländischen Landesregierung einmal pro Woche manuelle Auswertungen zur Bestätigung der kontinuierlichen Aufzeichnungen durch.

Während der Entlastung des Neusiedler Sees wird ein hydrologisches Beweissicherungsprogramm durchgeführt. Es werden dabei in Österreich und in Ungarn Messstellen an Oberflächengewässern, in Ungarn zusätzlich Messstellen bei Binnenwasserpumpwerken und in Österreich auch Grundwassermessstellen in das Messprogramm einbezogen. Umfassende Details zum Thema Wehrbedienung werden im [Wasserportal Burgenland](#) dargestellt.



Abbildung 10: Link – Das Wehr in Mexikopuszta (Quelle: Wasserportal Burgenland)

Wasserbilanz

Allgemeines

Im Laufe seines Bestehens ist der Neusiedler See mehrmals ausgetrocknet, zuletzt im 19. Jahrhundert. Der Wasserhaushalt des Sees wird vor allem durch zwei meteorologische Faktoren beeinflusst, den Niederschlag und die Verdunstung. Betrachtet man nun die unterschiedlichen Szenarien möglicher Klimaänderungen, so wird deutlich, dass die Wasserbilanz

des Sees und natürlich in Korrelation dazu auch der Wasserstand ebenfalls dieser möglichen Klimaänderung folgen werden.

Diesbezüglich wurde im Jahr 2005 erstmals ein Forschungsprojekt im Auftrag des Amtes der Burgenländischen Landesregierung durchgeführt, das die „Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees“ behandelte. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass grundsätzlich eine große Sensitivität der Wasserbilanz des Neusiedler Sees zum Jahresniederschlag besteht. Schon eine geringe Abnahme des mittleren Niederschlages in der Region von etwa 5 % hat eine signifikante Häufung von Niedrigwasserständen im See zur Folge (Eitzinger et al., 2005).

Wasserbilanz – zu betrachtende Komponenten

Eine der Aufgaben im Rahmen der Österreichisch-Ungarischen-Gewässerkommission bildet die jährliche Erstellung der Wasserbilanz des Neusiedler Sees durch die Hydrographischen Dienste im Burgenland und des Komitats Győr.

Die wesentliche positive Komponente in der Wasserbilanz des Neusiedler Sees stellt der Niederschlag mit einem Anteil von 76 % (bzw. 579 mm/a) dar. Die oberirdischen Zuflüsse machen dagegen nur einen Anteil von 22 % (oder 165 mm/a) aus. Dies ist damit zu erklären, dass das Verhältnis Seefläche zum verbleibenden Einzugsgebiet einerseits nur 1:2,5 beträgt und der Jahresabflussbeiwert aus dem Einzugsgebiet nur geringfügig über 10 % liegt. Unterirdische Zuflüsse komplettieren die positiven Komponenten mit 2 %. Der größte Zubringer von oberirdischen Wässern ist die Wulka. Die Wulka entspringt im Bereich des Rosaliengebirges und mündet nach einer Flussstrecke von etwa 38 km bei Donnerskirchen im Schilfbereich in den Neusiedler See ein. Die Mittelwasserführung der Wulka beträgt im Mündungsbereich rund 1.185 l/s. Dies bewirkt eine jährliche Einleitung von 37,4 Mio. m³ in das Seebecken.

Entlang der Wulka und dem Eisbach befinden sich drei große Abwasserreinigungsanlagen, die durch die Ableitung der gereinigten Abwässer in diese Vorfluter nicht unerheblich zur Wasserführung in der Wulka und in weiterer Folge zur positiven Wasserbilanz im See beitragen, zumal die Trinkwasserversorgung dieser Region auf Brunnenanlagen im Bereich der Mitterndorfer Senke basieren. Die drei Kläranlagen – Eisenstadt Eisbachtal, Neusiedler See Westufer und Wulkatal – haben insgesamt eine Reinigungsleistung von 212.000 EW. Interne Berechnungen haben gezeigt, dass ein beachtlicher Anteil der vorher genannten Mittelwassermenge – konkret 39 % – aus dem Bereich der Kläranlagen kommt.

Auf der negativen Bilanzseite dominiert die Verdunstung mit 89 % (bzw. 667 mm/a). Die Seeentlastungen im Wege der Wehranlage in Mekszikópuszta macht dem gegenüber lediglich

11 % (bzw. 84 mm/a) aus. Die vorgenannten Bilanzgrößen basieren auf Auswertungen des Zeitraumes 1965-2018. Abflüsse in das Grundwasser sind sehr gering und in der Bilanz vernachlässigbar (siehe Abbildung 11).

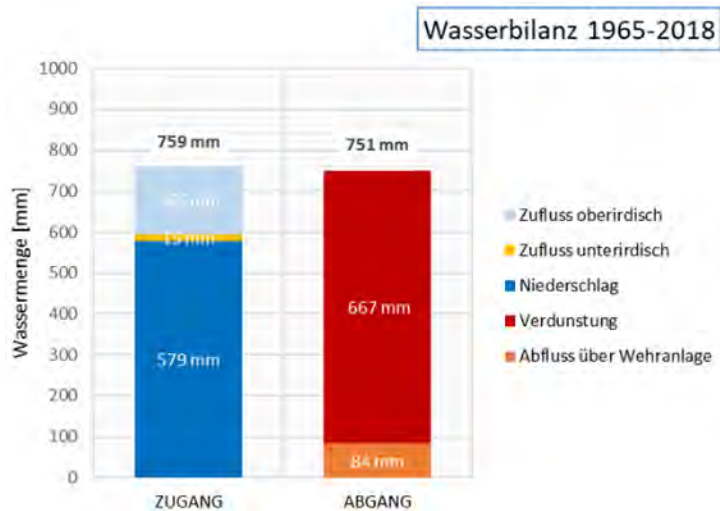


Abbildung 11:
Wasserbilanz des Neusiedler Sees 1965
bis 2018 (Quelle: Kubu, 2019)

Um zu veranschaulichen, wie stark die Jahresbilanzen voneinander abweichen können, wurden die Jahre 1996 und 2003 der mittleren Jahresbilanz für den Zeitraum 1965 bis 2018 gegenübergestellt. Schon aus der Darstellung der Wasserstandganglinien in der Abbildung 12 für die beiden Extremjahre 1996 und 2003 wird deutlich, dass die einzelnen Bilanzkomponenten große Unterschiede aufweisen müssen.

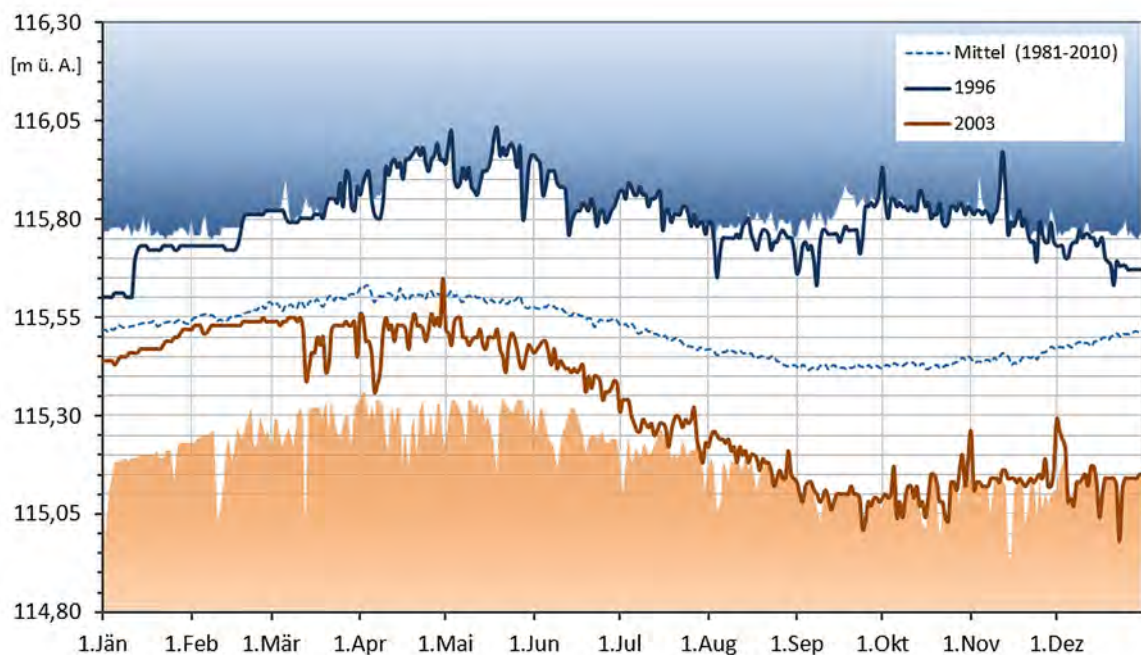


Abbildung 12: Wasserstand im Neusiedler See, Mittel 1965 bis 2012, Ganglinien 1996 und 2003
(Quelle: Godina, BMNT)

1996 war ein Jahr mit extrem hohen Seewasserständen, 2003 eines mit extremen Tiefständen. Die Bilanzen zu diesen beiden Jahren werden zu Vergleichszwecken abgebildet. Es ist zu erkennen, dass im Jahr 1996 die Niederschläge gegenüber der Verdunstung überdurchschnittlich auftraten und zudem massiv über das Ableitungssystem entlastet werden musste, um den Wasserstand im Neusiedler See nicht weiter ansteigen zu lassen.

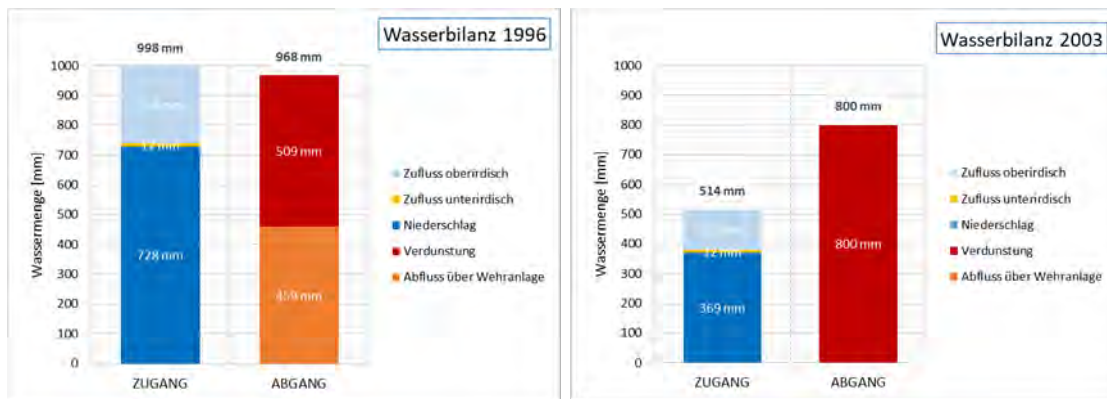


Abbildung 13: Wasserbilanz der signifikanten Jahre 1996 und 2003 (Quelle: Kubu, 2014)

Im Jahr 2003 waren die Verhältnisse genau gegenläufig. Bei geringen Niederschlägen dominierte hier die Verdunstung aufgrund der hohen Lufttemperaturen massiv.

Die Verdunstung bildet das Restglied der Bilanz. Bei Gegenüberstellung der Bilanzgröße Verdunstung mit den Messergebnissen an der Biologischen Station in Illmitz zeigt sich eine gute Übereinstimmung und somit eine Bestätigung der Bilanz bzw. der Annahmen, auf denen die Bilanz beruht (unbeobachtete Größen).

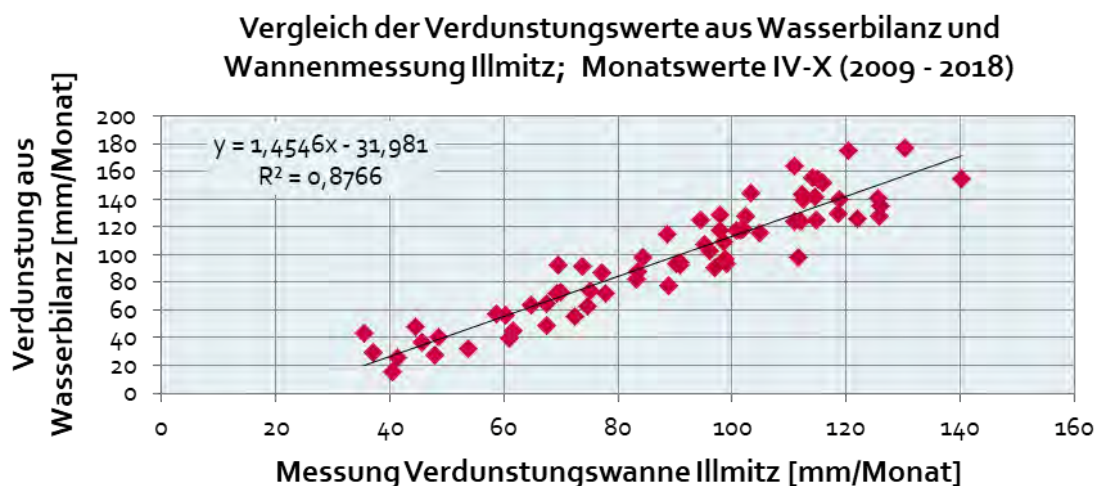


Abbildung 14: Vergleich der Verdunstungswerte aus Wasserbilanz und Wannenmessung Illmitz (Quelle: Kubu, 2019)

Ausblick

Die nachstehende Grafik (Abbildung 15) stellt die Entwicklung der Wassertemperatur des Neusiedler Sees an Hand der Station Neusiedl für den Zeitraum 1976-2018 auf Grundlage von Jahresmittelwerten dar. In dieser Grafik wurden Entwicklungen in der Messtechnik berücksichtigt. Von 1976-2000 erfolgten die Wassertemperaturmessungen noch mit dem Schöpfthermometer um 8 Uhr MEZ, ab 2000 zusätzlich mit einem Temperaturgeber bzw. einem Datensammler zur Abspeicherung der Daten im ¼-Stunden Intervall.

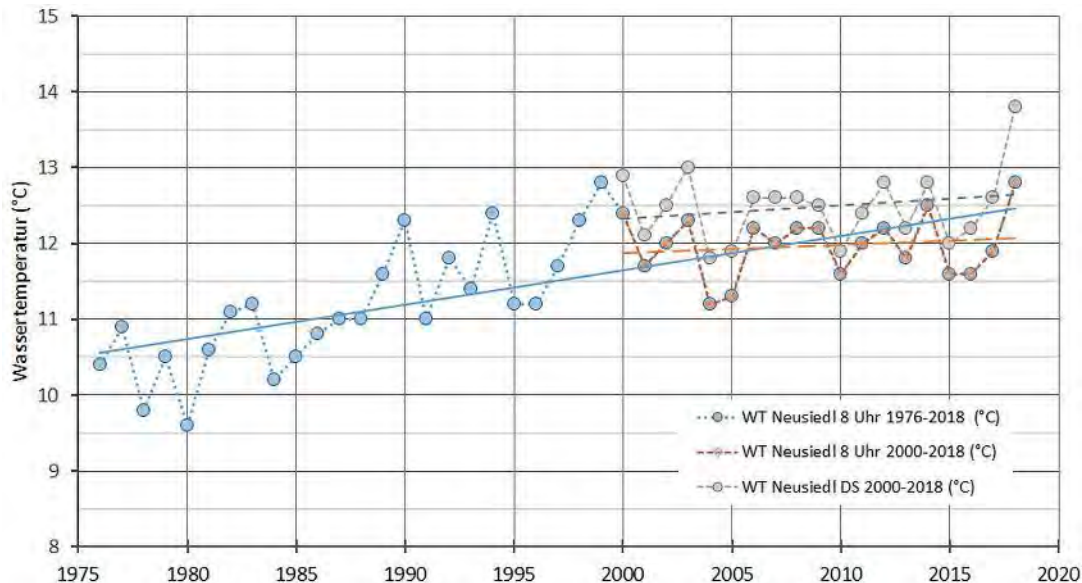


Abbildung 15: Entwicklung der Wassertemperatur des Neusiedler Sees von 1976-2018 (Quelle: Hydro Burgenland)

Für die Reihen 8 Uhr 1976-2018 (blau), 8 Uhr 2000-2018 (orange) und Datensammler 2000-2018 (grau) wurden die Trends berechnet. Den Trendberechnungen zur Folge kam es für den Zeitraum 1976-2018 zu einem Temperaturanstieg um 1,9 Grad (1976: 10,5 °C, 2018: 12,4 °C). Die Datensammlerwerte im Zeitraum von 2000-2018 liegen im Durchschnitt um 0,5 °C (Min 0,3°C, Max 1,0 °C) höher als die Terminwerte um 8 Uhr. Dies erscheint logisch, da die 8 Uhr-Werte die Tageserwärmungen nicht in derselben Form erfassen wie die Datensammleraufzeichnungen. Die Trends der beiden Reihen (orange, grau) verlaufen weitestgehend parallel. Somit wird ersichtlich, dass die Trendauswertung der 8 Uhr-Reihe 2000-2018 im Ausmaß des Anstieges vergleichbare Ergebnisse zu den Auswertungen des hoch auflösenden Datenbestandes aus dem Datensammler für denselben Zeitraum ergibt. Dieses Faktum bestätigt somit die Aussagekraft der Trendauswertung zur Reihe 8 Uhr 1976-2018 (blau).

Sicherlich stellt die Wassertemperatur lediglich einen Parameter innerhalb des komplexen ökologischen Systems Neusiedler See dar, in Anbetracht der laufenden Entwicklungen allerdings einen bedeutenden.

Zahlreiche Fragen leiten sich von dieser Entwicklung ab. Wird der See in Zukunft öfter austrocknen? Wie reagieren Flora und Fauna auf diese Veränderungen? Wie wird sich der See weiterentwickeln? Wird sich das Schilf ausbreiten, wird der See verlanden? Antworten und Strategien sind interdisziplinär zu suchen, zu diskutieren und zu finden. Bestehende Lösungen sind zu hinterfragen, zu optimieren und anzupassen und bedürfen fundierter Datengrundlagen.

In Anbetracht der ökologischen wie auch ökonomischen Bedeutung des Neusiedler Sees für die Region leitet sich der eindeutige Bedarf für ein effizientes und modernes hydrographisches Monitoring und einen interdisziplinär vernetzten Austausch der Messergebnisse und Schlussfolgerungen ab.

Die Zukunft der Hydrographie hat bereits begonnen!

Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Hydrologischer Atlas Österreich HAÖ [Bericht] - 1040 Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, 2005.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus eHYD [Online] / Hrsg. BMNT - <https://ehyd.gv.at/>.

Amt der Burgenländischen Landesregierung WASSERPORTAL / Hrsg. Abt. 5 – Baudirektion – <https://wasser.bgld.gv.at>.

Donabaum, K. und Wolfram, G.: Ökologische Machbarkeitsstudie "Dotation Neusiedler See" [Bericht] - Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2004.

Eitzinger, J. [et al.]: Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees [Bericht] - [s.l.]: Amt der Burgenländischen Landesregierung, Abteilung 9, 2005.

Plattner, J.: Ökodynamische Rehabilitation des Neusiedler Sees, Restrisikountersuchung bei hohen Seewasserständen [Bericht] - Wien: [s.n.], Juli 2006.

Wiesbauer, H. und Rojacz, H.: Zusammenfassung der Gutachten zur Dotation des Neusiedler Sees [Bericht] / Wasserwirtschaft - Eisenstadt: Amt der Burgenländischen Landesregierung, 2011.

Wolfram, G., Déri L. und Zech S. [Red]: Strategiestudie Neusiedler See - Phase 1. [Bericht]: Studie / Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission - Wien-Szombathely: AT-HU-Gewässerkommission, 2014.

Kubu, G. (2014, 2019) Wasserbilanz Neusiedler See [Bericht]: interne Jahresauswertungen/
Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission - Wien.

Dipl.Ing. Karl Maracek
Amt der Burgenländischen Landesregierung
Referat Hydrographie
Europaplatz 1,
7000 Eisenstadt
E-Mail: karl.maracek@bgld.gv.at

Dipl.Ing. Christian Sailer
Amt der Burgenländischen Landesregierung
Hauptreferat Wasserwirtschaft
Europaplatz 1
7000 Eisenstadt



HÖCHSTE HOHWASSER

7. JULI 1817

15. JULI 1566

3. SEPTEMBER 1890

11. JUNI 1999

2. JULI 1910

27. JUNI 1926

29. JUNI 1965

Messung des Wasserstandes und der Wassertemperatur am Bodensee

Clemens Mathis

Am Bodensee wird die kontinuierliche Aufzeichnung der Pegelablesungen in allen Anliegerstaaten seit dem 19. Jahrhundert durchgeführt. Die Differenz zwischen dem niedrigsten und höchsten Wasserstand beträgt in einem durchschnittlichen Jahr 150 cm. Auch die Messung der Wassertemperatur erfolgt seit mehr als 100 Jahren.

Bodensee, Gewässer ohne Grenzen

Die Bodenseeregion ist schon seit mehr als 5 000 Jahren besiedelt. Die Römer brachten staatliche Strukturen und machten den Bodensee zu einem Binnensee des Römischen Reichs. Im Westfälischen Frieden wurde die Unabhängigkeit der Schweizerischen Eidgenossenschaften vom Heiligen Römischen Reich Deutscher Nation anerkannt, womit der See zwei Anliegerstaaten hatte. Am Ende des Heiligen Römischen Reich im Jahre 1806 gab es fünf Bodenseeanliegerstaaten: die Schweiz, Österreich und die damals selbstständigen Staaten, Württemberg, Baden und Bayern.

Der Bodensee besteht aus dem größeren Obersee (473 km²) und dem Untersee (63 km²), welche durch den Seerhein verbunden sind. Am Untersee sind die Anrainerstaaten im Norden Deutschland und im Süden die Schweiz. Am Obersee tritt an der Ostseite, der Bregenzer Bucht, als dritter im Bunde Österreich dazu. Die politischen Grenzen im Obersee des Bodensees sind nicht festgelegt. Dennoch funktioniert die Zusammenarbeit zwischen den drei Anrainerstaaten sehr gut.

Die Zusammenarbeit erfolgt auf verschiedenen Gebieten in Kommissionen und Arbeitsgruppen und ist teilweise mit Staatsverträgen oder internationale Vereinbarungen geregelt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien genannt:

- Internationale Bevollmächtigtenkonferenz für die Bodenseefischerei (IBKF) seit 1893
- Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) seit 1959
- Internationale Bodenseekonferenz (IBK)
- Hochwasservorhersage



Bodensee (mit Anrainerstaaten und Bodenseezuflüsse) Karte IGKB aus <https://www.igkb.org/der-bodensee/see-daten/>

Einige Kommissionen wurden nach der Erfüllung ihrer Mission aufgelassen, wie zum Beispiel die im 19. Jahrhundert gegründete internationale „Vollzugskommission für die Herstellung einer Bodenseekarte“. Außerdem gibt es gemeinsame Aktionen auf dem Gebiet des Tourismus, der Sportbootsbesitzer und der Fischerei. Auch politische Parteienfamilien haben ihre Bodenseetagungen. Immer wieder gibt es auch neue Initiativen zu verschiedenen Themen wie zum Beispiel einer Bodenseebahn.

Der Bodensee wird vielfach genutzt. Rund fünf Millionen Menschen beziehen ihr Trinkwasser aus dem Bodensee. Für die Anwohner wie auch für Touristen ist er ein Erholungsgebiet.

Einzugsgebiet des Bodensees

Der gesamte Bodensee hat ein Einzugsgebiet von 11500 km², davon beträgt der Anteil des Obersees 10.907 km², welches zum größten Teil einen alpinen Charakter hat. Der mit Abstand größte Zufluss ist der Alpenrhein mit einem Flächenanteil von 51,5 % und einem Abflussanteil von über 61 % (LUBW, 2011). Der mittlere Wasserstand des Obersees ist auf einer Höhe von ca. 395,5 m ü. A. Die höchsten Erhebungen im Einzugsgebiet reichen bis über 3.400 Meter über Adria.

Wasserstand

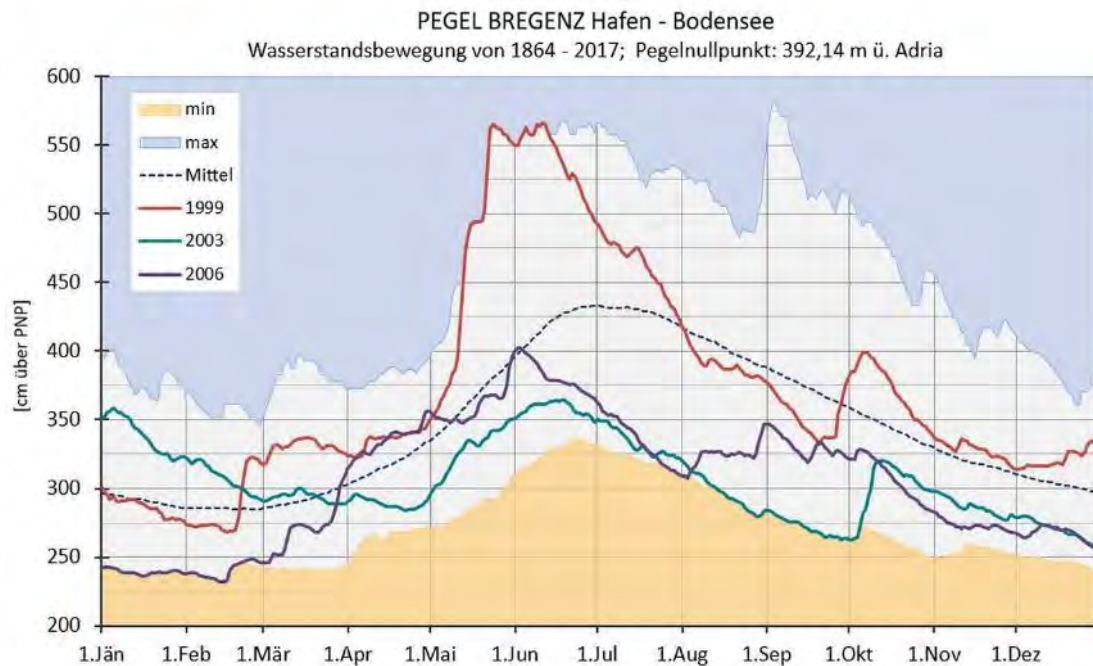
Der Wasserstand des Bodensees hat einen jahreszeitlich geprägten Verlauf. Im Winter, wenn die Niederschläge als Schnee nicht sofort abflusswirksam sind, ist der Wasserstand am niedrigsten. Durch die Schneeschmelze im Frühjahr steigt der Wasserspiegel an und erreicht in der Regel im Juni oder Juli seinen jährlichen Höchststand. Im Herbst, wenn die Niederschläge geringer sind als in den Sommermonaten und zum Teil in den Gipfelregionen der Alpen als Schnee fallen, sinkt der Wasserspiegel. Die Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wasserstand in einem Jahr beträgt in der Regel etwa 150 cm. In einem Jahr mit einem extremen Hochwasser am See wie im Jahre 1999 kann diese Differenz auch fast 300 cm betragen. Der Unterschied zwischen den beim Pegel Bregenz bisher niedrigsten und höchsten gemessenen Wasserständen beträgt 352 cm. Der seit Messbeginn niedrigste Wasserstand wurde am 15. Februar 2006 mit 229 cm gemessen, der seit 1861 höchste Wert am 03. September 1890 mit 581 cm registriert.

Die Messung des Wasserstandes am Bodensee wurde schon vor der Errichtung des Hydrographischen Dienstes in Österreich durchgeführt. In Bregenz wird seit dem Sommer 1855 regelmäßig beobachtet. Schon ein Jahr später wurde in Fußsach mit täglichen Beobachtungen begonnen. Dieser Pegel musste mit dem 1. Jänner 1900 wegen der Verlegung der Rheinmündung nach Hard verlegt werden. Leider sind die Aufzeichnungen von Fußsach vom Messbeginn im Jahre 1856 bis einschließlich 1861 in Verlust geraten.

In anderen Anliegerstaaten wurde schon früher mit den Aufzeichnungen der Wasserstände am See begonnen. In Lindau besteht ein Pegel seit dem Jahre 1797, die Daten bis August 1821 sind unauffindbar, in Konstanz ab 1816, in Friedrichshafen seit 1837 (Daten vorhanden ab 1852) und in Rorschach seit 1866. Infolge von verschiedenen Umständen wie Umstellungen der Maßeinheiten im Laufe der Zeit oder Änderungen in den Organisationsstrukturen sind aber nicht mehr alle Daten rekonstruierbar oder vorhanden.

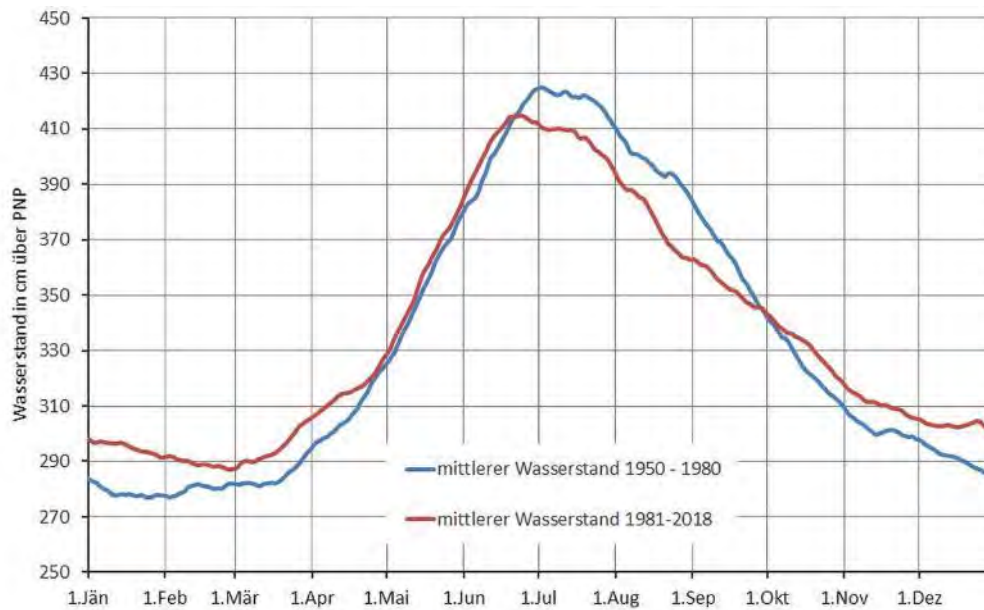
Der Hydrographische Dienst in Österreich hat in seinem im Jahre 1913 veröffentlichten XI. Heft „Der Wasserhaushalt des Bodensees“ (Hydrographisches Zentralbureau, 1913) die Seestandsaufzeichnungen von Bregenz geprüft und diese nicht nur mit den Aufzeichnungen von Fußsach bzw. Hard, sondern auch mit den Aufzeichnungen in Konstanz und Lindau einer Kritik unterzogen. Die Überprüfung ergab, dass die Beobachtungen in Bregenz anscheinend bis zum Mai 1861 unrichtig sind, weil sie meist mit den übereinstimmenden Aufzeichnungen von Konstanz und Lindau in Widerspruch stehen. Bei den späteren, als richtig eingestuftten Aufzeichnungen musste im Vergleich mit den anderen Pegelaufzeichnungen festgestellt werden, dass der Pegel in Bregenz ständig sinkt. Für die Korrektur der Setzung waren die Daten

der Pegel anderer Anrainerstaaten hilfreich. Zwar gab es auch bei den anderen Pegeln Setzungen, aber für den Pegel Konstanz hatte das Großherzogliche Badische Zentralbureau für Meteorologie und Hydrographie schon zuvor eine umfangreiche Untersuchung über das Verhalten des Konstanzer Pegels veranlasst, welche ein fortwährendes Sinken feststellte und die gemessenen Werte um die Senkung bereinigte



Tagesmittelwerte des Wasserstandes in trockenen Jahren (2003, 2006) und im feuchten Jahr 1999 und minimaler, maximaler und mittlerer Wasserstand der Zeitreihe 1864-2017 beim Pegel Bregenz

Heute ist eine regelmäßige Vermessung der Höhe des Pegelnullpunktes ein Teil der Qualitätssicherung. Bei Bedarf wird die Pegellatte neu eingerichtet und die davorliegenden Daten werden berichtigt. Obwohl für die Beobachtungen des Wasserstandes in Bregenz ab dem Jahre 1861 geprüfte Werte vorliegen, beginnen die langjährigen Vergleichszeitreihen der Maxima, Minima und Mittelwerte erst mit dem Jahr 1864. Dies ist auf das Heft XI der Beiträge zur Hydrographie von Österreich aus dem Jahre 1913 zurückzuführen, in welchem die Berechnung langjähriger Durchschnittswerte (Normalzahlen) für den Wasserstand des Bodensees mit dem Jahre 1864 begonnen wurde, weil davor andere Bedingungen am Ausfluss des Obersees in Konstanz bestanden. Bis zum Brand im Jahre 1856 verringerten Mühlen in Konstanz im Seerhein den Abflussquerschnitt. In den Jahren danach war der Abflussquerschnitt durch eine provisorische Brücke und ein Montierungsgerüst für die Herstellung der definitiven Brücke beeinflusst. Erst nach dem Abbau der Einbauten im Jahre 1863 sind somit homogene Zustände für den Wasserstand des Bodensees vorhanden.



Mittelwert des Wasserstandes in der Periode 1950-1980 im Vergleich mit dem Mittelwert von 1981-2018

Die heutigen Verhältnisse sind nicht mehr mit den Verhältnissen des Jahres 1864 vergleichbar. Durch den hauptsächlich in den Jahren von 1950 bis 1970 erfolgten Bau von Speichern für die Wasserkraftnutzung in den Alpen ist in Summe heute im Einzugsgebiet des Bodensees ein Speichervolumen von über 780 Mio. m³ vorhanden (LUBW, 2011). Die Jahresspeicher werden im Sommerhalbjahr gefüllt, um damit das geringere natürliche Wasserdargebot im Winter für die Stromproduktion zu erhöhen. Es erfolgt somit eine Verringerung der Zuflüsse in den Bodensee im Sommerhalbjahr und eine Erhöhung im Winterhalbjahr. Dies ist bei einem Vergleich des mittleren Wasserstandes des Bodensees der Zeitreihe 1950-1980 mit der Zeitreihe 1981-2018 gut ersichtlich.

Hochwasservorhersage am Bodensee

Beim Hochwasser 1999 wurde am Bodensee erstmals begonnen, eine Vorhersage des Wasserstandes durchzuführen. Nachdem für eine Hochwasservorhersage jeder Anliegerstaat auch Messdaten von anderen Anliegerstaaten benötigt, wurde nach dem Hochwasser 1999 eine Arbeitsgruppe für eine Wasserstandsvorhersage des Bodensees eingerichtet. Nach der Erstellung eines gemeinsamen Modells für den Bodensee wird jetzt eine Wasserstandsvorhersage für den Bodensee (<http://www.bodensee-hochwasser.info>) gemeinsam von der Schweiz, Baden-Württemberg und Vorarlberg betrieben.



Pegelkarte der Bodensee-Wasserstandsdaten der Länder Baden-Württemberg, Schweiz und Vorarlberg
www.bodensee-hochwasser.info

Die Regulierung des Bodensee

Der Bodensee erfüllt heute verschiedene Anforderungen wie z.B. als Trinkwasserspeicher und als Erholungsgebiet. Bei extremem Hochwasser gibt es Überflutungen in den Siedlungen am See. Schon in der Mitte des 18. Jahrhunderts wurden deshalb Überlegungen angestellt, durch eine Regulierung des Bodensees den Hochwasserschutz zu verbessern. Später wurden angesichts der Größe des Sees auch Ideen entwickelt, mit der Regulierung des Wasserstandes und der Wasserabgabe aus dem Bodensee günstigere Bedingungen für die Schifffahrt im Rhein unterhalb des Sees bei Niedrigwasser zu schaffen. Im Jahre 1879 hat Max Honsell über die verschiedenen Projekte und Beratungen darüber in der Veröffentlichung „Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände“ berichtet (Honsell, 1879). In der Folge gab es Verbesserungsvorschläge an bestehenden Projekten und neue Projekte. Es wurde aber keines umgesetzt. Einen guten Überblick über die Projektentwürfe und die bei der Umsetzung sich ergebenden Probleme gibt die von der Internationalen Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) veröffentlichte Literaturstudie zur Regulierung des Bodensees (KHR, 2018). Eine Realisierung einer Regulierung des Wasserstands des Bodensees ist nicht zuletzt wegen ökologischer Bedenken auch in Zukunft nicht zu erwarten.



Der hohe Wasserstand des Bodensees 1999 verursachte Überflutungen in Bregenz (Fotos: C. Mathis)

Wassertemperatur

Der Hydrographische Dienst in Österreich legte seit Anbeginn großen Wert auf genaue Daten. Schon im Jahre 1895 wurden „Vorschriften für Wasserstands-Beobachtungen nebst Anleitungen zur Beobachtung der Wassertemperatur“ (Hydrographisches Centralbureau, 1895) herausgegeben. In der Anleitung zur Beobachtung der Wassertemperatur wird die Messung der Wassertemperatur mit einem Schöpfthermometer genau beschrieben. Ebenfalls wird auch die jährliche Überprüfung der Thermometer vorgeschrieben.

Die Instruktionen enthalten keine genaue Festlegung über den Zeitpunkt der Temperaturmessungen. Die Messung der Wassertemperatur des Bodensees wird an der Messstelle Bregenz Hafen seit dem 1. August 1895 durchgeführt, das geschah aber lange Zeit nicht einheitlich. Vor dem Einsatz von kontinuierlich registrierenden Geräten wurde die Wassertemperatur einmal täglich abgelesen. Erfolgte die Messung zu Beginn noch am Morgen, in den Wintermonaten teilweise zu einer späteren Uhrzeit als in den Sommermonaten, so wurde im 20. Jahrhundert der Messtermin auf 12 Uhr verschoben, bevor eine kontinuierliche Messung und Aufzeichnung mittels Schreibstreifen im Jahre 1979 eingerichtet wurde und somit auch Tagesmittel berechnet werden können. Seit 1998 ist ein Datenlogger im Einsatz.

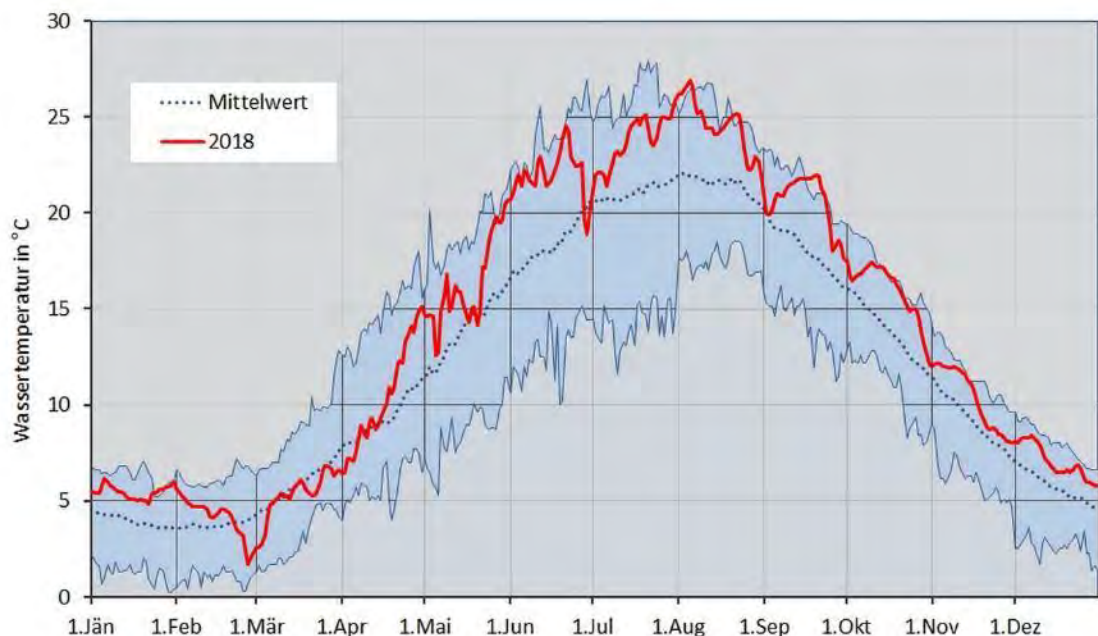


Auszug aus der Anleitung zur Beobachtung der Wassertemperatur aus dem Jahre 1895

Die Messung beim Hydrographischen Dienst erfolgt heute bei den Seen in einer Tiefe von 50 cm unter dem Wasserspiegel. Dafür benötigt es eine entsprechende Konstruktion der Messeinrichtung, welche sich den verändernden Wasserständen anpasst.

Die Minima und Maxima der Tagesmittelwerte der Wassertemperatur bewegen sich im Winter in einem Bereich von $\pm 2,5$ °C um den vieljährigen Mittelwert. Im Sommer ist die Varianz mit ± 5 °C größer. Am wärmsten ist der See an der Oberfläche im Juli und August mit Tagesmittelwerten über 25 °C. Im überdurch-

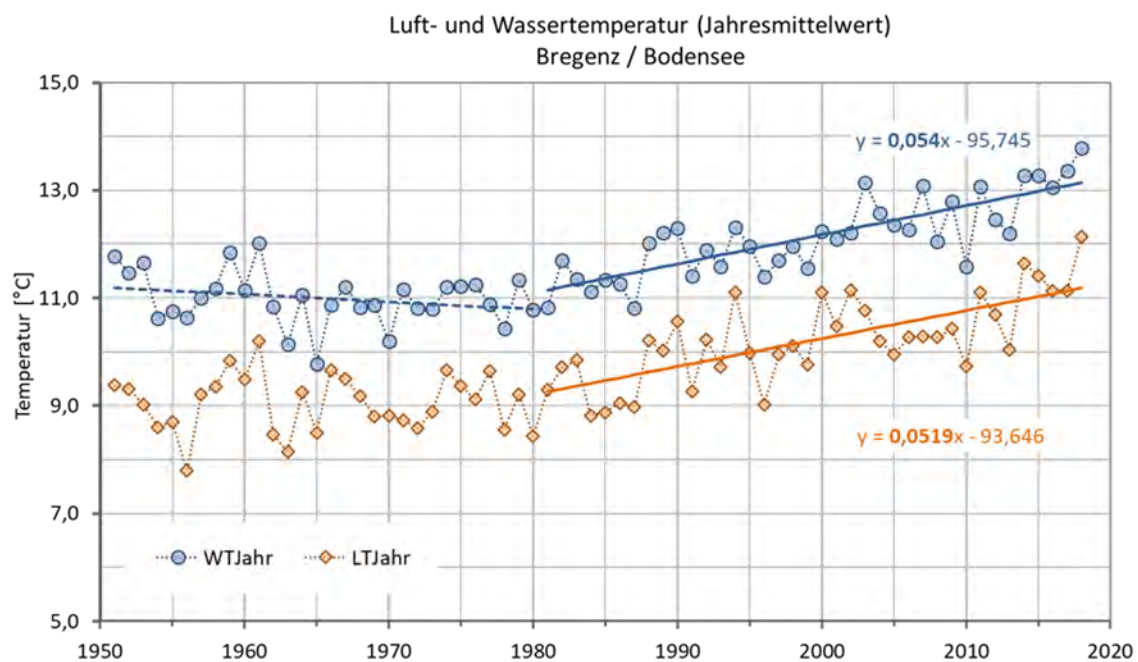
schnittlich warmen Jahr 2018 sank die Temperatur nur an wenigen Tagen im Februar unter den Tagesmittelwert. Von Mitte Mai bis Mitte September blieb die Wassertemperatur durchwegs deutlich über dem Temperaturmittel der Periode von 1979 bis 2015.



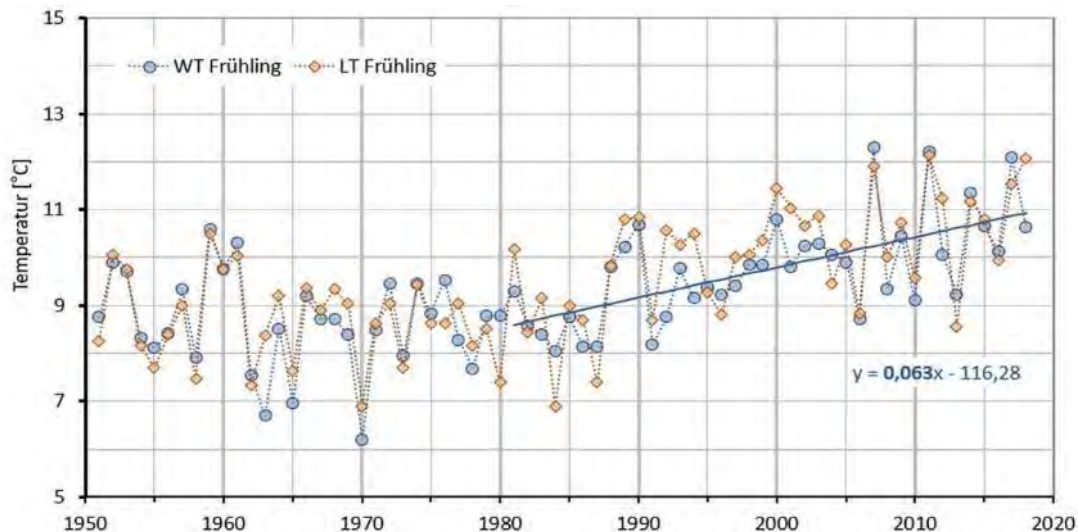
Tagesmittel der Wassertemperatur an der Messstelle Bregenz Hafen 2018 im Vergleich mit Minima, Mittelwerten und Maxima der Jahresreihe 1979 bis 2015

Leider sind die Messungen seit Messbeginn im Jahre 1895 nicht lückenlos vorhanden. Durch unterschiedliche Messzeitpunkte und durch den Einsatz von Datensammlern ist ein Vergleich der Messdaten über den gesamten Messzeitraum erst nach Prüfung und Berechnung auf ein einheitliches Bezugszeitintervall möglich. Für die Trendberechnung wurden die Monatsmittelwerte ab dem Jahr 1950 homogenisiert. Die Jahresmittel der Lufttemperatur in Bregenz sind um ca. 2 °C kühler als die Wassertemperatur. Der Temperaturanstieg durch den Klimawandel ist sowohl beim Jahresmittel der Wassertemperatur des Bodensees als auch beim Jahresmittel der Lufttemperatur ab 1980 ersichtlich und durch einen signifikanten Trend belegt. Sowohl die Wasser- als auch die Lufttemperatur haben sich in den letzten 35 Jahren um etwas mehr als 1,5 °C erhöht.

Am stärksten ist die Wassertemperatur des Bodensees im Frühling gestiegen. In dieser Jahreszeit entspricht die Lufttemperatur der Wassertemperatur in der Messtiefe 0,5 m unter der Oberfläche. Der Gradient des Anstiegs seit den 1980er Jahren beträgt bei der Luft- wie bei der Wassertemperatur 0,6 °C pro Dekade, was absolut einen Anstieg um 2 °C von 1980 bis 2018 ergibt.



Der Verlauf der Jahresmittel der Wassertemperatur des Bodensees und der Lufttemperatur an der Messstelle Bregenz ab 1950 zeigt einen signifikanten Trend ab den 1980er Jahren



Mit einem Gradienten von 0,6 °C/Dekade erwärmte sich sowohl die Wasser- als auch die Lufttemperatur am Bodensee im Frühjahr

Literaturverzeichnis

Honsell, M.: Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände: Eine hydrologische Studie. Konrad Wittwer, Stuttgart 1879.

Hydrographisches Centralbureau: Vorschriften für die Wasserstands-Beobachtungen nebst Anleitung zur Beobachtung der Wassertemperatur, Wien 1895.

Hydrographisches Zentralbureau: Der Wasserstand des Bodensees. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, XI. Heft, Wien 1913.

Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets (KHR): Die Regulierung des Bodensees. Bericht Nr. I-26 der KHR, 2018.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Langzeitverhalten der Bodensee-Wasserstände, Auswertzeitspanne: 1888 bis 2007, 2011.

Dipl.-Ing. Clemens Mathis
 Amt der Vorarlberger Landesregierung
 Abteilung Wasserwirtschaft
 Fachbereich Informationswirtschaft und Hydrographie
 Josef-Huter-Straße 35
 6901 Bregenz
 E-Mail: clemens.mathis@vorarlberg.at



Beobachtung von Tiefengrundwasser im Hydrographischen Dienst in Österreich

Barbara Stromberger, Klaus Kaiser, Jutta Eybl

Was ist Tiefengrundwasser

Tiefengrundwasser ist Grundwasser, das eine weiträumige Überlagerung durch Deckschichten, eine lange Verweilzeit (mindestens mehrere Jahrzehnte) und meist besondere physikalisch-chemische Eigenschaften aufweist. Es tritt in gespannter oder artesisch gespannter Form auf. Das heißt, Tiefengrundwasservorkommen stehen unter Druck. In einem Standrohr würde Grundwasser aus einem gespannten Grundwasserleiter über die begrenzende Deckschicht hinaus ansteigen. Stiege es auch über die Geländeoberfläche, spricht man von artesisch gespanntem Grundwasser.

Im Gegensatz zu ungespanntem Grundwasser, das vor Ort gebildet wird, liegen die Infiltrationsgebiete von Tiefengrundwasser meist weiter entfernt und sind oft unbekannt.

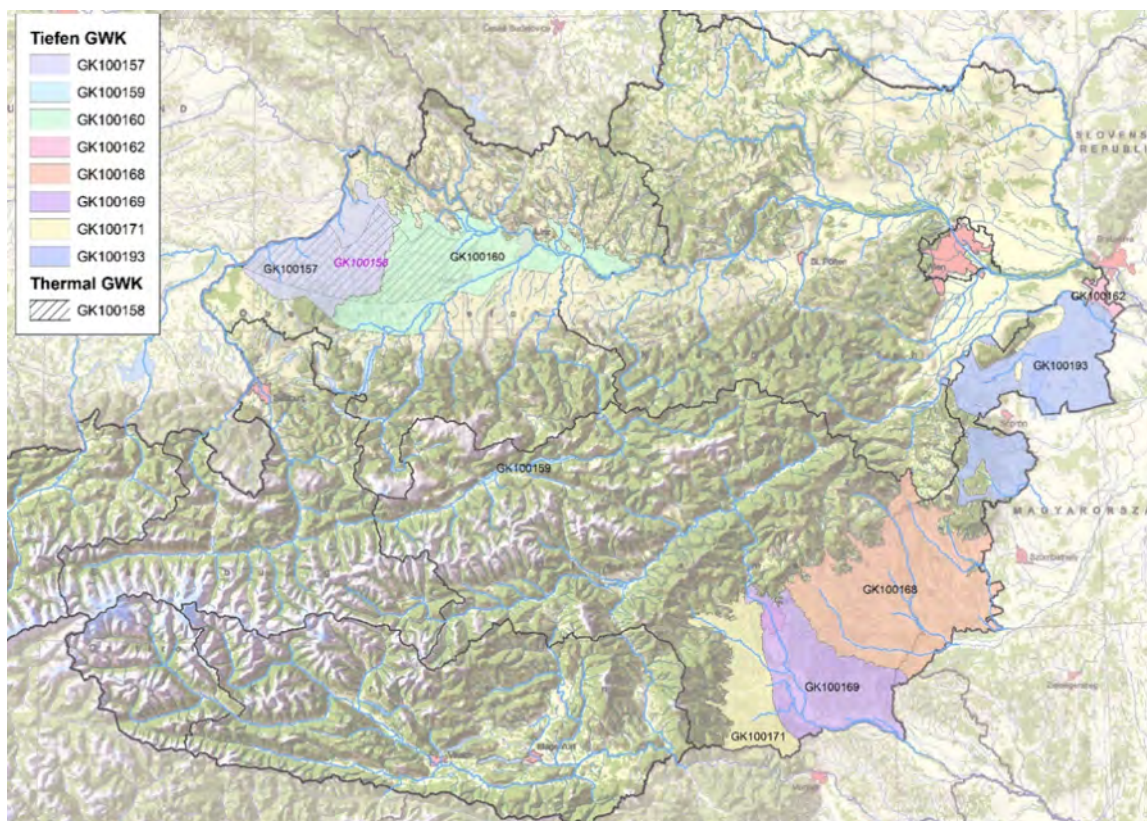
Tiefengrundwasser kann höher temperiert und/oder mineralisiert sein. Ab einer Erschließungstemperatur von mehr als 20 °C wird solches Grundwasser nach den Heil- und Kurortengesetzen der österreichischen Bundesländer als Thermalwasser bezeichnet.

Besonders trinkbares Tiefengrundwasser ist von großer wasserwirtschaftlicher Bedeutung – insbesondere für Notwasserversorgungen – denn es ist durch die überlagernden, dichten Bodenschichten und den dagegen herrschenden hydraulischen Druck sehr gut vor äußeren Einflüssen geschützt und nimmt unter natürlichen Verhältnissen nur sehr langsam am Wasserkreislauf teil. Daher ist der Schutz von trinkbaren Tiefengrundwasservorkommen besonders wichtig, weil es aufgrund der hydrogeologischen Gegebenheiten nur in begrenzter Menge zur Verfügung steht.

In Österreich ausgewiesene Tiefengrundwasserkörper

Aufgrund der bereits erwähnten wasserwirtschaftlichen Bedeutung und der großen Schutzwürdigkeit wurden im Zuge der Implementierung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in das Österreichische Wasserrecht neben zahlreichen oberflächennahen Einzelgrundwasserkörpern und Gruppen von Grundwasserkörpern (GK) auch folgende Tiefengrundwasserkörper (TGWK) und ein Thermalgrundwasserkörper ausgewiesen:

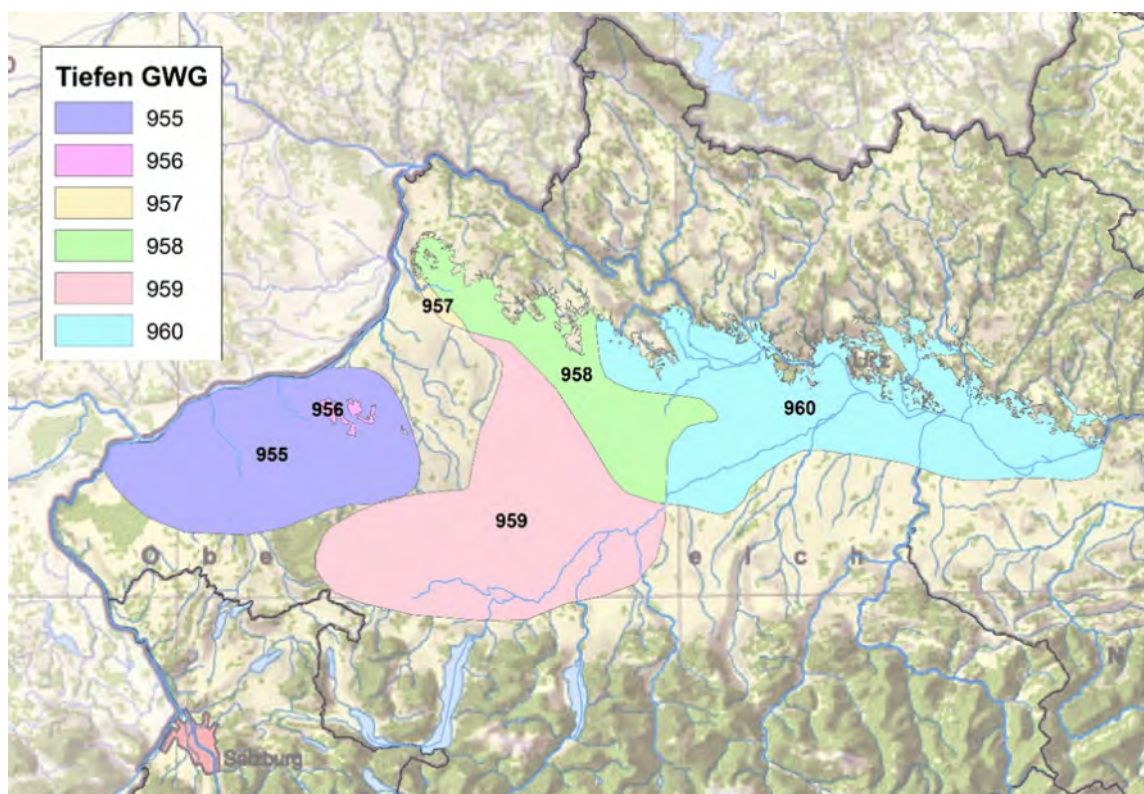
- GK100157 TGWK Tertiärsande im Einzugsgebiet Donau bis Jochenstein
- GK100159 TGWK Enns
- GK100160 TGWK Tertiärsande im Einzugsgebiet Donau unterhalb Jochenstein
- GK100162 TGWK Donau Ost – Heideboden
- GK100168 TGWK Steirisches u. Pannonisches Becken
- GK100169 TGWK Oststeirisches Becken
- GK100171 TGWK Weststeirisches Becken im Einzugsgebiet Mur
- GK100193 TGWK Rabnitzeinzugsgebiet
- GK100158 TGWK Thermalgrundwasser



Karte der Tiefengrundwasserkörper in Österreich

Zur besseren Differenzierung hat der Österreichische Hydrographische Dienst die Tiefengrundwasserkörper in Oberösterreich nach den jeweiligen Aquifer bildenden Gesteinen in mehrere sich teilweise in der Fläche überlagernde Grundwassergebiete unterteilt:

- 955 Westliche Oberösterreichische Tertiärsande: Mehrnbacher Sande
- 956 Westliche Oberösterreichische Tertiärsande: Treubacher Sande
- 957 Östliche Oberösterreichische Tertiärsande: westlichste Linzer Sande
- 958 Östliche Oberösterreichische Tertiärsande: Atzbach-Linzer Sande
- 959 Östliche Oberösterreichische Tertiärsande: Atzbacher Sande
- 960 Östliche Oberösterreichische Tertiärsande: Hauptverbreitung Linzer Sande



Karte der Tiefengrundwassergebiete in Oberösterreich

Außerhalb der abgegrenzten Tiefengrundwasserkörper existieren weitere kleinere Tiefengrundwasservorkommen in inneralpinen Tälern und im Südlichen Wiener Becken.

Beobachtung von Tiefengrundwasserkörpern durch den Hydrographischen Dienst

Der Hydrographische Dienst hat den Wasserkreislauf und allfällige natürliche oder vom Menschen verursachte Änderungen desselben zu erheben. Sein Messnetz hat sich dafür laut Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV) auch auf die Tiefengrundwasserkörper zu erstrecken.

Das Beobachten von Tiefengrundwasserkörpern ist aufwendiger als das ungespannter erster Grundwasserstockwerke. In Letzteren können Grundwasserstände in Hausbrunnen und Bohrungen in einer Bandbreite von circa 3 bis 50 m Tiefe gemessen werden. Für die Tiefengrundwasserbeobachtung bedarf es meist teurer Bohrungen, die bis zu ungefähr 300 m unter Gelände reichen. Thermalgrundwasseraufschlüsse reichen oft noch wesentlich tiefer, nämlich von circa 1000 bis ungefähr 3200 m. So entfallen von den etwa 4200 Grundwassermessstellen des staatlichen Messnetzes nur 74 auf Tiefengrundwasservorkommen. Der Ausbau und die Instrumentierung von Bohrungen in artesisch gespannten Grundwasservorkommen sind komplizierter und kostspieliger als die von anderen Grundwassermessstellen. So müssen sie druckdicht verschlossen und mit einem Ablassventil versehen werden. Die Luftdruckkompensation hat bei Manometermessung durch ein zusätzliches Barometer zu erfolgen oder die Kompensationskapillare muss bei Drucksonden über den Druckdeckel hinausgeführt werden.

Bei Messstellen im nicht artesischen Bereich können die Kontrollmessungen zur Herausforderung werden, weil sich der Grundwasserspiegel gebietsweise erst in großer Tiefe befindet. Eine weitere Schwierigkeit ist die Grundwassertemperaturmessung in Tiefengrundwassermessstellen, weil die Temperatursonden nicht in der Tiefe des aufgeschlossenen Aquifers platziert werden können. Die Messung erfolgt meist in einem Bereich, wo das Wasser durch den Aufstieg im Rohr schon abgekühlt ist. Wird eine genutzte Bohrung als Messstelle instrumentiert, führen Pumpen und andere Einbauten oft zu weiteren Problemen.

Aufgrund der hohen Kosten für tiefe Bohrungen wurden in einem ersten Schritt aber trotzdem schon bestehende meist genutzte Sonden verschiedener Eigentümer in das Hydrographische Messnetz aufgenommen. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass solche Daten schwer zu interpretieren sind und nur sehr begrenzt Aussagen über den quantitativen Zustand eines Tiefengrundwasserkörpers erlauben. Daher geht das Bestreben in den betroffenen Hydrographischen Dienststellen des Burgenlands, Oberösterreichs und der Steiermark gemeinsam mit dem Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus und den Wasserwirtschaftsabteilungen dieser Länder dahin, neue eigene ungenutzte Messstellen zu errichten.

Tabelle: Auflistung der bestehenden Messstellen für die Tiefengrundwasserbeobachtung, TBl bzw. Tbl stehen für Tiefenbohrloch, Tbr für Tiefenbrunnen

Bundesl.	HZB-Nr.	Messstellenname	errichtet	GOK [m ü.A]	Sohle [m ü.A]
außerhalb der Grundwasserkörper					
OÖ	344374	Bad Goisern, TBl 1	01.07.2007	518,60	423,30
OÖ	344135	Obereck, TBl 5.1	01.01.1994	513,46	458,07
OÖ	344143	Harterwald, TBl 51.2	01.01.1994	363,24	288,94
OÖ	344176	Teufeltal, TBl 1.1	15.10.2004	579,85	510,80
Stmk	358846	Edelsdorf, Tbl 302100	01.10.2003	558,70	-1620,00
Tirol	342329	Wörgl-Rattenberg, Tbl 18	01.01.2003	499,96	254,96
GK 100157 TGWK Tertiärsande [DBJ]					
OÖ	344291	Mehrnbach, TBl 1.1	01.10.2006	460,06	420,86
OÖ	344283	Mörstalling, TBl 1.1	01.10.2006	352,98	273,73
GK 100158 TGWK Thermalgrundwasser [DUJ]					
OÖ	359463	Gallspach, TBl 1.1	31.01.2014	363,00	-567,00
OÖ	344804	Obernberg, Tbl TH1	17.08.2010	332,71	-747,14
OÖ	344127	Reichersberg, TBl II	01.12.2003	317,18	-1312,50
OÖ	344358	Schallerbach, TBl 1	01.01.2006	305,50	-174,50
OÖ	344366	Simbach/Braunau, Tbl 2	05.08.2003	346,21	-2855,70
GK 100160 TGWK Tertiärsande [DUJ]					
OÖ	344309	St. Willibald, TBl 49.14	01.10.2006	427,05	377,75
OÖ	344267	Aich, TBl 49.10	01.10.2006	368,92	205,94
OÖ	344556	Pennewang, TBl 1.1	10.12.2008	395,48	146,68
OÖ	344275	Schachet, TBl 49.12	01.10.2006	436,08	351,99
OÖ	344317	Prambachkirchen, TBl 49.16	01.10.2006	379,30	355,37
OÖ	344325	Schörgendorf, TBl 1.1	01.10.2006	295,56	220,46
GK 100168 TGWK Steirisches und Pannonisches Becken [LRR]					
Bgld	353615	Eisenzicken, Tbl 18	01.04.2005	301,33	1,18
Bgld	345934	Eisenzicken, Tbr 13	19.12.2000	294,46	125,36
Bgld	345967	Heiligenkreuz, Tbr 12	01.01.1996	223,82	60,32
Bgld	345975	Heiligenkreuz, Tbr 16	01.01.1996	223,04	118,04
Bgld	345983	Heiligenkreuz, Tbr 17	01.01.1996	224,65	119,65
Bgld	353482	Jennersdorf, Tbr 5	01.01.2002	252,58	55,18
Bgld	345926	Kemeten, Tbr 10	03.06.1992	315,85	169,80
Bgld	345991	Markt Allhau, Tbr 6	01.01.1996	344,09	178,09
Bgld	346007	Minihof-Liebau, Tbr 1	01.01.1996	272,60	111,60
Bgld	345900	Oberwart, Tbr 7	15.03.1995	306,50	132,40

Bundesl.	HZB-Nr.	Messstellenname	errichtet	GOK [m ü.A]	Sohle [m ü.A]
Bgld	345918	Pinkafeld, Tbr 2	11.06.2001	446,07	148,54
Bgld	353623	St. Martin in der Wart, Tbl 19	01.05.2005	305,41	-35,60
Bgld	345892	Unterwart, Tbl 6	20.08.2003	301,17	233,67
Stmk	349605	Dietmannsdorf, Tbl 51270	01.01.2006	367,18	308,13
Stmk	349639	Eggendorf, Tbl 59680	30.09.2003	333,17	239,17
Stmk	358879	Fehring, Tbl 52850	03.12.2014	259,04	204,69
Stmk	349688	Geiseldorf, Tbl597202	28.11.2000	303,84	244,52
Stmk	349548	Großsteinbach, Tbl 56430	10.07.2002	319,03	260,75
Stmk	349530	Großsteinbach, Tbl 56670	28.05.2002	305,33	277,33
Stmk	349563	Großwilfersdorf, Tbl 58010	28.09.1999	292,75	270,74
Stmk	349712	Hainersdorf, Tbl 56770	06.06.2003	291,59	152,44
Stmk	349696	Hart, Tbl 56710	21.10.1999	408,86	211,10
Stmk	349720	Hartmannsdorf, Tbl 58400	19.12.2001	335,43	281,07
Stmk	349571	Hirnsdorf, Tbl 56140	08.07.1999	357,22	292,15
Stmk	349589	Hirnsdorf, Tbl 56280	27.06.2001	345,87	288,83
Stmk	358861	Kroisbach, Tbl 51560	24.02.2015	320,91	221,41
Stmk	349514	Kroisbach,Tbl563902	16.04.2002	339,83	254,75
Stmk	349746	Lafnitz, Tbl 59150	01.01.2006	413,30	228,30
Stmk	349522	Leithen, Tbl 56580	28.02.1991	312,48	267,43
Stmk	349704	Lindegg, Tbl 58110	23.09.1999	288,14	248,79
Stmk	349654	Neudau, Tbl 59400	15.02.2002	294,42	197,67
Stmk	349670	Neudau, Tbl594001	15.02.2002	294,82	265,55
Stmk	358754	Neudorf, Tbl 57200	02.03.2009	344,62	285,62
Stmk	349555	Obgrün, Tbl566701	10.05.2001	303,63	277,63
Stmk	349597	Pischelsdorf, Tbl 56400	28.06.2001	377,28	320,60
Stmk	372391	St. Johann in der Haide, Tbl 596801	01.01.2014	359,57	312,17
Stmk	349647	Unterrohr, Tbl593012	07.04.1998	330,50	185,09
Stmk	349662	Waltersdorf, Tbl 59900	13.06.2001	292,86	209,33
GK 100169 TGWK Oststeirisches Becken [MUR]					
Stmk	349944	Bad Gleichenberg, Tbl 397100	06.12.2016	264,50	154,00
Stmk	349837	Dietersdorf, Tbl 396600	01.01.2006	253,70	134,70
Stmk	349811	Grabersdorf, Tbl 396200	01.01.2006	266,50	162,20
Stmk	349928	Heiligenkreuz am Waasen, Tbl 375300	14.12.2016	323,10	262,90
Stmk	349779	Laßnitzhöhe, Tbl 345100	18.02.2010	391,24	342,78
Stmk	349753	Mureck, Tbl387900	17.11.2003	234,84	128,69
Stmk	349852	Plesch, Tbl 399000	10.11.2009	301,25	225,15
Stmk	349795	Plesch, Tbl 399001	10.11.2009	301,30	250,95

Bundesl.	HZB-Nr.	Messstellenname	errichtet	GOK [m ü.A]	Sohle [m ü.A]
Stmk	349761	Siebing, Tbl 395600	25.05.2004	262,50	212,23
Stmk	349878	St. Stefan im Rosental, Tbl 395000	01.01.2012	315,30	209,70
Stmk	358853	Unterlabil, Tbl 394400	05.11.2014	299,20	189,55
GK 100171 TGWK Weststeirisches Becken [MUR]					
Stmk	349829	Gussendorf, Tbl 422600	17.12.2015	298,75	207,55
Stmk	361147	Michlgleinz, Tbl 423000	01.12.2017	304,20	246,90
Stmk	349969	Steinberg III Tbl	01.01.2013	452,20	361,30
Stmk	349886	Wetzelsdorf, Tbl 412700	17.12.2015	301,95	216,95
Stmk	361139	Haslach, Tbl 433200	01.12.2017	298,40	233,10
GK 100193 TGWK Rabnitz Einzugsgebiet [LRR]					
Bgld	353557	Pilgersdorf, Tbl 1	30.09.2004	366,02	268,90

Geplanter Ausbau des Messnetzes

In Oberösterreich läuft derzeit die Ausschreibung für eine neue Tiefengrundwassermessstation in den Atzbacher Sanden in der Gemeinde Taufkirchen an der Trattnach. Laut Schätzung der Geologischen Bundesanstalt wird der Druckspiegel ca. 7,5 m über Gelände liegen, die geplante Endteufe liegt bei etwa 100 m Tiefe. Weitere 8 Messstellen in oberösterreichischen Tiefengrundwasserkörpern sollen in den folgenden Jahren im Zweijahresrhythmus errichtet werden.

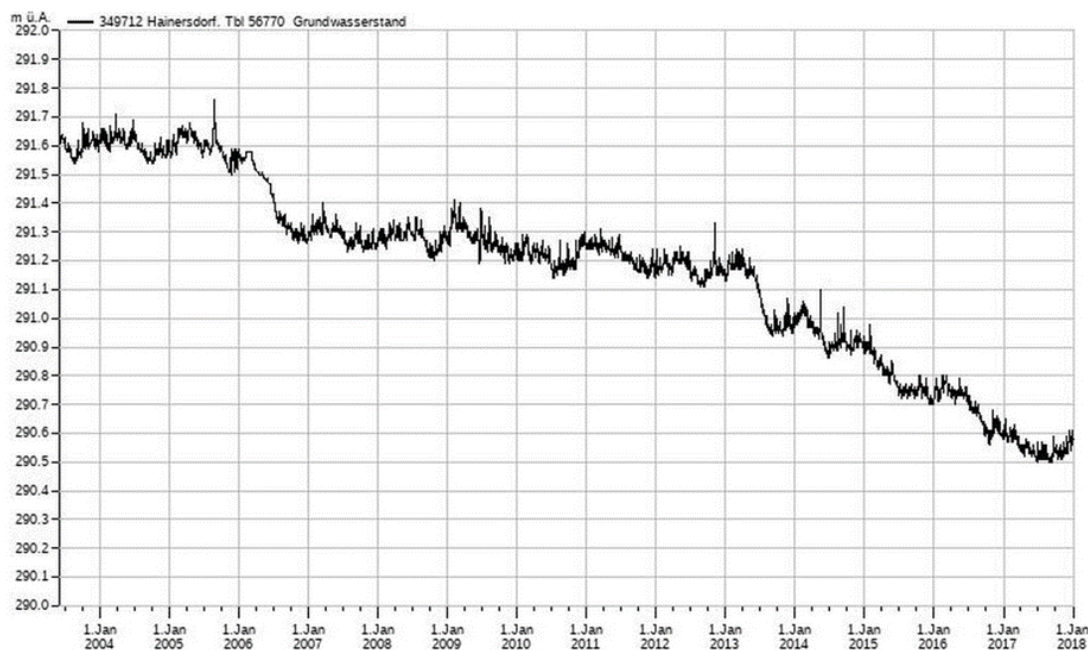
In der Steiermark wurden in den letzten drei Jahren aus den Mitteln des Hydrographischen Dienstes sieben Messstellen errichtet, um ein von Entnahmen unbeeinflusstes Monitoring zu ermöglichen. In den nächsten Jahren sollen im Tiefengrundwasserkörper Steirisches und Pannonisches Becken in zwei Ausbaustufen insgesamt 18 Messstellen errichtet werden. Die erste Ausbaustufe ist im Laufen und sieht die Errichtung von jeweils vier Messstellen auf steirischem und burgenländischem Gebiet vor und zwar im Raum Axbach, Laßnitzthal, Dienersdorf, Lafnitz, Bildein, Luisling, Deutsch Minihof und Neumarkt an der Raab. Die zehn Messstellen der zweiten Ausbaustufen verteilen sich auf sechs Standorte im Burgenland und vier in der Steiermark.

Die Tiefengrundwasserkörper Enns und Donau Ost – Heideboden werden vorerst nicht beobachtet, weil hier kein Nutzungsdruck gegeben ist.

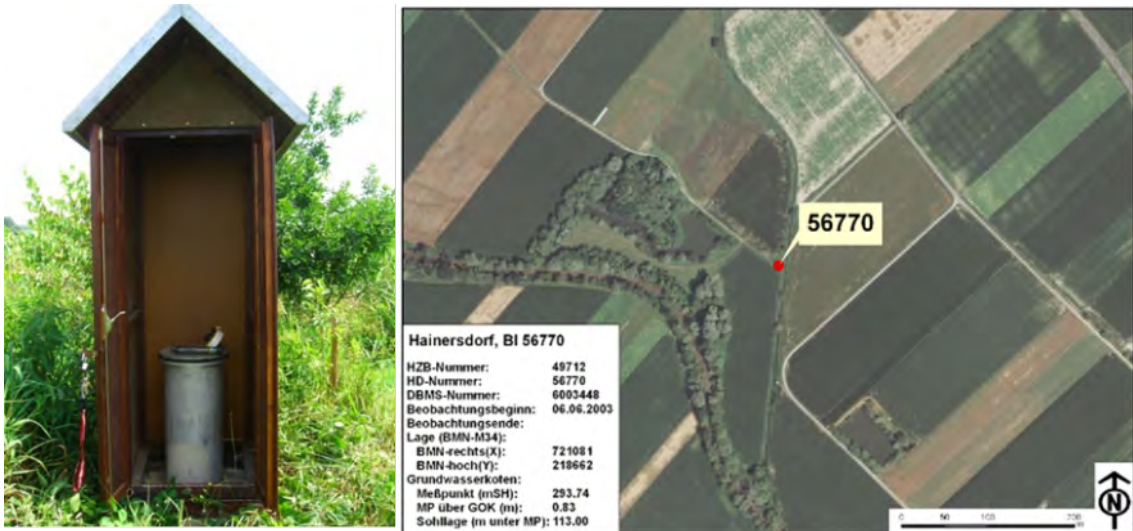
Grundwasserstandsverläufe an Tiefengrundwassermessstellen

Die Tiefengrundwassermessstelle 349712 Hainersdorf liegt im oststeirischen Tertiärbecken welches eine Sedimentmächtigkeit von bis zu 3000 m aufweist. Für die Trinkwassererschließung in diesem Gebiet sind nur die Grundwasserstockwerke der oberen Schichten, nämlich des Sarmat, das bis circa 100 m Tiefe reicht, und des Panon von Bedeutung. 1979 wurde diese Bohrung zur Erkundung von Tiefengrundwasser bis 140 m Tiefe niedergebracht. Man stieß im Bereich von 93 bis 97 m auf eine wasserführende Schicht. So wurde die Bohrung anschließend bis 113 m wieder verfüllt und von dort bis 90 m Tiefe mit Filterrohren von 150 mm Durchmesser, darüber mit Vollrohren von ebenfalls 150 mm Durchmesser ausgebaut. Seit 2003 wird diese Sonde als Messstelle des Hydrographischen Diensts genutzt und ist seitdem mit einem Datensammler ausgestattet.

Seit Beginn der kontinuierlichen Messungen im Jahr 2003 zeigt sich eine signifikante Druckspiegelabnahme. Das Druckniveau ist in den letzten 15 Jahren um 1,30 m zurückgegangen.



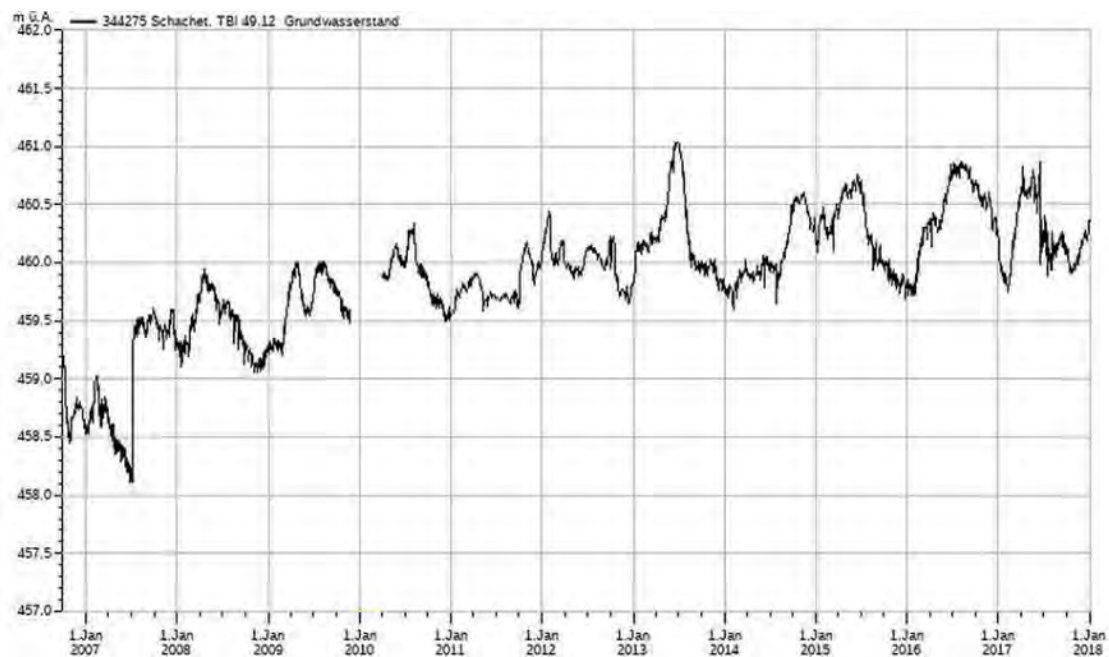
Entwicklung des Druckspiegels der Messstelle 349712 Hainersdorf, Tbl 56770



Messstelle 349712 Hainersdorf, Tbl 56770 und Lageplan (Quelle: HD Steiermark)

Im Zuge des Arteser-Schutzprogramms in der Steiermark werden zunehmend frei auslaufende Arteser verschlossen. Daran knüpft sich die Hoffnung, dass der Druckspiegel im Steirisch Pannonischen Becken nicht weiter sinkt.

Die oberösterreichische Messstelle 344275 Schachet, Tbl 49.12 liegt im Gebiet der Atzbacher Sande in der Gemeinde Rottenbach im Hausruckviertel. Die Sohle der Bohrung befindet sich 84 m unter Gelände. Diese Sonde wird von der Wassergenossenschaft Schachet als Entnahmehauptbrunnen genutzt, daher sind auch immer wieder betriebsbedingte Schwankungen in der Ganglinie erkennbar. Im Jahr 2007 stieg der Grundwasserspiegel nach Verschluss eines artesischen Brunnens in der näheren Umgebung deutlich an.



Entwicklung des Druckspiegels der Messstelle 344275 Schachet, Tbl 49.12



Messstelle 344275 Schachet, Tbl 49.12 (Quelle: HD Oberösterreich)

Diese Beispiele zeigen, wie sensibel Tiefengrundwassersysteme reagieren und wie wichtig daher ein Tiefengrundwassermonitoring zur Bewahrung dieser wertvollen Wasserreserve ist.

Mag. Barbara Stromberger
 Amt der Steiermärkischen Landesregierung
 Abteilung Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit
 Referat Hydrographie
 Wartingergasse 43
 8010 Graz
 E-Mail: barbara.stromberger@stmk.gv.at

Dipl.-Ing. Mag. Jutta Eybl
 Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
 Abteilung Wasserhaushalt
 Marxergasse 2
 1030 Wien
 E-Mail: jutta.eybl@bmnt.gv.at

Ing. Klaus Kaiser
 Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
 Abteilung Wasserwirtschaft, Referat Hydrographie
 Kärntner Straße 10-12
 4021 Linz
 E-Mail: klaus.kaiser@ooe.gv.at

Feststoffe in Fließgewässern – Schwebstoff- und Geschiebemessung in Tirol

Klaus Niedertscheider, Ilse Kogelbauer, Daniel Pfurtscheller, Petra Lalk

Im Zuge des Klimawandels werden in Österreich in den nächsten Jahrzehnten durch die verstärkte Gletscherschmelze und das Auftauen der Permafrostböden größere Mengen an Schwebstoffen freigesetzt. Unabhängig vom Klimawandel verändern menschliche Eingriffe, wie flussbauliche Maßnahmen, Wasserkraftwerke und Speicher, aber auch die zunehmende Bodenversiegelung die Menge und die Zusammensetzung der Feststoffe in unseren Fließgewässern. Um in allen wasserwirtschaftlichen Planungen das Thema Feststoffe berücksichtigen zu können, sind kontinuierlich erhobene Messdaten von großer Bedeutung.



Schwebstoffmessstelle am Inn ohne und mit Schwebstoffführung beim Schmelzhochwasser im Juni 2019

In Fließgewässern werden Geschiebe, Schwebstoffe und Schwimmstoffe bei Vorhandensein von entsprechender Transportenergie und einem ausreichenden Feststoffangebot transportiert. Schwebstoffe werden durch die Turbulenzen im fließenden Wasser in Schwebelage gehalten, Geschiebe bewegt sich entlang der Gewässersohle. Die Abgrenzung von Schwebstoffen zu Geschiebe liegt in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit bei einem Grenzkorndurchmesser von ca. 0,2 bis 0,7 mm, für Alpenflüsse wird häufig ein Korndurchmesser von 1 mm angenommen (Maniak, 2005; BMFLUW, 2017). Das Monitoring des Feststofftransportes in Fließgewässern umfasst dabei die Messung der Trübung und der Schwebstoffkonzentration

bis hin zur Auswertung von Schwebstofftransport und -fracht sowie die Ermittlung des Geschiebetransportes über Geschiebesammler und Geophonanlagen.

Der Hydrographische Dienst Tirol verfügt seit 2003 über ein sich ständig erweiterndes Feststoffmessnetz an den größeren Talflüssen (Lech, Inn, Großache, Drau). Derzeit betreibt der Hydrographische Dienst Tirol 13 Schwebstoffmessstellen, die nach Leitfaden (BMFLUW, 2017) betrieben und ausgewertet werden, und 3 Geschiebemesstellen (Abbildung 1). Außerdem sind einige Messstellen nur mit Trübungssonden ausgestattet, die der Datenergänzung dienen. Zusätzlich zum Feststoffmessnetz des Hydrographischen Dienstes betreibt auch die Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG) in Tirol weitere Schwebstoff- und Geschiebemesstellen. Die Schwebstoffmessstelle Oberaudorf/Inn wird gemeinsam mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt betrieben.

Die Daten zur Schwebstoffführung werden seit 2008 im „Hydrographischen Jahrbuch von Österreich“ (BMNT) jährlich veröffentlicht. Für eine bundesweit einheitliche und qualitätsgesicherte Erhebung und Datenauswertung der Schwebstoffführung dient der Leitfaden „Schwebstoffe im Fließgewässer“ (BMFLUW, 2017). Für den Geschiebetransport erfolgt der Betrieb und die Auswertung der Messstellen mit Unterstützung des Instituts für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU).

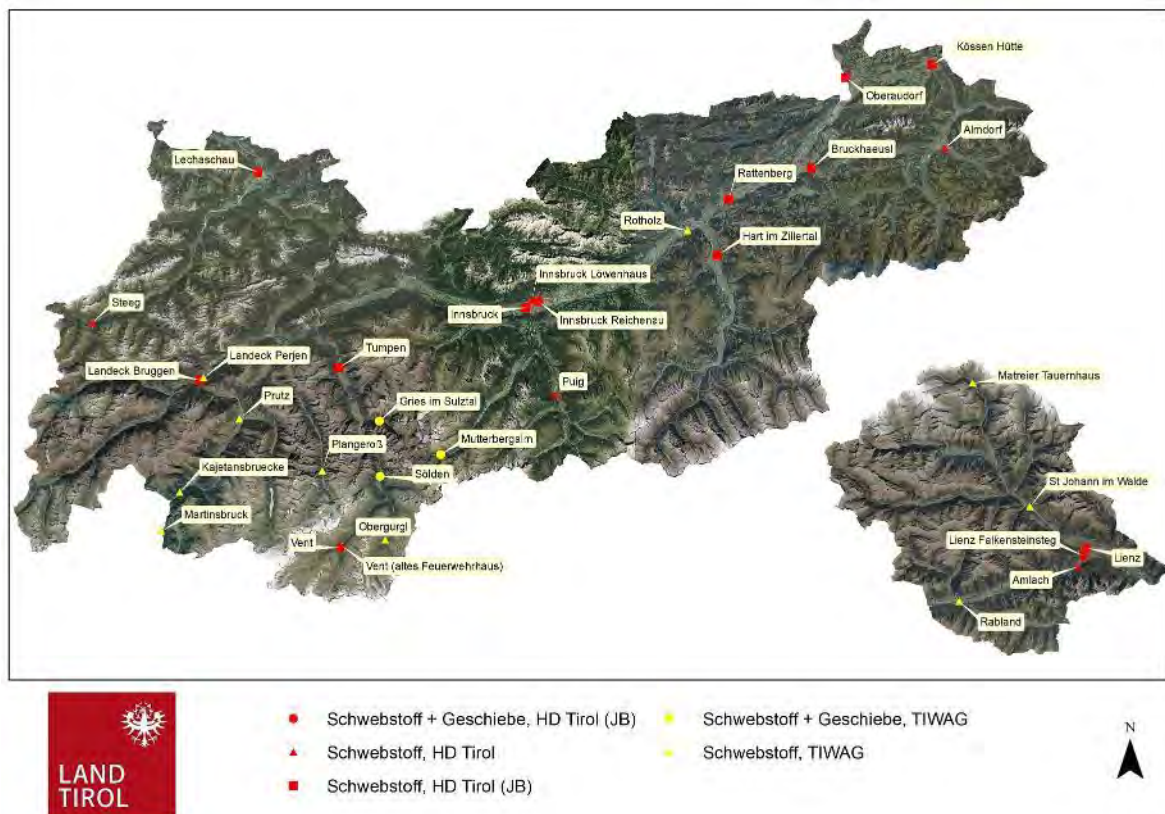


Abbildung 1: Schwebstoff- und Geschiebemesnetz in Tirol (Quelle: HD Tirol)

Ein Rückblick, dem gesetzlichen Auftrag folgten im Jahr 2003

Messungen an den ersten Messstellen

Im Rahmen der Wasserrechtsgesetznovelle vom 29. August 2003, mit der die Wasserrahmenrichtlinie der EU vom 23. Oktober 2000 in nationales Recht umgesetzt wurde, sind die Feststoffe erstmals in die Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV) 2006 aufgenommen worden. Der gesetzliche Auftrag lautet: „Die Erhebung des Wasserkreislaufes hat sich auf das Oberflächengewässer, das Grundwasser und die Quellen, den Niederschlag, die Verdunstung und die Feststoffe in den Gewässern hinsichtlich Verteilung nach Menge und Dauer [...] zu beziehen.“

Der Umfang des Monitorings und die Anzahl der Messstellen ist in der WKEV festgelegt. Eine Übersicht der Schwebstoff- und Geschiebemesstellen in Tirol ist in Abbildung 1 dargestellt.

Dem gesetzlichen Auftrag folgend wurde im Messnetz des Hydrographischen Dienstes Tirol im Jahr 2003 die erste Schwebstoffmessstelle am Pegel Innsbruck am Inn in Betrieb genommen. Diese erste Trübungssonde mit kontinuierlicher Datenerfassung konnte dann beim Hochwasser 2005 am Inn eine Trübungsganglinie aufzeichnen und zeigte für den Scheitelwert eine Schwebstoffkonzentration von über 20 g/l (Abbildung 2).

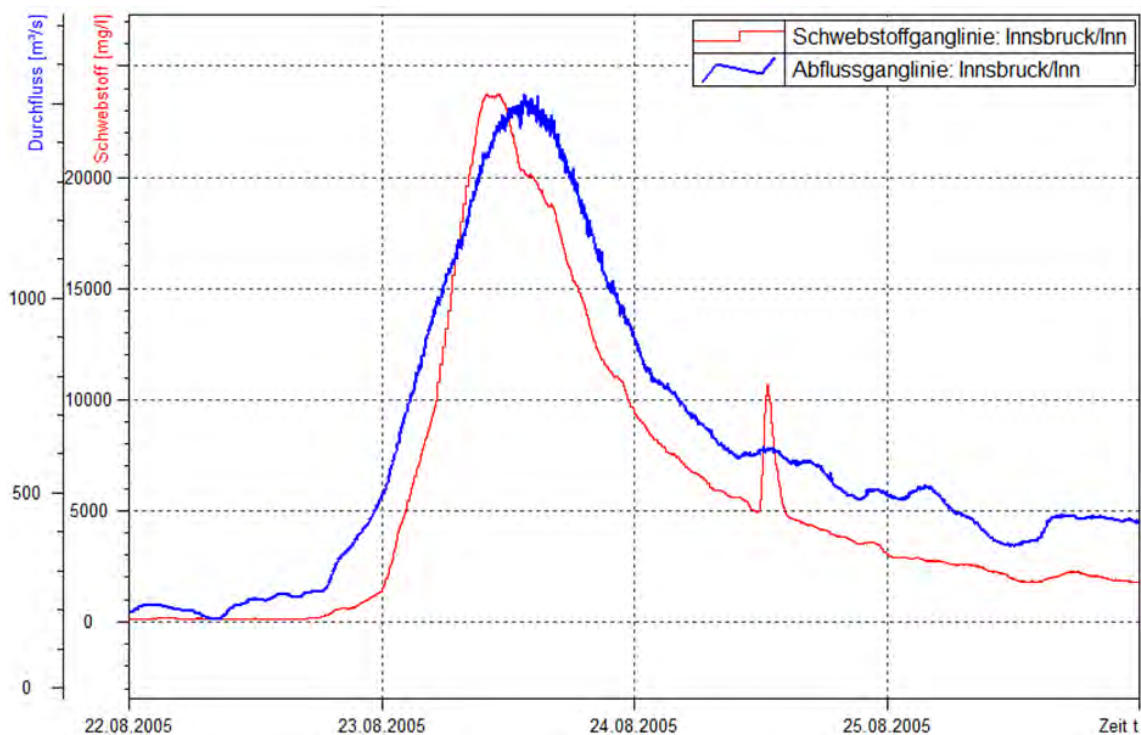


Abbildung 2: Schwebstoff- und Durchflussganglinie am Pegel Innsbruck-Löwenhaus/Inn am 23. August 2005, Originalgraphik Rohdaten (Quelle: HD Tirol)

In der Planungsphase zum Schwebstoff-Monitoring gab es keine standardisierte Messmethodik, die operationell für den Hydrographischen Dienst anwendbar war. Die zeitliche und räumliche Variabilität der Schwebstoffführung war dabei eine besondere Herausforderung. Eine Arbeitsgruppe in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA, Projektleitung Prof. Habersack) an der Universität für Bodenkultur entwickelte die Methodik der Schwebstoffmessungen. Im Jahr 2008 wurde der Leitfaden „Schwebstoffe im Fließgewässer - Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes“ vom BMFLUW in seiner 1. Auflage veröffentlicht. Die 2. Auflage des Leitfadens folgte 2017 mit Erfahrungen und Erkenntnissen aus dem operationellen Betrieb und aus Projekten hinsichtlich Messmethoden, Messtechnik, Probennahme und Datenauswertung.

Im Laufe der Jahre wurde das Schwebstoffmessnetz im Zuge der Jahresarbeitsprogrammabwicklung mit dem Hydrographischen Zentralbüro im BMNT weiter ausgebaut und durch Geschiebemesstellen am Pegel Vent an der Rofenache und an den Pegelstellen an der Drau und an der Isel in Lienz erweitert. Die Datenerfassung und Auswertung der Geschiebemesstellen erfolgt derzeit durch das Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA, BOKU Wien) im Auftragswege. Die ausgewerteten Daten werden in das Datenmanagementsystem HyDaMS im BMNT übernommen. Eine Veröffentlichung von Geschiebetransport und -frachten im Hydrographischen Jahrbuch und im eHYD ist geplant.

Schwebstoffmessung im Detail

An einer Schwebstoffmessstelle werden die Schwebstoffkonzentration und der Schwebstofftransport mit einem kontinuierlichen Messwerterfassungssystem und zusätzlich durch direkte Probenentnahmen ermittelt. Zur kontinuierlichen Schwebstoffmessung werden Trübungssonden eingesetzt (Abbildung 3).

Dabei wird die Sonde direkt ins Gewässer eingebaut, die Positionierung über der Sohle sollte ein Trockenfallen, Einschottern und auch ein Einfrieren möglichst ausschließen. Die Pegelmessstellen sind zudem meist redundant mit zwei Trübungssonden ausgestattet, sodass bei Datenausfällen die jeweils nicht betroffene Sonde weiterhin Daten liefern kann. Bei der Einrichtung und Ausstattung der Messstellen muss auch auf die individuellen Bedingungen jeder einzelnen Messstelle eingegangen werden.

Der Lech gilt als einer der letzten Wildflüsse in Europa, der hohe Umlagerungstendenzen im Gewässerbett aufweist. In der hochwasserführenden Zeit transportiert der Lech große Mengen an Geschiebe und Schwebstoff, die in der Niederwasserzeit durch die fehlende Schleppkraft nicht mehr beseitigt werden können.



Abbildung 3: Messung der Trübung mit einer elektronischen Trübungssonde, links – am Pegel Vent/Rofenache, rechts – am Pegel Tumpen/Ötztaler Ache (Quelle: HD Tirol)



Abbildung 4: Pegel Lechaschau am Lech, linkes Bild: am 10. April 2018, rechtes Bild: am 29. November 2018 (Quelle: HD Tirol)

Daher können die Messsensoren an der Pegelstelle vorübergehend mit Kies (Abbildung 4) überdeckt sein. Um die Kontinuität der Datenaufzeichnung sicherzustellen, werden die Wasserstands- und die Schwebstoffmessungen an beiden Ufern durchgeführt. Mit der kommenden hochwasserführenden Jahreszeit werden die Schotterbänke wieder bewegt bzw. überströmt und die Messungen werden beidseitig weitergeführt.

Die Trübungssonden werden regelmäßig aus dem Gewässer geborgen, um das Messfenster und den Wischer zu reinigen. Die Wartung der Trübungssonden umfasst eine Kalibrierung und ein Herstellerservice und wird alle 2 Jahre durchgeführt.

Für die Umrechnung der Sondenwerte in Schwebstoffkonzentrationen ist eine regelmäßige Entnahme von sondennahen Einpunktproben erforderlich (Abbildung 5). Die Entnahme dieser Schwebstoffproben erfolgt in der Nähe der Sondenoptik, um einen möglichst guten Zusammenhang zwischen Trübungssonde und Proben zu erhalten. Auf die Beprobung von Hochwasserereignissen wird ein besonderes Augenmerk gelegt, da währenddessen ein großer Anteil an der Jahresfracht transportiert werden kann, aber sich der Zusammenhang zwischen Trübungssonde und Proben ändern kann.

Die Entnahme der Schwebstoffproben erfolgt entweder mittels Stange, mittels Seil oder einem automatischen Probensammler. Die Entnahme mittels Stange erfolgt durch Absenken einer 1.000 ml-Weithalsflasche an einer Teleskopstange möglichst nahe der Sondenoptik. Der Einsatz eines Einlaufrohres an der Flaschenöffnung dient der Gewinnung von zeitlich integrierten Proben, d.h. das Füllen der Flasche dauert entsprechend der Fließgeschwindigkeit länger, um eine repräsentative Schwebstoffprobe zu erhalten.



Abbildung 5: Entnahme einer Einpunktprobe mittels Stange und Einlaufrohr an der Flaschenöffnung der Probenflasche; bei der Probennahme – wie allgemein bei Arbeiten an Pegelstellen – sind die entsprechenden Schutzmaßnahmen (z. B. persönliche Schutzausrüstung, Seilsicherungen) zu berücksichtigen (Quelle: HD Tirol)

Ein automatischer Probennehmer ist geeignet, zeitlich hochaufgelöste Schwebstoffproben zu gewinnen. An den Pegelstellen Landeck/Sanna, Innsbruck/Inn, Innsbruck/Sill und Hart/Ziller treten häufig, z. B. nach Gewittern, kurzzeitige Hochwasserereignisse mit hohen Spitzen, meist in der Nacht, auf. Daher wurden diese Messstellen mit automatischen Probensammlern ausgestattet, welche bei Überschreiten einer bestimmten Schwebstoffkonzentration automatisiert über eine Ansaugeinrichtung eine Wasserprobe aus dem Gewässer entnehmen (Abbildung 6).

Die Beprobung eines Fließgewässerquerschnittes mit einer Einzelpunkt-Entnahme reicht nicht aus, um die auftretende räumliche Variabilität des Schwebstofftransportes repräsentativ zu erfassen. Mit einer Kombination von Trübungsmessung und Probenentnahmen an mehreren Lotrechten im Durchflussquerschnitt, der sogenannten Vielpunktmethode, wird die räumliche Variabilität des Schwebstofftransportes hinreichend gut erfasst. Dazu wird der Durchflussquerschnitt in mehrere Abschnitte unterteilt, in deren Mitten die Messlotrechten eingerichtet werden, wo in unterschiedlichen Tiefen je eine Probe mit dem Probensammler USP61 (Abbildung 7, linkes Bild) entnommen wird. Die Anzahl der Messlotrechten (ca. 5-10 Lotrechte) und die Anzahl der Messpunkte pro Lotrechte ergeben sich in Abhängigkeit von Breite und Tiefe des Gewässers. Zeitnah oder gleichzeitig wird an den jeweiligen Entnahmepunkten die lokale Fließgeschwindigkeit bestimmt, die in einem weiteren Schritt die Berechnung der geschwindigkeitsgewichteten mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil ermöglichen. Die Fließgeschwindigkeitsmessung kann dabei mittels Flügel oder ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) erfolgen. Die Vielpunktmethode ist laut DVWK (1986) die genaueste Entnahmemethode zur Bestimmung des Schwebstofftransportes. Nachteilig ist dabei der hohe zeitliche Aufwand.

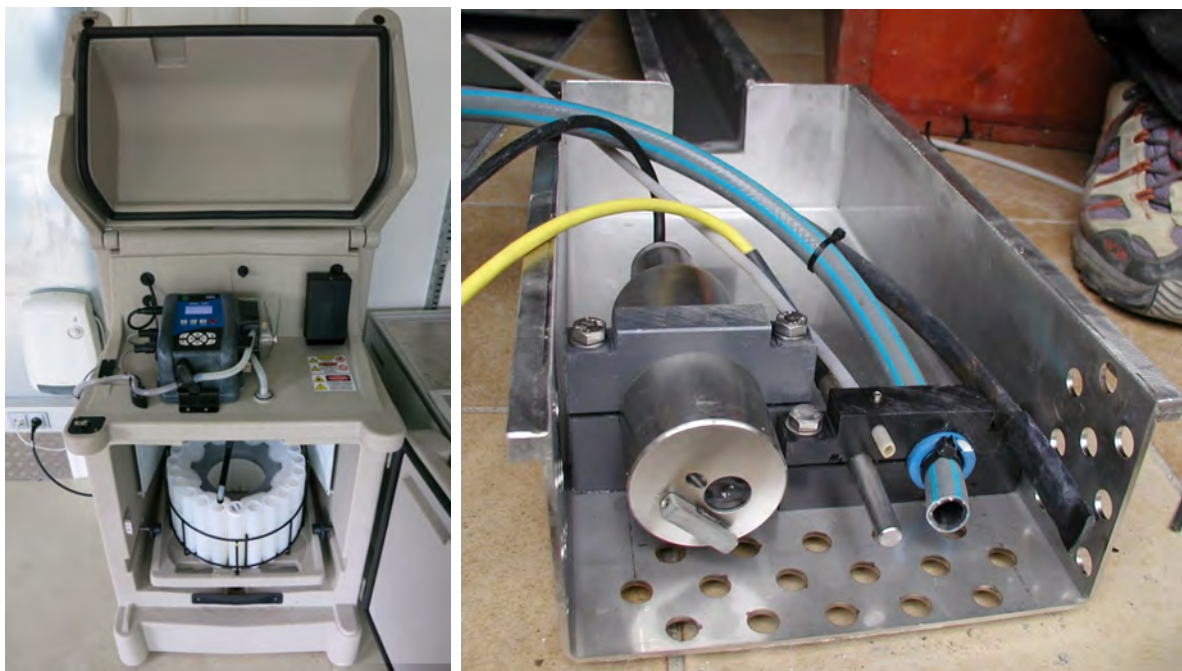


Abbildung 6: Der automatische Probennehmer am Pegel Innsbruck/Inn ermöglicht es, kontinuierlich Wasserproben, abgestimmt auf die Trübung, zu entnehmen. Bild rechts: Schwebstoffsonde und Probennahmeschlauch für Sampler. Die Proben werden im Labor auf den Schwebstoffgehalt untersucht, um u.a. die Messwerte der Trübungssonde zu kalibrieren (Quelle: HD Tirol)

Alternativ zur Vielpunktmessung wird zur Ermittlung der räumlichen Variabilität auch der „Acoustic Doppler Current Profiler“ (ADCP) eingesetzt (Abbildung 7, rechtes Bild). Der Doppellereffekt wird genutzt, um die Fließgeschwindigkeit zu ermitteln. Die Frequenzverschiebung der ausgesendeten zur reflektierten Schallwelle liefert die Geschwindigkeit, die Laufzeit erfasst die Tiefe. Die rückgestrahlte Echointensität ist hauptsächlich von der Wellenlänge des Ultraschallsignals, von der Schwebstoffkonzentration und von der Korngrößenverteilung der Partikel abhängig (Müller et al., 1993). Mit Hilfe dieses Zusammenhanges, der mit der Sonargleichung beschrieben werden kann, ist es möglich, detektierte relative Echointensitäten in absolute Intensitäten und in der Folge in Schwebstoffkonzentrationen umzurechnen. Dazu sind Probenentnahmen mit einer gravimetrischen Auswertung im Labor erforderlich. Diese können im Vergleich zur Vielpunktmessung reduziert werden. Die Auswertung der Ergebnisse wird mit der Software ViSEA DAS Survey Toolbox der Firma Aquavision vorgenommen.



Abbildung 7: linkes Bild – amerikanischer Sampler (US-P61), rechtes Bild – ADCP-Messung (Stream-Pro); Quelle: HD Tirol

Die Ermittlung der räumlichen Verteilung der Schwebstoffkonzentration im Gewässerprofil dient der Bestimmung der mittleren Schwebstoffkonzentration, des Schwebstofftransports und der Schwebstofffracht und ist bei möglichst unterschiedlichen Durchflüssen und verschiedenen Schwebstoffführungen durchzuführen.

Die Schwebstoffkonzentration der Proben wird im Labor durch den gravimetrischen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen bestimmt. Die Analysen werden entsprechend der Anforderungen des Leitfadens von der Chemisch-Technischen Umweltschutzanstalt (CTUA) des Landes Tirol und dem Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) in Innsbruck für den HD Tirol durchgeführt. Zusätzliche Probenentnahmen mit größerem Volumen werden entnommen, um auch die Korngrößenverteilung im Labor zu bestimmen.

Datenerfassung, Plausibilisierung und Auswertung der Schwebstoffmessungen

Die Werte sämtlicher gemessener Parameter (Wasserstand, Wassertemperatur, Trübungswerte, etc.) werden als 15-Minuten-Mittelwerte über eine Onlineverbindung, überwiegend via GPRS-Verbindung, an die Datenserver des Landes Tirol übertragen. Fremdmessstellen werden via ftp-Internetübertragung eingebunden. Die Messwerte und auch die händisch eingespielten Ergebnisse der Kalibrierproben werden in der Datenbanksoftware HyDaMS verwaltet.

Zuallererst erfolgt eine Plausibilitätsprüfung der aufgezeichneten Ganglinie der Trübungssonde mit den Schwebstoffkonzentrationen der Kalibrierproben gemeinsam mit dem Durchfluss. Dabei wird unter anderem auf natürliche Einflüsse (Hochwasser oder Schnee- und Gletscherschmelze), anthropogene Einflüsse (wasserbauliche Maßnahmen, Stauraumspülungen) oder auch fehlerhafte Sondaufzeichnungen (Trockenfallen, Vereisung, Biofouling auf der Sondenoptik, Gerätefehler) und unplausible Kalibrierproben geachtet. Fehlerhafte Sondaufzeichnungen sind durch den Einbau einer zweiten, redundanten, Sonde oder durch Vergleiche mit benachbarten Trübungssonden im gleichen Gewässer rasch zu erkennen und einfach zu beheben, so wird eine kontinuierliche und möglichst lückenfreie Aufzeichnung der Trübungswerte gewährleistet.

Nach erfolgter Plausibilitätsprüfung der Sondenganglinie und der Kalibrierproben wird die Sondaufzeichnung in sondennahe Schwebstoffkonzentration umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt entweder durch die Berechnung eines Sondenbeiwertes anhand der gravimetrisch bestimmten Schwebstoffkonzentration oder mittels einer Sondenkennlinie, die auf Basis einer Regressionsanalyse zwischen Sondenwert und Kalibrierprobe bestimmt wird.

Zur Ermittlung des Schwebstofftransports und der mittleren Schwebstoffkonzentration im Profil werden unterschiedliche Verfahren, abhängig von der gewählten Methode zur räumlichen Erfassung der Schwebstoffkonzentration im Querprofil (Vielpunktmethode, Integrationsmethode, ADCP-Messung), angewendet. In Abbildung 8 (linkes Bild) ist die räumliche Verteilung einer Schwebstoffkonzentration im Profil mittels ADCP-Messung dargestellt.

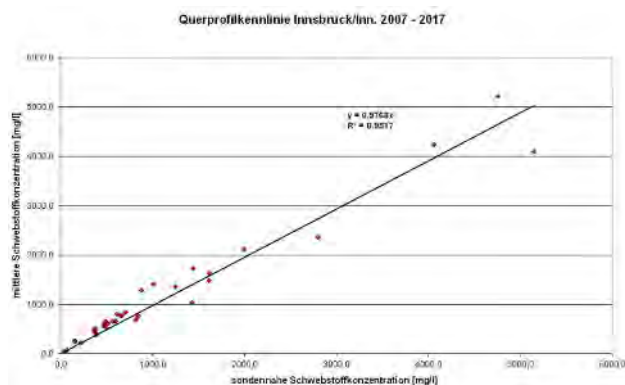
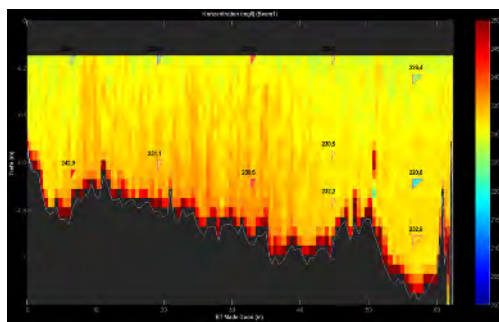


Abbildung 8: ADCP Messung, Querprofil der Schwebstoffkonzentration am Pegel Innsbruck/Linn, 20.03.2017 und Zusammenhang sondennahe und mittlere Schwebstoffkonzentration über das Profil (Quelle: HD Tirol)

Um den Zusammenhang zwischen der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil und der lokal gemessenen Konzentration der Trübungssonde herstellen zu können, werden beide – annähernd zeitgleich ermittelten – Werte in Relation gesetzt. Werden diese Wertepaare bei unterschiedlichen Konzentrationen dargestellt, so ergibt sich eine Relation zwischen sondennahe und mittlerer Schwebstoffkonzentration (Abbildung 8, rechtes Bild). Der Zusammenhang zwischen sondennahe und mittlerer Schwebstoffkonzentration ist messstellenspezifisch unterschiedlich. Mit Hilfe dieses Zusammenhanges kann für alle sondennahen Konzentrationen eine mittlere Schwebstoffkonzentration im Querprofil geschätzt werden. Mit der mittleren Schwebstoffkonzentration im Querprofil und dem Durchfluss können dann der Schwebstofftransport und die Schwebstofffracht ermittelt werden.

Die Schwebstoffmessungen und Auswertungen werden gemäß BMLFUW (2017) durchgeführt und im Hydrographischen Jahrbuch (Abbildung 9) bzw. eHYD veröffentlicht.

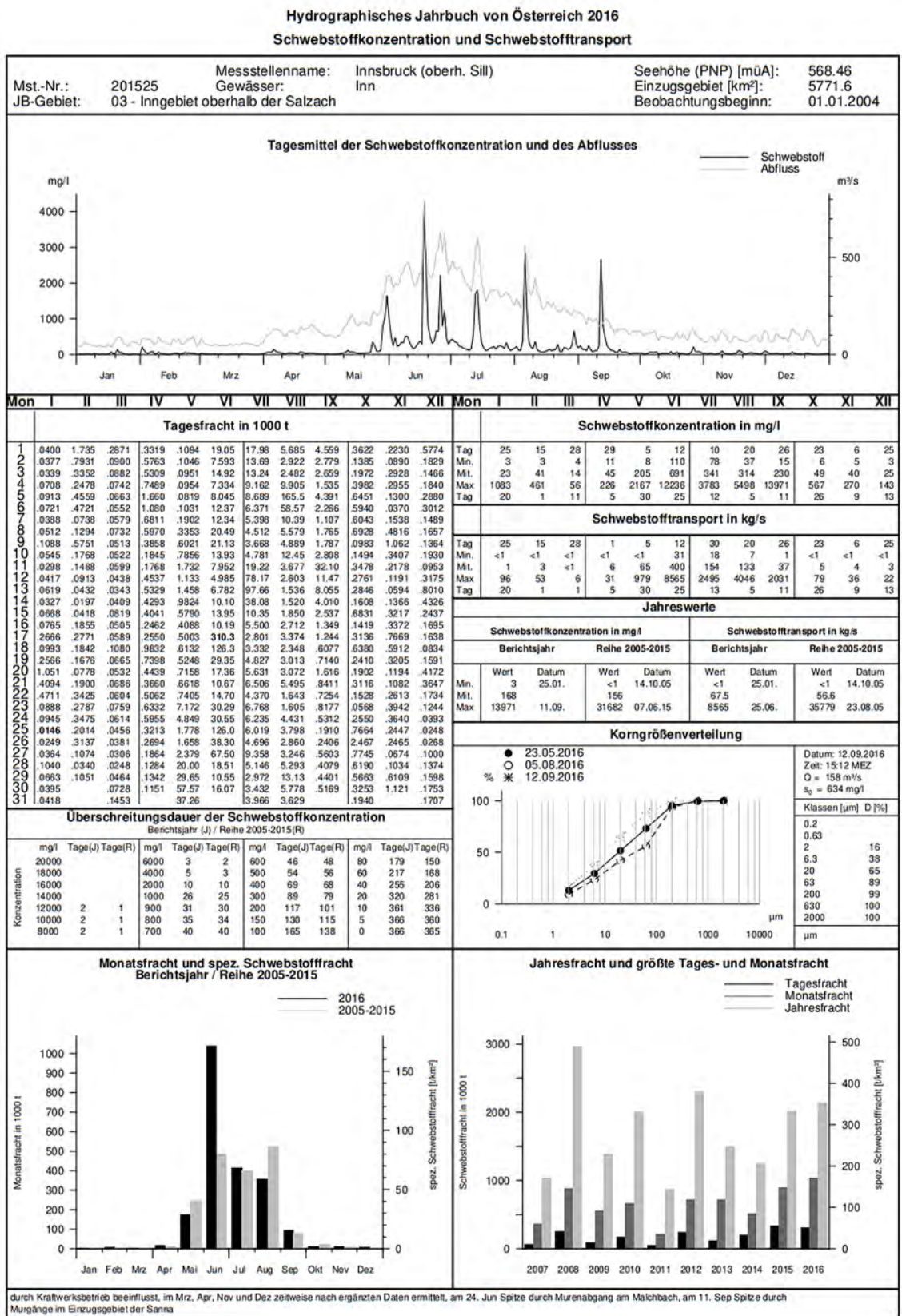


Abbildung 9: Schwebstoffseite im Hydrographischen Jahrbuch (Quelle: eHYD)

Einige Rekorde der Schwebstoffdaten in Tirol

Die mittleren Jahresfrachten am Tiroler Inn betragen von ca. 1,6 Mio. t in Innsbruck/Inn bis ca. 3 Mio. t in Oberaudorf/Inn (Abbildung 10). Beim Hochwasser im August 2005 entsprach in Innsbruck/Inn die größte Tagesfracht in etwa der mittleren Jahresfracht 2009-2015. Bei dem Hochwasser im Juni 2019 wurden im Vergleich zum Ereignis im August 2005 deutlich niedrigere Spitzen der Schwebstoffkonzentration und des Schwebstofftransports aufgezeichnet. Aufgrund der Dauer und der Intensität der Schneeschmelze im Juni 2019 wurde in Innsbruck/Inn bei diesem Ereignis allerdings die bisher größte Monatsfracht mit ca. dem doppelten Betrag der mittleren Jahresfracht 2009-2015 beobachtet.

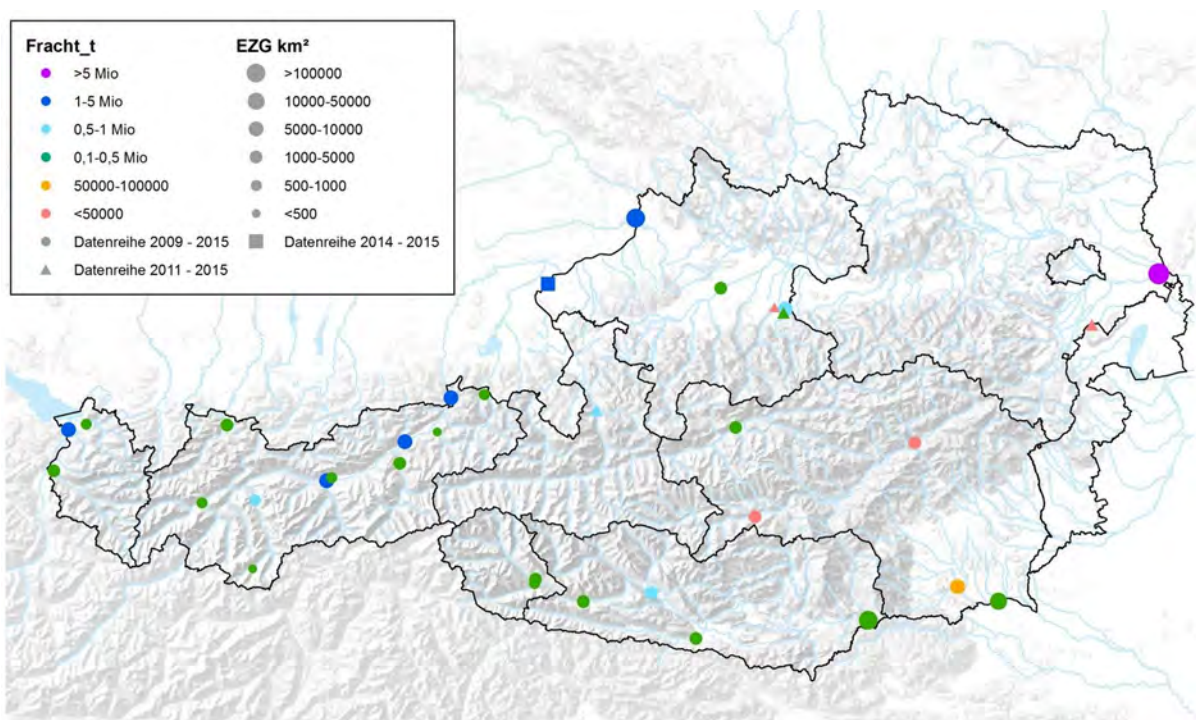


Abbildung 10: Die mittleren jährlichen Schwebstoffjahresfrachten 2009-2015 (Lalk et al., 2018)

Die maximalen Schwebstoffkonzentrationen entstehen in der Regel bei Unwetterereignissen mit Murenabgängen. Die österreichweit höchsten mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Profil mit ca. 300 g/l am 10. September 2016 in Landeck/Sanna, ca. 216 g/l am 26. Juli 2013 in Lienz-Falkensteinsteg/Drau und 117 g/l am 7. August 2015 in Innsbruck/Sill wurden allesamt in Tirol beobachtet.

Schwebstoffmessung und Forschung

Neben der routinemäßigen Schwebstoffmessung unterstützt der Hydrographische Dienst Tirol weitere Forschungsprojekte. Das Projekt STOBIMO (BMNT, Umweltbundesamt, Technische Universität Wien) befasst sich mit der Stoffbilanzmodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme. Zur Bestimmung von u.a. Phosphor im Fließgewässer sind spezielle Messeinrichtungen und Probenentnahmen notwendig. Mittels eines Einlauftrichters erfolgt im Gewässer aus der fließenden Welle die Wasserentnahme und durch Zuleitung und Absetzung im Sammelgefäß wird der Schwebstoff für die weitere Untersuchung gewonnen (Abbildung 11).



Abbildung 11: oben – das linke Bild zeigt die Messstelle an der Öztaler Ache im Bereich des Absturzes, orographisch rechts bei der Dotieröffnung; oben – das rechte Bild zeigt die Montage des Einlauftrichters und Zuleitung durch die Hydrometrische Werkstätte (HD Tirol) bei Niederwasser; der Einlauftrichter mit Schlauch ist in Bildmitte knapp über dem Wasserspiegel ersichtlich; unten – das linke Bild zeigt den Standort des Probennehmers neben der Dotationsöffnung; unten – rechtes Bild: Probennehmergefäß TU Wien im Detail (Quelle: HD Tirol)

Am Pegel Vent/Rofenache betreiben die Universität Innsbruck und die Universität Potsdam jeweils einen eigenen Probensammler zur Erfassung der Schwebstoffe (Abbildung 12), um in einem Projekt die Veränderungen der hydro-sedimentologischen Dynamiken in hochalpinen Einzugsgebieten erforschen zu können.



Abbildung 12: Schwebstoffsamplers in Vent (Quelle: HD Tirol)

Geschiebemesstellen und Datenauswertung

Auch für das Geschiebe gilt seit der Implementierung der Wasserrahmenrichtlinie in das Wasserrechtsgesetz der gesetzliche Auftrag zur Erhebung der Feststoffe. An einer Geschiebemesstelle ist laut Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV) der Geschiebetransport (Geschiebefluss) bzw. die Geschiebefracht zu bestimmen. Vom Hydrographischen Dienst

Tirol werden drei Geschiebemesstellen betrieben: Vent/Rofenache (Messbeginn 2000), Lienz/Isel (Messbeginn 2006) und Lienz/Drau (Messbeginn 2006). Die TIWAG betreibt projektbezogen Geschiebemesstellen an der Ötztaler Ache und am Fischbach. In Kärnten wird an der Messstelle Dellach/Drau der Geschiebetrieb mittels einer Hubfalle und festen Geschiebefallen mit eingebauten Wägezellen zur direkten Messung und einer Geophonkette registriert. Die Ergebnisse der Kärntner Messstelle wurden gemeinsam mit den Daten der Geschiebemesstellen in Osttirol im Bericht „Geschiebemessung an Drau und Isel 2007-2017, Jahresbericht 2017“ veröffentlicht. Dieser Bericht und weitere Berichte zur Messstelle Vent/Rofenache sind im BMNT in der Abteilung Wasserhaushalt (HZB) oder am IWA/BOKU auf Anfrage erhältlich.

Der Geschiebetransport wird indirekt mit einer Geophonanlage und direkt durch Entnahme von Geschiebeproben mit einem mobilen Geschiebefangkorb messtechnisch erfasst (Haber-sack et al., 2019). Geophone sind Schwingungssensoren, die an der Unterseite einer Stahlplatte angebracht und dann wasserdicht über das gesamte Flussprofil an der Gerinnesohle eingebaut werden (Abbildung 13). Eine Schwingung wird erzeugt und vom Geophon registriert, wenn Geschiebe über die Platten transportiert wird. Diese Messmethode erfasst den

Geschiebetransport hochauflösend in der Zeit und über die gesamte Flussbreite. Die Rohsignale werden durch die Ergebnisse des mobilen Geschiebefängers kalibriert und daraus wird der Geschiebetransport ermittelt (Habersack et al., 2019).

In Abhängigkeit von der Abflusscharakteristik und der Geschiebezusammensetzung an einer Messstelle werden individuelle Geschiebefänger eingesetzt. An der Messstelle Vent/Rofenache wird bei der Entnahme von Geschiebeproben ein mobiler Geschiebefänger von einem Kranwagen aus in der Mitte des Messprofils auf der Flusssohle aufgesetzt (Abbildung 14) und nach einer vom Geschiebetrieb abhängigen Messdauer wieder aus dem Gewässer an das Ufer gehoben und dort entleert. Es werden mindestens drei Messungen hintereinander durchgeführt. Die direkte Messung des Geschiebetransportes durch die Geschiebeentnahme ermöglicht auch die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung (Textur) (Habersack et al., 2019).

Die Messungen vor Ort, die Probenanalysen, die Datenbearbeitung und Auswertung erfolgt aktuell bis 2020 durch das Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA/BOKU).

Ein wesentlicher Aspekt beim Betrieb einer Geschiebemessstelle besteht in der Wartung der Geophonanlage. Die Erneuerung bzw. Reparatur ist mit hohen Kosten verbunden, da die flussbaulichen Maßnahmen einen hohen technischen Aufwand bedeuten. Die Kosten für das jeweilige Geophon sind gering, aufwändig ist hingegen die Wasserhaltung, um die Geophonschwelle zum Austausch der Geophone trockenlegen zu können. Daher ist bei der Planung einer Geschiebemessanlage das weitere Prozedere für eine langfristige Nutzung zu berücksichtigen, z.B. die Installation von „Ersatzgeophonen“.

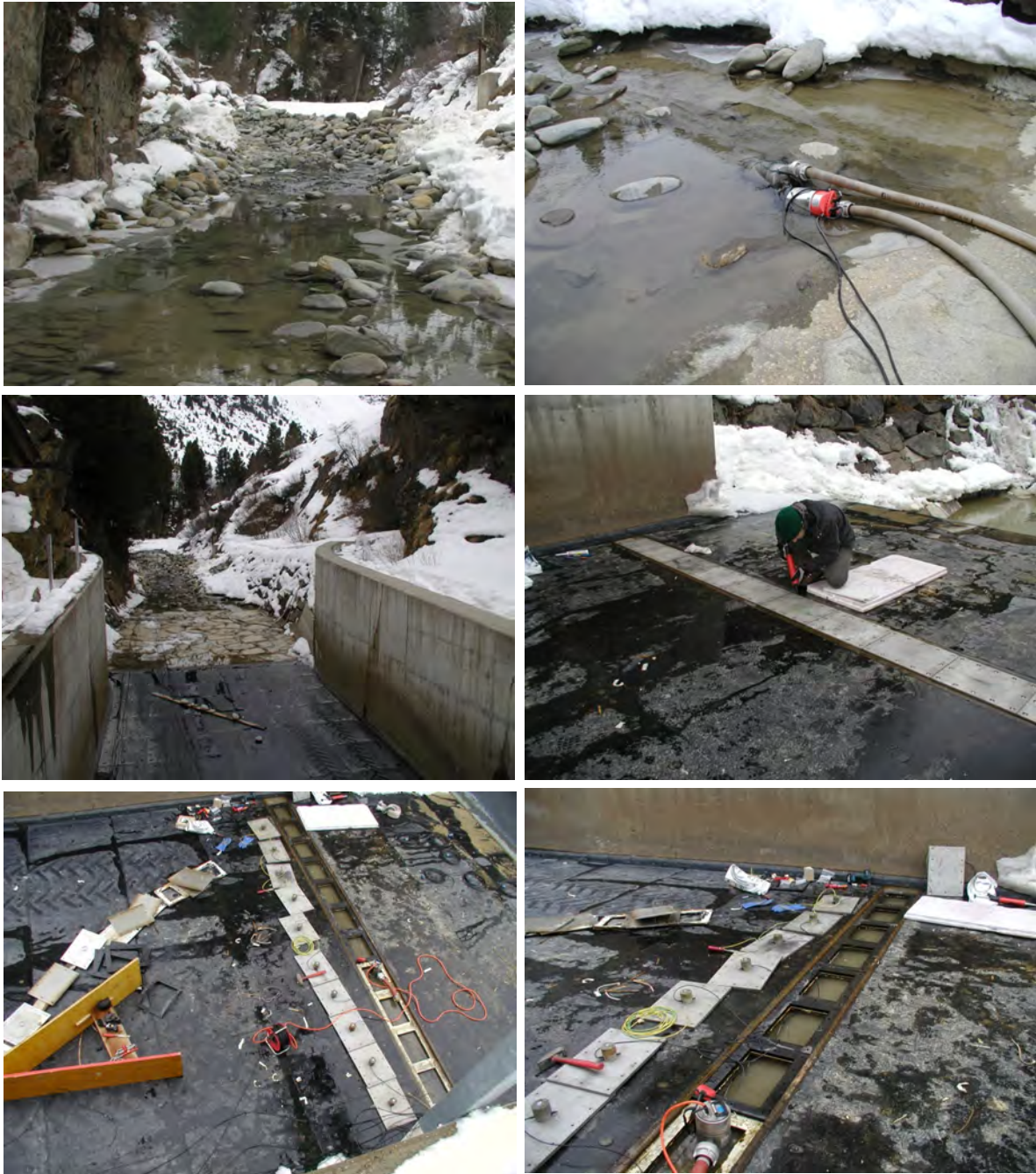


Abbildung 13: Pegel Vent/Rofenache, Umleitung des Wassers in einem Umgehungsstollen orographisch links der Pegelstelle hinter der Flügelmauer (wurde im Zuge der Pegelerrichtung schon damals vorgesehen) mit Wasserhaltung durch Steinschüttung (Bild oben links), Trockenlegung des Profils und Einbau von neuen Geophonen durch IWA/BOKU (Quelle: HD Tirol)



Abbildung 14: Vorbereitung des Geschiebefangnetzes am Pegel Vent/Rofenache (linkes Bild), Absenken des Geschiebefangkorb an der Führungssäule am Pegel Lienz/Isel (rechtes Bild) durch IWA/BOKU (Quelle: HD Tirol)

Geschiebefalle Lech

Mechanische Geschiebeentnahmen (Baggerungen) aus Fließgewässern eignen sich ebenfalls zur Bestimmung von Geschiebefrachten zur Bilanzierung. Am Lech im Bereich Hornberg wurde seitens der Bundeswasserbauverwaltung eine „Geschiebefalle“ realisiert, welche verhindert, dass der Lech flussabwärts mit erhöhten Geschiebemengen dotiert wird (Abbildung 15). Somit kann der Verlandung des Gewässerbettes vorgebeugt werden. Im Beweis-sicherungsverfahren zu dieser Baumaßnahme hat die Bundeswasserbauverwaltung den Hydrographischen Dienst Tirol beigezogen, um die instrumentelle Ausstatt-ung zur Durch-flussermittlung und Geschiebeabschätzung vornehmen zu können. Oberhalb der Geschiebe-falle, welche sich im ursprünglichen Flussbett befindet, wurde eine Ausleitungsstrecke reali-siert, welche über ein Drosselbauwerk dotiert wird. Über eine Wasserstandsaufzeichnung links beim Einlauf zum Drosselbauwerk (Abbildung 15, linkes Bild, untere Reihe) wird der Durchfluss ermittelt und für die weitere Bestimmung der Durchflussmengen in der Geschie-befalle über die Abflussspende am Pegel Lechaschau/Lech herangezogen. Im Einlaufbereich zur Geschiebefalle erfolgt ebenfalls die Registrierung der Wasserspiegellagen und mittels Videokamera kann der Zeitpunkt des Anspringens der Geschiebefalle ervuert werden.



Abbildung 15: oben – Panoramabild des Lech im Bereich der Geschiebefälle, links Drosselbauwerk, rechts Messmast mit Ausleger und Radar zur Wasserstandserfassung; Mitte – Drosselbauwerk und Messmast für die Wasserstandsmessung im Einlauf zur Geschiebefälle mit Geräteträger, Solar-Stromversorgung und Videokamera; unten – Kalibrierfahrt (Drosseldurchfluss) mittels ADCP und GPS Station (Quelle: HD Tirol)

Praxisbezug für Feststoffdaten

Die Hydrographie Österreichs zählt derzeit zu den führenden Institutionen bei der Erhebung von Feststoffen in Fließgewässern. Kraftwerksgesellschaften errichten in Vorbereitung zu Einreichprojekten gezielt Messstellen zur Erfassung der Feststoffe. Dieser Bereich der Wasserkreislauserhebung könnte zukünftig noch an Bedeutung gewinnen, wenn Sedimente als „significant water management issue“ bei Flussgebietsbewirtschaftungsplänen geführt werden. In zahlreichen Projekten wird auch der Forschungsbedarf aufgezeigt.

So können erfasste Daten für folgende praxisrelevante Punkte von Nutzen sein:

- Rückschlüsse auf sedimentbedingte Mehrkosten (Stauraumverlandung, Sedimentdefizit, unerwünschte Anlandungen).
- Datengrundlage für Planungen (z.B. Hochwasserschutz, Kraftwerksplanungen, Renaturierungsmaßnahmen und Rückhaltebecken)
- Verbesserung des Prozessverständnisses (z.B. zeitliche und örtliche Variabilität, Bewegungsbeginn)
- Optimierung von Geschiebformeln für die Praxis
- Monitoring vergangener und zukünftiger Gewässerentwicklungskonzepte und allgemeine Erkenntnisse über deren Auswirkungen
- Konkrete und aktuelle Sedimentfrachten, die Rückschlüsse auf das Sedimentkontinuum und die Sedimentbilanz erlauben
- Verbesserte Kalibrierung und Validierung von numerischen Modellen
- Rückschlüsse auf die Auswirkung von Wasserkraftwerken, von Sedimententnahmen und von Geschiebesperren auf den Geschiebetransport
- Konsequenzen des Gletscherschwundes und Reduktion des Permafrostes infolge des Klimawandels
- Grundlage für die Entwicklung und Umsetzung eines Feststoffmanagementkonzeptes für den NGP3 bis 2021

Literaturverzeichnis

BMLFUW (2017): Schwebstoffe im Fließgewässer – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransportes, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2017

BMNT (2016): Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, aktuelle Ausgabe 2016, digital

Habersack, H., Rindler, R., Kreisler, A., Aigner, J.: Geschiebemessungen an der Rofenache/Vent, Tätigkeitsbericht 2008-2018. Universität für Bodenkultur, Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung, Wien, 2019

Lalk, P., Haimann, M., Aigner, J., Gmeiner, P., Habersack H. (2018): Monitoring des Sedimenttransports in der Hydrographie Österreichs. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 71/1-2, 2019, 43-50; ISSN Print 0945-358X

Müller, H. W.; Nachtnebel, H. P.; Schwaighofer, B. (1993): Schwebstoffanalyse und -bilanz in Fluss-Stauhaltungen, Schriftenreihe der Forschungsinitiative des Verbundkonzerns, Band 15, Wien, 1993

Habersack, H.: persönliche Mitteilung, 2017

Mag. Klaus Niedertscheider, Dr. Ilse Kogelbauer, Daniel Pfurtscheller
Amt der Tiroler Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie
Herrengasse 1-3
6010 Innsbruck
E-Mail: klaus.niedertscheider@tirol.gv.at

Dipl.-Ing. Petra Lalk
Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
Abteilung Wasserhaushalt
Marxergasse 2
1030 Wien
E-Mail: petra.lalk@bmnt.gv.at



Meilensteine aus 125 Jahren Hydrographischer Dienst in Österreich

14. Oktober 1893 Die Wiener Zeitung vermeldet in ihrem „Nichtamtlichen Teil“ die Einrichtung eines k. k. hydrographischen Centralbureaus in Wien im k. k. Ministerium des Inneren.

14. Dezember 1894 Das Organisationsstatut des Hydrographischen Dienstes ist in der Wiener Zeitung abgedruckt. Es legt dessen Aufgaben und Struktur fest.

1895 14 Hydrographische Dienststellen in Wien, Linz, Salzburg, Graz, Klagenfurt, Laibach, Trient, Innsbruck, Prag, Brünn, Troppau, Lemberg, Czernowitz und Zara werden eingerichtet. Das erste Hydrographische Jahrbuch, jenes für 1893, erscheint. Nach 14 Hauptflussgebieten geordnet, werden Niederschlagshöhen 660 inländischer und 201 ausländischer Stationen sowie Wasserstände 417 inländischer und 76 ausländischer Pegel veröffentlicht.

1896 Die zum Hydrographischen Zentralbüro (HZB) gehörende Hydrometrische Prüfungsanstalt zur Flügeltarierung wird im Prater errichtet. Als erster Band der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“ erscheint das Flächenverzeichnis der Flussgebiete.

1897 Das Jahrbuch 1895 erscheint, dessen Daten nun auf Messungen laut den Vorschriften des Hydrographischen Dienstes beruhen. Es enthält auch Luft- und Wassertemperaturen sowie Schneehöhen. Das Messnetz umfasst 723 Pegel, davon 499 übernommene und 224 neu errichtete, weiters 2105 Niederschlagsstationen verschiedener Organisationen, davon sind 645 vom Hydrographischen Dienst neu errichtet worden, sowie 615 Schneepegel.

1898 Der zweite Band der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“ mit dem Titel „Die Hochwasserkatastrophe des Jahres 1897“ ist die erste von vielen Analysen eines Hochwasserereignisses (weitere Beispiele: Analysen für die Hochwasser 1899, 1954, 1965/66, 2002, 2005 und 2013). Einrichtung des Hochwasserwarndienstes und tägliche Bekanntgabe der Wasserstandshöhen und Prognosen im Donaugebiet auf telefonischem und telegraphischem Weg.

1906/07 Beginn der Erstellung eines Wasserkraftkatasters, der schließlich 3150 Flusskilometer auf 325 Blättern abdeckt.

1908 Als neunter Band der „Beiträge zur Hydrographie Österreichs“ erscheint die wegweisende Studie „Der Schutz der Reichshaupt- und Residenzstadt Wien gegen die Hochfluten des Donautromes“ von DI Ernst Ritter von Lauda, dem Leiter des Hydrographischen Dienstes.

1912 Das HZB ist einer Sektion gleichgestellt und hat 90 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

23. März **1914** Die Versuchsanstalt für Wasserbau in der Severingasse wird eröffnet.

14. März **1919** Das HZB befindet sich nun im Staatsamt für Handel und Gewerbe, Industrie und Bauten, das zu betreuende Gebiet ist auf ein Drittel reduziert, das Personal auf ein Achtel. Bestehen bleiben die Dienststellen in Wien, Linz, Salzburg, Innsbruck, Klagenfurt und Graz.

1919 Das Jahrbuch 1914 erscheint. Es umfasst nur mehr das österreichische Bundesgebiet.

1920 Einrichtung der Hydrographischen Dienststelle in Bregenz.

1921 Einrichtung der Hydrographischen Dienststelle in Eisenstadt.

1. Oktober **1925** Das HZB wird als Abteilung dem Bundesministerium (BM) für Land- und Forstwirtschaft unterstellt. Geld- und Personalmangel erlauben nur eine eingeschränkte Tätigkeit.

1930 In der Welser Heide werden die ersten Grundwassermessstellen eingerichtet.

1938 Der Hydrographische Dienst wird zerschlagen. Die Niederschlagsbeobachtung wird in den Reichswetterdienst eingegliedert und die wasserwirtschaftlichen Obliegenheiten werden an eine neu gegründete Wasserwirtschaftsstelle für das untere Donauebiet übertragen. Diese bleibt bis Kriegsende mit dem HZB zusammen, da sie vom gleichen Vorstand geleitet wird.

1940 Das Landwirtschaftsministerium wird aufgelöst. Das HZB setzt seine Arbeit im Einvernehmen mit der Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements in Berlin fort.

1940 bis 1945 Trotz aller Schwierigkeiten führen einzelne Beobachterinnen und Beobachter während des Krieges auch ohne Kontakt zu den betreffenden Landesdienststellen Messungen durch.

20. Juli **1945** Das HZB wird wieder Abteilung im Staatsamt (später BM) für Land- und Forstwirtschaft. Die Außenstelle des Hydrographischen Dienstes für den Donaustrom wird im Staatsamt für öffentliche Bauten, Übergangswirtschaft und Wiederaufbau dem Wirkungsbereich des Bundesstrombauamtes (später Wasserstraßendirektion bzw. viadonau Wasserstraßengesellschaft mbH) zugewiesen.

1946 bis 1948 Die Rückstände in der Jahrbuchveröffentlichung werden aufgearbeitet, indem für die Jahre 1934 bis 1947 verkürzte Jahresübersichten herausgegeben werden.

1949 bis 1951 Die 1945 zerstörte Hydrometrische Prüfanstalt wird mit der nunmehrigen Bundesversuchsanstalt für Wasserbau verbunden und in der Severingasse neu aufgebaut.

1950 Das Jahrbuch 1948 erscheint in der ursprünglichen Form und enthält auch detaillierte Angaben zu Abflüssen sowie Grundwasserabstiche.

November **1950** In Wien findet die erste Hydrographentagung statt, an der Vertreter des Hydrographischen Zentralbüros, der Hydrographischen Landesdienste und der Außenstelle im Bundesstrombauamt, sowie Hydrologen von Kraftwerksgesellschaften und der Bundesbahnen teilnahmen. Bis 1982 finden 15 solcher Tagungen statt.

1951 Das erste Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich erscheint.

1953 Das Messnetz umfasst (ohne Fremdmessstellen) 580 Pegel, 661 Regen- und 667 Schneemessstationen, 215 Luft- und 70 Wassertemperaturmessstellen sowie 310 Grundwasserpegel.

1961 Das Jahrbuch 1960 erscheint. Es ist nur mehr A4 groß und enthält eine Messstellenkarte.

1963 Zuteilung des 1921 gegründeten Speläologischen Instituts zum HZB.

1966 Beginn der Umstellung auf elektronische Datenverarbeitung.

1970 Der HD Steiermark nimmt ein Funknetz für den Hochwasserdienst in Betrieb. Für zehn Pegel wird stündlich ein Wert übertragen, der aber nicht gespeichert wird.

1973 Das Jahrbuch 1968 wird herausgegeben. Die Tabellen im Grundwasserteil wurden erstmals mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitung erstellt.

1974 Die Hydrometrische Prüfanstalt und die Bundesversuchsanstalt für Wasserbau werden in die Bundesanstalt für Wasserbauversuche und hydrometrische Prüfung umgewandelt und ab 1. Jänner 1975 der Abteilung Flußbau im BM für Land- und Forstwirtschaft unterstellt. Das Speläologische Institut wird zur Bundesanstalt für Wasserhaushalt von Karstgebieten und der Abteilung wasserwirtschaftliche Angelegenheiten unterstellt.

1975 Das Jahrbuch 1971 erscheint. Der Niederschlagsteil wurde auch mittels EDV gefertigt.

1. Jänner **1980** Das im Jahr 1979 beschlossene Bundesgesetz über die Erhebung des Wasserkreislaufes (Hydrographiegesetz) tritt in Kraft. Die Grundsätze des Organisationsstatus aus dem Jahr 1894 wurden übernommen.

1980 Das Jahrbuch 1976, das erste, das vollständig auf EDV-Basis erstellt wurde, erscheint.

Oktober **1981** Die erste Dienstbesprechung des Sachgebiets Niederschlag, Lufttemperatur und Verdunstung mit allen in diesem Bereich tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Hydrographischen Dienstes wird abgehalten. Das Sachgebiet Unterirdisches Wasser einschließlich der Quellen beginnt 1986, das Sachgebiet Oberflächenwasser und Feststoffe 1991 mit Dienstbesprechungen, die schließlich in jedem Sachgebiet zweijährlich und jeweils in einem anderen Bundesland stattfinden.

1986 An der Niederschlagsmessstelle Lunz (Niederösterreich) und am Pegel Penningersteg/Alm (Oberösterreich) werden die ersten digitalen Datensammler in Betrieb genommen.

Oktober **1991** Die erste Koordinationsbesprechung zwischen dem Abteilungsleiter sowie den Sachgebietsleitern im HZB und den Leitern der Hydrographischen Dienststellen wird in Wien abgehalten und findet von da an jährlich statt.

1992 Am Pegel Klaus/Steyr (Oberösterreich) wird die erste Datenfernübertragung per Modem installiert.

1995 HyDaMS – das **H**ydrographische **D**aten**m**anagement-**S**ystem wird beauftragt. Der Hydrographische Dienst beginnt ein Quellmessnetz einzurichten.

1998 Errichtung der ersten Messstelle in der Ungesättigten Zone in Schalladorf (Niederösterreich).

2000 Das Jahrbuch 1997, erstmals mit Hilfe von HyDaMS erstellt, erscheint.

2002 Im Zuge einer Reorganisation des BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erhält das Hydrographische Zentralbüro den Namen Abteilung Wasserhaushalt.

Einbau der ersten Schwebstofffassung am Pegel Wels-Lichtenegg (Oberösterreich).

2003 Mit einer Wasserrechtsgesetznovelle erfolgt die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in österreichisches Recht. Das Hydrographiegesetz wird aufgehoben. Die Belange der quantitativen Hydrographie regelt stattdessen nun Paragraph § 59 des Wasserrechtsgesetzes WRG 1959.

Der Hydrologische Atlas Österreichs (HAÖ) erscheint mit 24 Kartentafeln. 2005 wird er um weitere 16 und 2007 um weitere 12 Karten ergänzt.

2005 Mit dem Erscheinen des Jahrbuchs 2002 geht die Web-GIS-Anwendung eHYD (elektronische **H**ydrographische **D**aten) in Betrieb, die Archivdaten aller im Jahrbuch enthaltenen Messstellen werden zum Download angeboten. Mit jeder folgenden Jahrbuchveröffentlichung werden die Daten um das entsprechende Jahr ergänzt.

2006 Das Jahrbuch 2003 wird mit einer CD herausgegeben, auf der Text und Tabellen aufgeteilt auf mehrere pdf-Files gespeichert sind. Diese CDs werden bis zum Jahrbuch 2010 behalten.

14. Dezember **2006** Die Wasserkreislaufferhebungsverordnung (WKEV) wird per Bundesgesetzblatt verlautbart.

2007 Ab dem Jahrbuch 2004 (bis einschließlich Jahrbuch 2013) wird dieses mit allen Auswertungen im pdf-Format auf der Website des Ministeriums zum Download angeboten. Die Markierungsversuchedatenbank wird als Teil des Wasserinformationssystems Austria (WISA) eingerichtet.

2009 In eHYD werden Bemessungsniederschläge zum Download angeboten.

2010 In eHYD werden auf einem eigenen Layer Einspeise- und Beobachtungsstellen von Markierungsversuchen angezeigt.

2011 Zur zeitnahen Übermittlung aktueller Messwerte wird der Hydrographische Datenverbund geschaffen, der es dem HZB ermöglicht, Werte von Messstellen mit Ferngebern abzurufen. In der Folge werden auf eHYD aktuelle Durchflussdaten von Messstellen in ganz Österreich dargestellt.

2013 Auf eHYD werden auch aktuelle Niederschlagsdaten dargestellt.

2014 Das Jahrbuch 2012 ist das letzte mit Text- und Tabellenteil in gedruckter Form.

2015 Das Jahrbuch 2013 besteht aus einer ausführlicheren gedruckten Charakteristik des hydrologischen Geschehens mit erklärenden Abbildungen und dem Tabellenteil im pdf-Format, der nur auf der Website des Ministeriums zum Download angeboten wird. Das eHYD-Angebot wird um aktuelle Grundwasserdaten erweitert.

2017 Ab dem Jahrbuch 2014 werden die Auswertungen und Tabellen des Hydrographischen Jahrbuchs über eine gemeinsam mit dem Umweltbundesamt entwickelte Web-Applikation zum Download angeboten (<https://wasser.umweltbundesamt.at/hydjb/>). Die hydrologische Charakteristik wird weiterhin gedruckt und ist auch elektronisch als pdf-Datei auf der Website des Ministeriums abrufbar.

2018 Die stetig steigenden Zugriffe auf eHYD belaufen sich auf ca. 150.000 Anwendungsaufrufe mit mehr als 2,5 Millionen weiteren Kartenaufrufen. eHYD ist damit die weitaus am häufigsten besuchte Web-GIS-Anwendung des BM für Nachhaltigkeit und Tourismus.

2019 Der Hydrographische Dienst betreibt mit ungefähr 145 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern über ganz Österreich verteilt 1219 Niederschlags- und 802 Schneehöhenmessstellen, 765 Lufttemperatur- und 36 Verdunstungsstationen, 763 Pegel an Flüssen und Seen – 619 davon mit Durchflussermittlung, 297 mit Wassertemperaturmessung und 34 mit Schwebstoffbeobachtung, 3367 Grundwassermessstellen – 2026 davon mit Temperaturerfassung, 88 Quellmessstationen und 10 Messstellen in der ungesättigten Zone.



Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

bmnt.gv.at