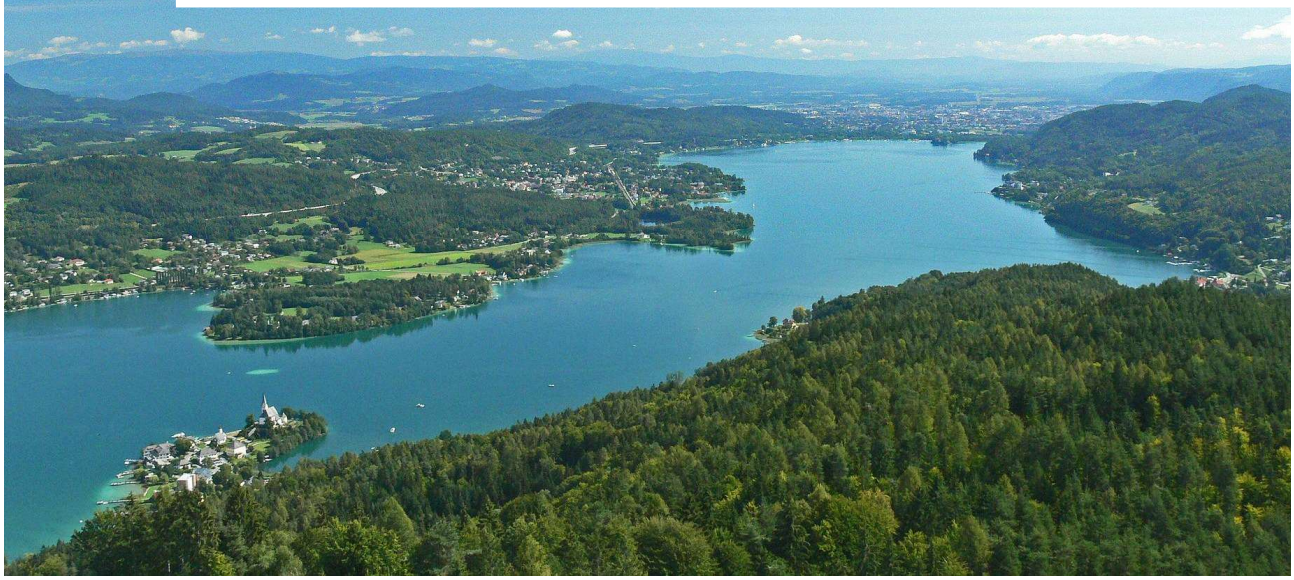
LAND KÄRNTEN

SCHUTZ- UND NUTZUNGSKONZEPT

Wörthersee



Bericht Nr. 2.4.2

Wassertemperatur-, Wasserstands- und Witterungsänderungen – Auswertung von Bestandsdaten

Endversion

März 2024

Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination

LAND KÄRNTEN

Impressum:

Herausgeber:
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 12 – Wasserwirtschaft
Unterabteilung Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft
Flatschacher Straße 70, 9021 Klagenfurt am Wörthersee

Projektbearbeitung:
Mag. Markus Reichmann – Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination
Unterabteilung Geologie und Gewässermonitoring

Inhalt

1 Veranlassung und Zielsetzung 5
2 Allgemeines 5
3 Wassertemperatur 6
3.1 Jahresmittelwerte 6
3.2 Monatsmittelwerte 6
4 Wasserstand 8
4.1 Tages- und Jahresmittelwerte 8
5 Lufttemperatur 10
5.1 Tages- und Jahresmittelwerte 10
6 Windgeschwindigkeit 11
7 Windrichtung 13
8 Niederschlag 16
9 Zusammenfassung und Diskussion 17
10 Literatur 18

1 Veranlassung und Zielsetzung

Im Wörthersee hat sich seit der ersten Makrophytenerhebung im Jahr 2007 ein deutlicher Rückgang der Wasserpflanzen und damit einhergehend eine Verschlechterung des Ökologischen Zustands ergeben. Klimatische Veränderungen erscheinen als eine mögliche Ursache dafür. Aus diesem Grund wurden zur Verfügung stehende, langjährige Daten von einer hydrologischen und einer meteorologischen Messstation am Wörthersee einer genaueren Analyse zugeführt. Ziel war es langjährige Trends zu erkennen und die meteorologischen und hydrologischen Parameter der beiden Untersuchungsjahre 2007 und 2021 zu vergleichen.

Ausgewertet wurden Daten des Pegels Pörtschach-See (HZB-Nummer: 212985) und der meteorologischen Station der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Pörtschach (Klima-ID: 20220)

2 Allgemeines

Am Wörthersee liegt bei Pörtschach im Bereich der Marina beim Badehaus Werzer eine Pegelmessstation mit einem integrierten Temperatursensor der von der Unterabteilung Hydrographie der Abteilung 12 – Wasserwirtschaft des Amtes der Kärntner Landesregierung betrieben wird. Für das ggs. Projekt liegen von Seiten der Hydrographie Daten zur Wassertemperatur und zum Wasserstand für den Zeitraum 1983 bis 2022 vor.

Abbildung 1: Lage der Messstation - Überblick (Quelle: KAGIS@)

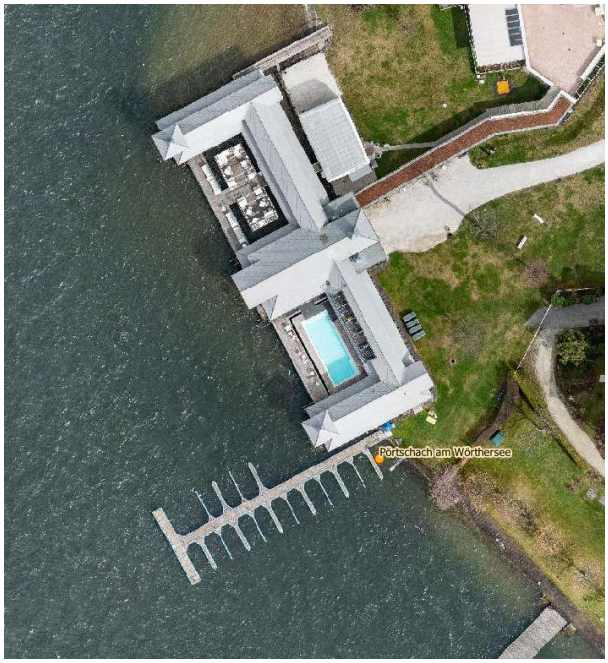


Abbildung 2: Lage der Messstation - Detail (Quelle: KAGIS@)

Die Messtiefe des Temperaturschreibers beträgt bei Normalwasserstand 1 m. Laut Tiefenkarte beträgt die mittlere Wassertiefe an der Messstelle 1,5 m.

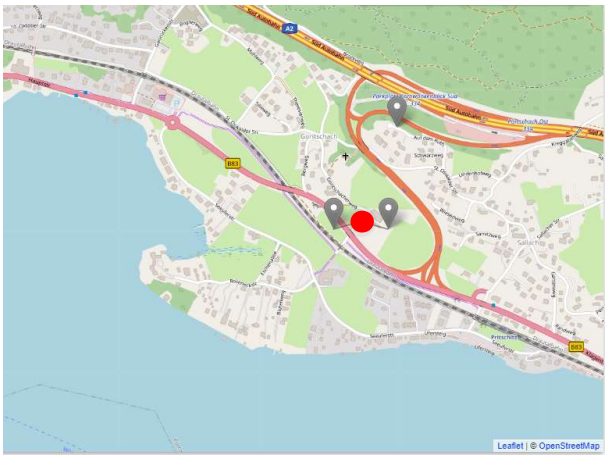


Abbildung 3: Lage der ZAMG – Messstation … roter Punkt (Quelle: https://dataset.api.hub.geosphere.at/app/frontend/station/historical/klima-v1-1d)

Ergänzt wurden die Daten anhand der Daten zu Lufttemperatur, Niederschlag und Windstärke bzw. -richtung der meteorologischen Station der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Pörtschach (Klima-ID: 20220; Abbildung 3). Die Daten wurden mit freundlicher Unterstützung durch Herrn Mag. Stephan (ZAMG) über das Datenportal der GEOSPHERE AUSTRIA abgerufen.

3 Wassertemperatur

3.1 Jahresmittelwerte

Generell zeigt sich an der Messstelle seit 1981 ein recht kontinuierlicher Temperaturanstieg. Eine lineare Regression (R^2=0,71) zeigt eine Temperaturzunahme um rd. 2,3 °C von ca.12,2 auf 14,5 °C (Abbildung 4). Die beiden Jahre, in denen Makrophyten-Erhebungen stattfanden (2007 bzw. 2021; rote Punkte) unterscheiden sich hinsichtlich der Durchschnittstemperatur nur um rd. 0,5 °C. Allerdings war 2007 ein deutlich wärmeres Jahr, als die drei Jahre davor, während die Wassertemperatur 2021 deutlich unter jener der drei Vorjahre liegt.

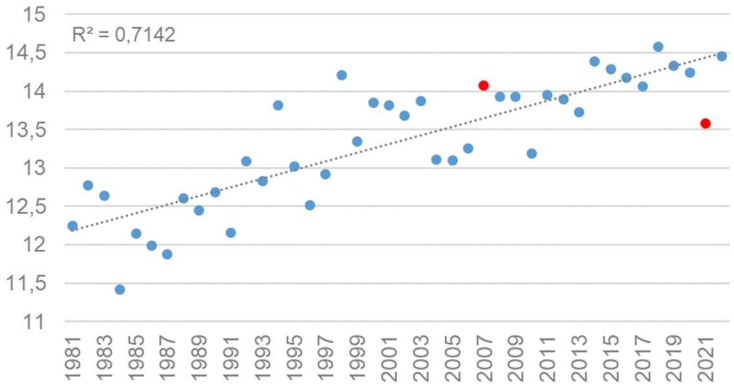


Abbildung 4: Temperaturjahresmittelwerte (°C) aus den Tagesmittelwerten 1981 bis 2022

3.2 Monatsmittelwerte

Die Temperaturentwicklung in den einzelnen Monaten (Abbildung 5) ist sehr divergent. Während der Temperaturanstieg zumeist 1,0 bis rd. 3,0 °C beträgt ist der Anstieg im April und im Juni deutlich steiler und erreicht bis zu 4 °C. Besonders markant ist der Temperaturunterschied zwischen den beiden Erhebungsjahren im April und im Mai mit bis zu 4,5 °C. Ebenfalls auffällig ist, dass sich die Apriltemperaturen der Jahre 2021, 2022 und 2023 deutlich gegen den langjährigen Trend entwickelten.

Abbildung 5: Temperaturmonatsmittelwerte (°C) im zeitlichen Verlauf von 1983 bis 2022

Im September, dem Monat, in dem in beiden Jahren die Makrophytenerhebungen stattfanden lag die Temperatur im Mittel jedoch 2021 um rund 2 °C höher als 2007.

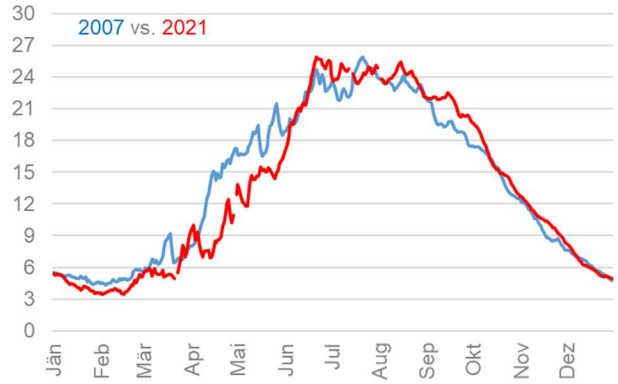


Abbildung 6: Tagesmittelwerte (°C) 2007 und 2021

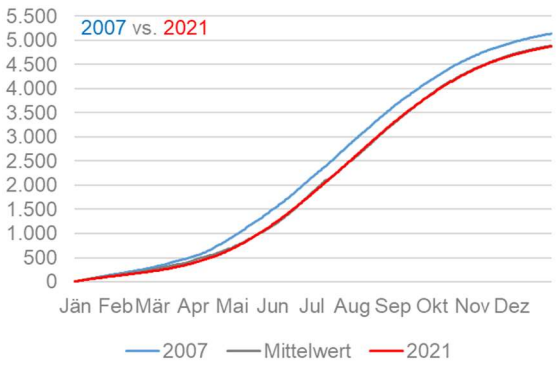


Abbildung 7: Summe der Tagesgrade 2007 und 2021

Auch im Vergleich der Tagesmittelwerte (Abbildung 6) zeigt sich, dass 2007 in der ersten Jahreshälfte und hier vor allem im April und im Mai deutlich wärmer war als 2021. Addiert man die Tagesmittel, so liegt das Jahr 2021 ziemlich exakt im langjährigen Mittel 1983 bis 2022. 2007 weicht deutlich nach oben ab (Abbildung 7).

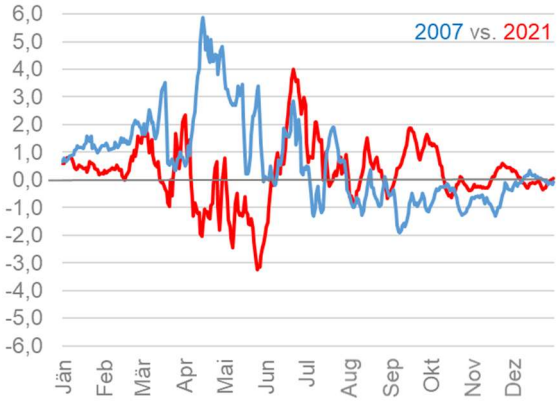


Abbildung 8: Abweichung der Jahre 2007 und 2021 vom langjährigen Mittel (1981 bis 2022)

Im Vergleich zum langjährigen Mittel ist der Temperaturverlauf der beiden Erhebungsjahre bis Mitte März ähnlich (Abbildung 8). Dann zeigt sich 2007 ein erster Anstieg, während 2021 die Temperatur kurzfristig wieder fällt. Anfang April kehrt sich die Situation kurz um. Dann zeigt sich aber eine deutlich antiparallele Entwicklung. 2021 fällt die Temperatur um 5°C, während sie 2007 um etwa denselben Betrag ansteigt.

4 Wasserstand

4.1 Tages- und Jahresmittelwerte

Im Jahresmittel beträgt der Pegelstand am Pegel Pörtschach See rd. 125 cm. Das im Zeitraum 1983 bis 2022 gemessene Maximum betrug 180 cm am 25.11.2000. Der niedrigste Wasserstand wurde am 08.09.2013 mit 93,6 cm gemessen. Über das Jahr schwankt der Wasserstand durchschnittlich um rd. 38 cm.

Betrachtet man die Entwicklung der Jahresmittel der Pegelstände (Abbildung 9), so zeigt sich, dass bis 1996 die Pegelstände fast durchgehend und zumeist deutlich über dem Durchschnitt lagen. Ab 1996 bleiben die Jahresmittel mit wenigen Ausnahmen unter dem Mittelwert. Das niedrigste Jahresmittel wurde im ersten Makrophytenerhebungsjahr (2007) mit rd. 108 cm gemessen. Seit 2007 blieb der Wasserstand zwar zumeist unter dem langjährigen Mittel, zeigte sich aber vergleichsweise stabil zwischen 118 cm (2008) und 132 cm (2014). Im zweiten Makrophytenerhebungsjahr 2021 liegt der mittlere Wasserstand mit rd. 122 cm nahe am langjährigen Mittel.

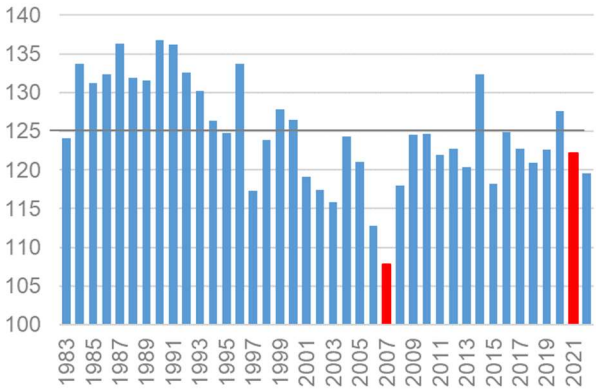


Abbildung 9: Entwicklung des Wasserstandes (Jahresmittel; cm)

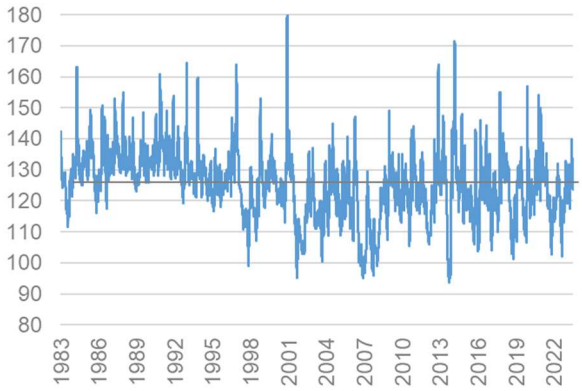


Abbildung 10: Entwicklung des Wasserstandes (Tagesmittel; cm)

Im Detail zeigt sich der Unterschied zwischen den beiden Erhebungsjahren ebenso deutlich (Abbildung 11). Der Wasserstand des Jahres 2007 bewegt sich mit Ausnahme des Aprils immer nahe am langjährigen Minimum bzw. bildet dieses. 2021 liegt der Wasserstand in der ersten Jahreshälfte zumeist über, in der zweiten Jahreshälfte meist knapp unter dem langjährigen Tagesmittel.

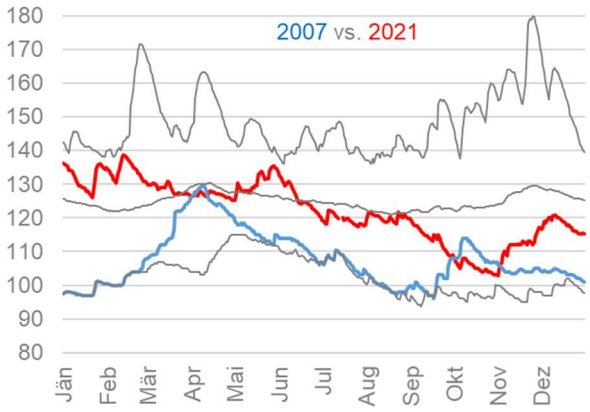


Abbildung 11: Entwicklung des Wasserstandes (Tagesmittel 2007 und 2021, sowie Minima, Mittelwerte und Maxima (in grau) 1983 bis 2022; cm)

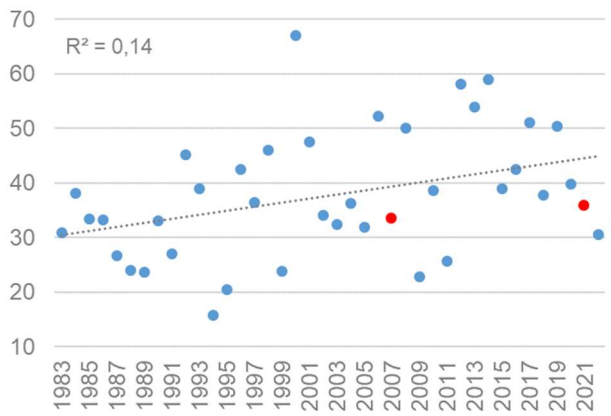


Abbildung 12: Differenz zwischen dem höchsten und den niedrigsten Wasserstand (cm)

Bei der Betrachtung der Verläufe der minimalen und maximalen Wasserstände der Einzeljahre (Abbildung 11) lässt sich als Trend lediglich ablesen, dass die Streuung im April und Mai am geringsten ist. Vor allem im Herbst (Oktober, November und Dezember) ist die Streuung hoch.

Die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen Wasserstand liegt im Mittel bei 38 cm. Tendenziell ist die Wasserstandsschwankung zunehmend, wenngleich die Differenzen der letzten drei Jahre nahe am Mittel waren. Auch die beiden Erhebungsjahre unterscheiden sich hinsichtlich der Wasserstandsschwankung nur marginal (2007: 33,5 cm; 2021: 35,9 cm; **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Am Wörthersee reguliert eine Schleuse beim Seeausrinn Glanfurt (Abbildung 13) den Seespiegel. Die entsprechende Schleusenordnung (MOSER, 2020) führt dazu aus:

Die Regelung der Wasserstände des Wörthersees reicht bereits zurück in das 19. bzw. 20. Jahrhundert, als man die Glanfurt (Sattnitz) aus Hochwasserschutzgründen zu regulieren begann und damit die natürlichen Abflussverhältnisse sich veränderten.

Mit dem Bau der Schleuse war man daher bestrebt, die ursprünglichen Wasserstandsverhältnisse am See und Abflussverhältnisse in der Glanfurt zu erhalten.

Der langfristige Normalwasserstand des Sees (125 cm beim Pegel Pörtschach) inklusive seiner natürlichen Schwankungsbereiche soll auch in Zukunft gewährleistet sein.

Es wurden Schleusenordnungen aufgestellt. Diese änderten sich mehrmals, als die Glanfurt abermals reguliert und die Seeschleuse umgebaut wurde (z.B. 1954, 1974).

Bei niedrigen Wasserständen im See (unter Mittelwasserstand von 125 cm) wird der Abfluss in die Glanfurt entsprechend gedrosselt, um ein allzu rasches Absinken des Seewasserstandes zu verhindern, und bei Hochwasserständen wird der Abfluss in die Glanfurt entsprechend erhöht, um gleichfalls zu hohe Wasserstände im See zu vermeiden.

Dabei sollen die Verhältnisse für See-Anrainer und Glanfurt-Anrainer möglichst ausgewogen bzw. im Verhältnis gleich sein. Das heißt, bei Niedrigwasserstand im See, soll auch ein entsprechend niedriger, ökologisch erforderlicher Abfluss in der Glanfurt vorliegen, bei Mittelwasser mittlere Verhältnisse und bei Hochwasser ausgewogene Hochwasserverhältnisse an beiden Seiten herrschen.

Eine vollkommene Übereinstimmung der Verhältnisse ist auf Grund der unterschiedlichen hydrologischen Gegebenheiten zwischen See und Zubringerbächen (Speicherverhalten, Verdunstung, Niederschlagsmengen und Verteilung, Schleusengegebenheiten…) nicht möglich. Man kann daher lediglich „annähernd" ähnliche Verhältnisse erwarten.

Mit der Schleusenordnung wird zudem versucht den See über Frühjahr und Sommer etwas höher zu halten (wegen Badesaison), während über Herbst und Winter ein niedrigerer Seewasserstand angestrebt wird (wegen Hochwasser, Eisschäden). Wetter bedingte Extremsituationen (Hochwasser bzw. Niederwasser) können mit der Schleusenanlage nicht verhindert werden! Sie ist dafür nicht konzipiert.

Die letztgültige Schleusenordnung geht auf das Jahr 1974 zurück. Im Prinzip wird diese Regelung noch heute mit geringfügigen Adaptionen angewendet.

Abbildung 13: Seeschleuse (Foto: Abt 12 / Wasserwirtschaft / Hydrographie; Schleusenordnung)

Abbildung 14: Zahnstange (Einstellung 5 Zähne) (Foto: Abt 12 / Wasserwirtschaft / Hydrographie; Schleusenordnung)

5 Lufttemperatur

5.1 Tages- und Jahresmittelwerte

Bei Betrachtung der Jahresmittel der Lufttemperatur (Abbildung 15) zeigt sich von 1983 bis 2022 eine Zunahme von rd. 2,5 °C. Dies entspricht in etwa dem bei der Wassertemperatur beobachtetem Anstieg von 2,3 °C. Das Jahr 2007 war innerhalb des kontinuierlichen Anstiegs eher überdurchschnittlich warm, während es 2021 entgegen dem Trend doch deutlich unterdurchschnittliche Lufttemperaturen gab.

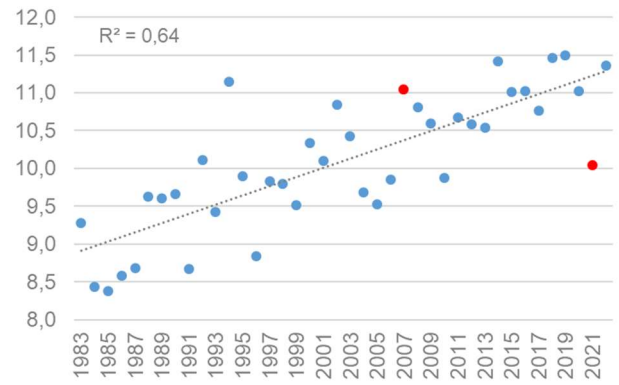


Abbildung 15: Lufttemperatur Jahresmittel (°C)

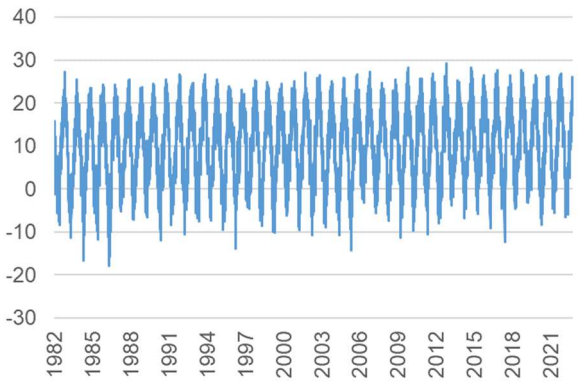


Abbildung 16: Lufttemperatur Tagesmittel (°C)

Die Entwicklung des Anstiegs der Lufttemperatur in den einzelnen Monaten reicht von rd. 1,1 °C im September bis ca. 4 °C im Juni (Abbildung 17). Dies deckt sich größenordnungsmäßig in etwa mit der Wassertemperatur. Im April weicht die Entwicklung der Wassertemperatur (+4 °C) jedoch von jener der Lufttemperatur (+2 °C) überdurchschnittlich nach oben hin ab.

Abbildung 17: Lufttemperatur (°C); Monatsmittel der Einzeljahre im zeitlichen Verlauf

Generell zeigt sich aber eine plausible Korrelation von Luft- und Wassertemperatur.

6 Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeiten an der ZAMG-Station in Pörtschach erreichen im Mittel 1,3 m/s. Die Jahresmittelwerte streuen zwischen 1,1 und 1,7 m/s. Das Maximum wurde am 26.04.2012 mit 5,9 m/s gemessen.

Ein klarer Trend lässt sich anhand der Jahresmittelwerte (Abbildung 18) nicht erkennen. Bis 1992 stieg die Windgeschwindigkeit etwas an, war danach lange Zeit rückläufig und stieg 2018 sprunghaft an. Seit 2018 blieb die Windgeschwindigkeit stabil bei Werten nahe des Mittelwertes von 1,3 m/s.

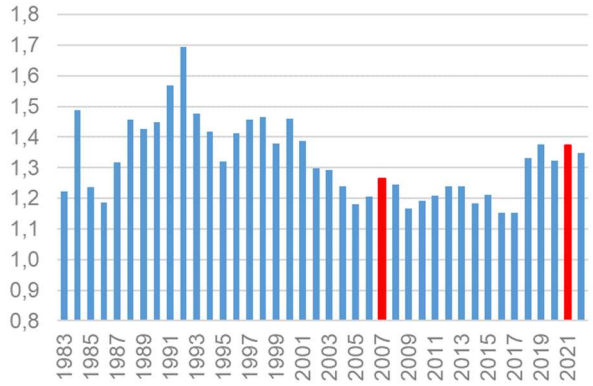


Abbildung 18: Windgeschwindigkeit – Jahresmittelwert (m/s)

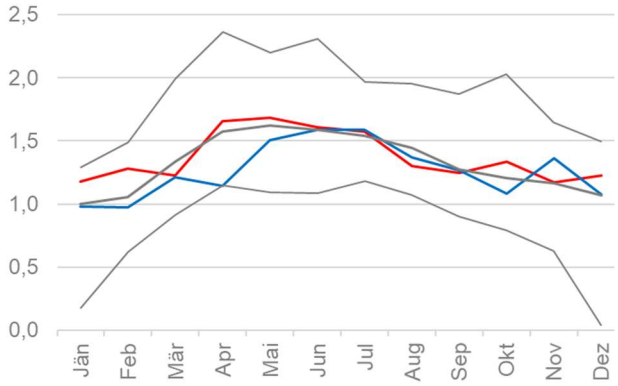


Abbildung 19: Windgeschwindigkeit – Monatsmittelwert (m/s)

Im Jahresverlauf zeigen sich in den Sommermonaten die höchsten, in den Wintermonaten die niedrigsten Windgeschwindigkeiten (Abbildung 19).

Auch bei Betrachtung der Monatsmittel der einzelnen Jahre im zeitlichen Verlauf lässt sich kein signifikanter Trend ablesen. Tendenziell nimmt die Windgeschwindigkeit in den Sommermonaten leicht ab. In den Wintermonaten ist die Geschwindigkeit gleichbleibend gering.

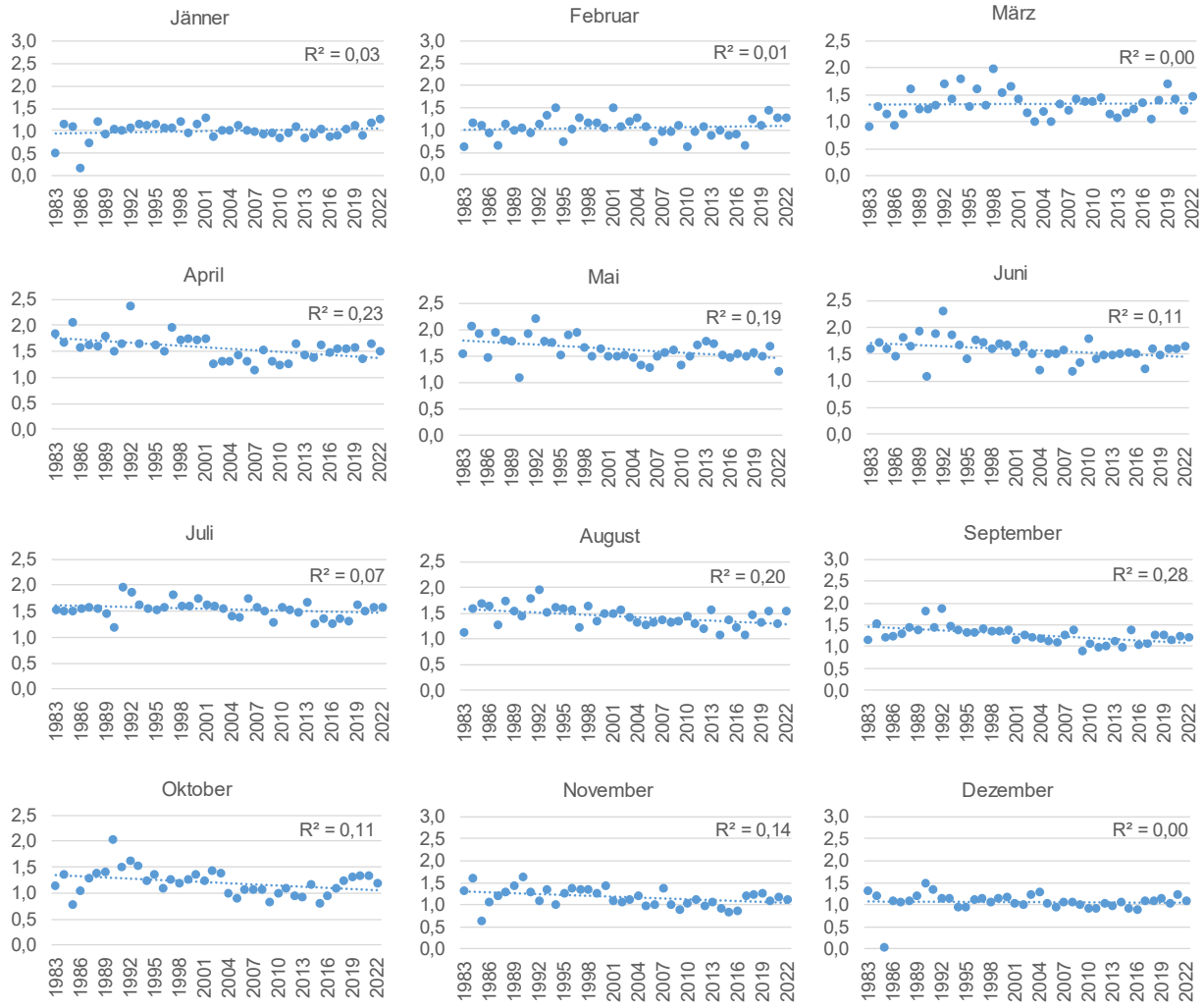


Abbildung 20: Windgeschwindigkeit – Monatsmittelwerte der Einzeljahre (m/s)

7 Windrichtung

Die Daten zur Windrichtung werden täglich an drei Terminen (7:00h, 14:00h und 19:00h) erfasst. Es werden acht Windrichtungen unterschieden (Norden, Nordwesten, Westen, Südwesten, Süden, Südosten, Osten und Nordosten). Zusätzlich wird erfasst, wenn kein Wind weht.

Für die Auswertung wurde die Anzahl der Messungen aller drei Termine für jede Windrichtung auf Monatsebene summiert. Aus der Summe der Monatssummen wurden dann die Jahressummen gebildet aus denen dann das arithmetische Mittel gebildet wurde. Analog erfolgte die Berechnung der Windstille.

Eine eindeutige Hauptwindrichtung lässt sich anhand der zur Verfügung stehenden Daten nicht feststellen. Am Häufigsten weht der Wind aus Nordwesten, Norden und Nordosten. Seltener aus Osten und Westen. Winde aus südlicher Richtung bilden die Ausnahme.

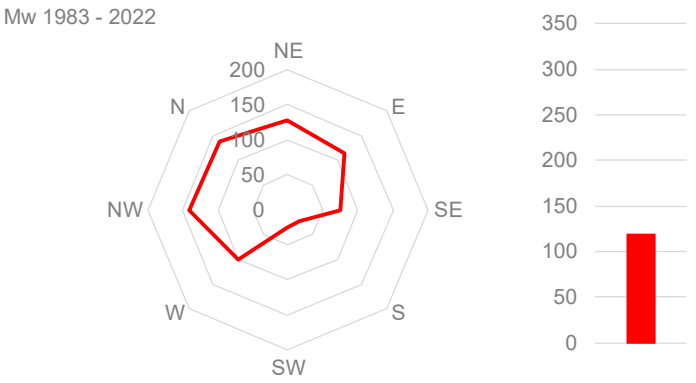


Abbildung 21: Windrichtung und Windstille – Mittelwert 1983 bis 2022

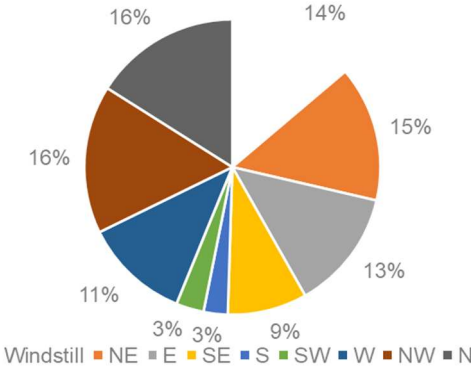


Abbildung 22: Prozentuale Anteile von Windrichtung und Windstille – 1983 bis 2022

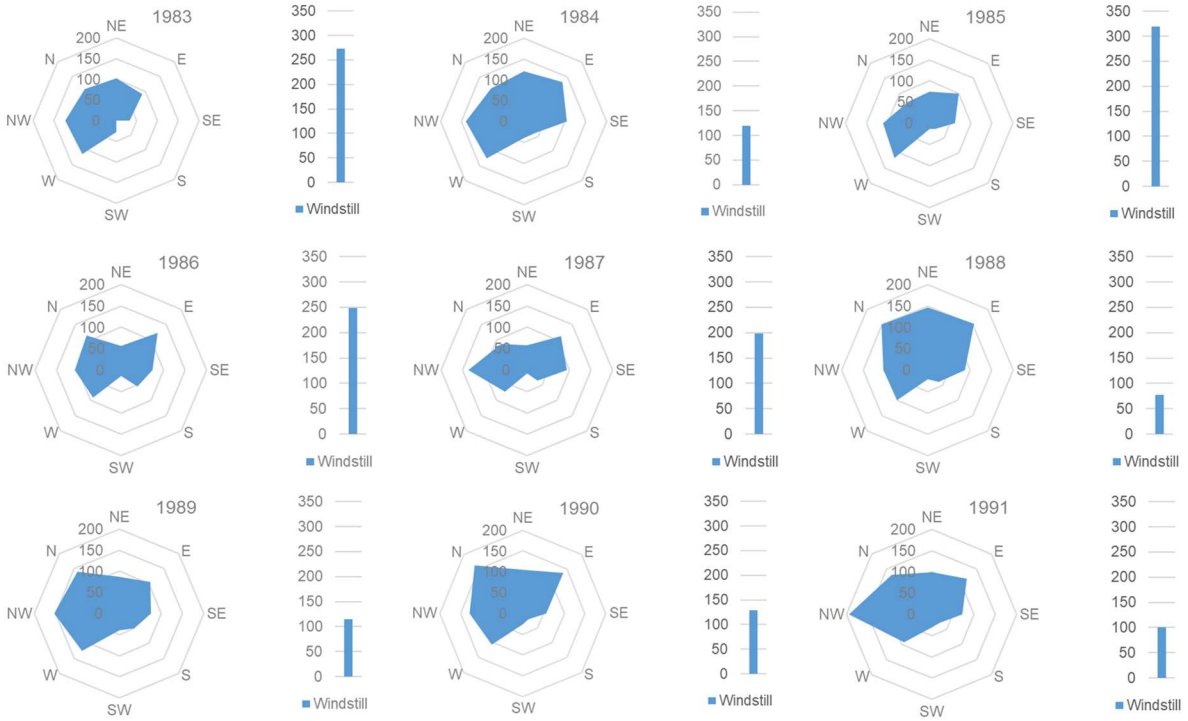


Abbildung 23: Windrichtung und Windstille – Einzeljahre 1983 bis 1997

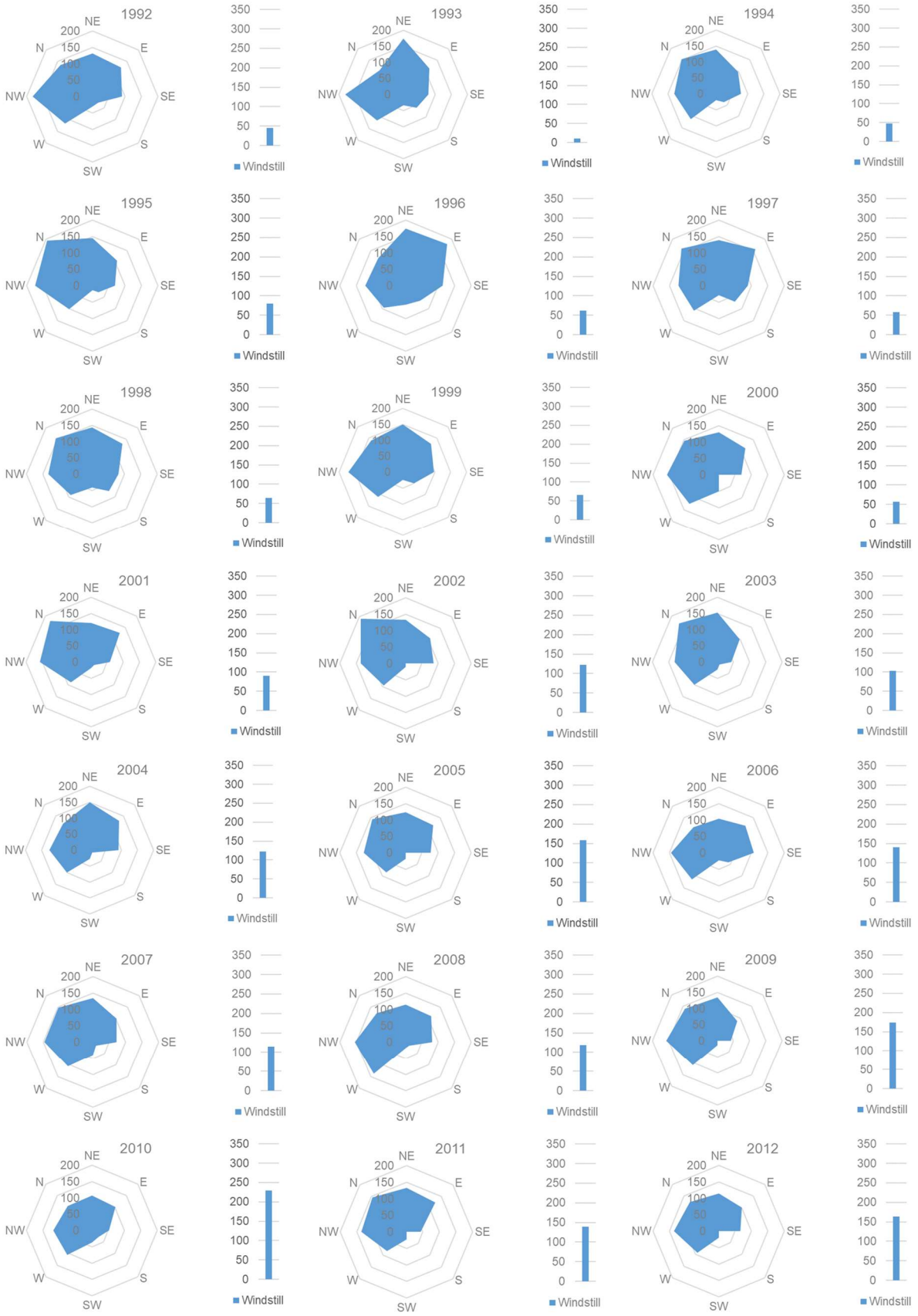


Abbildung 24: Windrichtung und Windstille – Einzeljahre 1998 bis 2012

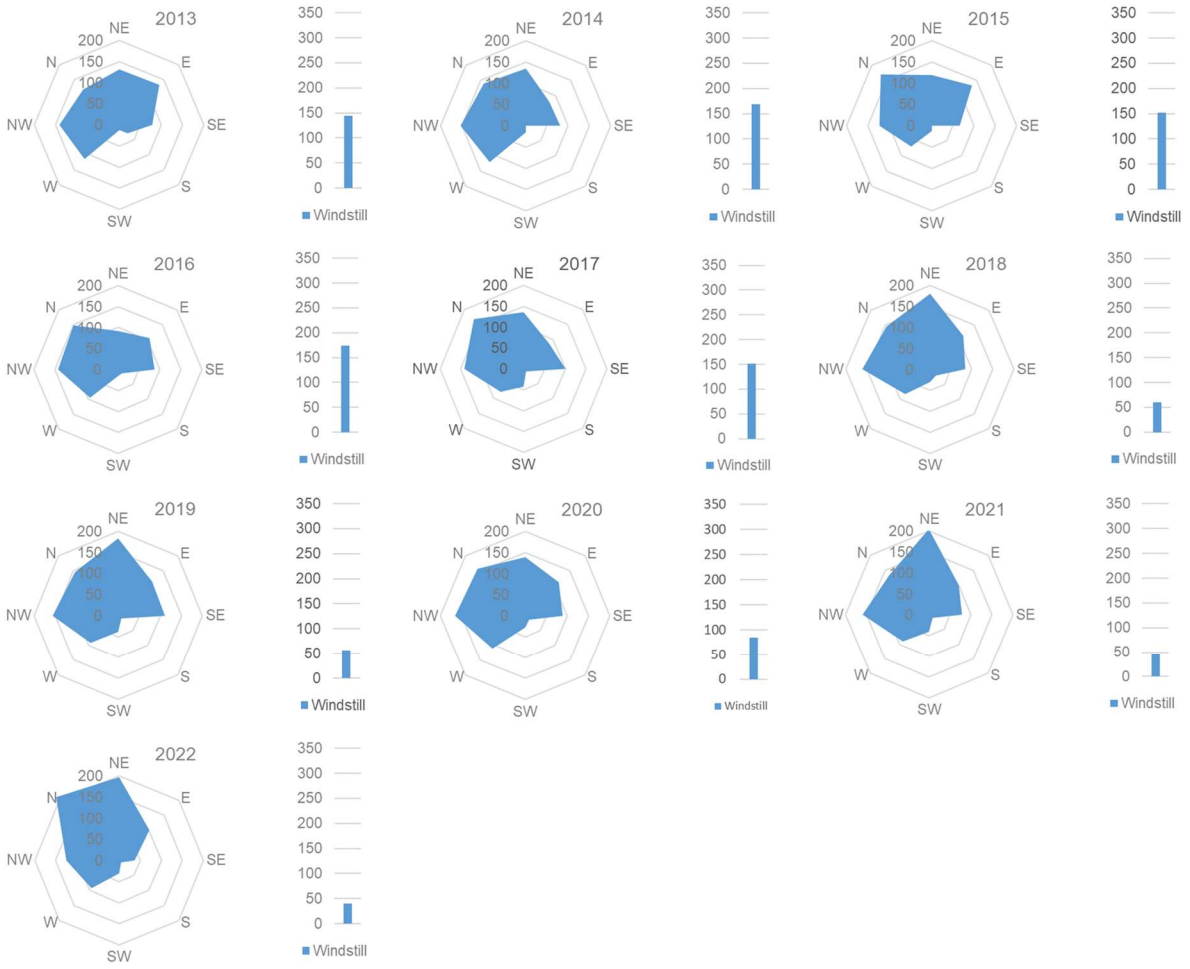


Abbildung 25: Windrichtung und Windstille – Einzeljahre 2013 bis 2022

Weder in Hinblick auf die Windrichtung, noch die Windstille lässt sich über den Betrachtungszeitraum ein Trend ablesen. Auffällig ist, dass mit dem Jahr 1988 die Anzahl der Messungen ohne Wind (Windstille) deutlich abgenommen hat. Gleiches ist nochmals ab dem Jahr 2018 zu beobachten. Ebenso ab 2018 nimmt Nordosten als Windrichtung an Bedeutung zu.

Setzt man die Windrichtungen der beiden Erhebungsjahre 2007 und 2021 in Relation zum langjährigen Durchschnitt, so zeigt sich, dass 2007 hinsichtlich beider Parameter ein sehr durchschnittliches Jahr war. 2021 weicht hingegen mit Nordosten als Hauptwindrichtung und einer stark unterschiedlichen Anzahl von Messungen ohne Wind deutlich vom langjährigen Mittel ab.

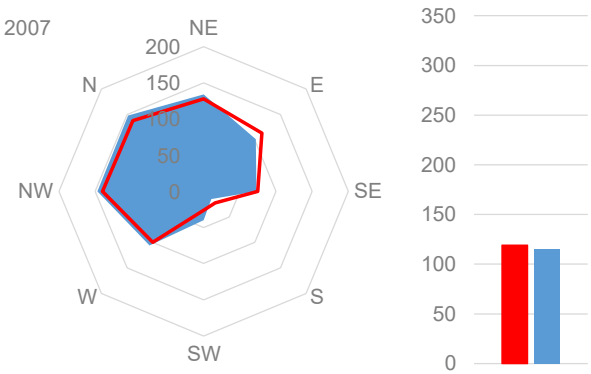


Abbildung 26: Windrichtung und Windstille – 2007 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (rot)

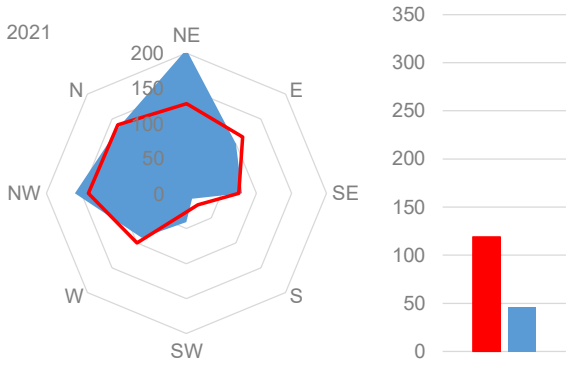


Abbildung 27: Windrichtung und Windstille – 2021 im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt (rot)

8 Niederschlag

Auch für den Parameter Niederschlag – Tagessummen stehen Daten seitens der ZAMG (Station Pörtschach) zur Verfügung. Der Datensatz umfasst den Zeitraum von 1983 bis 2022. Bei Summierung der Tagessummen über den Zeitraum eines Jahres zeigt sich ein eindeutig zunehmender Trend. Eine lineare Regression zeigt einen Anstieg von ca. 800 mm/a auf ca. 1100 mm/a.

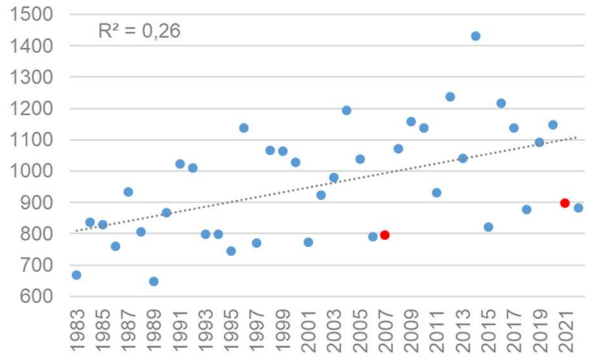


Abbildung 28: Niederschlag – Jahressummen (mm)

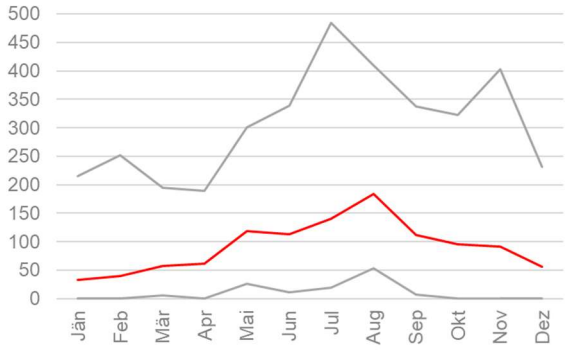


Abbildung 29: Niederschlag – Monatssummen (mm) – Minimum, Mittelwert, Maximum

Die höchsten Niederschlagssummen werden in den Sommermonaten erreicht. In manchen Jahren werden auch im Herbst erhöhte Niederschlagsmengen gemessen.

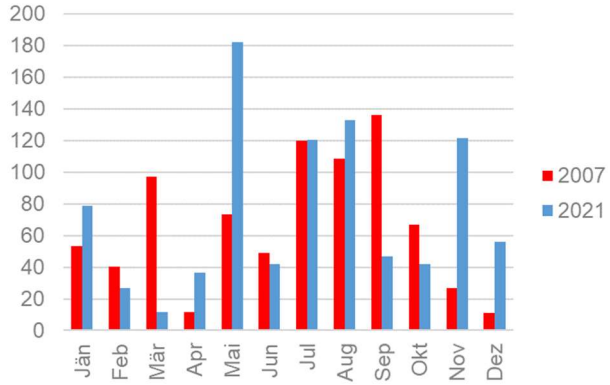


Abbildung 30: Niederschlag – Monatssummen 2007 und 2021 (mm)

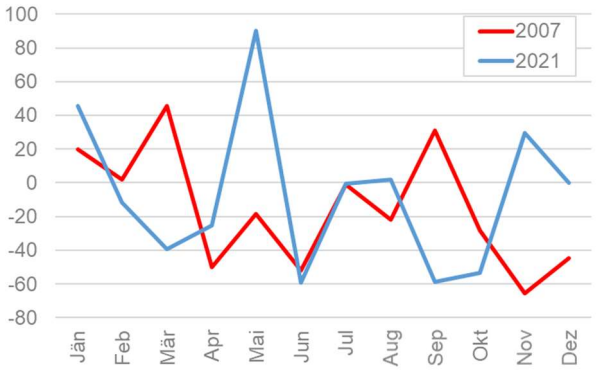


Abbildung 31: Niederschlag – Monatssummen 2007 und 2021 – Abweichung vom langjährigen Mittel (mm)

Mit rd 800 mm im Jahre 2007 bzw. 900 mm im Jahre 2021 unterscheiden sich die Jahressummen der beiden Jahre der Makrophytenerhebungen nicht wesentlich. Ein Vergleich der Monatssummen zeigt jedoch, dass die beiden Jahre sehr unterschiedliche Verläufe hinsichtlich des Niederschlages zeigen (Abbildung 31).

9 Zusammenfassung und Diskussion

Die Auswertungen haben deutlich gezeigt, dass auch am Wörthersee über die letzten 40 Jahre eine deutliche Erwärmung stattfand. Dies betrifft natürlich auch die Wassertemperatur. Über die Jahresmittel zeigt sich ein Anstieg von über 2°C. Im Frühjahr ist der Anstieg noch stärker und erreicht bis zu 4°C. Der Verlauf der Temperaturentwicklung der beiden Erhebungsjahre unterscheidet sich markant. Vor allem war es 2007 zu Beginn der Vegetationsperiode deutlich wärmer als 2021.

Der Wasserstand lässt keinen klaren Trend erkennen, was wohl mit der künstlichen Regulierung in Zusammenhang steht. Allerdings gab es Anfang der 1990er Jahre eine kontinuierliche Abnahme bis zum ersten Erhebungsjahr 2007. Danach erfolgte ein steiler Anstieg. Die letzten Jahre war der Wasserstand stabil nahe dem Mittelwert. Vergleicht man die beiden Erhebungsjahre, so lag der Wasserstand 2007 im Jahresmittel rd. 20 cm unter jenem des Jahres 2021. Auch die Entwicklung im Jahresgang zeigt deutlich unterschiedliche Verläufe.

Auch die Windgeschwindigkeit hat ab Anfang der 1990er Jahre kontinuierlich abgenommen. Ab 2018 gab es jedoch einen erneuten Anstieg. Seit diesem Jahr blieb die Windgeschwindigkeit sehr konstant. 2007 war deutlich windärmer als 2021.

Die Windrichtung lässt über den langen Zeitraum keinen Trend erkennen. Die Hauptwindrichtung, sofern man von einer solchen sprechen kann, ändert sich von Jahr zu Jahr. Lediglich Winde aus südlicher Richtung sind am Wörthersee eher eine Seltenheit. Allerdings unterscheiden sich die Jahre 2007 und 2021 hinsichtlich der Windrichtungen recht deutlich. Vor allem wehte der Wind 2021 überdurchschnittlich häufig aus Nordosten.

Die Niederschläge nehmen mit großer Streuung tendenziell zu. Die beiden Erhebungsjahre zeigen im Jahresverlauf große Unterschiede in der Niederschlagsmenge.

Wie die Daten zeigen unterscheiden sich die beiden Jahre der Makrophytenerhebung hinsichtlich ihrer meteorologischen Rahmenbedingungen in manchen Parametern deutlich. Vor allem der unterschiedliche Temperaturverlauf zu Jahresbeginn könnte Einfluss auf den Start der Vegetationsperiode gehabt haben. Im Jahr 2007 war die Wassertemperatur im April und im Mai durchschnittlich um rd. 4 °C höher.

Nun reagieren verschiedene Aspekte der Makrophytenvegetation in unterschiedlichen Zeitspannen. Während sich z.B. die Vegetationsdichte und die Lage der Vegetationsgrenze relativ schnell an veränderte Gegebenheiten anpassen, sind Veränderungen der Zonierung und vor allem die Umschichtung des Arteninventars sehr langsame Prozesse (PALL & MAYERHOFER; 2015).

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass sich vor allem die Wassertemperatur in den beiden Jahren gegen den jeweiligen mehrjährigen Trend entwickelte, 2007 folgte auf drei unterdurchschnittlich kalte Jahre ein überdurchschnittlich warmes Jahr, 2021 war gegenüber den drei vorangegangenen Jahren unterdurchschnittlich kalt.

10 Literatur

J. MOSER (2020): Wörthersee – Schleusenordnung Stand: 20.02.2020; Amt der Kärntner Landesregierung Abt 12 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

K. PALL & MAYERHOFER V. (2015): Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente - Teil B3 – Makrophyten, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Sektion IV

https://data.hub.zamg.ac.at