

Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees

Josef Eitzinger, Gerhard Kubu, Herbert Formayer, Patrick Haas, Thomas Gerersdorfer und Helga Kromp-Kolb



Endbericht
im Auftrag des Amtes der Burgenländischen Landesregierung
Landeswasserbaubezirksamt Schützen am Gebirge

Institut für Meteorologie (BOKU-Met)
Department Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Universität für Bodenkultur

Juni 2009



Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Meteorologie
Peter-Jordan Str. 82
A-1190 Wien

„Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees“

Forschungsprojekt

Im Auftrag des Amtes der Burgenländischen Landesregierung
Landeswasserbaubezirksamt Schützen am Gebirge

O. Univ. Prof. Dr. Helga KROMP-KOLB (Institutsleiter)
A.o. Prof. Dipl.Ing. Dr. Josef EITZINGER (wissenschaftliche Projektleitung)
Projektmitarbeiter:
Dipl. Ing. Gerhard KUBU
Mag. Dr. Herbert FORMAYER
Mag. Dr. Patrick HAAS
Dipl. Ing. Thomas GERERSDORFER

Endbericht

15. Juli 2005

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Eitzinger, J., Kubu, G., Formayer, H., Haas, P., Gerersdorfer, T., Kromp-Kolb, H. (2009):
Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedlersees
(Endbericht im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung vom 15. Juli 2005).
BOKU-Met Report 1 ISSN 1994-4179. ISSN 1994-4187 (on-line) –
<http://www.boku.ac.at/met/report/>

Impressum:

Medieninhaber und Herausgeber:
Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt
Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien, Österreich

URL: <http://met.boku.ac.at>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	WP 1 – Regionalisierte Klimaszenarien für die Region Neusiedler See	2
2.1	Aufgaben des WP 1 - Übersicht.....	2
2.2	Regionalisierte Klimaszenarien.....	2
2.3	Erstellung von Analogszenerarien für die Region Neusiedlersee	3
2.3.1	Kalibrierung und Anwendung eines Wettergenerators.....	7
2.4	Dynamisches Szenario für die Region Neusiedlersee	9
2.5	Paläoklimatische Szenarien für die Region Neusiedlersee	10
3	WP 2 - Zusammenstellung und Analyse von Daten historischer Zeitreihen.....	14
3.1	Aufgaben des WP 2 - Übersicht.....	14
3.2	Literaturanalyse	14
3.3	Historische Seespiegelschwankungen.....	18
3.4	Die hydrologischen Randbedingungen des Sees	22
3.4.1	Das Einzugsgebiet.....	23
3.4.2	Der Seewasserhaushalt	24
3.4.3	Unterirdische Ab- und Zuflüsse.....	26
3.4.4	Fläche und Inhalt des Seebeckens.....	27
3.5	Verdunstung	29
3.5.1	Verdunstungsermittlung von Wasserflächen bzw. über Schilf.....	29
3.5.2	Aerodynamisches oder Dalton- Verfahren	31
3.5.3	Energiebilanzverfahren.....	31
3.5.4	Penman- Verfahren.....	32
3.5.5	Vereinfachtes Kombinationsverfahren nach Richter	32
3.5.6	Berechnung der Evapotranspiration des Neusiedler Sees in Ungarn.....	32
3.5.7	Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck	33
3.5.8	Berechnung der Wasseroberflächentemperatur nach Richter.....	34
3.5.9	Neuwirth zur Verdunstung von Wasserflächen	35
3.6	Temperaturverteilung aus LANDSAT Daten.....	36
3.7	Das historische Klima.....	36
4	WP 3 – Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wasserbilanz des Sees.....	40
4.1	Aufgaben des WP 3 - Übersicht.....	40
4.2	Wasserbilanz	41
4.3	Wassertemperatur.....	43
4.3.1	Beobachtungszeitraum 1976 - 2003	43
4.3.2	Simulation der Wassertemperatur.....	46
4.4	Validierung der Verdunstungsmodelle	48
4.4.1	Ungarisches Modell analog Dalton- Ansatz (Kalmar, 1982).....	49
5	WP 4 - Sensitivitätsanalyse	52
5.1	Aufgaben des WP 4 - Übersicht.....	52
5.2	Klimaszenarien.....	52
5.2.1	Klimanormalperiode 1961- 1990	52
5.2.2	Periode 1991 – 2004	54
5.2.3	Szenarien 2020er Jahre	55
5.2.4	Szenarien 2040er Jahre	58
5.3	Szenarien – Wiederholung der extremen Jahre 2003 und 2004.....	62
5.4	Einfluss verschiedener Klimaparameter auf die Wasserbilanz.....	65
6	Zusammenfassung	72
7	Danksagung	74
8	Literaturverzeichnis.....	75

1 Einleitung

In den letzten Jahren zeigt sich immer deutlicher, dass eine Änderung bzw. Erwärmung des Klimas weltweit stattfindet. Die künftigen Auswirkungen dieser Änderungen auf die vielfältigen Ökosysteme und auf den Lebensbereich des Menschen wurden und werden in vielen Projekten untersucht (z.B. Alexandrov et al., 2002; Alexandrov and Eitzinger, 2003), wobei hier vor allem ein regionaler Bezug herzustellen ist. Abgesehen von den Unsicherheiten in globalen Klimamodellen und daraus berechneten Klimaszenarien bzw. in abgeleiteten regionalen Klimaszenarien sind dabei die vielfältigen Wechselwirkungen und Rückkoppelungen innerhalb natürlicher Systeme und des menschlichen Einflusses zu berücksichtigen, wobei hier ebenfalls noch Wissenslücken bzw. Unsicherheiten bestehen (z.B. Eitzinger et al., 2003, 2004).

Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich mit den Auswirkungen einer möglichen Klimaänderung, beschrieben durch regionalisierte Klimaszenarien in den künftigen Dekaden auf die Wasserbilanz des Neusiedler Sees, eines Steppensees, im klimatisch relativ trockenen Gebiet des Burgenlandes im Osten Österreichs. Die hydrologischen Randbedingungen dieses Sees mit einer Wassertiefe von maximal ca. 2m, wie z.B. die sehr hohe Abhängigkeit der Wasserbilanz vom Niederschlag, wurden in etlichen Projekten bereits ausführlich untersucht und als Basis für diese Untersuchung verwendet. Die aus Vorprojekten verfügbaren Ergebnisse und Methoden der Verdunstungsberechnung bzw. der Wasserbilanzberechnung wurden innerhalb dieses Projektes anhand der Daten der letzten Jahrzehnte (Seespiegel, Witterungsdaten) verglichen und evaluiert. Die am besten kalibrierten Methoden wurden schließlich verwendet, sodass für die Berechnung der Wasserbilanz unter den ausgewählten Klimaszenarien für die nächsten Dekaden die bestmögliche Güte garantiert werden kann.

Es muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse dieses Projektes vor allem die Trends (Änderung der Häufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten von Zuständen innerhalb bestimmter Zeitperioden bzw. zwischen Szenarien) der Wasserbilanz bzw. des Seespiegels aufzeigt und dass die angegebenen absoluten Größen der Wasserbilanz bzw. des Seespiegels durchaus mit Unsicherheiten behaftet sind, die aus der zugrunde liegenden Methodik, nicht berücksichtigten Komponenten, unbekanntem Einflussfaktoren und unbekanntem zukünftigen Änderungen von Einflussfaktoren auf die Seewasserbilanz zu erklären sind. Als Beispiel sei hier die in unserer Untersuchung nicht berücksichtigte (weil weitgehend unbekannt) künftige Verschlammung des Sees oder die mit hoher Unsicherheit behaftete Niederschlagsverteilung des hydrologischen Einzugsgebietes des Sees zu nennen. Auch die Tendenz künftiger Verschilfung und deren Wechselwirkung mit Verschlammung, Bewirtschaftung ist unbekannt und wurde als konstant angenommen. Schließlich ist der Niederschlag in den regionalisierten Klimaszenarien mit hoher Unsicherheit behaftet, was für den Neusiedler See eine große Rolle in der künftigen Wasserbilanz spielt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind daher als Szenarien zu sehen und nicht als Prognosen. Szenarien zeigen uns die möglichen Entwicklungen und Trends unter bestimmten definierten Randbedingungen (nach dem derzeitigen Stand des Wissens) und sind dahingehend zu verstehen.

2 Regionalisierte Klimaszenarien für die Region Neusiedler See

2.1 Übersicht

Erstellung von regionalisierten Klimaszenarien für die Region Neusiedler See.

Arbeitsumfang und Methodik: Ein geeignetes „mittleres“ GCM Klimaszenario gekoppelt mit einem statistischen Downscalingverfahren wurde verwendet um Temperatur- und Niederschlagsdaten auf Tagesbasis für die 2020er und 2050er Jahre für die Region Neusiedler See und auch für das Einzugsgebiet der Zuflüsse zu erhalten. GCM Szenarios sind Emissionsszenarien des IPCC und die statistischen Downscalingverfahren transformieren die grob aufgelösten globalen Daten des GCM auf die regionale Skala. Um eine Abschätzung der Unsicherheiten und vor allem eine Abschätzung der Bandbreite möglicher regionaler Szenarien zu erhalten, werden mehrere Szenarien hinsichtlich Temperaturänderung und Niederschlagsänderung des Klimaszenarios gerechnet.

Von den Stationen des Downscalings wurden die Ergebnisse hin zu Orten interpoliert, die für die Wasserbilanz relevant sind. Da die Bestimmung des Flächenniederschlags im Einzugsgebiet notwendig ist, bedeutet dies praktisch die Entwicklung eines flächendeckenden Szenariums, zumindestens hinsichtlich des Niederschlages. Weitere Parameter, wie Temperaturmaximum- und minimum bzw. Strahlung, können mittels eines Wettergenerators für einzelne Stationen erstellt werden.

Ergebnis: Regionalisierte Klimaszenarien (Neusiedler Seegebiet) für die Parameter Temperatur und Niederschlag. Tageswerte für Stationen und für die Flächen für die 2020er und 2050er Jahre werden für die numerische Weiterverwendung erstellt. Die Ergebnisse wurden zur besseren Veranschaulichung graphisch dargestellt. Statistische Unsicherheiten und Bandbreiten der Szenarien werden analysiert und angegeben.

2.2 Regionalisierte Klimaszenarien

Die derzeitigen gekoppelten globalen Zirkulationsmodelle (GCM) sind recht gut in der Lage, das Klima in globaler bis kontinentaler Skala zu reproduzieren (IPCC, 2001). Aufgrund ihrer groben räumlichen Auflösung (Gitterpunktweiten von einigen 100 km) sind sie jedoch nicht geeignet, regionale Informationen speziell für den Niederschlag im Alpenraum direkt zu liefern.

Um zu regionalen Aussagen aus den GCM - Szenarios zu gelangen, müssen Regionalisierungsverfahren (Downscaling) nachgeschaltet werden. Statistische Downscaling Verfahren sind in der Klimafolgenforschung weit verbreitet, da sie weit geringere Ansprüche an die EDV-Infrastruktur stellen als dynamische Verfahren und relativ einfach an die jeweiligen Ansprüche der Forscher angepasst werden können (Hewitson et al., 1996). Bei diesen Verfahren wird ein statistischer Zusammenhang (AnalogszENARIO) zwischen beobachteten meteorologischen Stationsdaten und großräumigen Verhältnissen (einige GCM Gitterpunktswerte bis hin zu großräumigen Strukturen) abgeleitet. Speziell für die Untersuchung der Wasserbilanz müssen regionale Szenarien auf Tagesbasis verwendet werden, da der Niederschlag eine

zeitliche Skala von Stunden (Gewitter) bis zu ein paar Tagen (Landregen) hat, und daher auf Monatsbasis nur mehr unzureichend aufgelöst werden kann.

Neben den statistischen Downscalingverfahren gibt es auch dynamische Regionalisierungsverfahren. Hierbei wird in ein globales Klimamodell ein regionales Klimamodell genestet. Das heißt, das regionale Modell rechnet nicht die gesamte Erde, sondern nur einen Ausschnitt (Europa). An den Rändern übernimmt das regionale Modell die Werte des GCMs und in der Zielregion rechnet das regionale Modell mit einer höheren räumlichen Auflösung. Schließlich gibt es noch paläoklimatische Analogszenerien, die weiter unten beschrieben werden.

2.3 Erstellung von Analogszenerien für die Region Neusiedlersee

Für die Erstellung der regionalen Klimaänderungsszenarien der Temperatur wurde als globales Klimamodell das ECHAM4/OPYC3 (Röckner et al, 1996) betrieben mit dem Emissionsszenario IS92a verwendet (Abbildung 1). Diese IS92a Szenarien liegen in Hinblick auf die mögliche globale Temperaturzunahme im Mittelfeld der neuen SRES (Second Report Emission Szenarios) Szenarien (IPCC, 2001). Als Beispiel für die Ergebnisse dieses GCMs ist in Abbildung 2 die Temperaturänderung für 2020 dargestellt. Die Wahl des GCMs und des Emissionsszenarios sind jedoch bei Betrachtungen bis 2050 nicht so ausschlaggebend, da sich deren Ergebnisse erst bei fortschreitender Klimaänderung verstärkt auswirken (Abbildung 1).

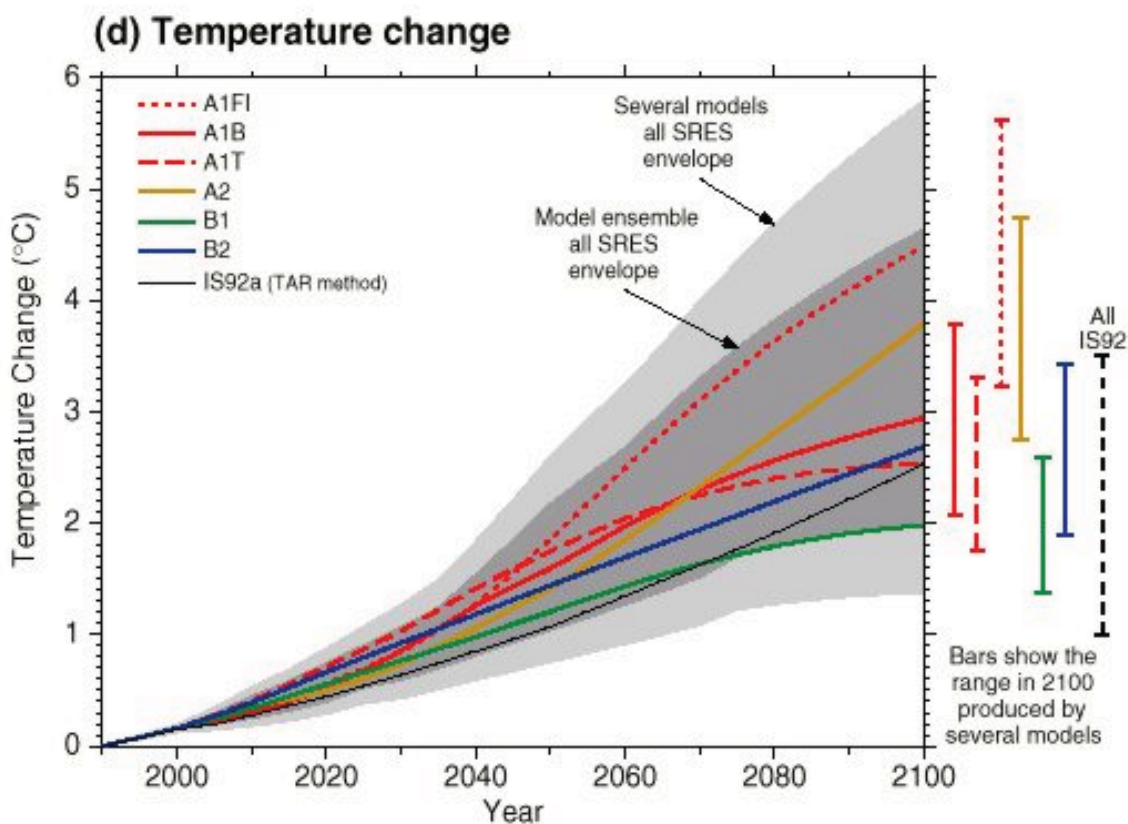


Abbildung 1: Ergebnisse für die globale Mitteltemperatur aller IPCC GCMs und Emissionsszenarien bis 2100. Die schwarze Linie stellt die mittlere Temperaturänderung unseres Emissionsszenario (IS92a) dar (Quelle: IPCC, 2001).

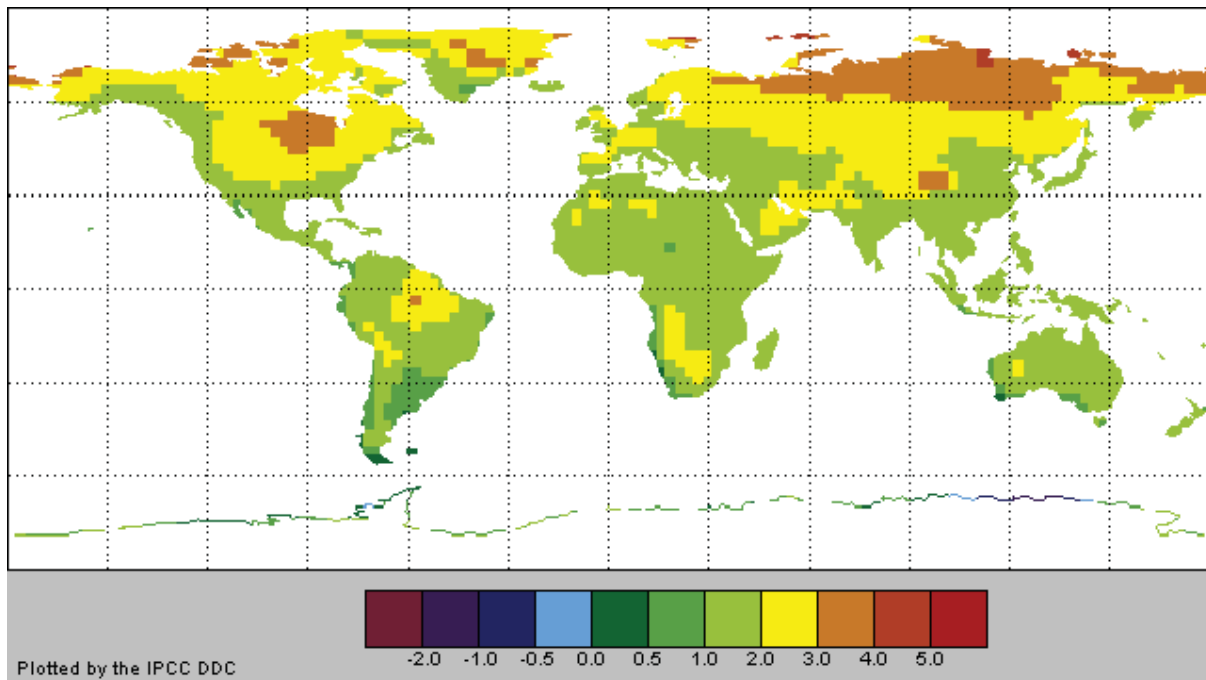


Abbildung 2: Temperaturzunahme für 2020 gegenüber 1961-1990 berechnet mit dem ECHAM4/OPYC3 IS92 A ohne Aerosole (Quelle: IPCC, 2001).

Als Regionalisierungsverfahren wurde der Analogansatz (Zorita and v. Storch, 1999) verwendet. Dabei wird die großskalige Zirkulation, wie sie von einem Klimamodell simuliert wird, Termin für Termin mit der historisch beobachteten Zirkulation (Reanalyse) verglichen (Uppala, 2003). Das ähnlichste, beobachtete Zirkulationsmuster wird als Analogon gewählt und dessen lokale Wettersituation wird dem simulierten Muster zugeordnet. Eine umfassende Darstellung der Methode und die Ergebnisse der Validierungsexperimente für Österreich findet sich in Matulla et al. (2004). Ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen Regionalisierungsverfahren aber auch anderer GCMs wurde im Rahmen eines StartClim-Projektes durchgeführt (Schöner et al., 2003; Formayer et al., 2005) und dabei hat sich für die Temperatur eine sehr gute Übereinstimmung gezeigt. Ein Ergebnis für ganz Österreich für 2034 ist in Abbildung 3 dargestellt. Für diese Studie wurden Szenarien des Temperaturmaximums, des Temperaturminimums und der Strahlung auf Tagesbasis für die Station Neusiedl am See für den Zeitraum 2010 bis 2048 berechnet.

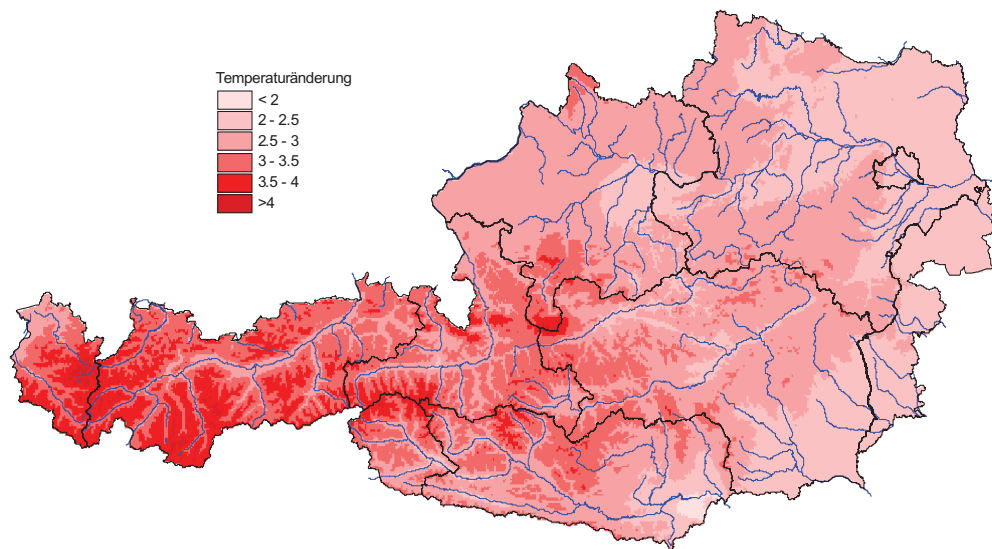


Abbildung 3: Änderung der Jahresmitteltemperatur der Periode 2019-2048 gegenüber 1961-1990, abgeleitet mittels Analogmethode aus den ECHAM4-IS92a Lauf.

Neben der Berechnung der regionalen Temperaturänderung für die 2020er Periode (Mittel 2010-2030) und die 2040er Periode (Mittel 2030-2050) wurde auch untersucht, in wie weit sich das Klima seit der Klimanormalperiode 1961-1990 bis heute (1991-2004) bereits geändert hat. In Abbildung 4 sind die Änderungen der Monatsmitteltemperaturen zusammengefasst.

Die Änderung der Jahresmitteltemperatur in Neusiedl für 2020 beträgt 1.9 °C und für 2040 2.5 °C, wobei die Erwärmung im Winter und im Sommer etwas stärker ausgeprägt ist als in den Übergangsjahreszeiten. Aber bereits die Periode 1991 bis 2004 war im Jahresmittel um 0.7 °C wärmer als die Klimanormalperiode. Zusätzlich war in dieser Periode die Jahresniederschlagssumme um rund 6 Prozent geringer als in der Klimanormalperiode.

Die sich ergebenden Temperaturszenarien können aufgrund der Wahl des Emissionsszenarios als mittlere Szenarien betrachtet werden. Als Maximalszenario für die 2020er Periode kann das Szenario für die 2040er Periode, also 2.5 °C angesehen werden und als Minimalszenario das Ergebnis der 2020er Periode also 1.9 °C für die 2040er Periode.

Jahresgang der Temperaturänderung in Neusiedl am See bezogen auf die Klimanormalperiode 1961-1990

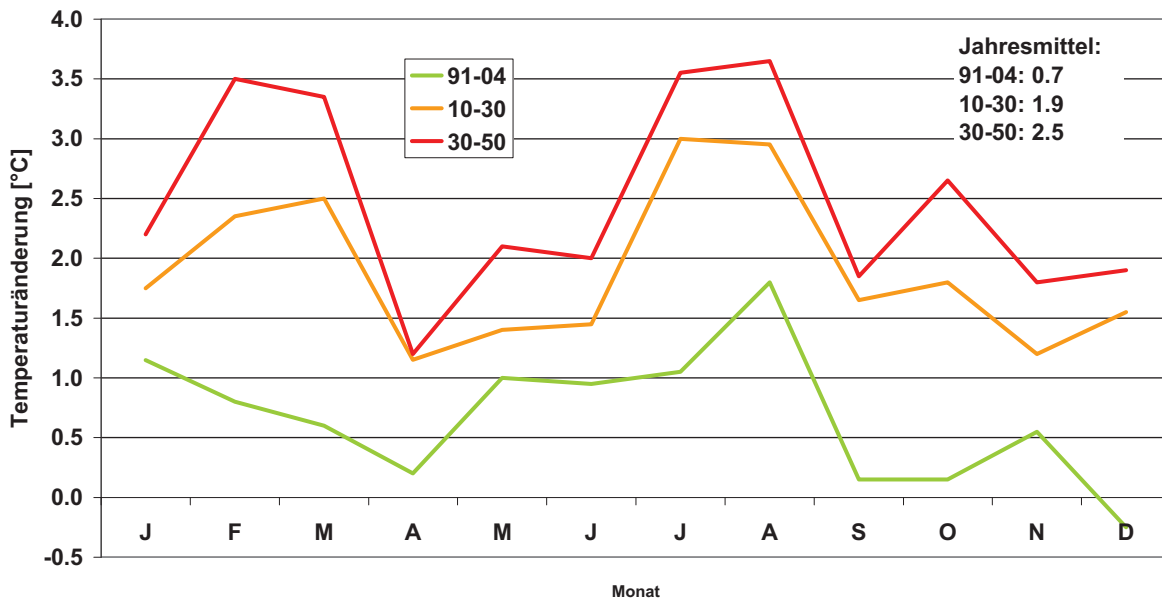


Abbildung 4: Änderungen der Monatsmitteltemperaturen der Beobachtungsperiode 1961-1990 zu den Szenarien für die 2020er und 2040er Jahre.

Auf die Entwicklung regionaler Niederschlagsszenarien wurde aus zwei Gründen verzichtet. Erstens zeigen die GCMs, aber auch die regionalen PRUDENCE Szenarien (dynamisches Downscaling) selbst bis zum Ende des 21. Jahrhunderts keine signifikante Änderung der Jahresniederschlagssumme in unserem Gebiet (Abbildung 5). Zweitens ist die Regionalisierung des Niederschlages mittels statistischer Methoden wesentlich unsicherer als für die Temperatur, da die lokalen Niederschläge nur schwach mit den großräumigen meteorologischen Feldern korreliert sind. Dies gilt insbesondere für Gewitter und Schauer im Sommerhalbjahr.

Weiters ist auch die Modellierung des Niederschlages mit GCMs mit großen Unsicherheiten behaftet und es zeigen sich weit stärkere Unterschiede zwischen den Modellen als bei der Temperatur. Deshalb wurde für den Niederschlag eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt und die mittlere Jahressumme um 5, 10, 20 Prozent erhöht, bzw. erniedrigt. Das wahrscheinlichste Szenario hierbei ist keine Änderung. Eine Erhöhung bzw. Reduktion bis zu 10 % kann als möglich angesehen werden, Änderungen von 20 Prozent als Extremszenario sind eher unwahrscheinlich.

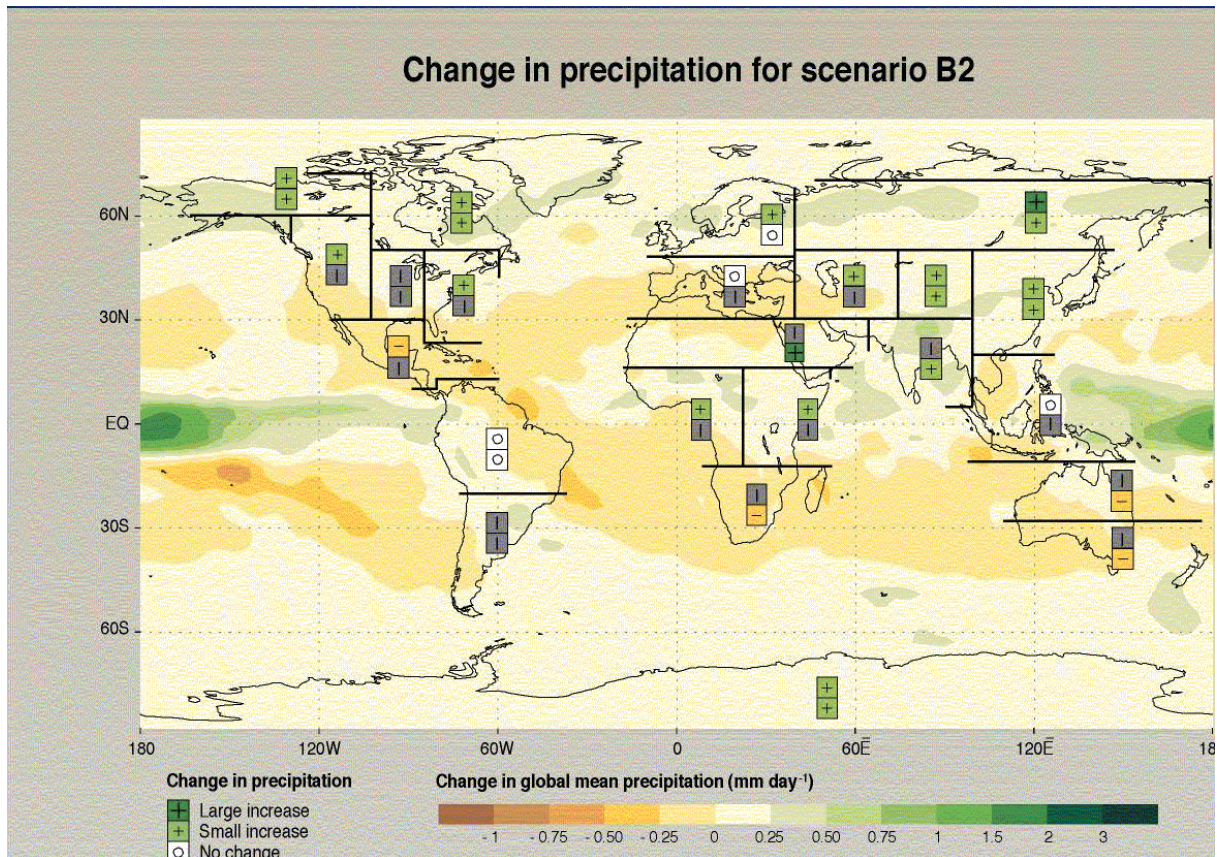


Abbildung 5: Änderung der Jahressumme des Niederschlags gemittelt über alle GCM Läufe des IPCC für das Ende des 21. Jahrhunderts. In unserem Gebiet zeigt sich keine signifikante Änderung.

2.3.1 Kalibrierung und Anwendung eines Wettergenerators

Um die Analogsszenarios aus dem statistischen Downscaling für die hydrologische Modellierung nutzen zu können, wird anhand der Stationsdaten der ZAMG in Neusiedl am See der Wettergenerator für Tagesdaten LARS-WG v. 3.0 (Semenov et. al, 1998) für die Perioden 1961-1990 und 1991-2004 kalibriert. Die Verwendung eines Wettergenerators erlaubt für jedes Klimaänderungsszenario beliebig lange Zeitreihen mit konstantem Klima zu generieren. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit für niedrige Wasserstände des Neusiedler Sees für jedes Klimaänderungsszenario einfach durch Auszählen der Ereignisse aus 500 jährigen Zeitreihen quantifiziert werden.

Für die Szenarioberechnungen wurde dem Wettergenerator die Änderung der Monatsmitteltemperaturen für 2020 und 2040 aufgesetzt. Alle anderen statistischen Eigenschaften wurden wie in der Periode 1961-1990 belassen. Dadurch wird nur die Erwärmung berücksichtigt und die Niederschlagseigenschaften beibehalten. Abbildung 6 zeigt die 500 jährigen Zeitreihen der Jahresmitteltemperatur aller vier untersuchten Perioden und die mit 20 jährigem Gaussfilter geglättete Kurve. Die interannuale Variabilität der Temperatur wird durch den Wettergenerator etwas unterschätzt mit einer Standardabweichung 0.43 °C gegenüber der beobachteten Zeitreihe von 0.76 °C beim ALOCLIM Datensatz (Auer et. al, 2001), da aber in der beobachteten Zeitreihe der Erwärmungstrend enthalten ist, ist dies nicht verwunderlich.

Mit Wettergenerator modellierter Temperaturverlauf am Neusiedlersee
beobachtet und Szenarien

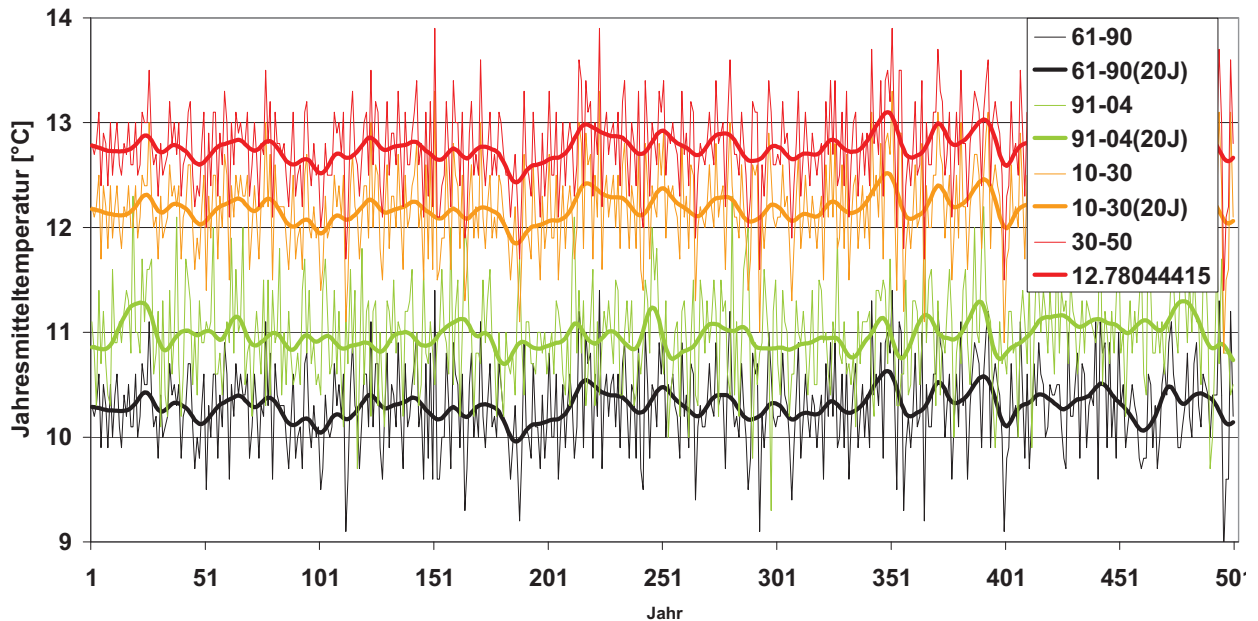


Abbildung 6: 500 Jahre modellierte Jahresmitteltemperatur für Neusiedl am See beobachtet (1961-1990 bzw. 1991-2004) und Szenarien für die 2020er (10-30) und 2040er (30-50) Jahre.

Das 500 jährige Modellergebnis für die Jahrsniederschlagsanomalie für die Klimanormalperiode 1961-1990 ist in Abbildung 7 dargestellt. Beim Niederschlag ist die interannuale Variabilität der Modelldaten durchaus mit der der Beobachtungsdaten vergleichbar. An den geglätteten Kurven erkennt man aber, dass derart lang anhaltende Trockenperioden wie etwa zur Mitte des 19. Jahrhundert nicht reproduziert werden können. Diese Periode war deutlich trockener als die Klimanormalperiode.

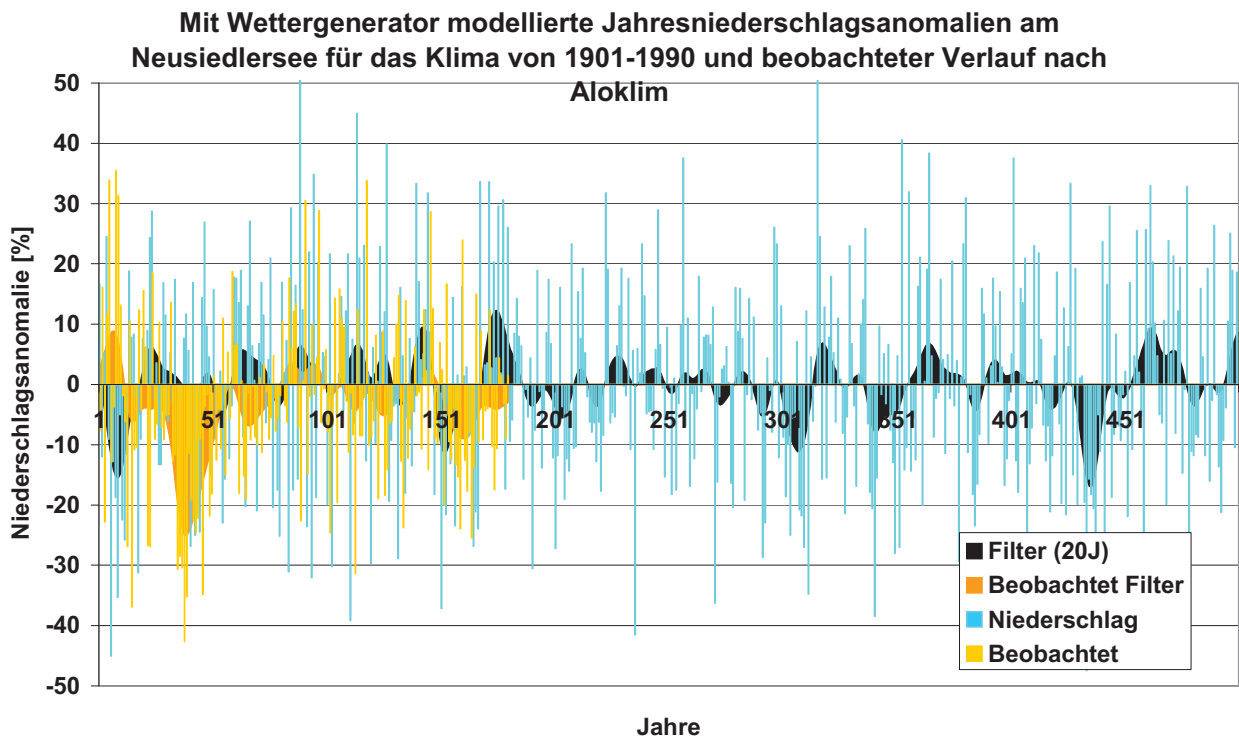


Abbildung 7: 500 Jahre modellierte Jahresniederschlagsanomalien für Neusiedl am See und Klima von 1961-1990 (beobachteter Aoklim Datensatz).

Mithilfe des Wettergenerators konnten die Elemente Temperaturmaximum und Minimum, Niederschlag und Strahlung auf Tagesbasis modelliert werden. Zur Berechnung der Verdunstung werden aber auch die relative Luftfeuchte und der Wind benötigt. Da über die regionale Entwicklung der Windgeschwindigkeit durch Klimamodelle derzeit noch keine genauen Angaben gemacht werden können, und auch kein signifikanter statistischer Zusammenhang zwischen Wind und den modellierten Elementen besteht, gehen wir davon aus, dass sich diese nicht ändert und es wurde der beobachtete Monatsmittelwert verwendet.

Für die relative Luftfeuchtigkeit besteht ein statistischer Zusammenhang zu den modellierten Elementen. Aus den Beobachtungen wurde mit Hilfe einer multiplen linearen Regression, angewandt auf Tagesgang der Temperatur, der Strahlung und dem Niederschlag, eine Schätzfunktion für die relative Feuchte auf Tagesbasis ermittelt und für die Wettergeneratorsimulationen verwendet. Diese Schätzfunktion ist in der Lage, rund 60 Prozent der beobachteten Varianz der relativen Feuchte zu erklären.

2.4 Dynamisches Szenario für die Region Neusiedlersee

In dem EU-Forschungsprojekt PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) wurden verschiedene Regionale Klimamodelle in Europa angewandt und miteinander verglichen (Christensen et al., 2002). Eine umfassende Darstellung des Projektes, weiterführende Literatur und Ergebnisse findet man auf der Projekthomepage. Dankenswerterweise sind die Ergebnisse der Modellläufe für die Forschungs-

gemeinde freigegeben. Für die Auswertung im Neusiedler Seegebiet wählten wir das Modell CHRM der ETH-Zürich (Frei et al., 2003), da besonders die Effekte der Alpen mitberücksichtigt werden.

Unser ausgewertetes Szenario wurde global mit dem HadAM3H des Hadley-Centres betrieben mit dem SRES Emissionsszenario A2 gerechnet. Der globale Temperaturanstieg in diesem GCM betrug 3,1 Grad. Für den Zeitraum 2070 bis 2100 wurde das regionale Modell CHRM genestet und mit einer räumlichen Auflösung von 0,5 Grad für ganz Europa gerechnet. Für die Auswertung verwenden wir die täglichen Felder für die Temperatur und den Niederschlag für den Szenariolauf und den Kontrolllauf.

Da diese dynamischen Szenarien nur für den Zeitraum 2070 – 2100 zur Verfügung stehen, können die Ergebnisse nicht direkt verwendet werden. Um sie dennoch für unser Projekt nutzen zu können, berechnen wir die mittlere Änderung gegenüber der Klimanormalperiode 1961-1990 und unterstellen eine lineare Entwicklung. Zum Beispiel beträgt die Zunahme der Tagesmaxima in Ostösterreich 4.0 °C im Sommerhalbjahr. Dies entspricht eine Erwärmung von 0.36 °C pro Dekade.

Auf eine explizite Verwendung eines „PRUDENCE“ Szenarios für die Wasserbilanzberechnung wie noch im Zwischenbericht angekündigt, wurde aufgrund des geringen Unterschiedes von nur einigen zehntel Grad zu den statistischen Szenarien (siehe Abbildung 10) und der aufwendigen Modellierung des Wasserhaushaltes jedoch verzichtet.

2.5 Paläoklimatische Szenarien für die Region Neusiedlersee

Die paläoklimatischen Szenarien wurden von Natalia Lemeshko und Tatiana Gronskaya, State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russland, bearbeitet.

Klimamodelle (IPCC, 2001) prognostizieren globale Temperaturanstiege gegenüber der vorindustriellen Zeit von

- 1°C im Jahr 2100 sowie
- 2°C im Jahr 2025

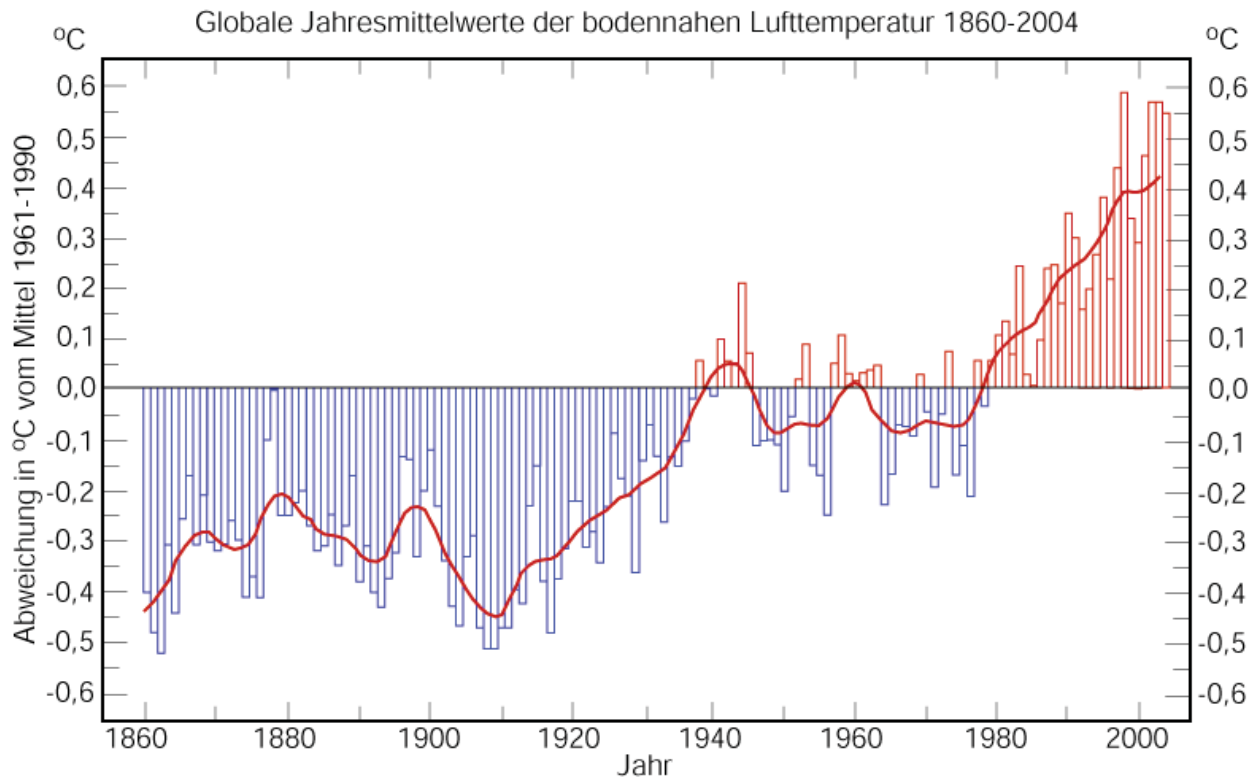
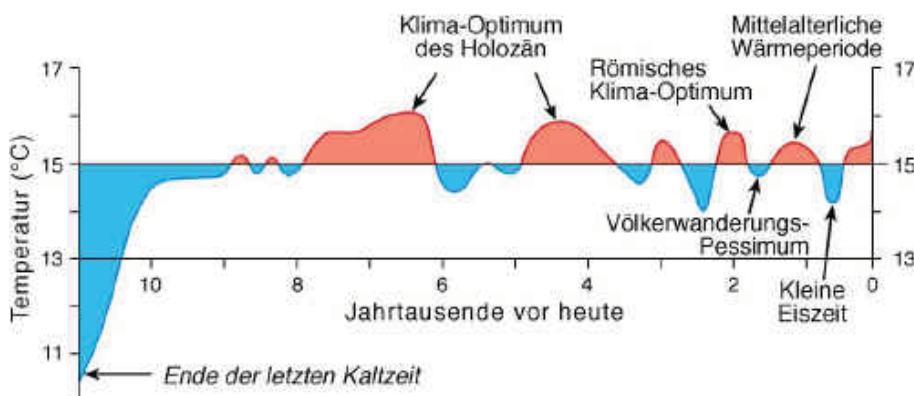


Abbildung 8: Temperaturveränderungen seit 1860 (Quelle: Hamburger Bildungsserver)

Paläoklimatische Rekonstruktionen des Klimas korrespondieren mit

- + 1°C im Optimum des Holozän (6,2-5,3 KA B.P.), siehe Abbildung 8 sowie
- + 2°C in der letzten Eem Zwischeneiszeit (125 KA B.P.).



Bodennahe nordhemisphärische Mitteltemperaturen der letzten 11.000 Jahre (verändert nach Dansgaard et al., 1969, und Schönwiese, 1995)

Abbildung 9: Mitteltemperaturen des Holozän

Die klimatischen Bedingungen dieser Holozän und Eem Perioden wurden von Prof. Irena Borzenkova rekonstruiert. Sie erstellte u.a. Karten der Temperatur- und Niederschlagsverteilung dieser Zeitperioden für die nördliche Hemisphäre (Borzenkova, 1992).

Unter Verwendung dieser Karten wurden die regionalen Abweichungen des jährlichen Niederschlages sowie der Sommer- und Wintertemperaturen dieser Klimaperioden von den „heutigen“ Klimaverhältnissen abgeleitet.

Tabelle 1: Temperatur- und Niederschlagsabweichungen nach Borzenkova, 1992

Scale of global warming	1°C	2°C
Parameters according to scenario		
Air temperature, °C Summer	+1.1	+2.5
Air temperature, °C Winter	+1.5	+3.0
Annual precipitation, Mm	+10	+300
Calculation		
Annual runoff, mm (%)	-2 (-3%)	+42 (70%)
Potential evaporation, mm (%)	+45 (6%)	+81 (11%)
Evaporation from land surface, mm (%)	+12 (2%)	+194 (32%)
Duration of warm season, days	+41	+41

Energie- und Wasserbilanz Modelle wurden verwendet, um die Änderungen des Klimas und der hydrologischen Parameter durch die globale Erwärmung zu ermitteln.

- Methode: Budyko's Methode zur Ermittlung der Evapotranspiration von Landflächen, adaptiert zur Berechnung aller Komponenten der Energie-Wasserbilanz.
- Szenario: Karten der Paläoklimatischen Rekonstruktion der Winter- und Sommer Lufttemperaturen und der Jahresniederschläge für die Erwärmungsszenarien 1°C und 2°C (Borzenkova, 1992)

Auffallend ist, dass die paläoklimatischen Szenarien für die Temperaturverhältnisse 2010 eine leichte, für 2025 jedoch eine starke Niederschlagszunahme angeben. Da wir in den statistischen Analogszzenarien verschiedene Niederschlagszunahmen simulieren und sich daraus ein eindeutiger vergleichbarer Trend ergibt, wird dieses Szenario wie das PRUDENCE Szenario nicht in der Wasserbilanzberechnung verwendet. Ein weiterer Grund liegt in der höheren Unsicherheit dieses Szenarios.

Nur die statistischen Analogszzenarien (mit Niederschlagsvariationen) und die Messperioden 1965-2004 wurden schließlich für die Simulationen der Wasserbilanz des Neusiedler Sees verwendet, da die anderen Szenarien im nahen Trendbereich der Analogszzenarien liegen.

Abbildung 10 zeigt eine Übersicht aller verwendeten Klimaszenarien.

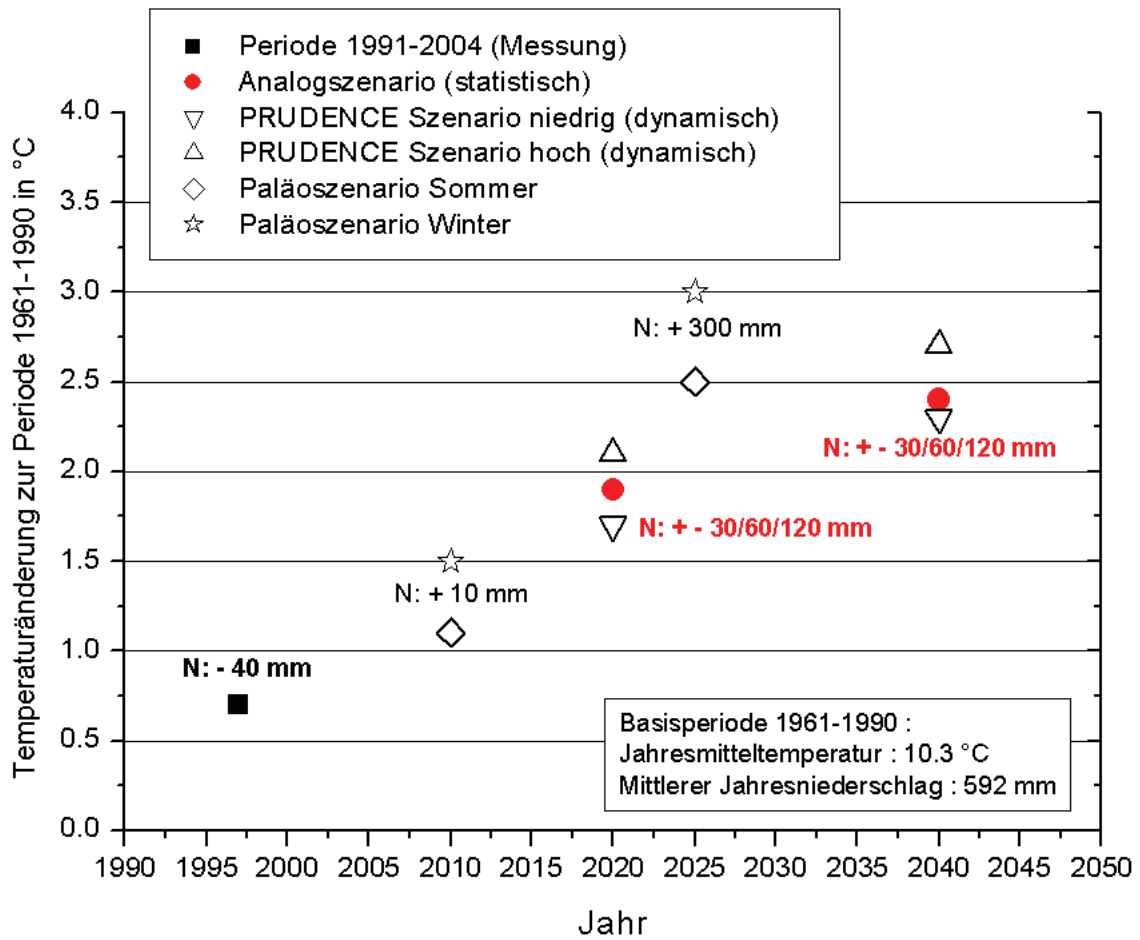


Abbildung 10: Die in unserer Studie berechneten Klimaszenarien für den Neusiedler See (N= Niederschlagsänderung zur Basisperiode).

3 Zusammenstellung und Analyse von Daten historischer Zeitreihen

3.1 Übersicht

Zusammenstellung und Analyse von Daten historischer Zeitreihen (Wetterdaten, Wassertemperatur, Seespiegel) und von Extremjahren für eine Bewertung der Randbedingungen für Seespiegelschwankungen bzw. Austrocknung.

Arbeitsumfang und Methodik: Die verfügbare wissenschaftliche Literatur über die Wasserbilanz des Neusiedler Sees wird erhoben, analysiert und zusammengefasst. Zusätzlich werden andere historische Informationsquellen über die vergangene Austrocknung bzw. starker Seespiegelschwankungen zusammengestellt und klimatologisch analysiert. Alle verfügbaren historischen Daten werden gesichtet, auf Plausibilität geprüft und für die Studie aufbereitet. Daten über die hydrologischen Randbedingungen des Sees, sowie vorhandene kalibrierte Methoden zur Wasserbilanzermittlung (Verdunstung, Energiebilanz) werden von den jeweiligen Dienststellen des Amtes der Burgenländischen Landesregierung zur Verfügung gestellt. Anschließend erfolgt anhand der Daten eine Analyse des Zusammenhanges von Seespiegelschwankungen mit klimatischen Faktoren.

Ergebnis : Darstellung verschiedener Zeitreihen zur klimatologischen Geschichte des Neusiedler Sees. Abgeleitete Zusammenhänge von klimatischen Parametern zu Seespiegelschwankungen werden in geeigneter Weise dargestellt und bewertet (Statistik)

3.2 Literaturanalyse

Die folgende Tabelle 2 liefert eine Übersicht über bisher gesichtete (auch historische) Literatur zum „Neusiedler See“ aus den Bereichen Hydrologie, Klima, Niederschlag, Verdunstung, Wasserhaushalt und Sonstiges. Die Zuordnung zu den angeführten Bereichen erfolgt nach den Hauptgesichtspunkten der einzelnen Publikationen; sie erfolgte in den Fällen, wo mehrere Bereiche behandelt werden, subjektiv. Bei der älteren Literatur wurde versucht, auf Originalbeiträge zurück zu greifen, die aber nicht immer verfügbar waren.

Tabelle 2: Übersicht und Kategorisierung der verwendeten Literatur

Autor(en)	Kategorie	Jahr	Titel
Woldemar, L.	Allgemein	1972	Bibliographie des Neusiedlersee- Gebietes
Balint et. al.	Hydrologie	2005	Regional Drought Event in the Sio and Lake Balaton Drainage Basin
Gattinger, T.E.	Hydrologie	1975	Das hydrogeologische Einzugsgebiet des Neusiedler Sees
Hann, W.	Hydrologie	1975	Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees

Adrian, R. et al.	Klima	1996	Potentielle Auswirkungen von Klimaveränderungen auf geschichtete und ungeschichtete Flachseen
Auer, I. et al.	Klima	1996	Klimatographie und Klimaatlas von Burgenland
Burgenländische Landesregierung	Klima		Burgenland Landeskunde, Kapitel "Das Klima"
Dick G., Dvorak M., Grill A., et al	Klima	1994	Vogelparadies mit Zukunft? Ramsar-Gebiet Neusiedler See - Seewinkel
Dobesch, H.	Klima	1973	Das Wind-, Temperatur- und Feuchteprofil über einer freien Wasserfläche
Dobesch, H.; Motschka, O.; Neuwirth F.	Klima	1973	Klimadaten des Neusiedlerseegebietes I. Teil / II. Teil Lufttemperaturen / relative Luftfeuchte 1966 - 1970
Dobesch, H.; Neuwirth, F.	Klima	1983	Das Klima des Raumes Neusiedler See
Dobesch, H.; Neuwirth, F.	Klima	1975	Kleinräumige Unterschiede des Windfeldes im Südtteil des Neusiedler Sees
Eckel, O.	Klima	1953	Zur Thermik des Neusiedlersees
Haiden, T.; Schultheis, R.	Klima	1995	Verfahren zur Abschätzung der Auswirkung von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt von Einzugsgebieten
Mahringer ,W.	Klima	1969	Der Strahlungshaushalt des Neusiedler Sees im Jahre 1976
Mahringer ,W.; Motschka, O.	Klima	1968	Meteorologische Untersuchungen am Neusiedlersee im Jahre 1967 im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade
Neuwirth, F.,	Klima	1976	Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees
Sauerzopf, F.	Klima	1959	Die Wasserstandsschwankungen des Sees
Steinhauser, F.	Klima	1970	Kleinklimatische Untersuchung der Windverhältnisse am Neusiedler See. 1. Teil: Die Windrichtungen
Steinhauser, F.	Klima	1982	Verteilung der Häufigkeiten der Windrichtungen und Windstärken in Österreich zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten
Szalay, G. et al.	Klima	1989	Hungary and the International Hydrological Programme (IHP) Unesco 1965-1989
Wilfinger, H.	Klima	1976	Die klimatischen Verhältnisse des Seewinkels
	Klima	1979	Studienreise zum Balaton-See
Bonta, I., Takács, Á.	Niederschlag	1988	Development of a Warning System for Heavy Rainfall in Hungary
Neuwirth, F.	Niederschlag	1976	Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees
Fleckseder, H.	Sonstiges	1990	Forderungen vom Seebecken her
Albrecht, F.	Verdunstung	1962	Die Berechnung der natürlichen Verdunstung (Evapotranspiration) der Erdoberfläche aus klimatischen Daten

Burian, K.; Sieghardt, H.	Verdunstung		The primary producers of the Phragmites belt, their energy utilisation and water balance
Darnhofer, T.	Verdunstung	1971	Verdunstungsstudien im Schilfgürtel des Neusiedler Sees
Darnhofer, T.	Verdunstung	1973	Verdunstung im Schilfgürtel des Neusiedlersee
Dobesch, H.	Verdunstung	1987	Windinduzierte Strömungscharakteristiken und Pegelschwankungen des Neusiedlersees
Dobesch, H.	Verdunstung	1981-1984	Evapotranspiration grüneschnittenen Schilfes (Naturraumpotential Neusiedler See, Auswirkungen des Grünschnittes auf den Schilfgürtel)
DVWK (Hrsg.)	Verdunstung	1996	Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen
Harlfinger, O.	Verdunstung	1971	Hydrometeorologische Studien im Gebiet des Seewinkels
Hounam, C.E.	Verdunstung	1973	Comparison between pan and lake evaporation
Kalmar, I. et al.	Verdunstung	1980	Naturverhältnisse des Neusiedlersees
Klaghofer, E.	Verdunstung	1980	Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche
Linacre, E.T.	Verdunstung	2004	Evaporation trends
Mahringer ,W.	Verdunstung	1970	Verdunstungsstudien am Neusiedler See
Mahringer ,W.	Verdunstung	1966	Über die Einrichtung meteorologischer Stationen zur Bestimmung der Verdunstung des Neusiedlersees
Mahringer ,W.	Verdunstung	1970	Verdunstungsstudien am Neusiedler See
Melkonian, A. et al.	Verdunstung	1979	Beitrag zur Verdunstung aus freien Wasseroberflächen
Neuwirth, F.	Verdunstung	1978	Die Bestimmung der Verdunstung einer freien Wasserfläche aus längerfristigen Mittelwerten
Neuwirth, F.	Verdunstung	1971	Ergebnisse von vergleichenden Messungen mit Verdunstungswannen im Gebiet des Neusiedler Sees
Neuwirth, F.,	Verdunstung	1974	Über die Brauchbarkeit empirischer Verdunstungsformeln dargestellt am Beispiel des Neusiedler Sees nach Beobachtungen in Seemitte und in Ufernähe
Neuwirth, F.,	Verdunstung	1975	Die Abhängigkeit der Verdunstung einer freien Wasserfläche (Neusiedler See) von meteorologischen Einzelementen
Neuwirth, F.,	Verdunstung	1973	Experiences with evaporation pans at a shallow steppe-lake in Austria
Neuwirth, F.,	Verdunstung	1980	Die Abschätzung der Verdunstung des Neusiedler Sees aus einfachen Klimawerten
Richter, D:	Verdunstung	1969	Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen dargestellt am Beispiel des Stechlinsees
Baranyi, S.; Domokos, M.	Wasserhaushalt	1985	Möglichkeiten zur Verbesserung der Wasserstandsregulierung des Neusiedlersees

Blaschke, A.P. et al.	Wasserhaushalt	2003	Modelling activities for comprehensive water and nutrient balances for two Austrian case study regions
Boroviczeny, F. et al.	Wasserhaushalt	1985	TU - Forschungsbericht 6 – Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und Geophysik
Boroviczeny, F. et al.	Wasserhaushalt	1990	TU - Forschungsbericht 13 – Wasserhaushalt Leithagebirge - Südostabdichtung
Boroviczeny, F. et al.	Wasserhaushalt	1992	TU - Forschungsbericht 16 – Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie 1980-1990
Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal	Wasserhaushalt	1966	Bericht über die Grundwasserströmung am Ostufer des Neusiedlersees
Csaplovics, E.	Wasserhaushalt	1998	High Resolution digital terrain models of shallow lake basins - towards modelling dynamics of sedimentation for multithematic ecosystems research
Csaplovics, E.	Wasserhaushalt	1989	Die geodätische Aufnahme des Bodens des Neusiedler Sees - mit besonderer Berücksichtigung des Schilfgürtels und der Lamelle 115,50 bis 116, 50 m ü. A.
Csaplovics, E. et al.	Wasserhaushalt	1997	Digitale Geländemodelle des Neusiedler See- Beckens
Haas, P.; Haidinger, G.; Mahler, H.; Reitinger, J.	Wasserhaushalt	1987	TU - Forschungsbericht 9 – Grundwasserhaushalt Wulkaeinzugsgebiet
Haas, P.; Haidinger, G.; Mahler, H.; Reitinger, J.	Wasserhaushalt	1992	TU - Forschungsbericht 14 – Wasserhaushalt Leithagebirge – Südostabdichtung
Hainisch, S.	Wasserhaushalt	1927	Die Zukunft des Neusiedlersees
Kopf, F.	Wasserhaushalt	1974	Der neue Wasserhaushalt des Neusiedler Sees
Kopf, F.	Wasserhaushalt	1974	Beiträge zur Wasserwirtschaft im pannonischen Raum Österreichs (p.203-229) Der Neusiedler See - Wasserbilanz und Stabilisierung durch die Bedienungsvorschrift für die Schleuse im Einserkanal)
Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission	Wasserhaushalt	1996	40 Jahre Österreichisch- Ungarische Gewässerkommission (1956-1996)
Pichler, J.	Wasserhaushalt	1969	Entwicklung und wissenschaftliche Forschung des Neusiedlersees (Fertö-to) und seiner Umgebung
Plattner, J.	Wasserhaushalt	2004	Bericht Ökodynamische Rehabilitation des Neusiedler Sees - Hydrologie - Quantität
Plattner, J.	Wasserhaushalt	1997	Hochwasserereignis 1995/96 am Neusiedler See, im Seewinkel und Hansag - Bericht

Plattner, J.	Wasserhaushalt	2000	Anpassung der bestehenden Bedienungsvorschrift für die Wehranlage im Hansagkanal - Auswirkungen auf die Wasserstände des Neusiedler Sees
Plattner, J.	Wasserhaushalt	1995	Hydrologische und wasserwirtschaftliche Grundlagen für die Neufassung der Bedienungsvorschrift für die Wehranlagen im Hansagkanal - Entwurf für die Neufassung
Plattner, J.	Wasserhaushalt	1999 ?	Wasserhaushalt und Wasserstandsregelung des Neusiedler Sees - Untersuchungen im Rahmen der Österreichisch- Ungarischen Gewässerkommission
Reitinger, J. et al.	Wasserhaushalt	1993	Der Wasserhaushalt des Neusiedlersees und seines Umlandes - Schlussfolgerungen für den Pannonischen Raum
Riedinger	Wasserhaushalt	1940	Wasserwirtschaftlicher Generalplan für den Neusiedler See - Technischer Bericht
Sauerzopf, F.	Wasserhaushalt		Zur Frage der Wasserstandsschwankungen des Neusiedlersees
Schmid, Th.	Wasserhaushalt	1927	Die Zukunft des Neusiedlersees
Schreiner, E.	Wasserhaushalt	1959	Der Jahrgang der Wasserführung des Neusiedlersees
Stalzer, W.	Wasserhaushalt	1980	Gewässerschutzplanung, deren Umsetzung und Zielkontrolle im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees

3.3 Historische Seespiegelschwankungen

Berichte über Austrocknung bzw. starke Seespiegelschwankungen sind zahlreich dokumentiert (siehe Literaturübersicht oben). Grundsätzlich ist der Begriff „Austrocknung“ in den verschiedenen Literaturquellen nicht eindeutig definiert, Beschreibungen für den Zustand „ausgetrocknet“ reichen von „fast vollständig trocken“ über „an den tiefsten Stellen nur mehr 15-20 cm Wasser“ (Sauerzopf, 1959) bis hin zu „extrem tief“ (40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission 1996), wobei in jeden Fall der gleiche Zustand des gleichen Jahres beschrieben wird.

Mehrere Autoren schildern die Chronik der jüngeren hydrologischen Entwicklung des Neusiedler Sees (Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission, 1996; Sauerzopf, 1959; Hann, 1976), die ab etwa 1600 n. Chr. in ihren Angaben überwiegend gleich lautende Beschreibungen des Seewasserspiegels liefern. Weiter in die Vergangenheit zurück reichende Schilderungen (vor etwa 1300 n. Chr.) weichen mitunter sowohl in der Zustandsbeschreibung wie auch in den Jahresangaben zum Teil geringfügig voneinander ab.

Eine sehr übersichtliche Darstellung der unterschiedlichen Wasserstände im Laufe der Zeit liefern Sauerzopf (1959) bzw. die Jubiläumsschrift „40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission“ (Tabelle 3 und Abbildung 11)

Tabelle 3: Chronik extremer Wasserstände (Jubiläumsschrift „40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission“, 1996)

1318	See teilweise ausgetrocknet, schmaler Wasserstreifen, der einem Fluß glich.
15. Jh	Hoher Wasserstand, Bewohner zogen sich nach Osten zurück, Gründung von Apetlon (1410).
1568	Wasser ging zurück, Fische wurden dezimiert. Eine Kommission stellte fest, daß die Witwe des Grafen Nádasdy das Wasser der Répce „abwärts“ leiten ließ. Die Hofkammer ordnete die Ableitung der Répce in den See an.
1674	„Der See ist breit 3830 Klafter“ (an einem Stein am Seehof Rust vermerkt).
1693–1736	Rückgang der Wasserfläche trotz hoher Niederschläge.
1740	Der See war fast trocken, eine Kultivierung des Seebeckens wurde ins Auge gefaßt-
1768–1769	Anstieg des Wasserspiegels mit Höchststand 1786, Fläche > 500 km ² . Viele Tausend Joch wurden überschwemmt, Bauern wanderten ab.
Ab 1801	Abnahme des Wasserstandes
1811	fast vollständige Austrocknung.
Ab 1813	Spiegelanstieg.
10. März 1838	Hochwasserstand mit einer Seefläche von 356 km ² .
Ab 1854	sinkende Tendenz
1865	war nur bei Apetlon und Eszterháza ein schmaler Wasserstreifen vorhanden. Der Bodenschlamm trocknete aus, Salze kristallisierten, es bildete sich eine harte, glatte Kruste, große Staubentwicklung. Der Seeboden bedeckte sich mit salzresistenten Pflanzen, das untersuchte Wasser gehörte zu den „Sulfat-Salzwässern“. Es fehlten die Kalisalze, der Boden war somit für die landwirtschaftliche Nutzung ungeeignet.
1872–1880	Im See stellte sich wiederum ein hoher Spiegel ein, die Wassertiefe wurde zwischen 2–3 m angegeben.
1902	Der niedrige Wasserstand führte zur Abhaltung einer Ungarischen wissenschaftlichen Exkursion. Dabei wurden chemische und physikalische Meßgrößen erhoben.

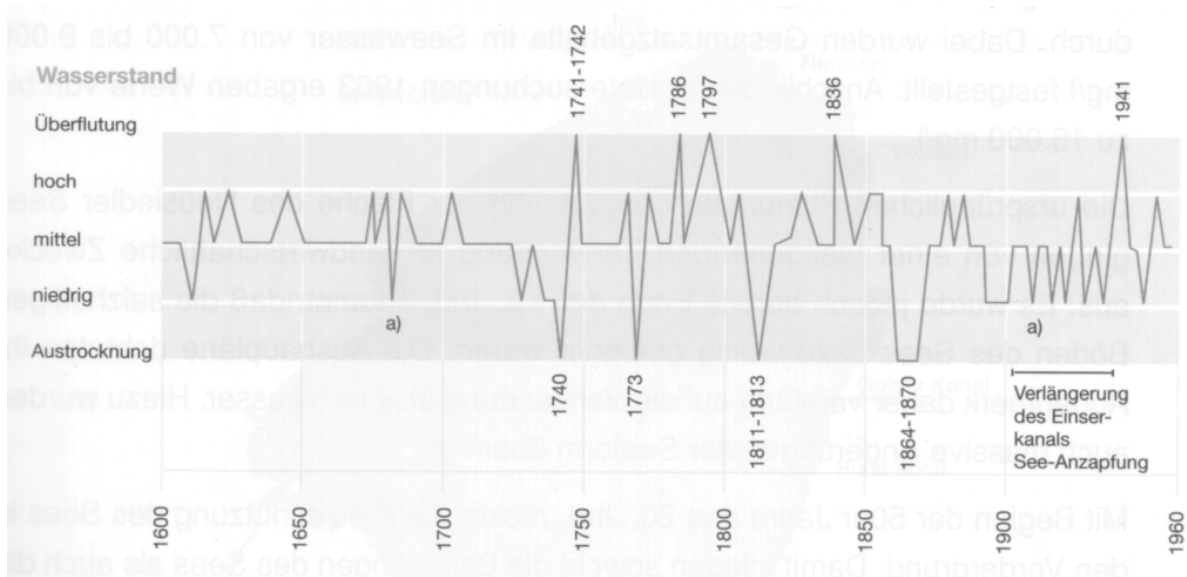


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Wasserstände seit 1600 (Jubiläumsschrift „40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission“, 1996)

Eine mit historischen Befunden (Archäologie, Gräberfunde, kriegerische Handlungen) ausgeschmückte Chronik liefert Sauerzopf (1959). Die neuere Literatur weist auf mögliche Verwechslungen in der historischen hin, wonach manches Mal Bezug zum Neusiedler See genommen wurde, allerdings der Plattensee gemeint war. In den Angaben, die sich auf die Zeit nach 1600 beziehen, besteht diese Möglichkeit einer Verwechslung nicht mehr.

Vergleicht man die Pegelstände des Neusiedler Sees mit denen des Plattensees, so sind Gemeinsamkeiten bzw. Parallelen zu erkennen. Auch der Plattensee zeigt in den letzten 1000 Jahren eine große Schwankungsbreite, und bei größerer Auflösung ist auch hier in den letzten 5 Jahren (seit 1999) ein markanter Rückgang des Seewasserspiegels zu erkennen (Balint et al., 2005).

Inwieweit die hydrologischen Randbedingungen beider Seen sich ähneln, konnte aufgrund der Aktualität der Literatur nicht geklärt werden.

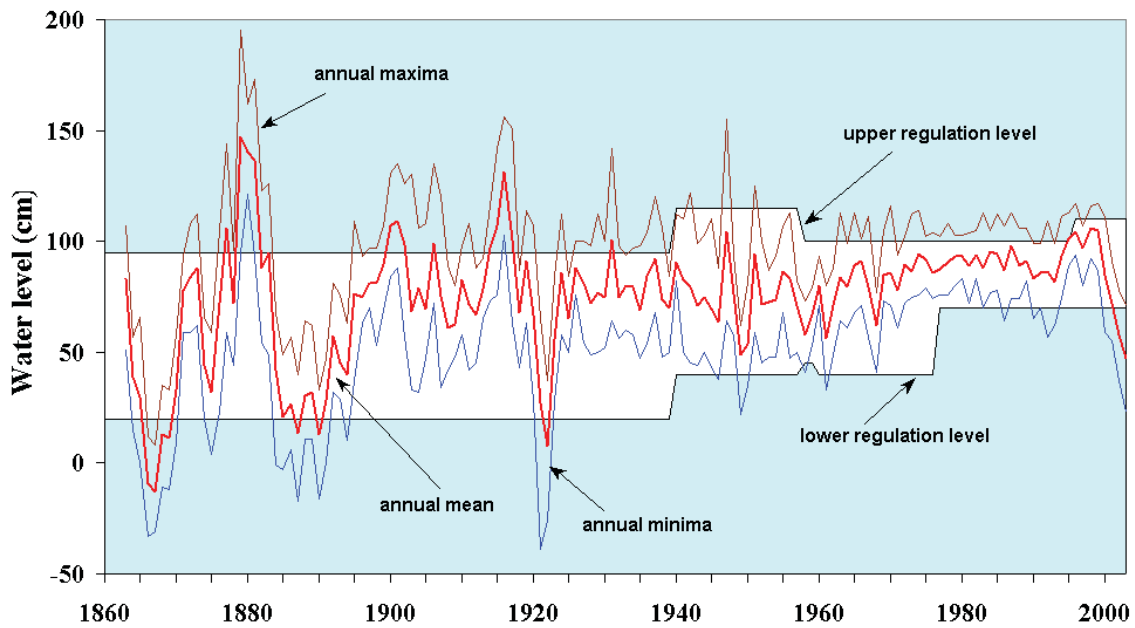


Abbildung 12: Wasserspiegelschwankungen des Plattensees seit 1860 (Balint et al., 2005)

Durch die Wasserstandsregelung 1965 stieg der mittlere Seewasserspiegel um etwa 40 cm (Abbildung 13 , BYC, Chronik Neusiedlersee)

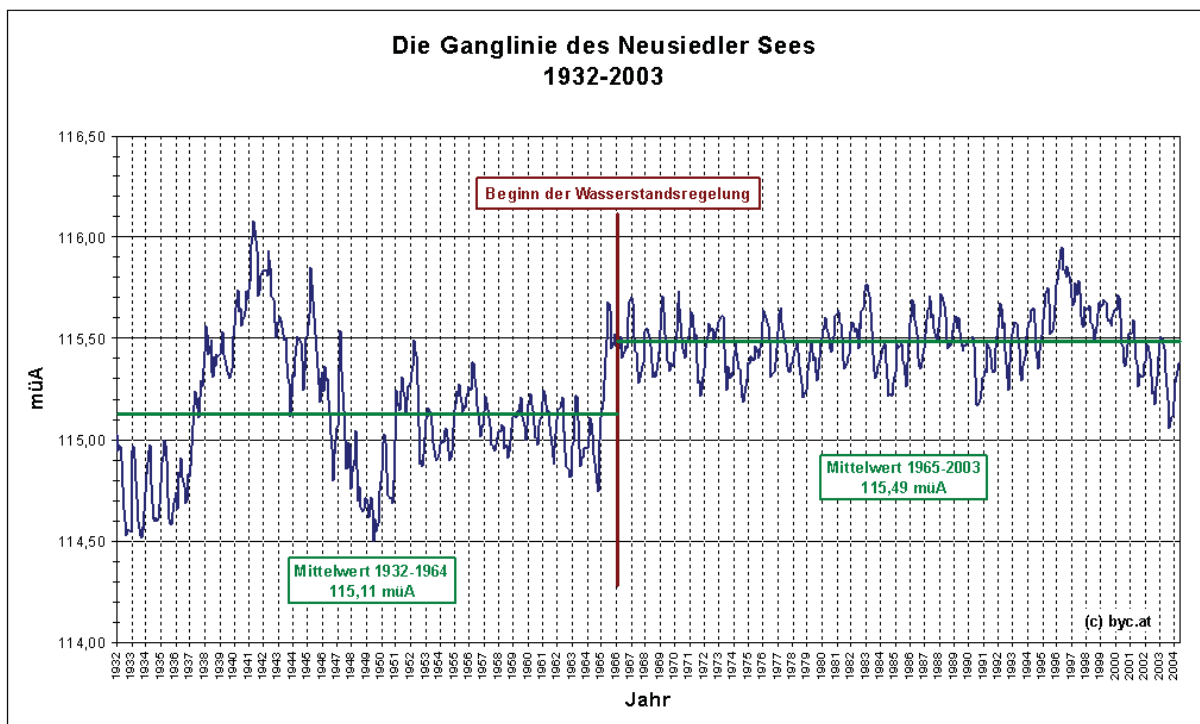


Abbildung 13: Ganglinie des Neusiedler Sees von 1932-2003

3.4 Die hydrologischen Randbedingungen des Sees

Die heutigen Verhältnisse und hydrologischen Randbedingungen des Neusiedler Sees bestehen erst seit ca. 40 Jahren, als mit der Errichtung der neuen Wehranlage in Mekszikópuszta am 01.01.1965 die gezielte Regelung der Wasserstände des Neusiedler Sees begann.

Sehr trefflich gibt Plattner (2004) eine kurze Übersicht über die historischen Eingriffe in die hydrologischen Randbedingungen, die infolge Hochwasserschutz- und Entwässerungsmaßnahmen für die landwirtschaftliche Nutzung des Neusiedler See Raumes erfolgten.

„Im früheren natürlichen Zustand bildete der Neusiedler See mit den östlich gelegenen Sümpfen des Hanság ein nach Osten hin abflussloses Gebiet. In diese Geländesenke mündeten von Süden die Hansággewässer Ikva, Répce und Rábca sowie die ausufernden Hochwässer der Raab. In niederschlagsreichen Jahren füllten diese Wässer zusätzlich das Seebecken und waren somit eine wesentliche Komponente des Wasserhaushaltes. Es kam immer wieder zu Überflutungen, aber auch Austrocknungen des Sees. Seit der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts begann der Mensch nachhaltig in dieses Gewässer- und Ökosystem einzugreifen. Durch Regulierung der Gewässer blieben die Zuflüsse aus dem Süden aus, ihre Hochwässer gelangten nicht mehr in die Tiefenmulde des Hanság ...“ (Plattner, 2004).

„In der Zeit der ersten dokumentierten Seeaustrocknung 1543-1544 wurden vermutlich auch Regulierungsarbeiten im Hansag durchgeführt. Weitere Berichte aus dem Jahr 1568 stellen fest, dass infolge von Ableitung der Ikva und Rabnitz in den zum Teil schon entwässerten Hansag besonders niedere Seewasserstände auftraten, wodurch die Fischerei ungünstig beeinflusst wurde. Die Austrocknung von 1738-1740 fällt mit einer Dürreperiode und Regulierungsarbeiten an der Raab und im Hansag zusammen. Der erste durchgehende Hansagkanal wurde 1775 fertig gestellt und zwischen 1820 und 1835 weiter ausgebaut. In den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts kam es zu der bisher letzten Austrocknung des Neusedler Sees“. (Plattner, 1992).

In der Folge werden die aktuellen hydrologischen Randbedingungen

- das Einzugsgebiet des Neusiedler Sees,
- die Wasserbilanz,
- die Schleusenregelung sowie
- Fläche und Inhalt des Seebeckens

dargestellt.

3.4.1 Das Einzugsgebiet

Die Größe des Einzugsgebietes des Neusiedler Sees beträgt ca. 1.120 km², seine Fläche beträgt bei einem Wasserstand von 116,00 m ü.A. 315 km², wovon 140 km² auf freie Wasserfläche und 175 km² auf Schilfflächen entfallen (Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission, 1996).

Abbildung 14 zeigt die Teileinzugsgebiete des Sees, wobei darauf hingewiesen wird, dass in der Literatur wiederholt geringfügige Abweichungen bei den Angaben zur Seegröße und der Größe des Einzugsgebietes auftreten. Die darauf folgende Tabelle 4 gibt Aufschluss über Größe und mittlere Abflussverhältnisse aus den Teileinzugsgebieten.

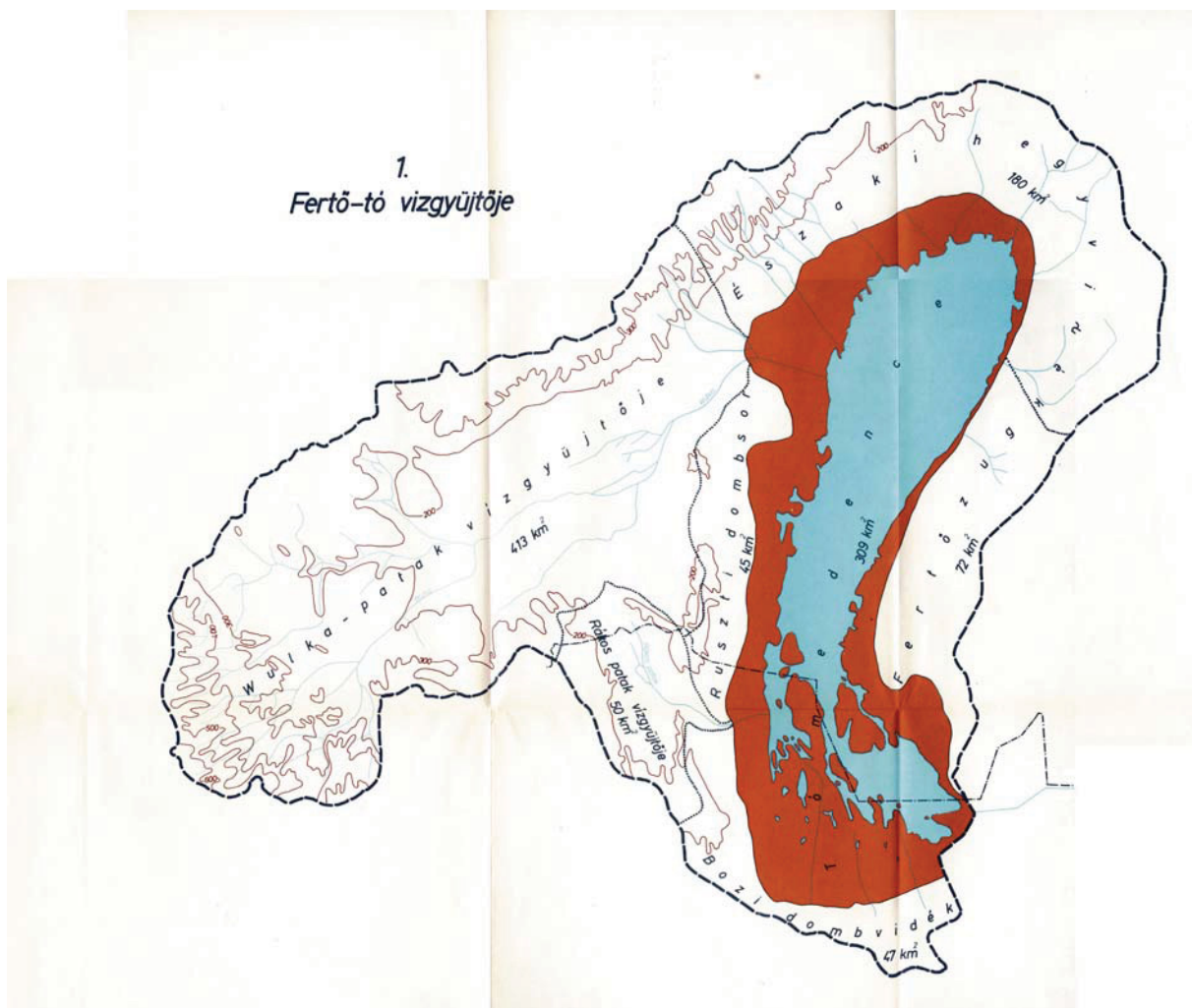


Abbildung 14: Einzugsgebiet des Neusiedler Sees (Kalmar, 1982)

Tabelle 4: Größe und mittlere Abflussmengen der Teileinzugsgebiete (Kalmar, 1982)

Einzugsgebiet	Fläche [km ²]	Mittlere Abflussmengen [m ³ /s]
Wulka	413	1,250
Leithagebirge / Eszaki hegy videk	180	0,029
Seewinkel / Fertözug	72	0,030
Kroisbach / Rakos patak vizgyüjtöje	50	0,070
Bozer Hügelland / Bozi domb videk	47	0,060
Ruster Hügelland / Ruszti dombsor	45	0,035
Zwischensumme	807	
See inkl. Schilf	309	
Gesamt	1.116	1,474

3.4.2 Der Seewasserhaushalt

Der Wasserhaushalt des Neusiedler Sees wird vor allem durch die meteorologischen Einflüsse wie Niederschlag und Verdunstung bestimmt. Die Änderung des Seeinhaltes (Volumens) wird durch folgende Komponenten bestimmt:

$$dV = (V_N + V_{ZO} + V_{ZU}) - (V_V + V_{AO} + V_{AU})$$

- dV Änderung des Seeinhaltes
- V_N Niederschlag auf die Seefläche
- V_{ZO} Oberirdische Zufluss
- V_{ZU} Unterirdischer Zufluss
- V_V Verdunstung von der Seefläche
- V_{AO} Oberirdischer Abfluss
- V_{AU} Unterirdischer Abfluss

Tabelle 5: Wasserbilanz des Neusiedler Sees (Mittelwerte 1967-1984), TU Wien, (1992)

Komponente	Fracht	Höhe	Anteil	Bemerkung
	Mio. m ³ /a	mm/a	%	
Niederschlag	183,6	579,2	78	<i>Plattner, 1990</i>
oberirdischer Zufluß	46,7	147,2	20	Summe
Wulka	32,4	102,3	13,9	Pegel Schützen
Rákos patak	2,2	7,0	0,9	Pegel
andere	12,1	37,9	5,2	Schätzung
unterirdischer Zufluß	3,7	11,6	< 2	Summe
Seewinkel	0,5	1,6	0,2	Maximalschätzung
Ungarn	1,5	4,7	0,6	Maximalschätzung
Wulkatal	0,1	0,3	0,1	Maximalschätzung
Leithagebirge	1,5	4,7	0,6	Maximalschätzung
andere	0,1	0,3	0,1	Maximalschätzung
SUMME (+)	234,0	738,0	100	
Verdunstung	209,5	660,7	90	Restglied
oberirdischer Abfluß	24,5	77,3	10	Schleuse
Unterirdischer Abfluß	0,0	0,0	0	vernachlässigbar
SUMME (-)	234,0	738,0	100	
Bezugswasserstand: 116,00 m ü.A.				
Seefläche: 317 km ²				

Tabelle 6: Wasserbilanz: Mittelwerte der Jahresreihe 1967 – 1998, Plattner, (2004)

Komponente	Fracht Mio in m ³ /Jahr	Höhen in mm/Jahr
Gebietsniederschlag	202,5	643
Ober- u. unterirdische Zuflüsse		
Wulka	33,8	107
Golser Kanal	5,9	19
Rákos patak	2,0	6
Sonstige	4,0	13
Summe +	248,2	788
Gebietsverdunstung	222,8	707
Unterirdischer Abfluss	1,6	5
Oberirdischer Abfluss	23,8	76
Summe -	248,2	788

3.4.2.1 Oberirdischer Abfluss – Die Schleusenregelung

Seit 1965 wird der Wasserstand an der Wehranlage Mekszikópuszta nach fixen Vorschriften beeinflusst. Deren Festlegung erfolgt durch die bilaterale Gewässerkommission. Seit 1996 provisorisch und seit 2001 fix gilt folgende Regelung:

Die Schleuse wird zu folgenden Zeiten und bei Überschreitung folgender Wasserstände geöffnet:

Oktober – Februar > 115,60 müA
März & September > 115,65 müA
April – August > 115,70 müA

Geschlossen wird die Wehranlage dann, wenn derselbe Wert unterschritten wird. Nach oben hin werden je nach Witterung Abweichungen bis zu 5 cm toleriert, bevor die Schleuse geöffnet wird.

Die derzeit in Kraft stehende Bedienungsvorschrift ist seit 11.09.2001 gültig. Gemäß Pkt. VI des Protokolls der 40. bzw. 41. Tagung der Österreichisch-Ungarischen Gewässerkommission (1996) war bei der Festlegung der Regelungswasserstände von folgenden Randbedingungen auszugehen:

- In der Winterperiode hat die Ableitung des Sees, in der Sommerperiode die Regelung der Binnenwasserverhältnisse im Hanság und Seewinkel Priorität.
- In der Winterperiode erfolgt die Seeableitung bis 15 m³/s
- In der Sommerperiode kann eine Ableitung von im Mittel 4 m³/s gemäß der freien gravitativen Kapazität des Ableitungssystems durchgeführt werden

3.4.3 Unterirdische Ab- und Zuflüsse

Die unterirdischen Ab- und Zuflussverhältnisse des Seebeckens wurden in den Jahren 1980 bis 1990 im Rahmen von umfangreichen Studien mit Hilfe der Geophysik und Geochemie erforscht (Boroviczeny et al., 1992). Es zeigte sich, dass das Ausmaß der unterirdischen Zuflüsse in früheren Wasserbilanzierungen zu hoch eingeschätzt wurde.

Die Randbedingungen hinsichtlich der quantitativen Bewertung der unterirdischer Ab- und Zuflüsse in dieser Studie ergeben sich aus der Wasserbilanz des Neusiedler Sees, siehe Tabelle 5, die für den Zeitraum 1967 bis 1984 erstellt wurde. Quantitativ wurden unterirdische Ab- und Zuflüsse wie folgt beurteilt:

Unterirdische Zuflüsse: 3,7 Mio. m³/a entsprechen 11,6 mm/a
Unterirdische Abflüsse vernachlässigbar

Plattner (2004) gibt als Mittelwerte der Jahresreihe 1967 – 1998 folgende Werte an, vergleiche Tabelle 6:

Unterirdische Zuflüsse: <4 Mio. m³/a entsprechen <13 mm/a
Unterirdische Abflüsse 1,6 Mio. m³/a entsprechen 5 mm/a

3.4.4 Fläche und Inhalt des Seebeckens

Das Becken des Neusiedler Sees, begrenzt durch die Höhenlinie 116,50 m, umfasst eine Fläche von 321 km². Die offene Wasserfläche beträgt ca. 143 km², die mit Schilf bewachsene Fläche ca. 178 km² (Csaplovics, 1997).

Godinger (1835) erkannte bei ersten Messungen, dass der Seeboden zwei Oberflächen aufweist, jene des Schlammes und jene des festen Untergrundes. Flächen- und Inhaltsdiagramme liegen für die Zeiten 1901, 1963/1967 sowie 1995 vor, siehe Abbildung 15.

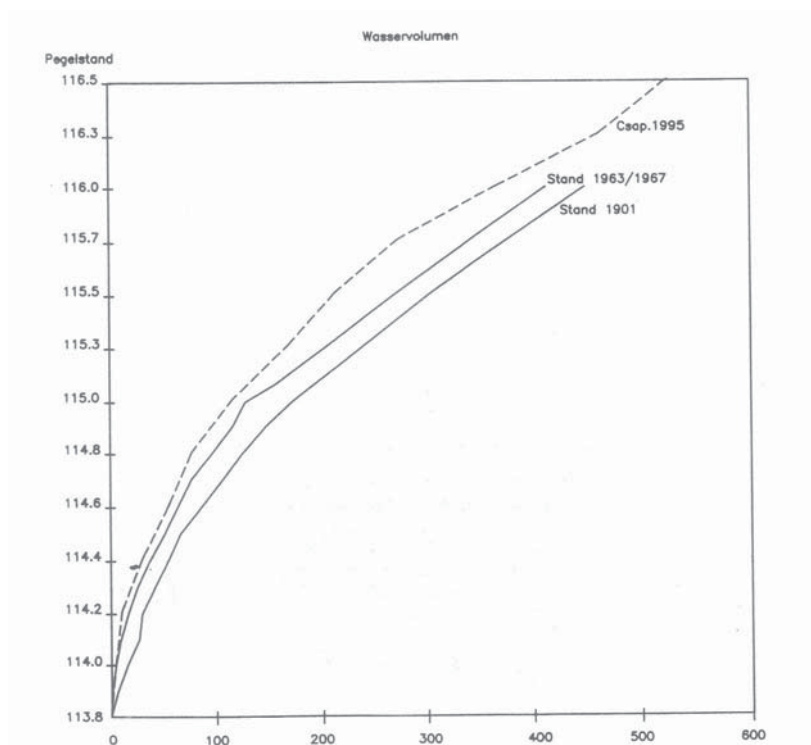


Abbildung 15: Inhaltsdiagramm des gesamten Seebeckens mit Stand 1901 und 1963/1967 (Kovats, 1982) sowie Stand 1995, Pegelstand [m] in Seehöhe über Adria, Volumen [10⁶m³], (Csaplovics, 1997).

Das mit der Zeit abnehmende Seevolumen bei gleichen Pegelständen ist sowohl auf die sukzessive Ablagerung von Schlamm im Seebecken als auch auf die zunehmende Verschilfung des Sees zurückzuführen. So hat sich das im österreichischen Teil des Sees befindliche Schlammvolumen im Zeitraum 1963 bis 1988 nahezu verdoppelt (75 Mio. m³ auf 150,17 Mio. m³) (Csaplovics, 1997).

Das Flächen- und Inhaltsdiagramm des auf Basis des digitalen Geländemodells der Schlammoberfläche mit Stand 1995 definierten Seebeckens ist in Abbildung 16 dargestellt, die entsprechenden Werte sind aus Tabelle 7 ersichtlich.

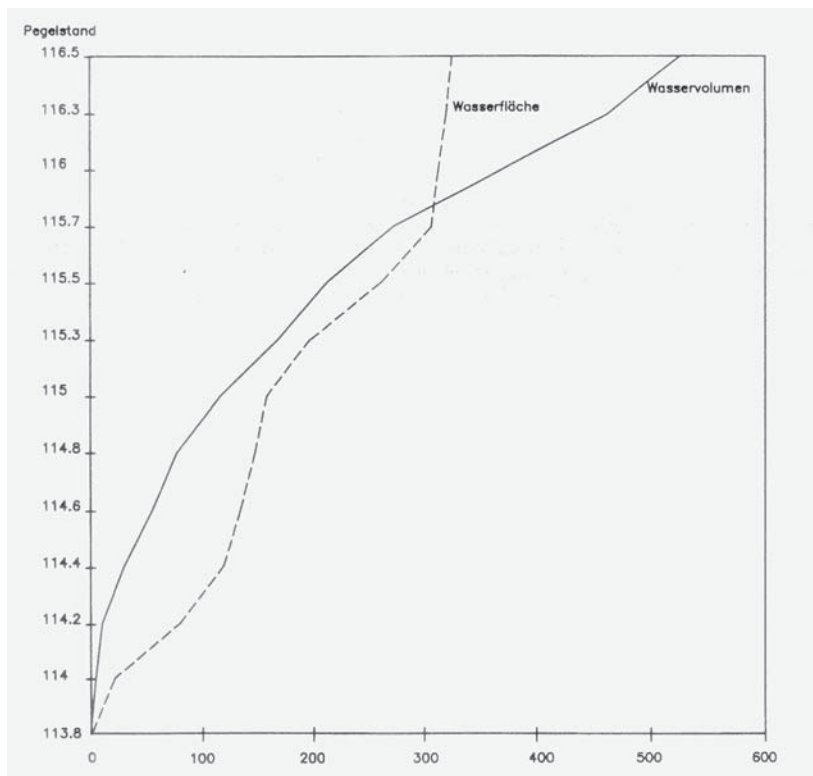


Abbildung 16: Flächen- und Inhaltsdiagramm des Beckens des Beckens des Neusiedler Sees, Pegelstand [m] in Seehöhe über Adria, Fläche [km²], Volumen [10⁶m³] nach Csaplovics (1997).

Tabelle 7: Wasserflächen und Wasservolumina in Funktion variierender Wasserstände, (Csaplovics, 1997).

Pegelstand	Wasserfläche (km ²)	Wasservolumen (Mio.m ³)
113.80	0.60	0.60
114.00	24.47	2.09
114.20	81.69	11.83
114.40	118.36	32.45
114.60	135.00	57.89
114.80	145.63	86.05
115.00	156.02	116.09
115.30	198.32	167.98
115.50	273.80	214.54
115.70	308.11	273.83
116.00	315.04	367.50
116.30	318.47	462.55
116.50	320.69	526.51

Die fortschreitende Verschilfung wirkt sich natürlich nicht nur auf die Seeinhaltslinie, sondern auch auf die Verdunstungsverhältnisse aus. Nach Csaplovics (1997) beträgt die mit Schilf bewachsene Fläche ca. 178 km².

In der ungarischen Publikation „Naturverhältnisse des Neusiedler Sees“ (Antal et al., 1982) findet sich eine Darstellung der Zunahme von Schilfflächen seit 1872, mit einer Prognose bis zum Jahr 2050, siehe Abbildung 17.

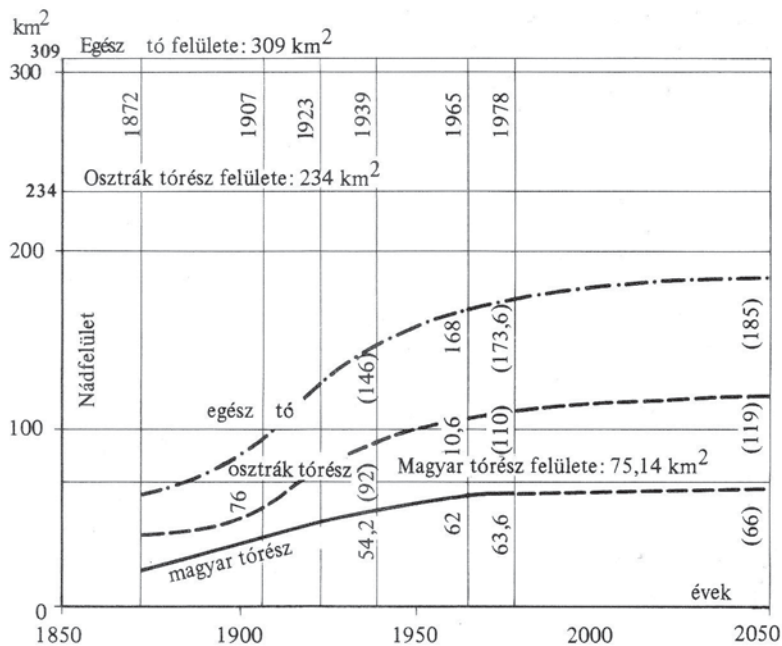


Abbildung 17: Verschilfung des Neusiedler Sees, Budapest 1982

3.5 Verdunstung

3.5.1 Verdunstungsermittlung von Wasserflächen bzw. über Schilf

Die Verdunstung von Wasseroberflächen bzw. von bewachsenen Oberflächen ist ein komplexer physikalischer bzw. biophysikalischer Prozess. Die Anwendung von Formeln der Verdunstungsberechnung erfordert daher immer eine sorgfältige Kalibrierung, da sonst grosse Abweichungen auftreten können (z.B. Eitzinger et al., 2002).

Eine generelle Übersicht über die Verfahren zur Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen findet sich in den DVWK Merkblättern 238/1996 (DVWK, 1996). Die folgende zeigt Verfahren auf, die zur Ermittlung der Verdunstung von Wasserflächen geeignet sind.

Tabelle 8: Verfahren zur Verdunstungsermittlung von Wasserflächen

Verfahren	Zeitliche Auflösung	Ausgangsgrößen	Genauigkeit	Arbeitsaufwand
Direkte Messverfahren				
Floßverdunstungskessel	Tag	Niederschlag und Wasserstandsänderung	gut	Groß bei Aufbau, im Betrieb gering
Indirekte Messverfahren				
Gradientenmessung in der oberflächennahen Luftschicht	Stunde, Tag	Temperatur- Feuchte- und Windprofile der Luft	Gut	Sehr groß
Messung von Energiebilanzen	Dekade, Monat	Größen der Energiebilanzgleichung	Befriedigend bis gut	Sehr groß
Berechnungsverfahren				
Dalton- Verfahren	Tag, Dekade, Monat	Temperatur der Wasseroberfläche, Dampfdruck der Luft, Windgeschwindigkeit	Befriedigend bis gut	gering
Energie-Bilanzverfahren	Dekade	Strahlungsbilanz, (ggf. Schätzung aus Globalstrahlung, Sonnenscheindauer oder Bedeckungsgrad), Wärmeinhaltsänderung (Wärmezufuhr), Luft- und Wasseroberflächentemperatur, Dampfdruck der Luft, Gewässertiefe	Gut	Mittel
Penman- Verfahren	Tag, Dekade, Monat	Strahlungsbilanz, (ggf. Schätzung aus Globalstrahlung, oder Sonnenscheindauer), Temperatur, Dampfdruck der Luft bzw. relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit	Befriedigend bis gut	Mittel
Temperaturgleichgewichtsverfahren	Tag, Dekade, Monat	Strahlungsbilanz, (ggf. Schätzung s.o.), Windgeschwindigkeit, Dampfdruck der Luft bzw. relative Luftfeuchte	Befriedigend bis gut	mittel
Vereinfachtes Kombinationsverfahren	Dekade, Monat	Globalstrahlung, Temperatur der Wasseroberfläche, Dampfdruck der Luft bzw. Lufttemperatur, Sonnenscheindauer	Gut	gering

3.5.2 Aerodynamisches oder Dalton- Verfahren

Dieses empirisch statistische Verfahren verknüpft die Verdunstung von einer Wasserfläche mit der Windgeschwindigkeit, der Luftfeuchte und der Temperatur der Wasseroberfläche.

$$E_w = f(v) \times (e_s(T_{wo}) - e)$$

E_w Verdunstung von der Wasseroberfläche in mm/d

$f(v)$ Funktion der Windgeschwindigkeit

$e_s(T_{wo})$ Sättigungsdampfdruck bei der Temperatur der Wasseroberfläche in hPa

e Dampfdruck der Luft in hPa

Die Windfunktion für Tagesmittel der Windgeschwindigkeit in m/s, gemessen in 2 m über der Wasseroberfläche lautet

$$f(v) = a + b \times v^c$$

Koeffizienten der Windfunktion unterschiedlicher Autoren sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Koeffizienten der Windfunktion von verschiedenen Autoren (DVWK, 1996)

Lfd. Nr.	Autor	a	b	c	Bemerkungen
1	RICHTER (1977)	0,16	0,20	0,5	für norddeutsche Seen entwickelt und erprobt
2	WMO-Richtlinie (1996)	0,13	0,094	1,0	erprobt für Neckar und Rhein (deutscher Teil)
3	RIMSHA/DONCHENKO	0,21	0,103	1,0	ohne Auftriebsterm
4	TRABERT	0,00	0,307	0,5	u. a. genutzt für Wärmelastpläne
5	NEUWIRTH (1974)	0,13	0,110	1,0	für Neusiedlersee entwickelt und erprobt
6	WERNER (1987)	0,00	0,26	0,65	für Baggerseen im Westfälischen Tiefland entwickelt und erprobt

3.5.3 Energiebilanzverfahren

Die Energiebilanzverfahren folgen der von Sverdrup, 1936 (in: DVWK, 1996), abgeleiteten Beziehung für den Verdunstungswärmestrom, adaptiert auf die Verdunstungsermittlung von freien Wasseroberflächen:

$$-LE = \frac{R_n + \Delta Q_w}{1 + \gamma \times \frac{T_{wo} - T}{e_s(T_{wo}) - e}}$$

R_n Nettostrahlung, Strahlungsbilanz
 ΔQ_w Änderung des Wärmeinhalts des Gewässers
 γ Psychrometerkonstante (0,65 hPa/K)

3.5.4 Penman- Verfahren

Penman, 1948 (in: DVWK, 1996), verbindet die Energiehaushaltsgleichung und die Dalton- Gleichung über das Bowen- Verhältnis und ermittelt die Verdunstung einer Wasserfläche in mm/d, ohne die Wärmespeicherung und die Energiezuführung von unten zu berücksichtigen:

$$E_w = \frac{s \times \frac{R_n}{L} + \gamma \times f(v) \times (e_s(T) - e)}{s + \gamma}$$

E_w Verdunstungshöhe freier Wasserflächen in mm
 s Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve in hPa/K
 R_n/L Verdunstungsäquivalent in mm/d der Nettostrahlung
 f(v) Windfunktion

Für die Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve gilt:

$$\text{über Wasser } s = e_s(T) \times \frac{4284}{(243,12 + T)^2} \quad \text{über Eis} \quad s = e_s(T) \times \frac{6123}{(272,62 + T)^2}$$

3.5.5 Vereinfachtes Kombinationsverfahren nach Richter

Die folgende Formel nach Richter, 1984 (in: DVWK, 1996), ermittelt die Monatssummen der Verdunstung freier Wasserflächen:

$$E_w = (0,327 \times (e_s(T_{wo}) - e) + 0,00055 \times R_G - 0,035) \times n$$

n Anzahl der Monatstage

3.5.6 Berechnung der Evapotranspiration des Neusiedler Sees in Ungarn

In Ungarn werden und wurden umfangreiche hydrometeorologische Messungen am Neusiedler See betrieben, außerdem tauscht die Österreichisch Ungarische Gewässerkommission regelmäßig ihre Erfahrungen sowie Messdaten aus.

An der hydrologischen Messstation Fertörakos bzw. am Institut Vituki, Győr, wurde anhand langjähriger Messreihen eine empirische Formel entwickelt, die grundsätzlich dem Daltonschen Ansatz zur Verdunstungsbestimmung folgt, jedoch mittels langjährig erprobter Anwendung die Verdunstung im Schilf gesondert berücksichtigt (Kalmar, 1982) !

Die Gesamtverdunstung des Sees ergibt sich aus der Summe der Evaporation der freien Wasseroberfläche und der Evapotranspiration der Schilfflächen:

$$P_{See} = 0,51 \times P_{Wasser} + 0,49 \times P_{Schilf}$$

P_{See} Gesamtverdunstung in mm (Tageswerte)

Die Verdunstung der freien Wasseroberfläche P_{Wasser} ermittelt sich aus:

$$P_{Wasser} = (E_0 - e) \times (0,294 + 0,056 \times u)$$

E_0 Sättigungsdampfdruck der Temperatur der Wasseroberfläche in hPa

e Dampfdruck der Luft in hPa

u mittlere Windgeschwindigkeit in m/s

Die Verdunstung der Schilfflächen P_{Schilf} ermittelt sich aus:

$$P_{Schilf} = k \times P_{Wasser}$$

Wie die Konstante k zwischen den Monaten April - Oktober variiert ist aus der folgenden Tabelle 10 ersichtlich

Tabelle 10: Konstante k zur Ermittlung der Evapotranspiration der Schilfflächen.

Monat	Konstante k
April	1,02
Mai	1,11
Juni	1,20
Juli	1,26
August	1,21
September	1,13
Oktober	1,11

3.5.7 Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck

Die Berechnung des Sättigungsdampfdrucks $e_s(T)$ in hPa über Wasser aus der Lufttemperatur in °C erfolgt nach der Magnus Formel mit den Koeffizienten nach Sonntag (1994), (in: DVWK, 1996) für den Temperaturbereich -45 ... + 60 °C.

$$e_s(T) = 6,11 \times \exp\left(\frac{17,62 \times T}{243,12 + T}\right)$$

Bei negativen Temperaturen ist der Sättigungsdampfdruck über Eis

$$e_s(T) = 6,11 \times \exp\left(\frac{22,46 \times T}{272,62 + T}\right)$$

Der Dampfdruck e in hPa errechnet sich aus der relativen Feuchte U in % aus:

$$e = e_s(T) \times \frac{U}{100}$$

3.5.8 Berechnung der Wasseroberflächentemperatur nach Richter

Zwischen Wassertemperatur von Gewässern und Lufttemperatur besteht ein deutlicher Zusammenhang (z.B. Eitzinger et al., 1996)

Sind keine Messdaten der Oberflächentemperatur eines Sees vorhanden, so kann diese nach Richter, 1977 (in: DVWK, 1996), für die eisfreie Zeit auf folgende Weise berechnet werden:

$$T_{WO} = p \times T^* + q$$

T^* Mittel der Lufttemperatur für $n=1$ (Tagesmittel) oder $n=30$ (Monatsmittel)

$$T^* = \frac{1}{n+m} \sum_1^{n+m} T$$

für Tageswerte $m = 1,04 \times z + 4,0$

für Monatswerte $m = 1,14 \times z - 0,4$

z mittlere Tiefe des Sees in m

für Seen bis 3 m mittlerer Tiefe gilt die folgende Tabelle 11:

Tabelle 11: Koeffizienten p und q der Temperaturfunktion nach Richter, für Tages und Monatswerte.

Gewässer	Seen bis 3 m mittlerer Tiefe	
	p	q
Tageswerte	1,12	0,82
Monatswerte	1,17	0,35

3.5.9 Neuwirth zur Verdunstung von Wasserflächen

Hydrometeorologische Untersuchungen im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade am Neusiedler See zeigen deutlich den dominanten Einfluss des Windes sowie des Sättigungsdefizits für die Verdunstung auf.

Neuwirth (1975), ermittelt den Einfluss von

- Windgeschwindigkeit u ,
- Lufttemperatur T ,
- relativer Luftfeuchte R ,
- Sättigungsdefizit S
- Temperatur des oberflächennahen Seewassers T_s und der
- Strahlungsbilanz E

in ihrer Gesamtheit auf die Verdunstung mit Hilfe von linearen Mehrfachregressionen.

Tabelle 12: Zweidimensionale Korrelationskoeffizienten und Mehrfachkorrelationskoeffizienten zwischen der Verdunstung und meteorologischen Einzelementen für Tageswerte, für die Stundenwerte des Juli, bei Südlage, Nordwestwetter und Hochdrucklagen in Seemitte, Mai bis Oktober 1969.

	Tageswerte	Stundenwerte des Juli	Südlagen	Nordwest- wetter	Hochdruck- lagen
$\bar{r}_V T_s$	0,50	0,09	0,29	0,29	0,44
$r_V(T_s, u)$	0,75	0,65	0,93	0,52	0,77
$r_V(T_s, u, T)$	0,77	0,67	0,93	0,68	0,77
$r_V(T_s, u, T, R)$	0,84	0,86	0,96	0,90	0,92
$r_V(T_s, u, T, R, S)$	0,85	0,86	0,96	0,91	0,92
$r_V(T_s, u, T, R, S, E)$	0,87	0,91	0,98	0,96	0,95
$\bar{r}_V T_s$	0,50	0,09	0,29	0,29	0,44
$r_V(T_s, T)$	0,52	0,09	0,30	0,42	0,44
$r_V(T_s, T, R)$	0,66	0,52	0,70	0,59	0,62
$r_V(T_s, T, R, S)$	0,68	0,52	0,70	0,66	0,66
$r_V(T_s, T, R, S, E)$	0,68	0,52	0,76	0,73	0,69
$r_V(T_s, T, R, S, E, u)$	0,87	0,91	0,98	0,96	0,95
$\bar{r}_V u$	0,49	0,51	0,86	0,28	0,52
$r_V(u, E)$	0,79	0,84	0,98	0,95	0,94
$r_V(u, E, T_s)$	0,82	0,85	0,98	0,95	0,94
$r_V(u, E, T_s, T)$	0,83	0,86	0,98	0,95	0,94
$r_V(u, E, T_s, T, R)$	0,85	0,91	0,98	0,96	0,95
$r_V(u, E, T_s, T, R, S)$	0,87	0,91	0,98	0,96	0,95
$\bar{r}_V S$	0,57	0,13	0,23	0,32	0,11
$r_V(S, T)$	0,57	0,13	0,29	0,33	0,39
$r_V(S, T, R)$	0,62	0,43	0,50	0,40	0,60
$r_V(S, T, R, T_s)$	0,68	0,52	0,70	0,66	0,67
$r_V(S, T, R, T_s, u)$	0,87	0,90	0,96	0,91	0,92
$r_V(S, T, R, T_s, u, E)$	0,87	0,91	0,98	0,96	0,95

Aus Tabelle 12 ist ersichtlich, dass vor allem bei Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit und des Sättigungsdefizits gute Ergebnisse erzielt werden. Wird das Sättigungsdefizit nicht berücksichtigt, so sind in der Reihenfolge der Wichtigkeit Wassertemperatur, relative Luftfeuchte und Lufttemperatur zu nennen. Für die Strahlungsbilanz konnte kein direkter statistischer Einfluss auf die Verdunstung gefunden werden.

3.6 Temperaturverteilung aus LANDSAT Daten

Aus den LANDSAT TM Daten, Spektralband TM6, wurde die relative Verteilung der Oberflächentemperatur abgeleitet und visualisiert, siehe Abbildung 18. Deutlich sind die höheren Temperaturen des Schilfgürtels zu erkennen. Diese Daten der Oberflächentemperaturverteilung sind in die weiteren Berechnungen nicht verwendet worden, da bisher noch keine Kalibrierung vorliegt bzw. ungenügende Zeitreihen zur Ermittlung eines Musters der zeitlichen Dynamik. Da jedoch mehrere Messstellen der Wassertemperatur zur Kalibrierung der Simulation der Wassertemperatur eingehen kann eine gute Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse angenommen werden.

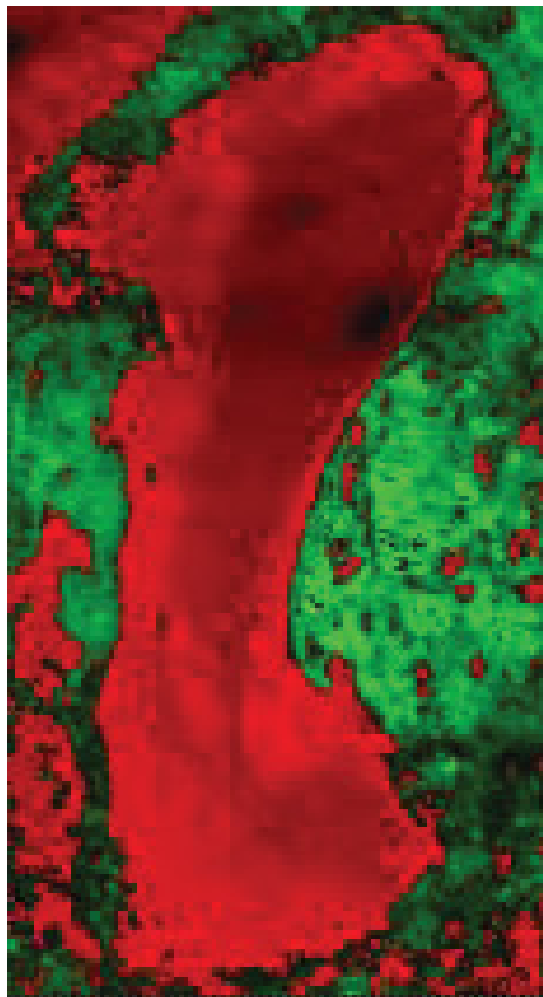


Abbildung 18: Temperaturverteilung am 23. 7. 2003 (hellrot= höhere Temperatur).

3.7 Das historische Klima

Der Raum Neusiedler See zählt zu den wärmsten, sonnenreichsten und trockensten Regionen von ganz Österreich. Für die Station Neusiedl am See ergibt sich eine Jahresmitteltemperatur von 10.1 °C und eine Jahresniederschlagssumme von 574 mm. Die Klimakennzahlen der Station Neusiedl am See sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 zusammengefasst. Die hohen Temperaturen und die hohe Sonnenscheindauer von über 1900 Stunden pro Jahr führen zu einer mittleren

jährlichen potenziellen Verdunstung von über 630 mm (Hydrologischer Atlas Österreich). Damit zählt die Region um den Neusiedler See und hier besonders der Seewinkel neben dem nördlichen Weinviertel zu den einzigen Regionen Österreichs, die nach der Definition von Harlfinger (1999) als „semiarid“ bezeichnet werden müssen (siehe Abbildung 19).

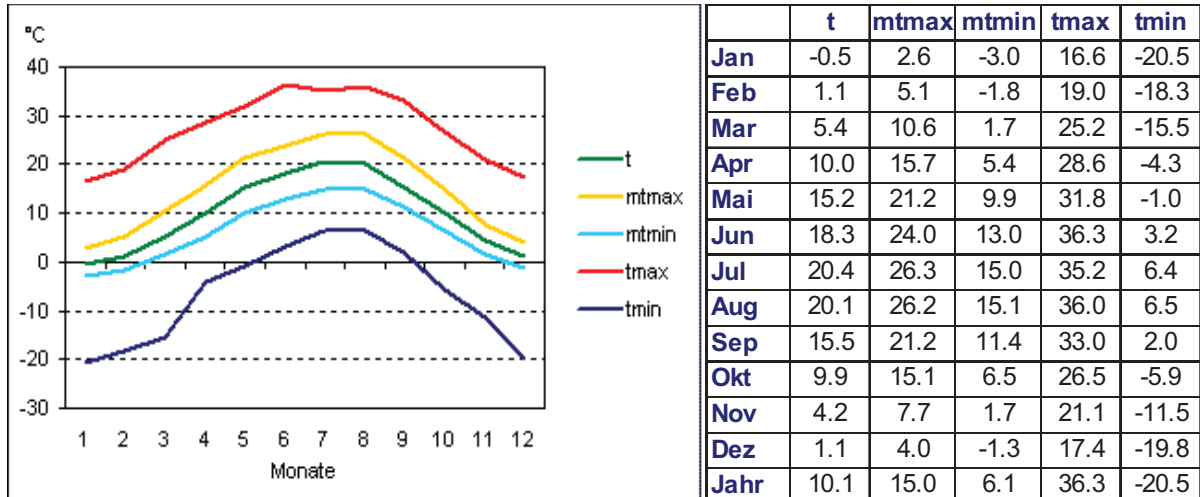


Abbildung 19: Jahrgang der Temperatur in Neusiedl am See. Quelle „Klimadaten von Österreich 1971-2000“ der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte, Wien).

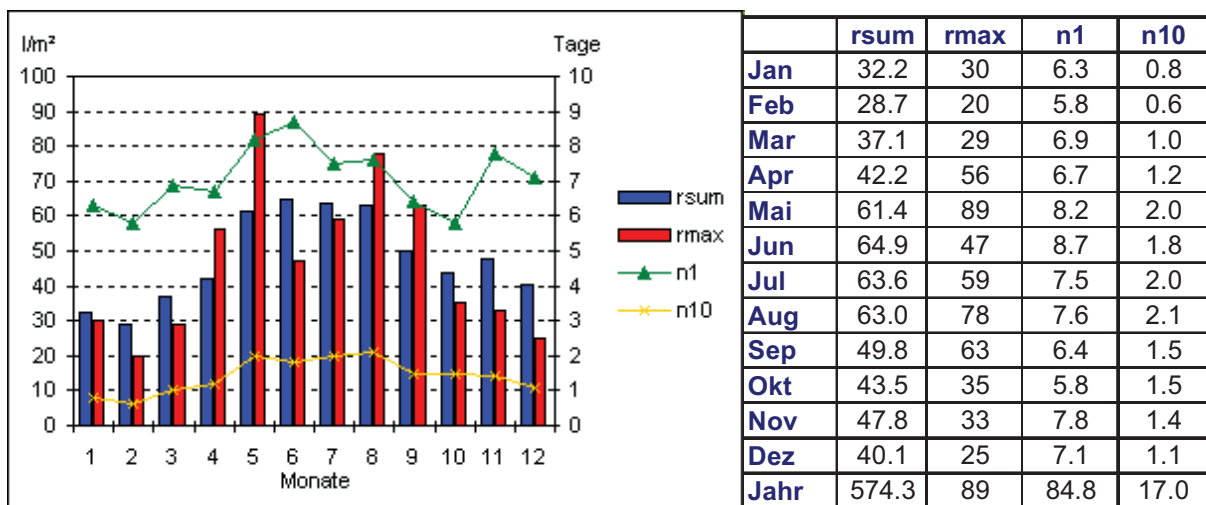


Abbildung 20: Jahrgang des Niederschlages in Neusiedl am See. Quelle „Klimadaten von Österreich 1971-2000“ der ZAMG.

Karte der klimatischen Wasserbilanz

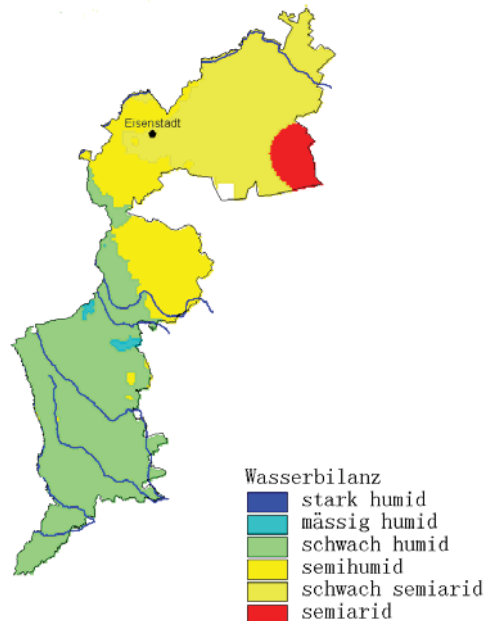


Abbildung 21: Wasserbilanz 1961 –1990 für das Burgenland nach Harlfinger et al. (1999)

Über längere Zeitspannen betrachtet, kann das Klima nicht als konstant betrachtet werden, sondern unterliegt Schwankungen und im Falle der Temperatur ist es auch Trend behaftet. Im Rahmen des EU-Forschungsprojektes ALPCLIM (Auer et. al, 2001) wurde ein alpenweiter gerasteter Datensatz mit 1 Grad Auflösung der Temperatur- und Niederschlagsanomalie seit Beginn der instrumentellen Messungen erarbeitet. Die Zeitreihe für die Neusiedler Seeregion (16-17 °Ost; 47-48 °Nord) für den Niederschlag reicht bis ins Jahr 1820 zurück, für die Temperatur bis ins Jahr 1775. Der Datensatz endet 1999.

Bei der Temperaturzeitreihe (Abbildung 22) erkennt man deutlich den Temperaturanstieg von rund 1.5 °C seit dem Ende des 19. Jahrhunderts. Besonders ausgeprägt ist diese Erwärmung seit den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts. Dieser Erwärmungstrend hat sich auch in den Jahren seit 1999 weiter fortgesetzt und mit dem Extremjahr 2003 seinen bisherigen Höhepunkt erreicht.

In der Niederschlagszeitreihe (Abbildung 23) kann kein derartiger Trend festgestellt werden, sondern eher ein steter Wechsel von einigen zu feuchten Jahren zu einigen zu trockenen Jahren. Auffällig ist die sehr trockene Phase von 1850 bis 1870 in der fast 2 Dekaden lang nur zu trockene Jahre aufgetreten sind. In diese Periode fällt auch das bisher trockenste Jahr mit mehr als 40 Prozent zu wenig Niederschlag. Die Kombination mehrjährig unterdurchschnittliche Niederschläge und ein Niederschlagsdefizit von rund 35 Prozent im Jahre 1865 brachten den Neusiedler See sogar zum Austrocknen. Eine erhöhte Verdunstung (durch hohe Temperaturen) dürfte bei diesem Austrocknungsprozess keine wesentliche Rolle gespielt haben, da diese Zeitperiode eher kalt war. In den letzten Dekaden seit 1970 ist ebenfalls ein Niederschlagsdefizit festzustellen, unterbrochen von einzelnen zu feuchten Jahren.

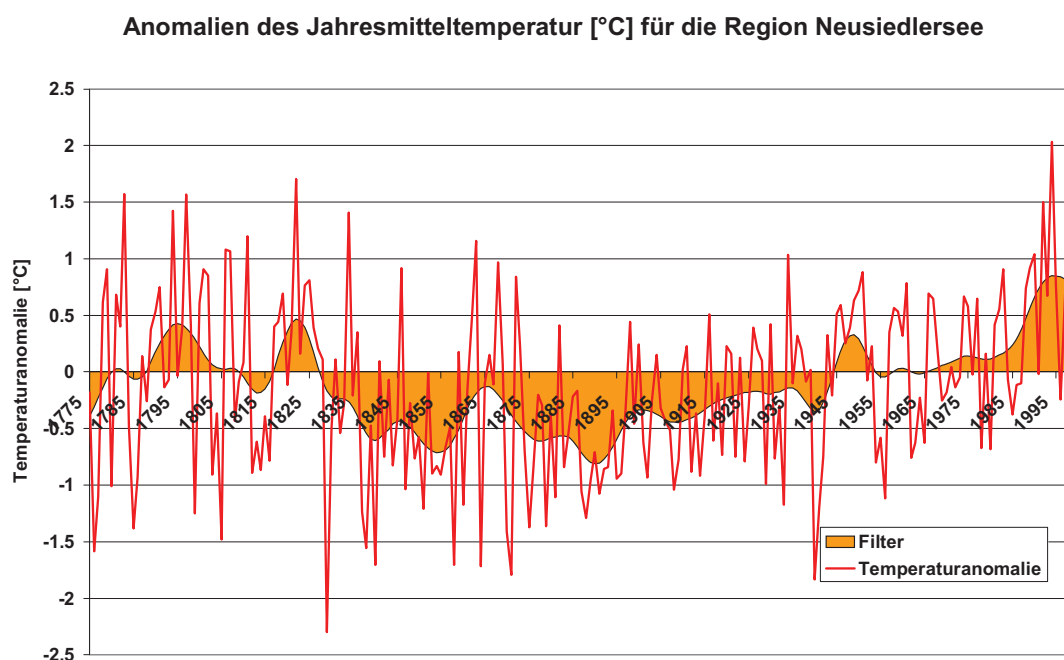


Abbildung 22: Temperaturanomalie der Jahresmitteltemperatur (Linie) und 20 Jahre Filter (Fläche) für die Region Neusiedler See. Datenquelle: ALPCLIM – ZAMG

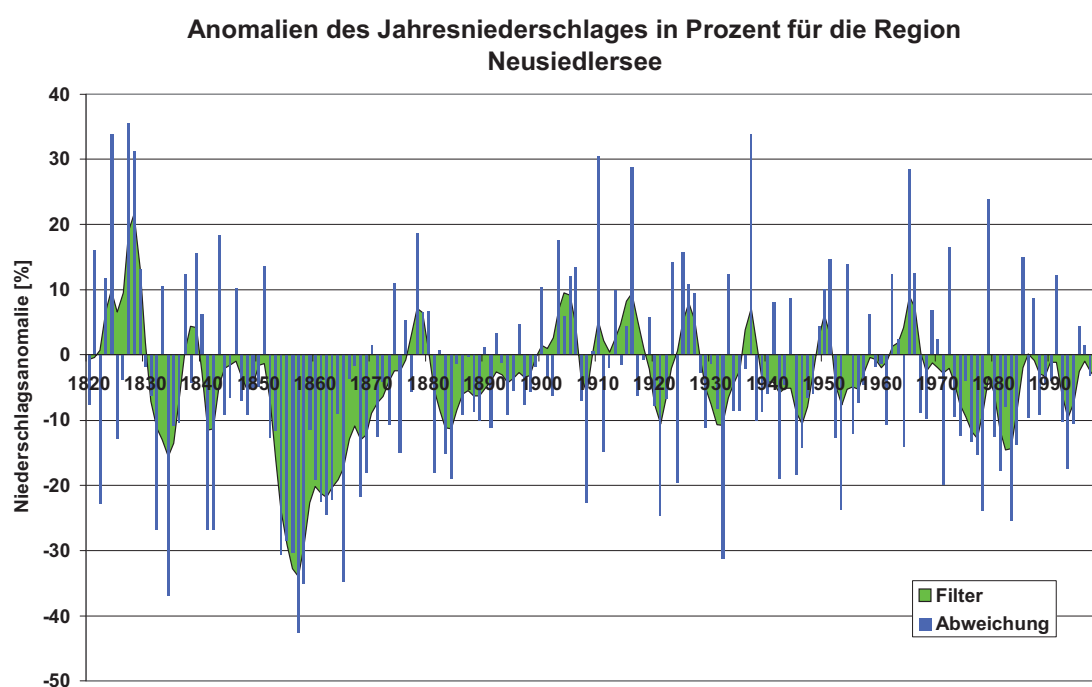


Abbildung 23: Anomalie des Jahresniederschlages in Prozent (Balken) und mit 7 Jahre gefiltert (Fläche) für die Region Neusiedler See. Datenquelle: ALPCLIM – ZAMG.

4 Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wasserbilanz des Sees

4.1 Übersicht

Berechnung der Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wasserbilanz des Sees mit Hilfe vorhandener und kalibrierter Methoden unter Nutzung der bereitgestellten Klimaszenarien (Input aus WP1) und Überprüfung an historischen Ereignissen (Input aus WP2).

Arbeitsumfang und Methodik: Die aus WP1 erstellten analogen Klimaszenarien (statistisches Downscaling) werden zur Berechnung der Wasserbilanz des Neusiedler Sees herangezogen. Dabei werden zuerst vorhandene und kalibrierte Methoden zur Simulation der Wassertemperatur (bzw. Energiebilanz) und der Verdunstung (Ergebnis aus WP 2) an den historischen, gemessenen Daten (Wasserspiegel, Wassertemperatur) überprüft (validiert). Die geeignetsten Methoden werden schließlich herangezogen, um die Wasserbilanzkomponenten des Sees unter den jeweiligen Klimaszenarien zu simulieren. Die bekannten hydrologischen Randbedingungen werden dabei vorgegeben (Grundwasser, Zu- und Abfluss). Diese Randbedingungen, welche die Wasserbilanz des Sees zu nur 10-20% mitbestimmen, werden vorerst klimaunabhängig angenommen, und werden in der Sensitivitätsanalyse (WP4) szenarisch variiert (nur der Zufluss durch Niederschlagsänderung).

Ergebnis: Darstellung der Wasserbilanzkomponenten unter den regionalisierten Klimaszenarien für die 2020er und 2050er Jahre unter Berücksichtigung der Unsicherheiten und der Bandbreiten beim Niederschlag.

4.2 Wasserbilanz

Abbildungen 24-27 zeigen die Zusammenhänge des Gebietsniederschlags des Einzugsgebietes des Neusiedlersees mit dem Gesamtzufluss. Eine verbesserte Korrelation ($R^2=0.71$) konnte bei Berücksichtigung des Vorjahresniederschlags erreicht werden. Die Berechnung des Gebietsniederschlags aus Punktmessungen dürfte der grösste Unsicherheitsfaktor sein. Aus neuen Studien ist bekannt das hier oft eine Unterschätzung des realen Niederschlags von bis zu 20% auftritt.

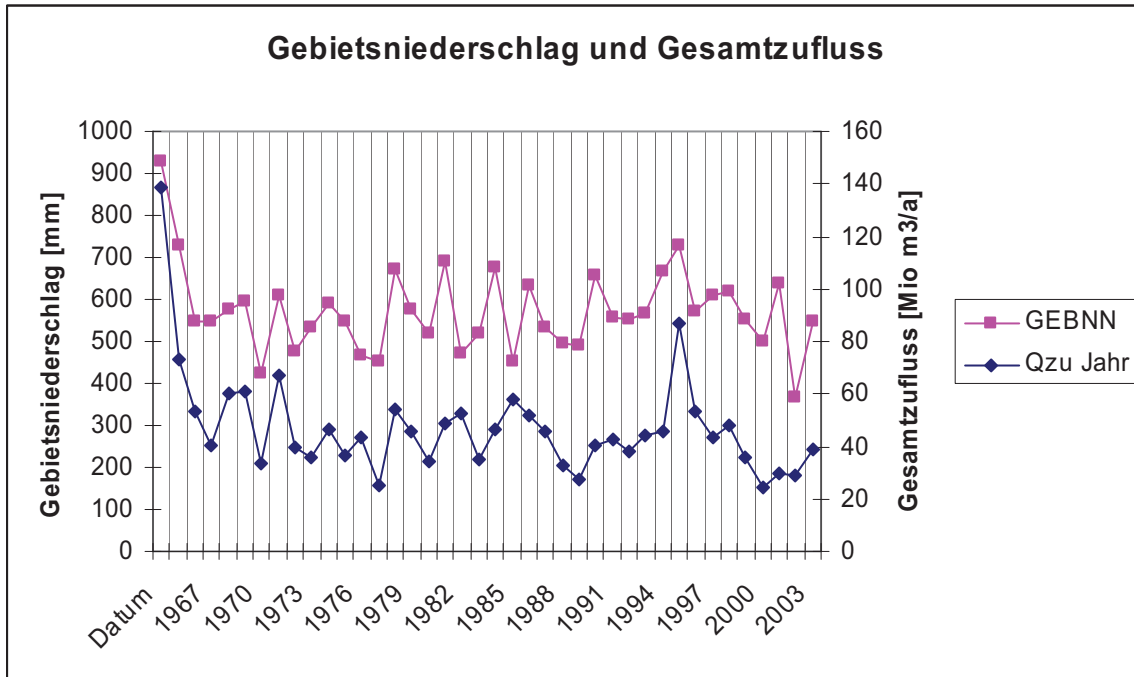


Abbildung 24: Gebietsniederschlag und Gesamtzufluss der Kalibrierungszeit 1965-2004 (GEBNN=Gebietsniederschlag; Qzu=Gesamtzufluss).

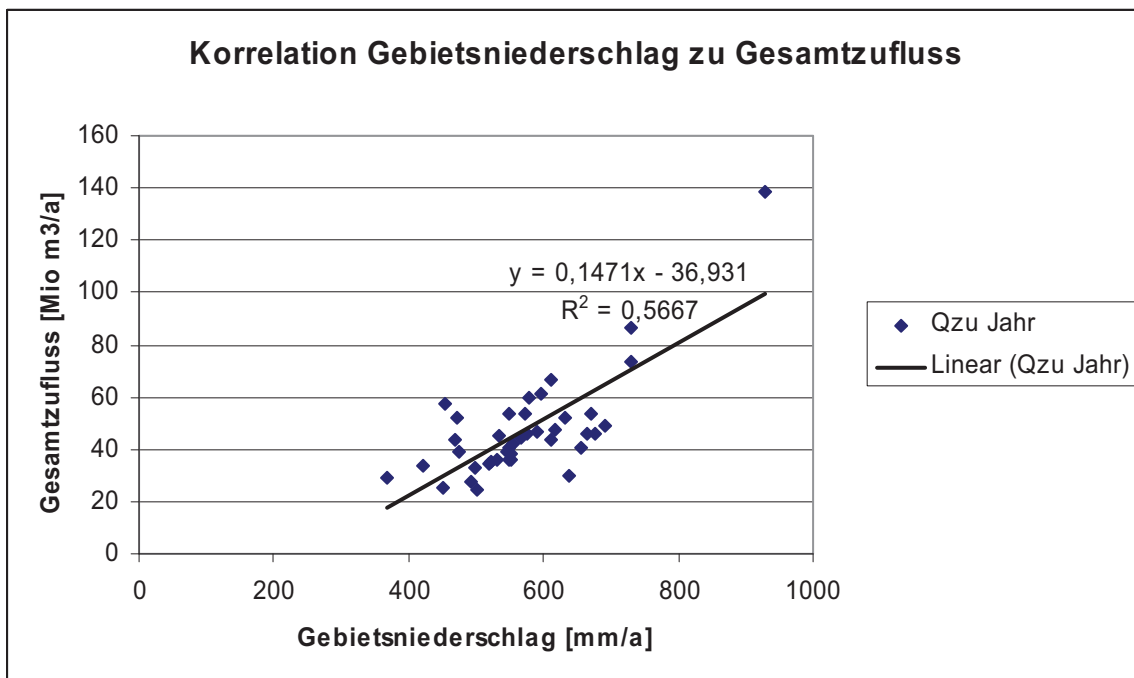


Abbildung 25: Korrelation von Gebietsniederschlag und Gesamtzufluss auf Jahresbasis.

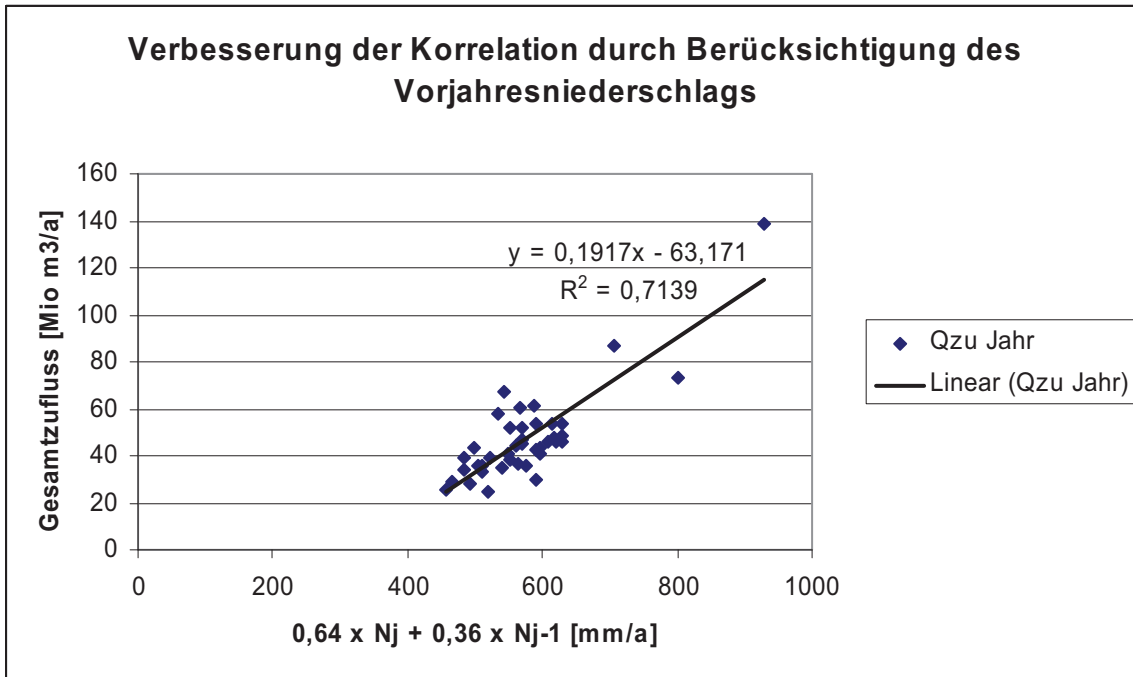


Abbildung 26: Verbesserung der Korrelation von Gebietsniederschlag und Gesamtzufluss durch zusätzliche Berücksichtigung des Vorjahresniederschlags.

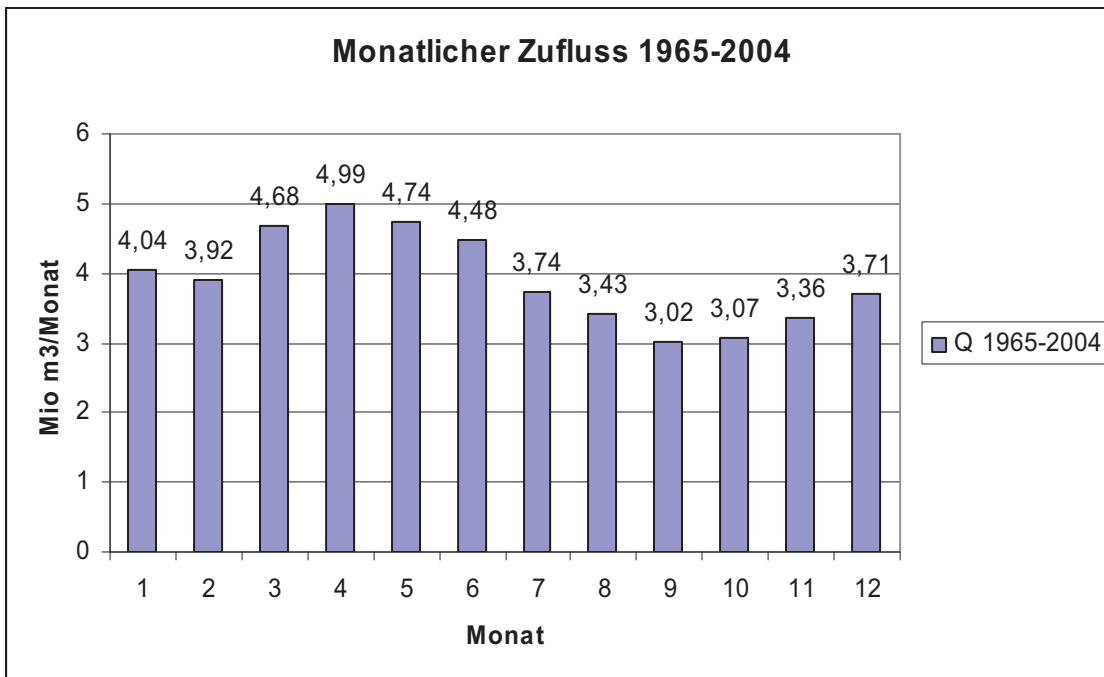


Abbildung 27: Gemittelte monatliche Zuflüsse in der Kalibrierungszeit 1965-2004.

4.3 Wassertemperatur

Die oberflächennahe Wassertemperatur bzw. Temperatur der Wasseroberfläche ist ein wesentlicher Eingangsparameter bei der Berechnung der Verdunstung. Für den Zeitraum **1976 – 2003** stehen tägliche Messdaten der Stationen

- Rust, Mörbisch, Breitenbrunn, Neusiedl und Podersdorf sowie für den Zeitraum **1999 – 2003**
- Illmitz zur Verfügung

4.3.1 Beobachtungszeitraum 1976 - 2003

Die Entwicklung der Seetemperatur im Beobachtungszeitraum 1976 – 2003 als Jahresmitteltemperatur ist in Abbildung 28 dargestellt. Sehr gut kann man die Temperaturunterschiede der einzelnen Messstellen erkennen, die bei den Monatsmittelwerten (Abb. 29-30) und den Tageswerten noch signifikanter auftreten. Auffallend ist der steigende Temperaturtrend über die letzten 30 Jahre.

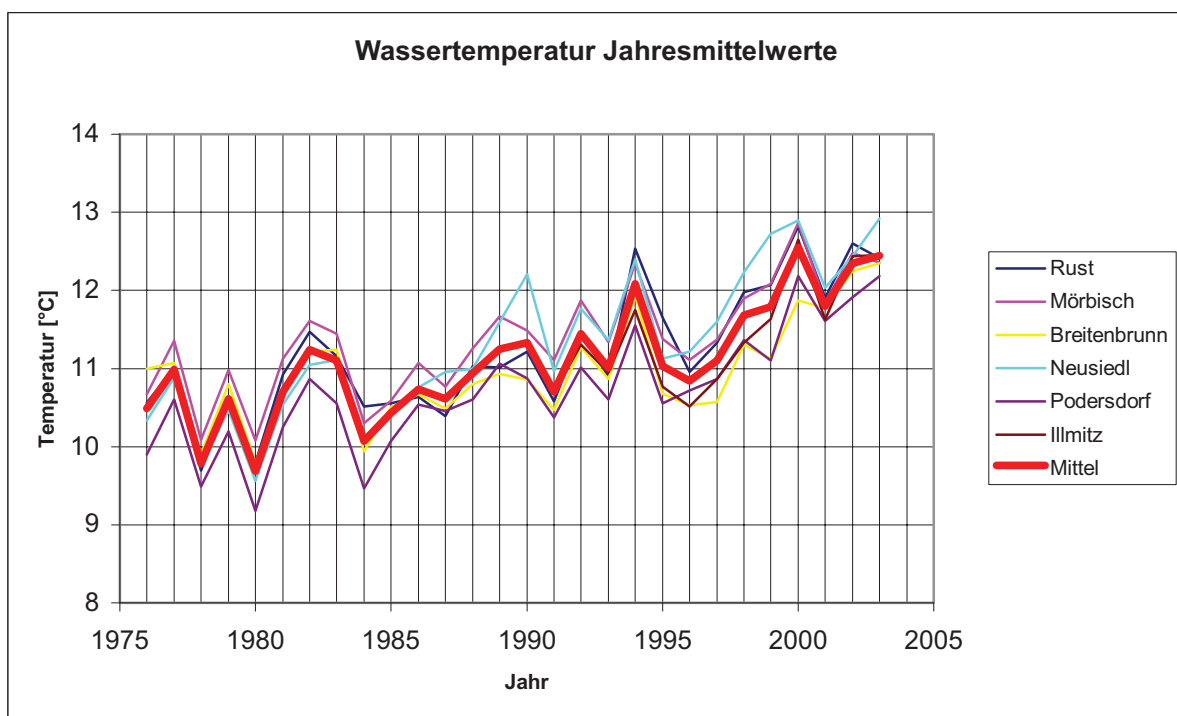


Abbildung 28: Entwicklung der Seetemperatur im Beobachtungszeitraum - Jahresmittelwerte

Der typische jährliche Verlauf der Wassertemperatur ist in Abbildung 30 anhand der Monatsmittel der Jahre 2000 – 2003 dargestellt.

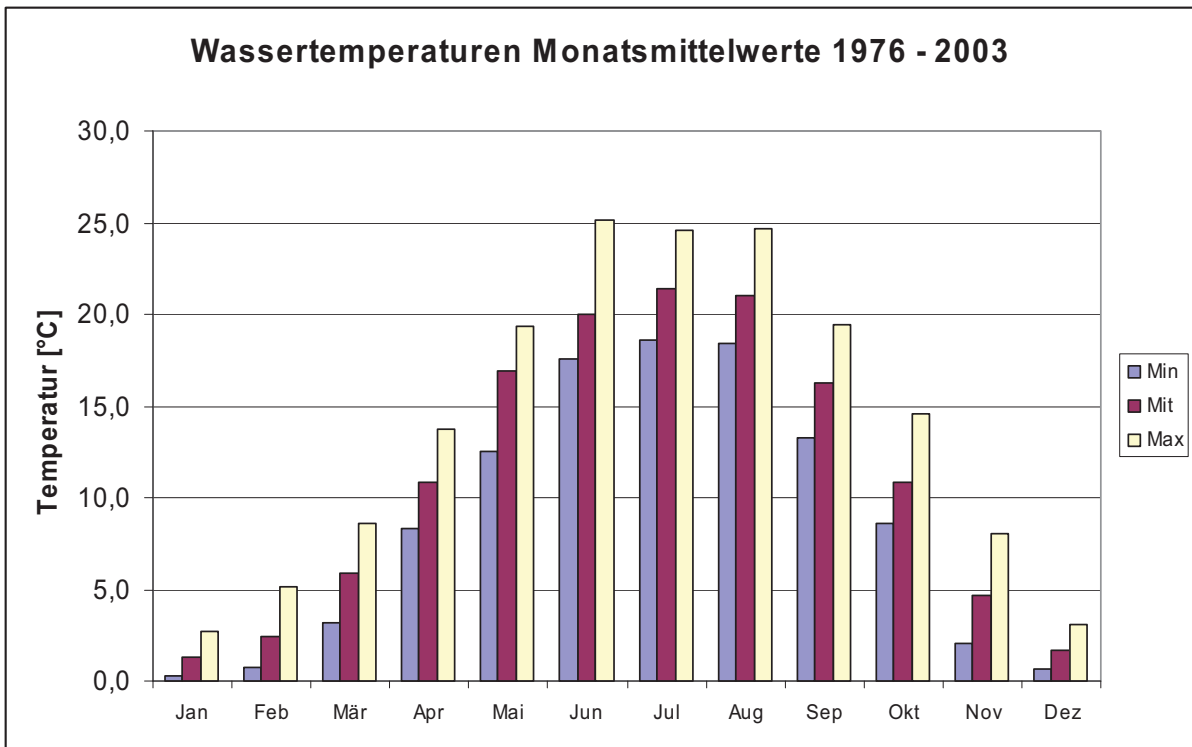


Abbildung 29: Monatsmittelwerte der Wassertemperatur 1976 - 2003

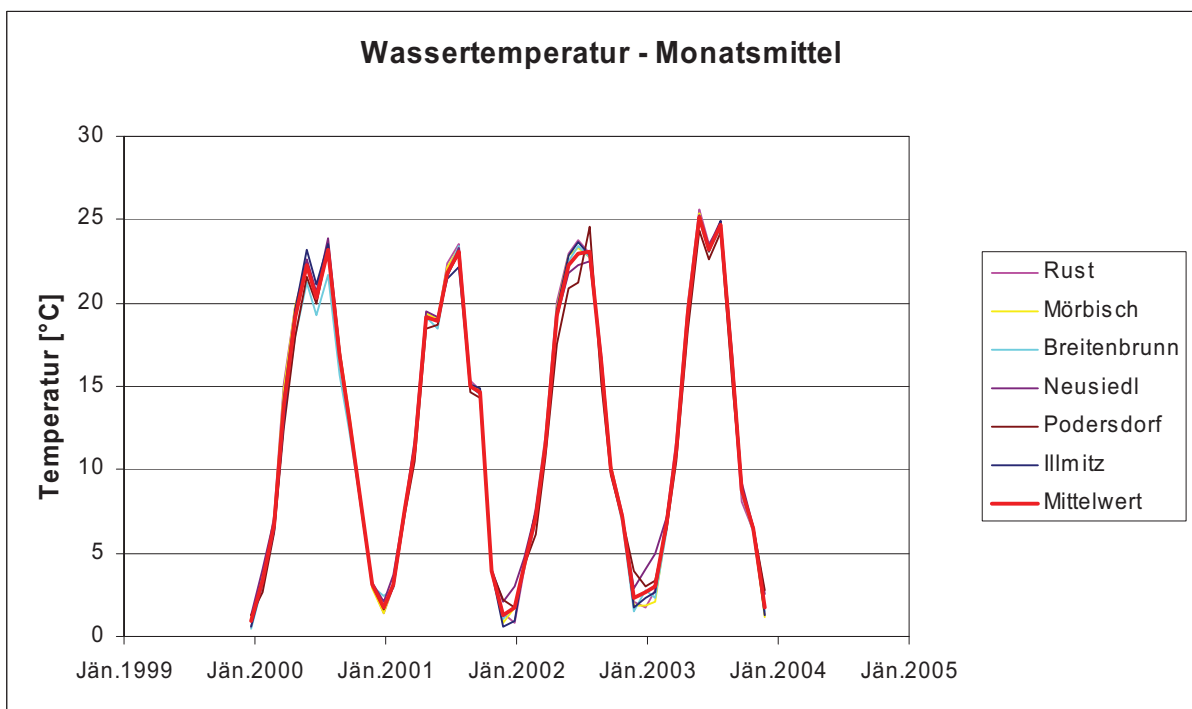


Abbildung 30: Verlauf der Wassertemperaturen im Zeitraum 2000 - 2003

Die folgenden 2 Abbildungen zeigen den Wassertemperaturverlauf des eher kühlen Jahres 1980 sowie des warmen Jahres 2003 anhand der Tagesmesswerte.

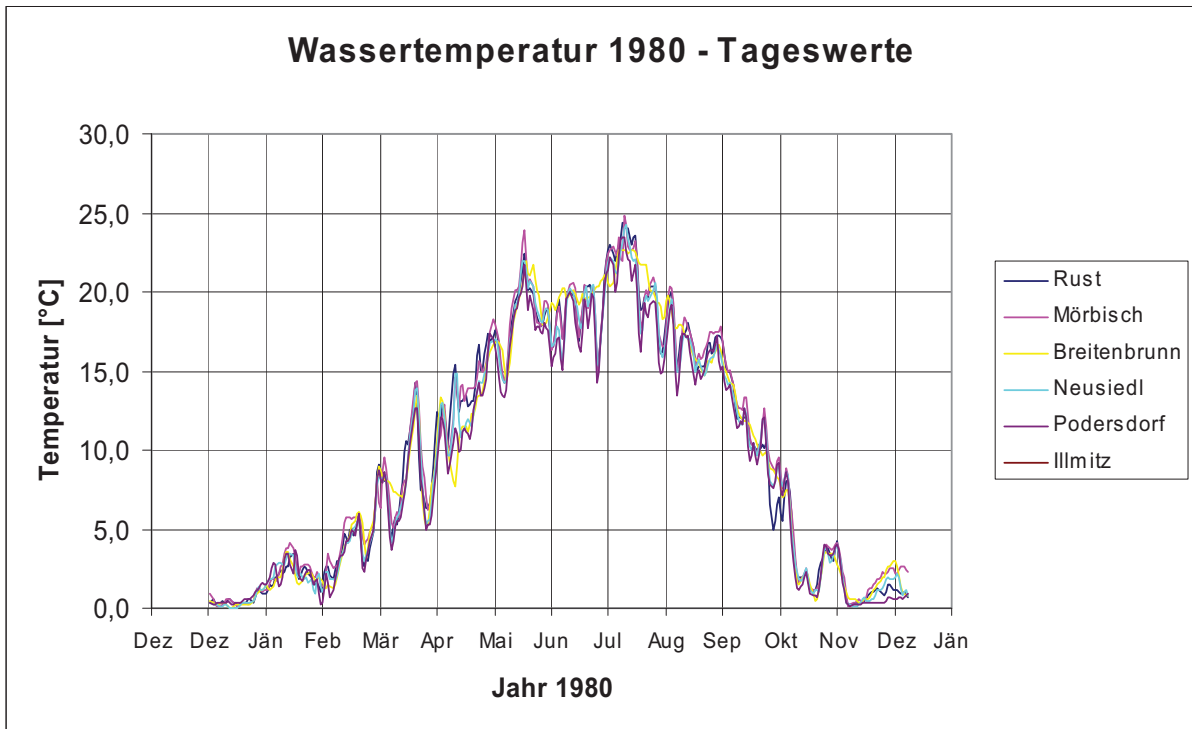


Abbildung 31: Verlauf der Wassertemperatur im Jahr 1980

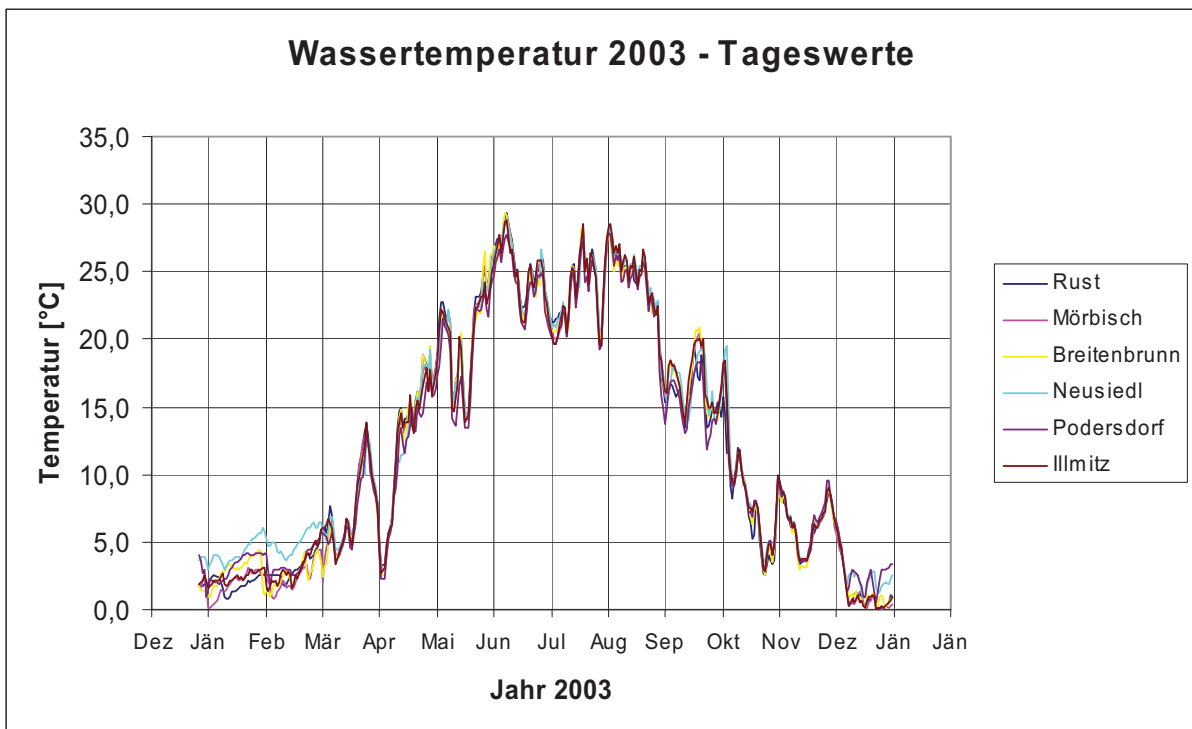


Abbildung 32: Verlauf der Wassertemperatur im Jahr 2003

4.3.2 Simulation der Wassertemperatur

Die Berechnung der Wasseroberflächentemperatur aus der Lufttemperatur erfolgt analog der Formel nach Richter (in : DVWK, 1996), wobei eine Kalibrierung der Faktoren für Tages- und Monatswerte anhand der gemessenen Seetemperaturen aus dem Zeitraum 1976 bis 2003 erfolgte.

Für **Tageswerte** der Wassertemperatur wurde die Lufttemperatur des aktuellen Messtages sowie der 3 vorhergegangenen Tage berücksichtigt. Die Faktoren p und q nach Richter für Seen bis 3 m mittlerer Tiefe wurden von 1,12 und 0,82 auf 1,1 und -1,2 abgeändert.

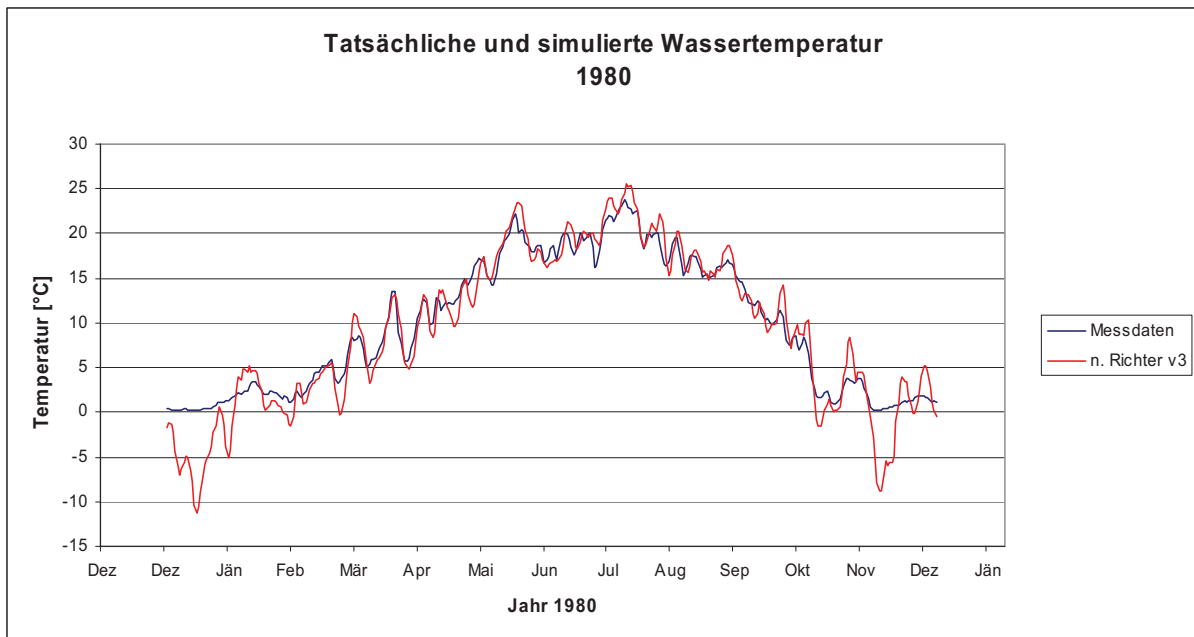


Abbildung 33: Tatsächliche und simulierte Wassertemperatur analog Richter für das Jahr 1980.

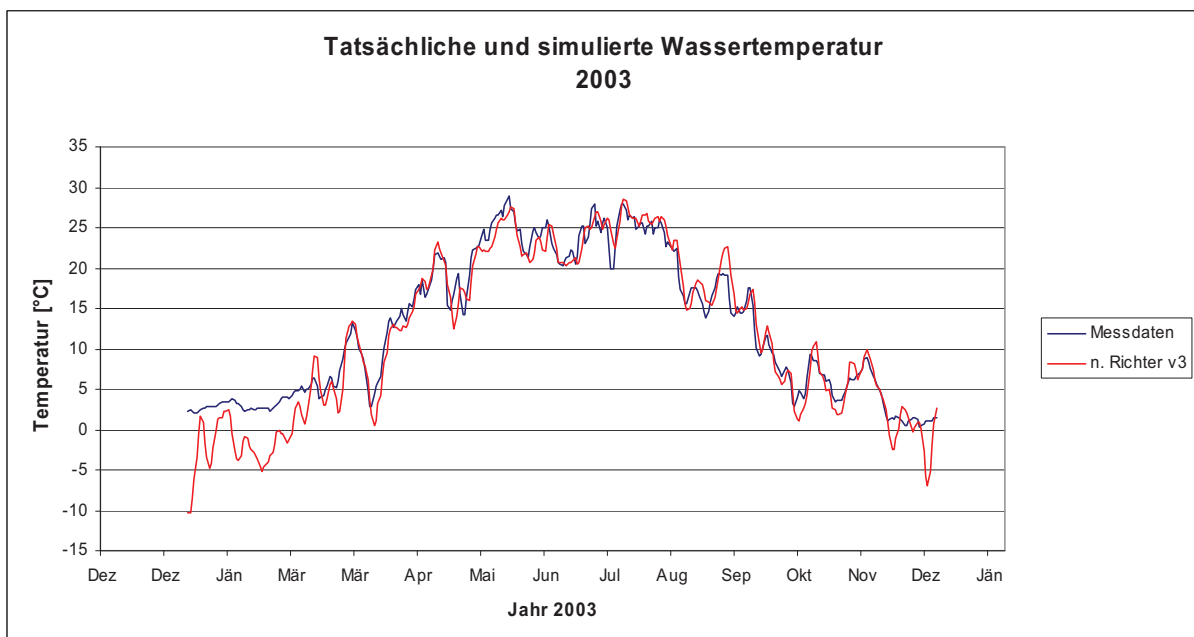


Abbildung 34: Tatsächliche und simulierte Wassertemperatur analog Richter für das Jahr 2003.

Für **Monatswerte** der Wassertemperatur wurde die Übereinstimmung mit Monatsmittelwerten der Lufttemperatur, Monatsmittelwerten der täglichen Wassertemperatur nach Richter, sowie die Richterformel für Monatswerte überprüft. Die Faktoren p und q nach Richter für Seen bis 3 m mittlerer Tiefe wurden von 1,17 und 0,35 auf 1,0 und 0,35 abgeändert.

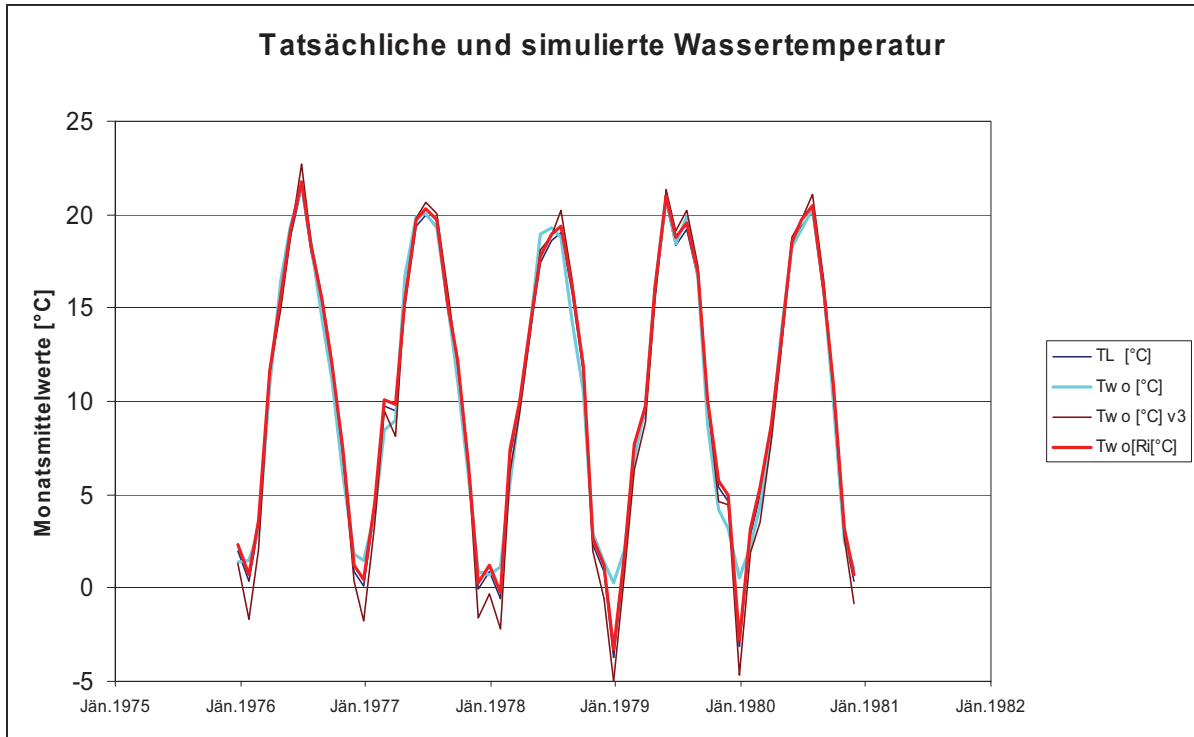


Abbildung 35: Tatsächliche und simulierte Monats- Wassertemperatur 1976–1980 analog Richter.

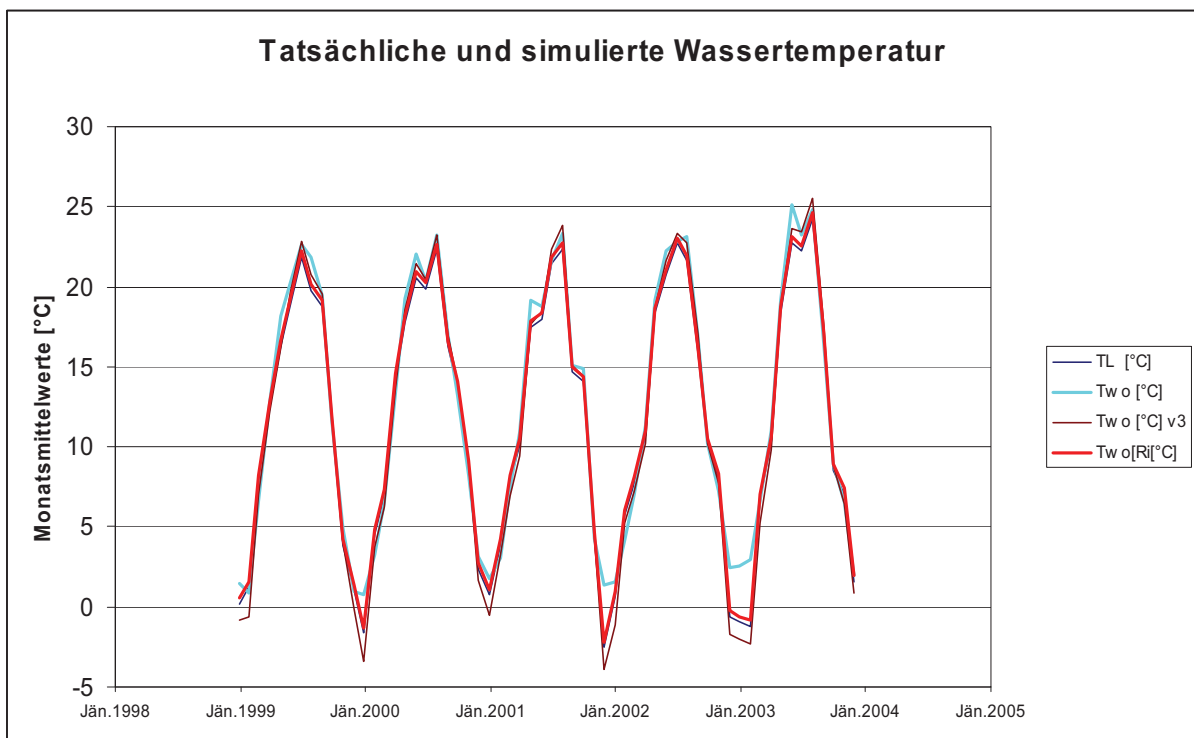


Abbildung 36: Tatsächliche und simulierte Monats- Wassertemperatur 1999–2003 analog Richter.

4.4 Validierung der Verdunstungsmodelle

Aus den möglichen Ansätzen zur Ermittlung der Verdunstung freier Wasserflächen haben sich 3 Modelle, welche die Eigenschaften des Neusiedler Sees adäquat interpretieren können, als besonders geeignet herausgestellt:

- Dalton Verfahren
- Penman
- Ungarisches Modell analog Dalton- Ansatz

Die Validierung der Modelle beziehungsweise Kalibrierung der Hauptparameter erfolgte anhand der Daten der Wasserbilanz des Zeitraumes 1965 – 2004. Folgende Ziele sollten möglichst gut erreicht werden:

- Übereinstimmung der simulierten Jahresverdunstung mit dem errechneten Wert der Jahresverdunstung als Restglied der Wasserbilanz
- Nachbildung der jährlichen Pegelschwankungen, insbesondere der minimalen und maximalen Wasserspiegellagen

Die Berechnung erfolgte sowohl auf Tages- als auch auf Monatsbasis. Bei der Berechnung auf Monatsbasis stellte sich heraus, dass die Nachbildung der maximalen und minimalen Jahrespegelstände nicht so gut erreicht wurde, wie bei der Berechnung auf Tagesbasis. Der Modellvergleich – Simulation der Pegelstände 1965 – 2004) brachte das in Abbildung 37 dargestellte Ergebnis. Die Daltonformel wies die beste Korrelation von $R^2=0.49$ auf. Wie schon oben erwähnt, ist der grösste Unsicherheitsfaktor die Bestimmung der Verdunstung aus dem Restglied der Wasserbilanz durch die Unsicherheit in der Bestimmung des Gebietsniederschlags aus Punktmessungen. Die erreichte Korrelation ist unter diesem Gesichtspunkt zu sehen.

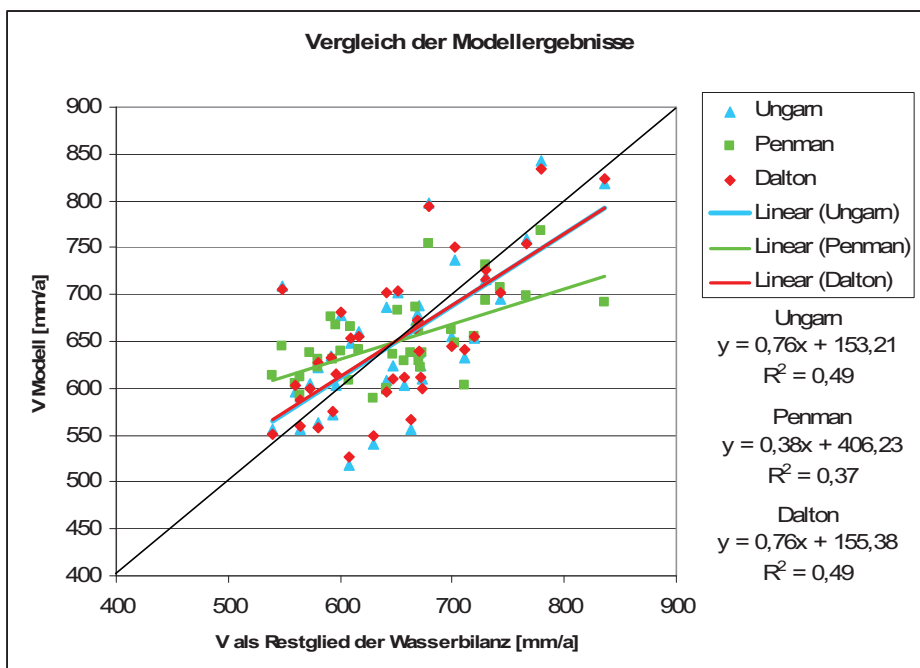


Abbildung 37: Vergleich der Verdunstungsmodelle – Simulation 1965-2004 auf Tagesbasis.

Die

- bessere Korrelation des Daltonansatzes (Dalton sowie Ungarischer Ansatz - Dalton plus Schilf) gegenüber dem Penmanansatz beim Vergleich der Jahresverdunstung sowie letzten Endes die
 - bessere Nachbildung der maximalen und minimalen Pegelstände beim ungarischen Daltonansatz
- führte zur Entscheidung, die Szenarien mit dem ungarischen modifizierten Daltonansatz zu simulieren.

4.4.1 Ungarisches Modell analog Dalton- Ansatz (Kalmar, 1982)

Das ungarische Modell, das den Dalton Ansatz mit der Windfunktion verwendet, berücksichtigt zusätzlich die unterschiedlichen Verhältnisse der Evaporation von der freien Wasseroberfläche gegenüber der Evapotranspiration der Schilfflächen. Dem Jahreszyklus des Schilfwachstums und den damit geänderten Evapotranspirations-Verhältnissen wird in diesem Verfahren Rechnung getragen. Die folgenden 4 Abbildungen 38-41 zeigen beispielhaft gemessene und simulierte Wasserstände der Jahre 1967, 1985, 1995 und 2003.

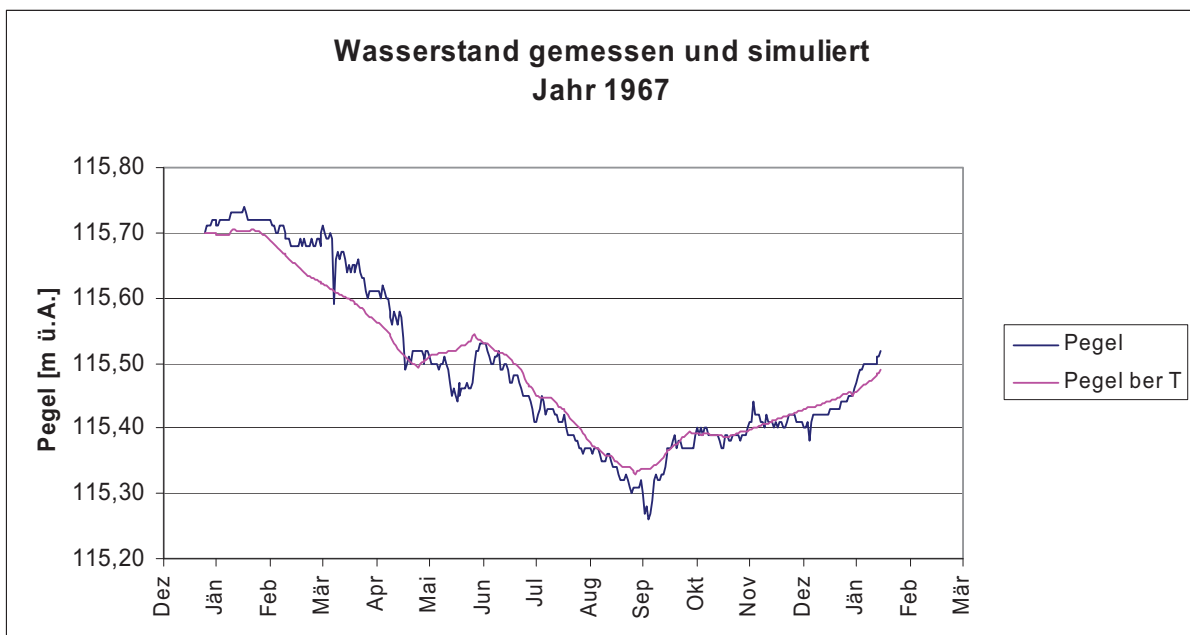


Abbildung 38: Gemessener und simulierter Wasserstand 1967.

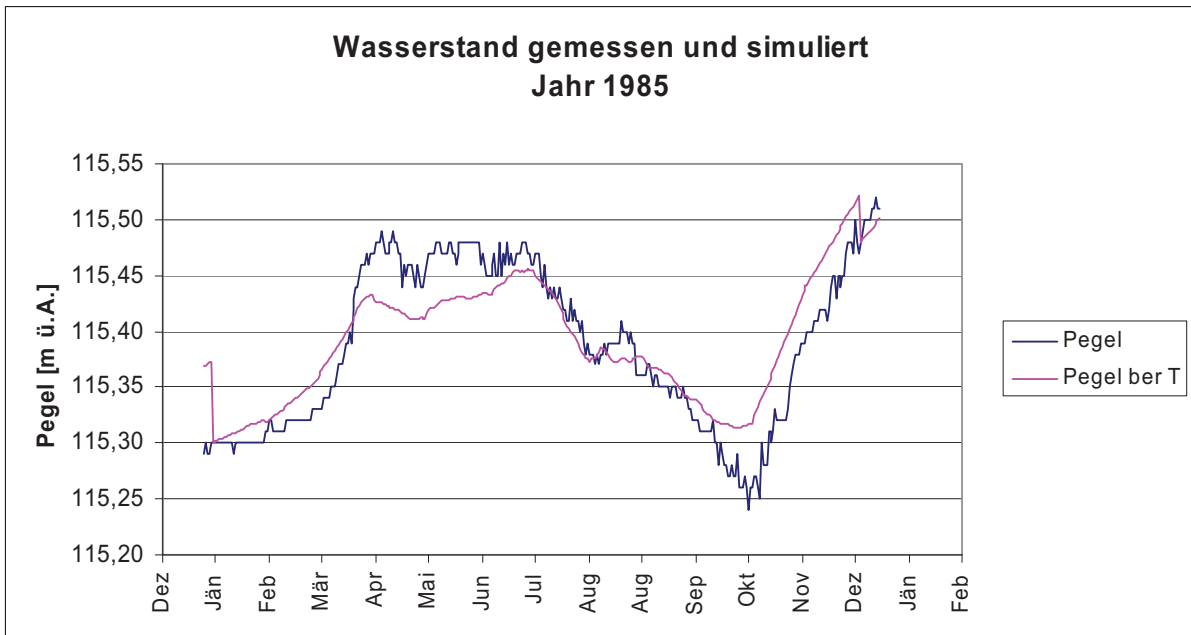


Abbildung 39: Gemessener und simulierter Wasserstand 1985.

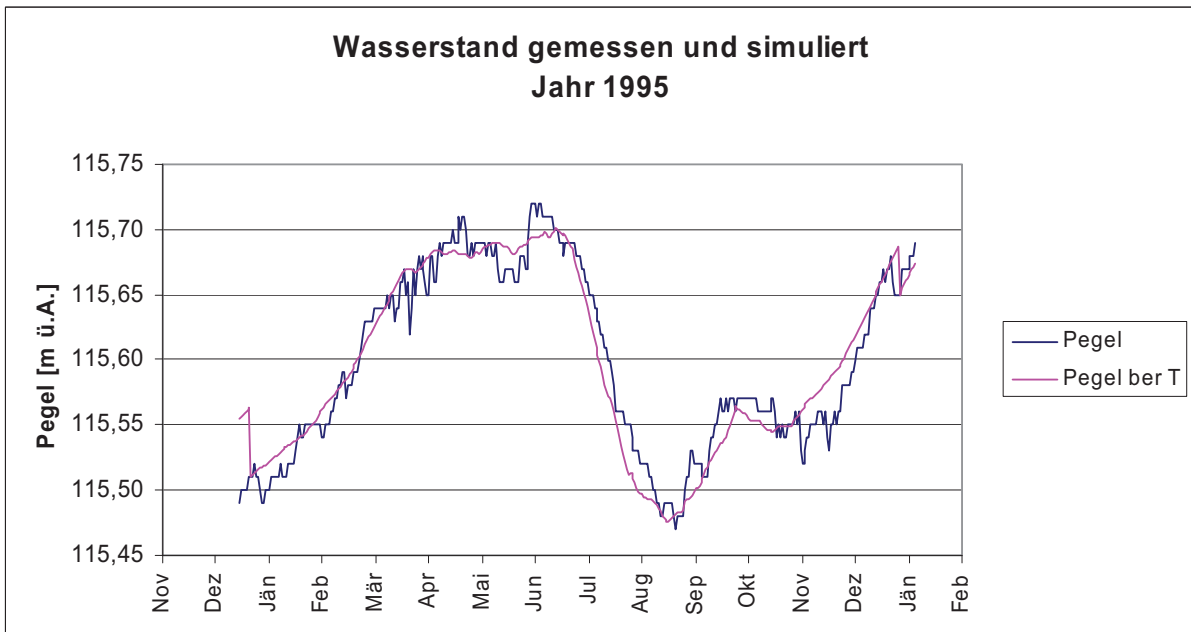


Abbildung 40: Gemessener und simulierter Wasserstand 1995.

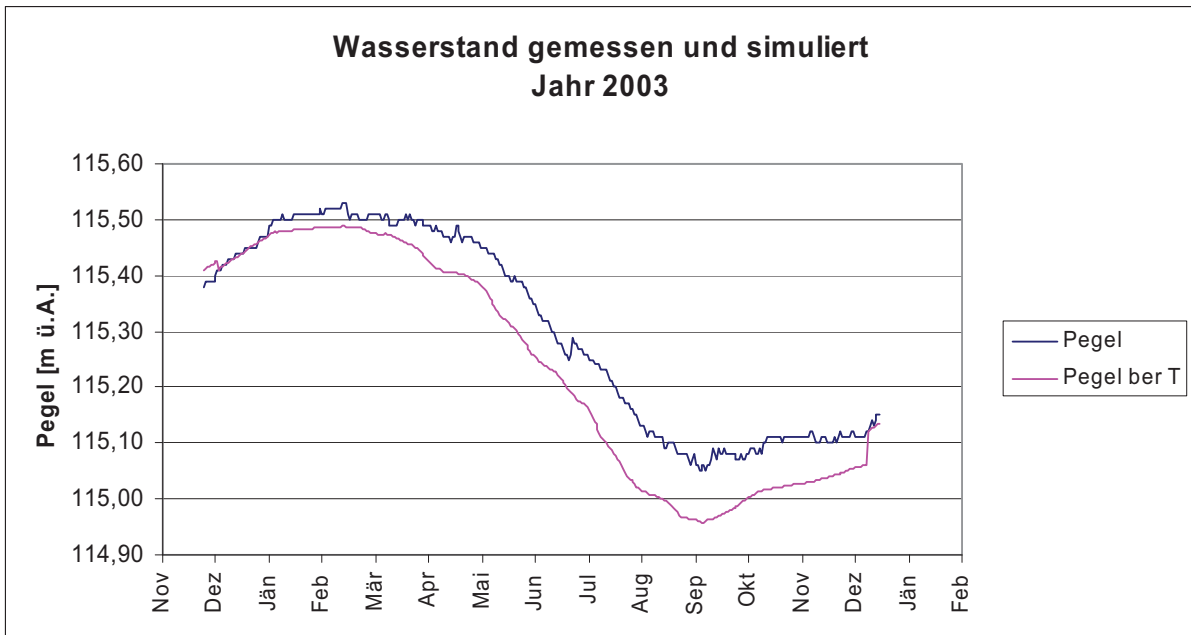


Abbildung 41: Gemessener und simulierter Wasserstand 2003.

Aus Abbildung 42 ist die gute Nachbildung der Jahres-, Höchst- und Tiefstwasserstände durch das Modell ersichtlich.

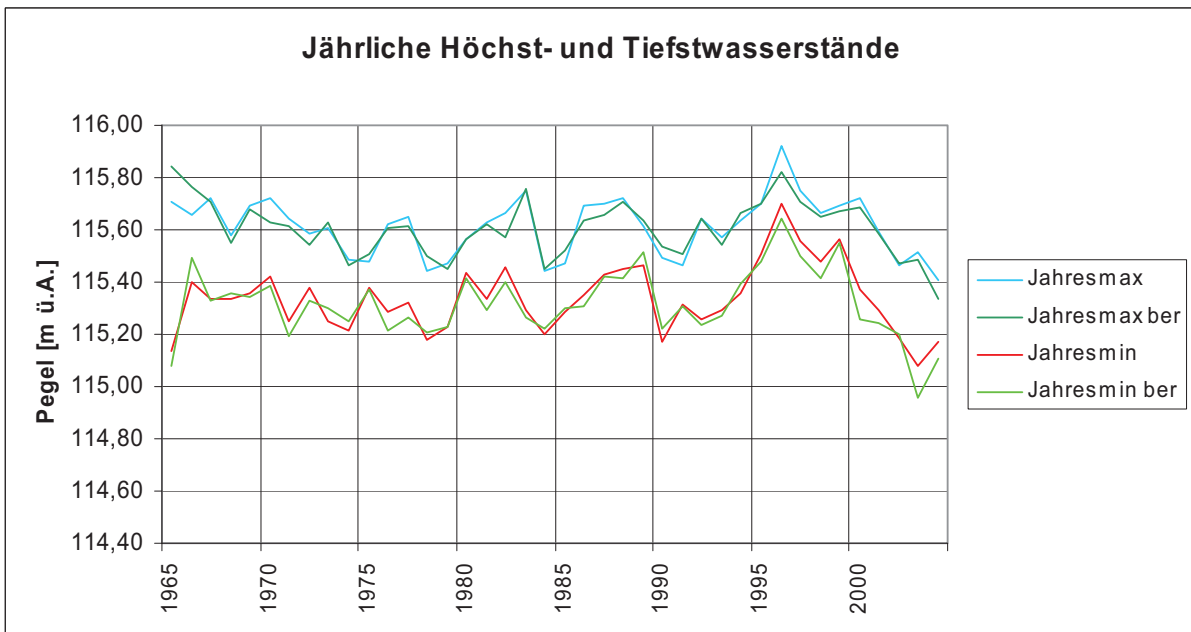


Abbildung 42: Gemessene und simulierte Jahres-, Höchst- und Tiefstwasserstände.

5 Sensitivitätsanalyse

5.1 Übersicht

Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung der notwendigen Randbedingungen, die zu einer Austrocknung des Sees führen können (Einfluss verschiedener Witterungsfaktoren und hydrologischer Randbedingungen einzeln und in Kombination).

Arbeitsumfang und Methodik: Aufgrund der Ergebnisse und der Methodik aus WP3 kann eine umfassende Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden, welche den Einfluss der wichtigsten Witterungsfaktoren und hydrologischer Randbedingungen auf die Wasserbilanz des Sees untersucht. Es werden verschiedene denkbare Szenarien (Faktorkombinationen) durchgespielt, untersucht und bewertet. Dazu zählt auch die Modifikation der Klimaszenarien hinsichtlich veränderter Klimavariabilität und Extremereignissen (Einsatz eines Wettergenerators). Die Ergebnisse aus dieser Untersuchung erlauben eine weitergehende und breiter gestreute Analyse des Einflusses eines sich verändernden Klimas auf die Wasserbilanz.

Ergebnis: Schema des Einflusses verschiedener Klimaparameter auf die Wasserbilanz des Sees unter gegenwärtigen Bedingungen und unter künftigen Klimaszenarien mit und ohne modifizierte Klimavariabilität. Darstellung in Graphiken bzw. Tabellen.

5.2 Klimaszenarien

Mit Hilfe eines Wettergenerators wurden aus regionalisierten klimatischen Basisdaten Jahresreihen berechnet. Um Zufälligkeiten des Wettergenerators nach Möglichkeit auszuschalten, wurden für jedes Klimaszenario 500 Jahresreihen berechnet, deren Ergebnisse im Verdunstungs- und Wasserbilanzmodell ausgewertet wurden. Beispielhaft wird in den folgenden Abbildungen der Verlauf der simulierten Wasserspiegelschwankungen für jeweils ein Jahrhundert dargestellt.

5.2.1 Klimanormalperiode 1961- 1990

Simulation der Pegelstände mit Eingangsparmeter der Klimanormalperiode 1961 – 1990 (Abb. 43-44).

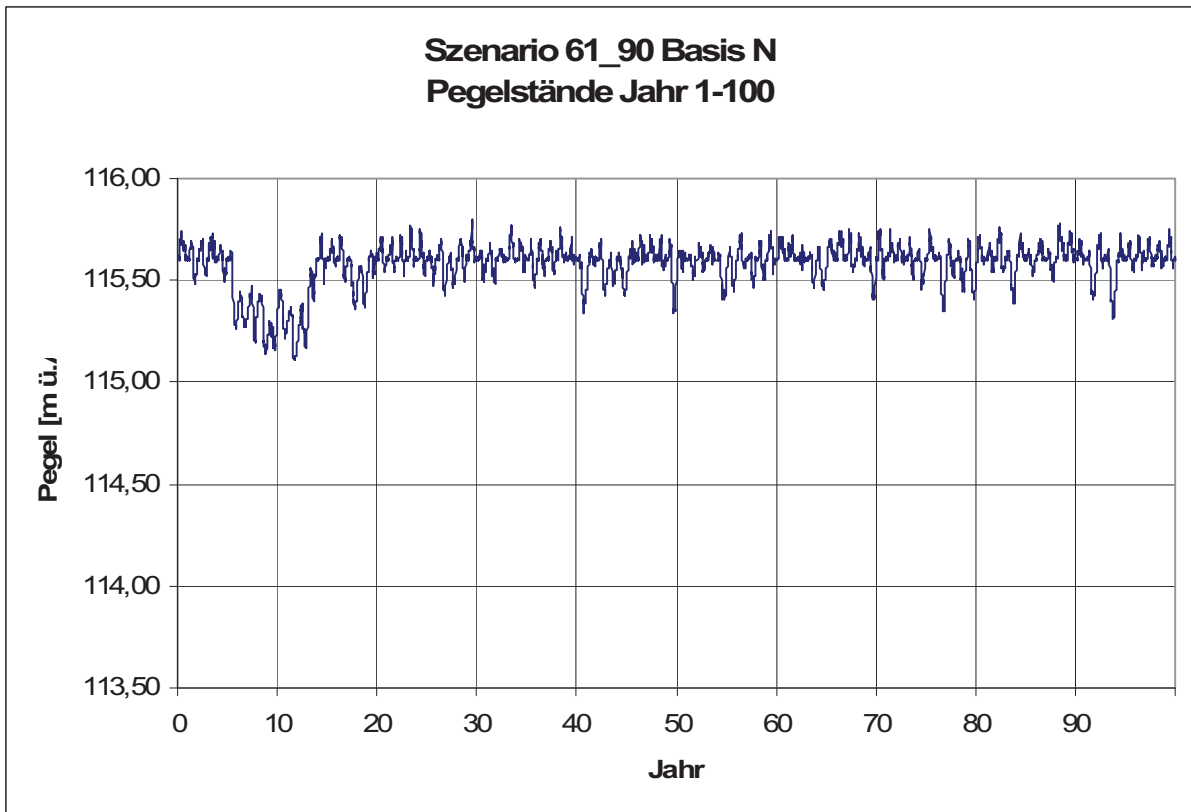


Abbildung 43: Szenario 1961-1990, Simulationsjahre 1-100

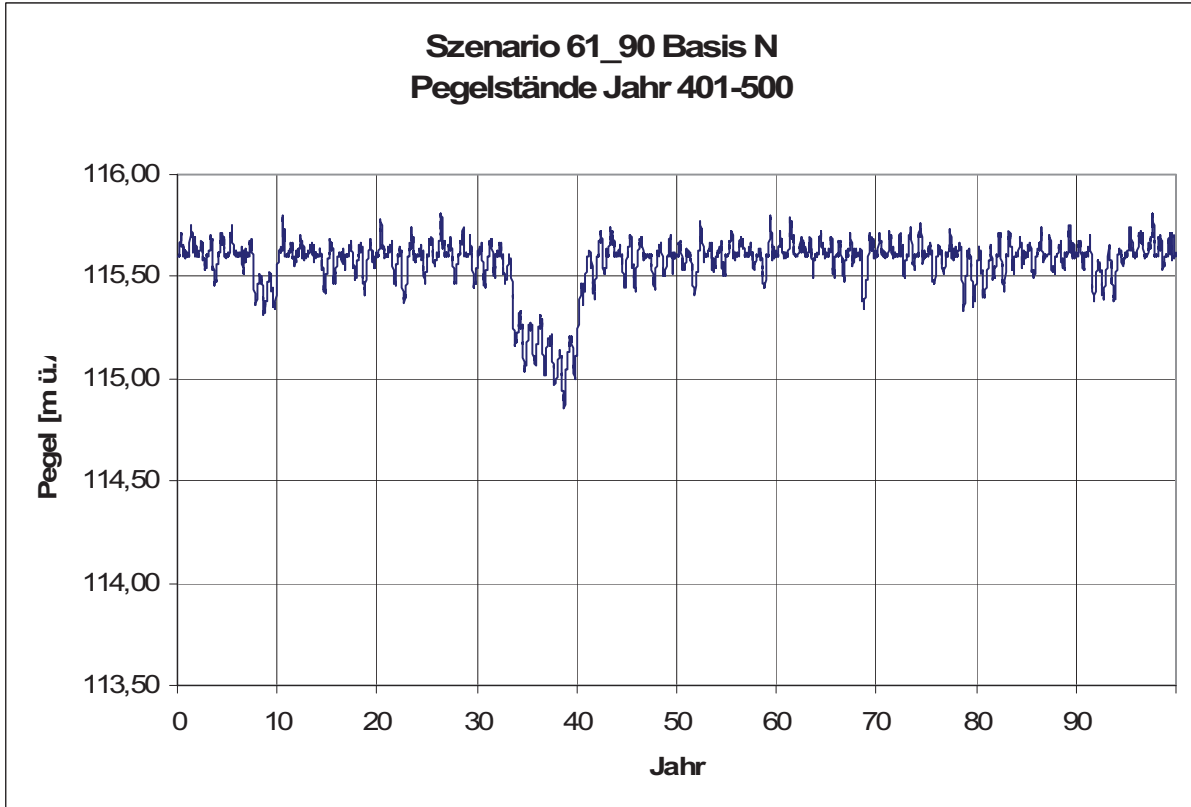


Abbildung 44: Szenario 1961-1990, Simulationsjahre 401-500

5.2.2 Periode 1991 – 2004

Simulation der Pegelstände mit Eingangsparameter der Klimaperiode 1991-2004 (Abb. 45-46).

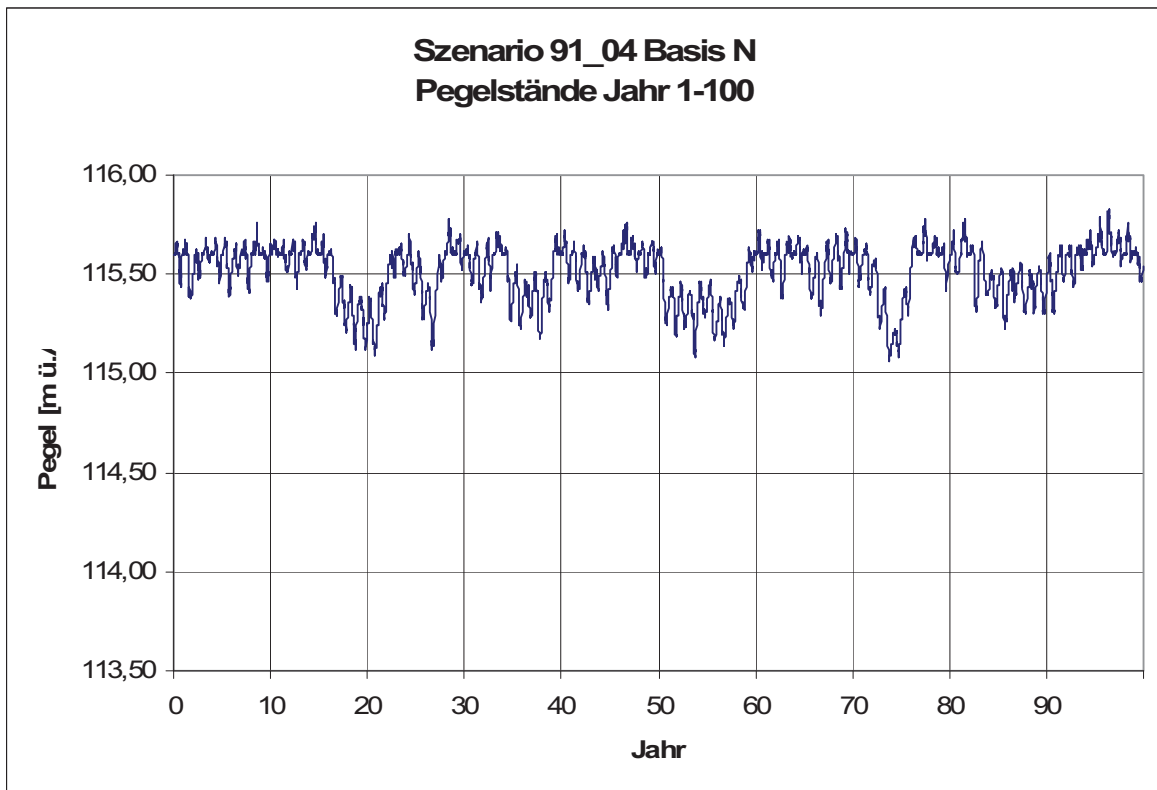


Abbildung 45: Szenario 1991-2004, Simulationsjahre 1-100

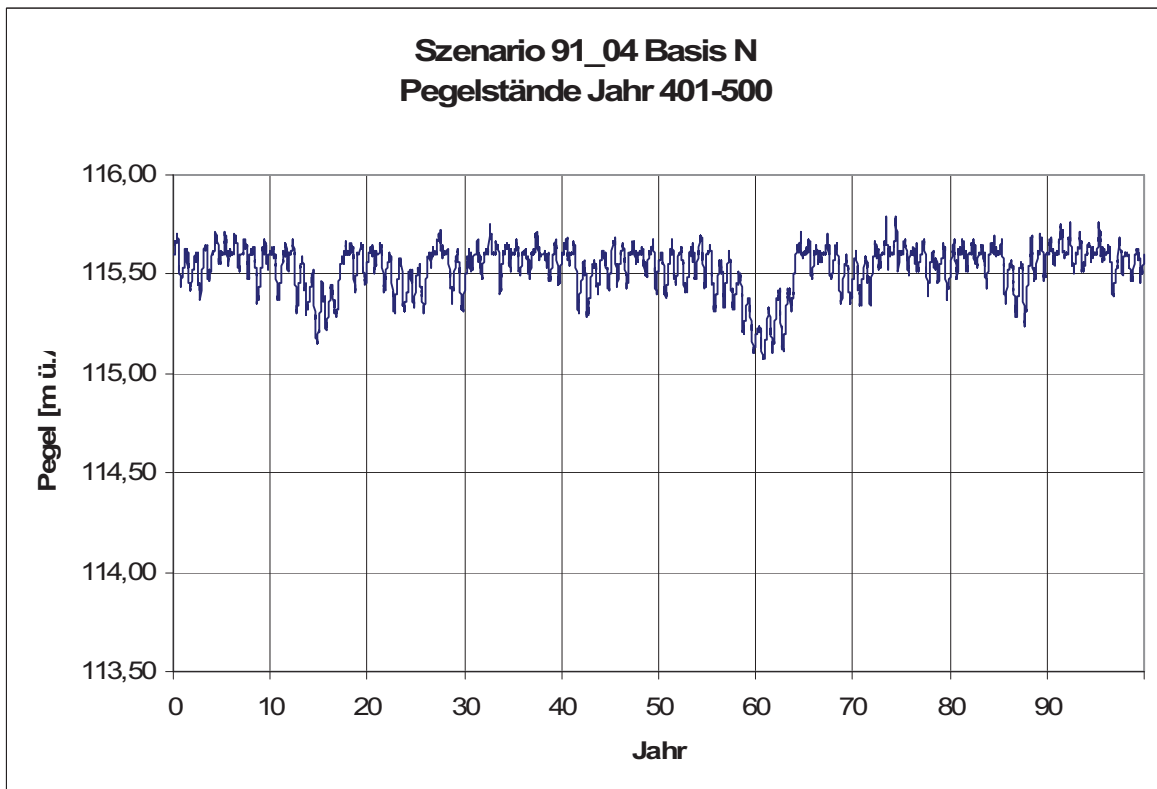


Abbildung 46: Szenario 1991-2004, Simulationsjahre 401-500

5.2.3 Szenarien 2020er Jahre

Die simulierten Pegelstände der Klimaszenarien 2020 Basis sowie plus/minus 5, 10, 20 % Änderung des Jahresniederschlages sind in den folgenden Abbildungen 47-53 dargestellt.

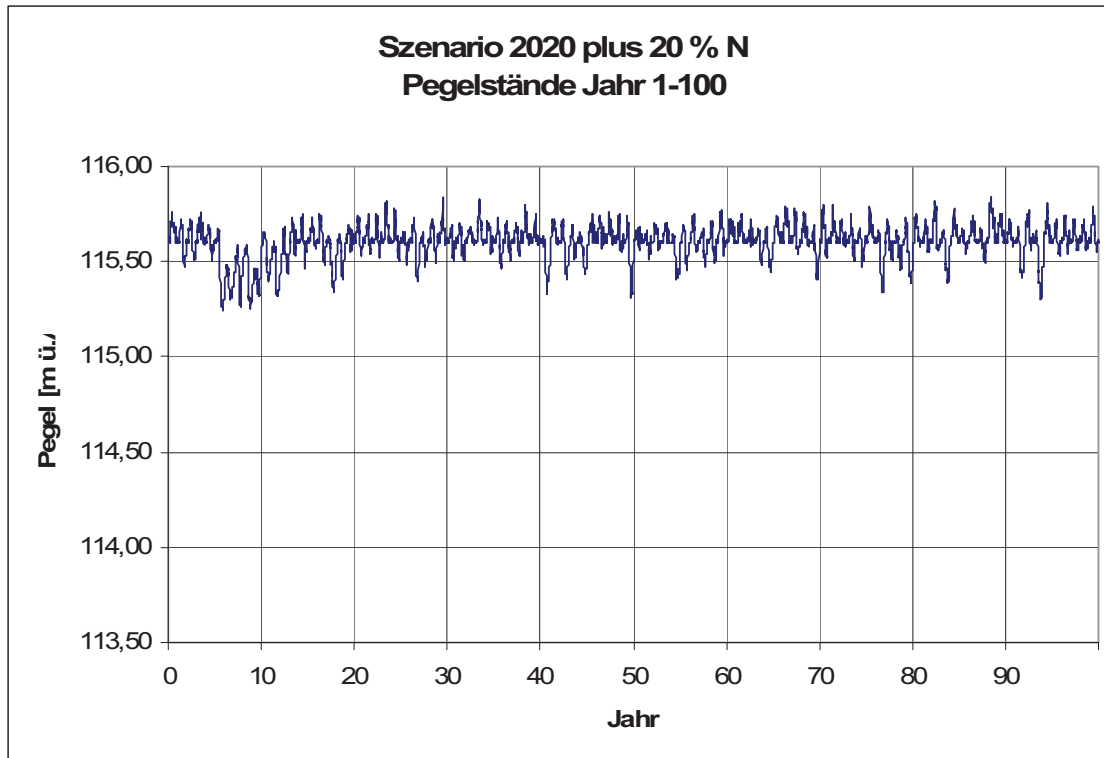


Abbildung 47: Szenario 2020 Basisniederschlag + 20%, Simulationsjahre 1-100

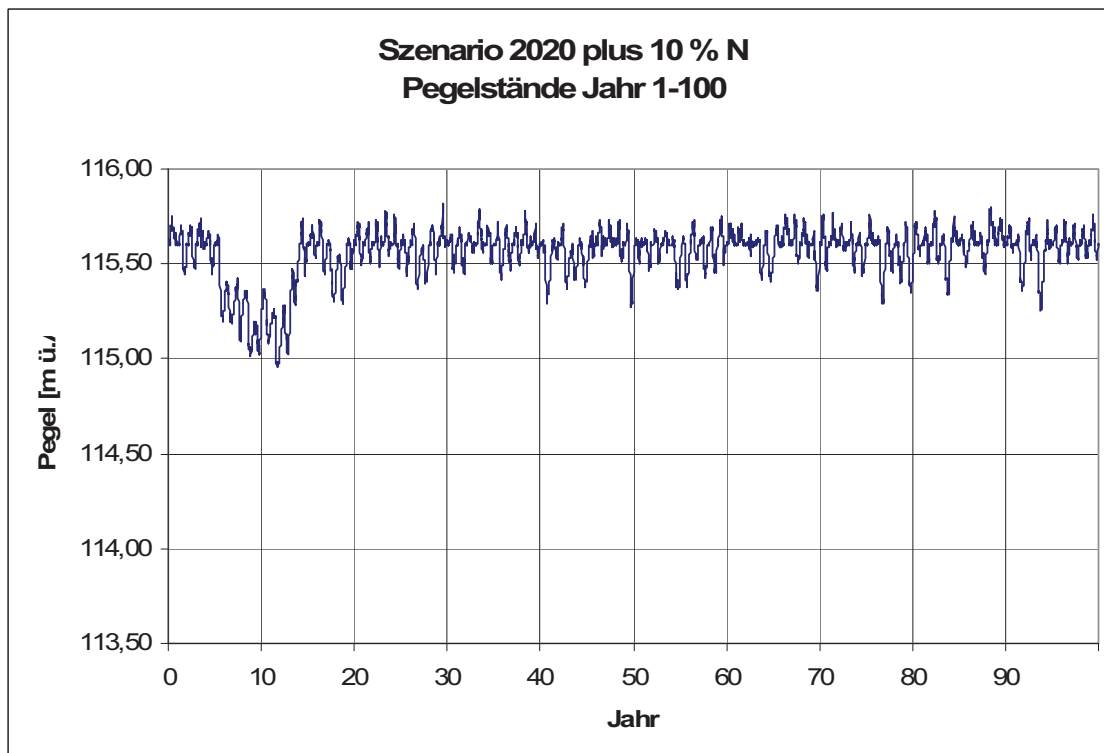


Abbildung 48: Szenario 2020 Basisniederschlag + 10%, Simulationsjahre 1-100

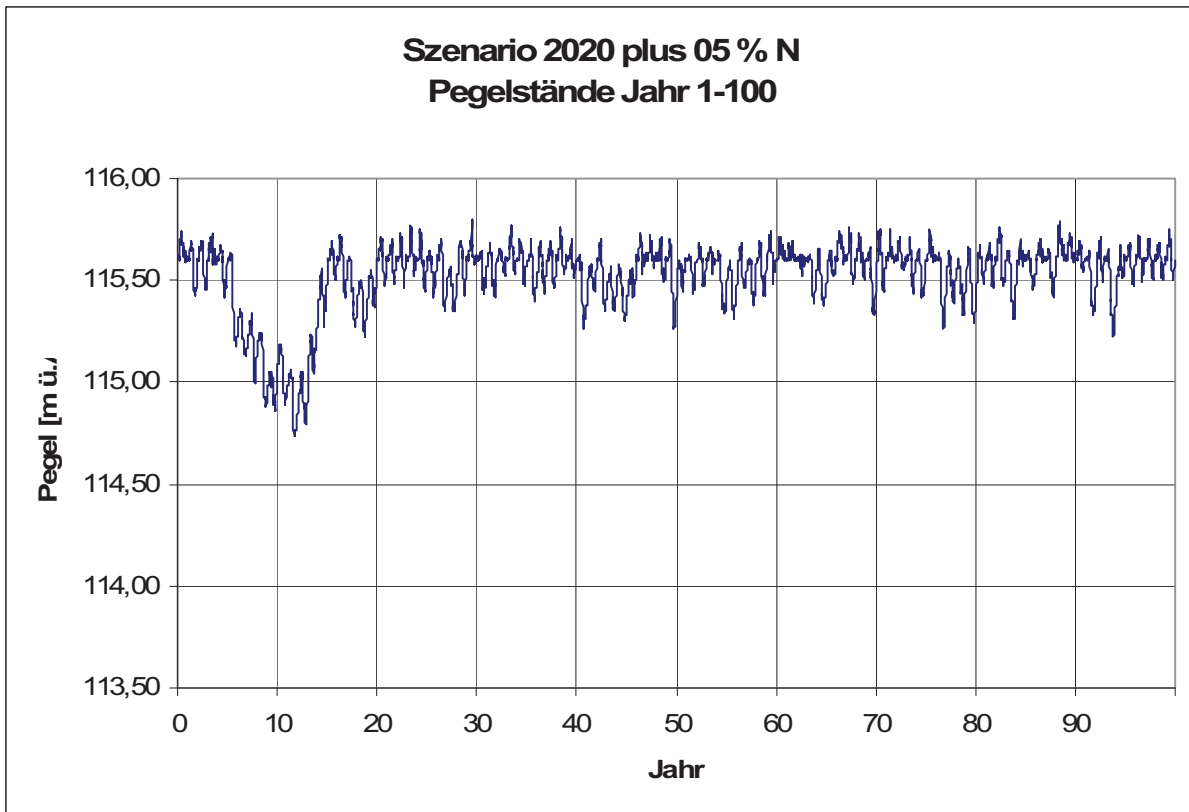


Abbildung 49: Szenario 2020 Basisniederschlag + 5%, Simulationsjahre 1-100

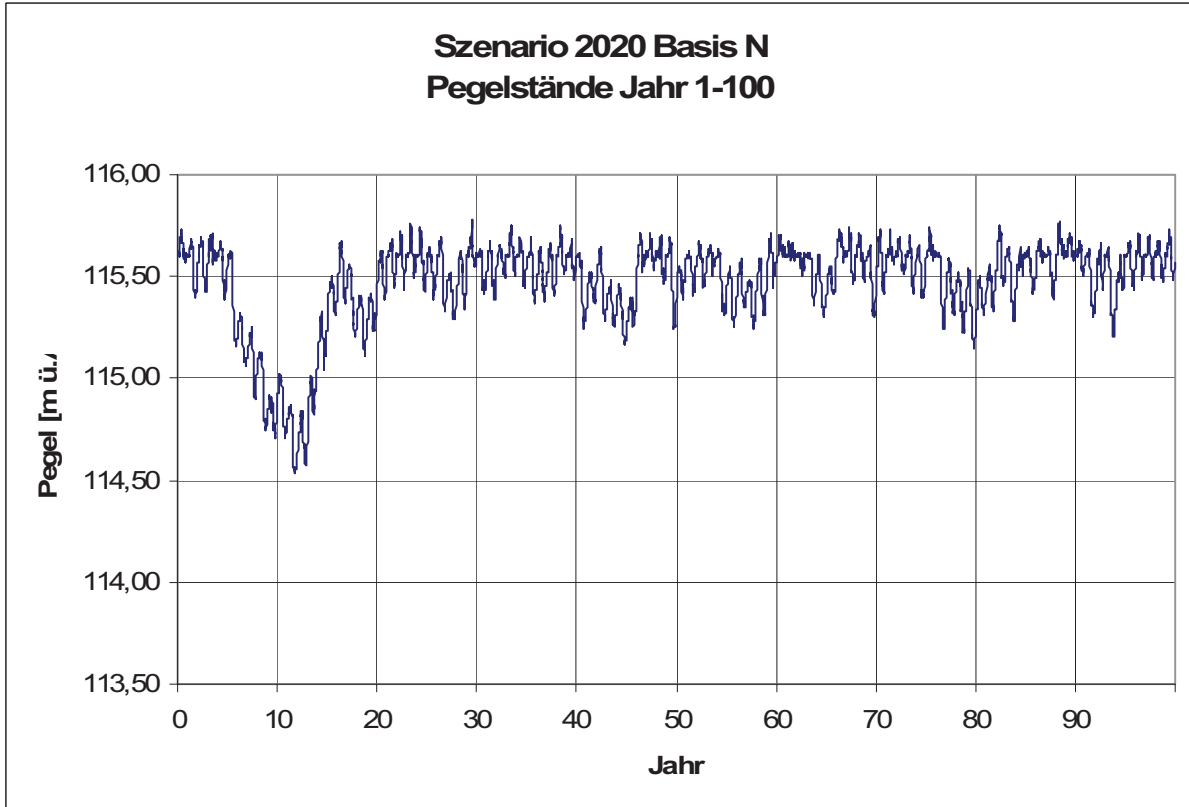


Abbildung 50: Szenario 2020 Basisniederschlag, Simulationsjahre 1-100

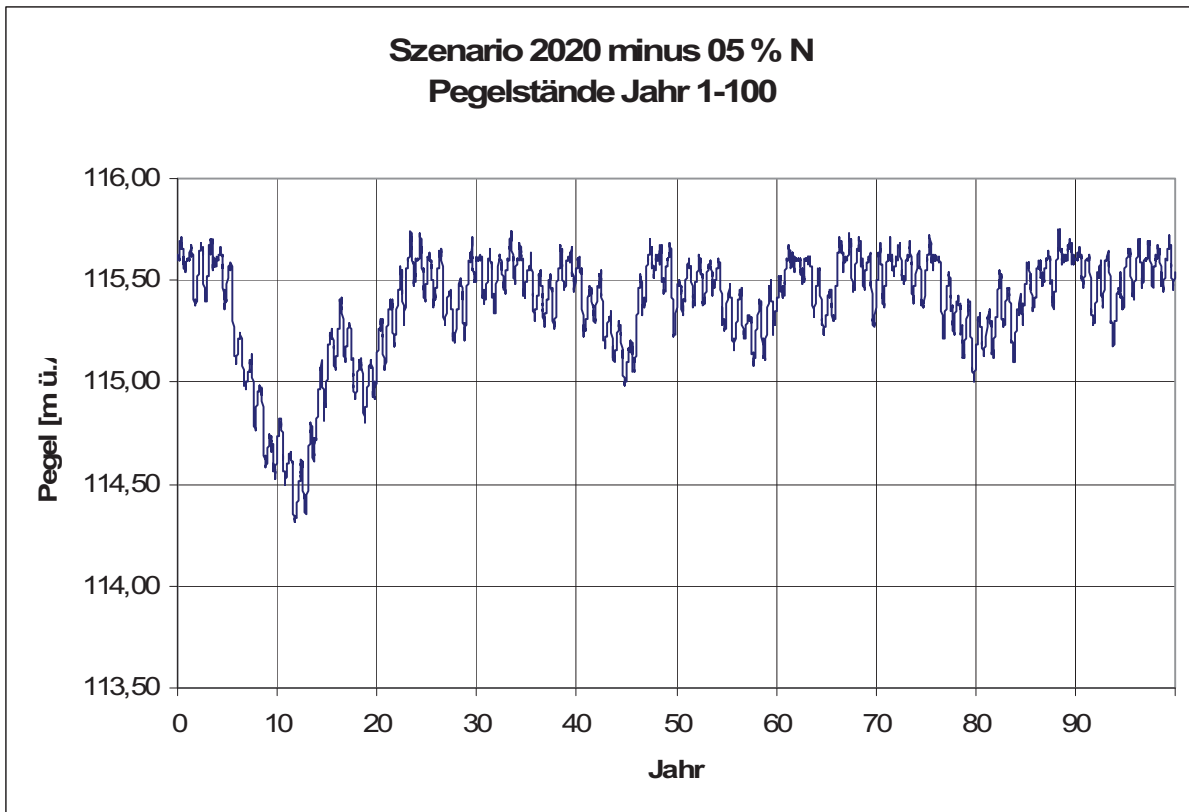


Abbildung 51: Szenario 2020 Basisniederschlag - 5%, Simulationsjahre 1-100

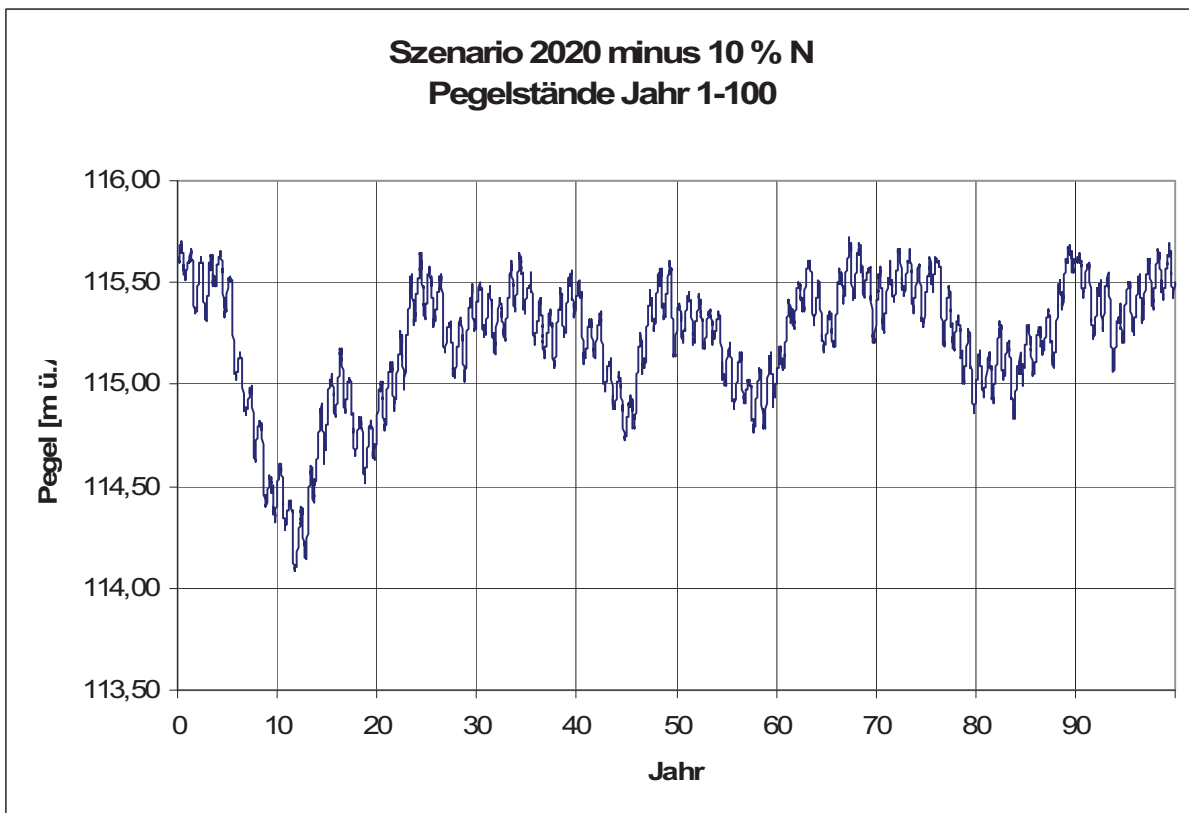


Abbildung 52: Szenario 2020 Basisniederschlag - 10%, Simulationsjahre 1-100

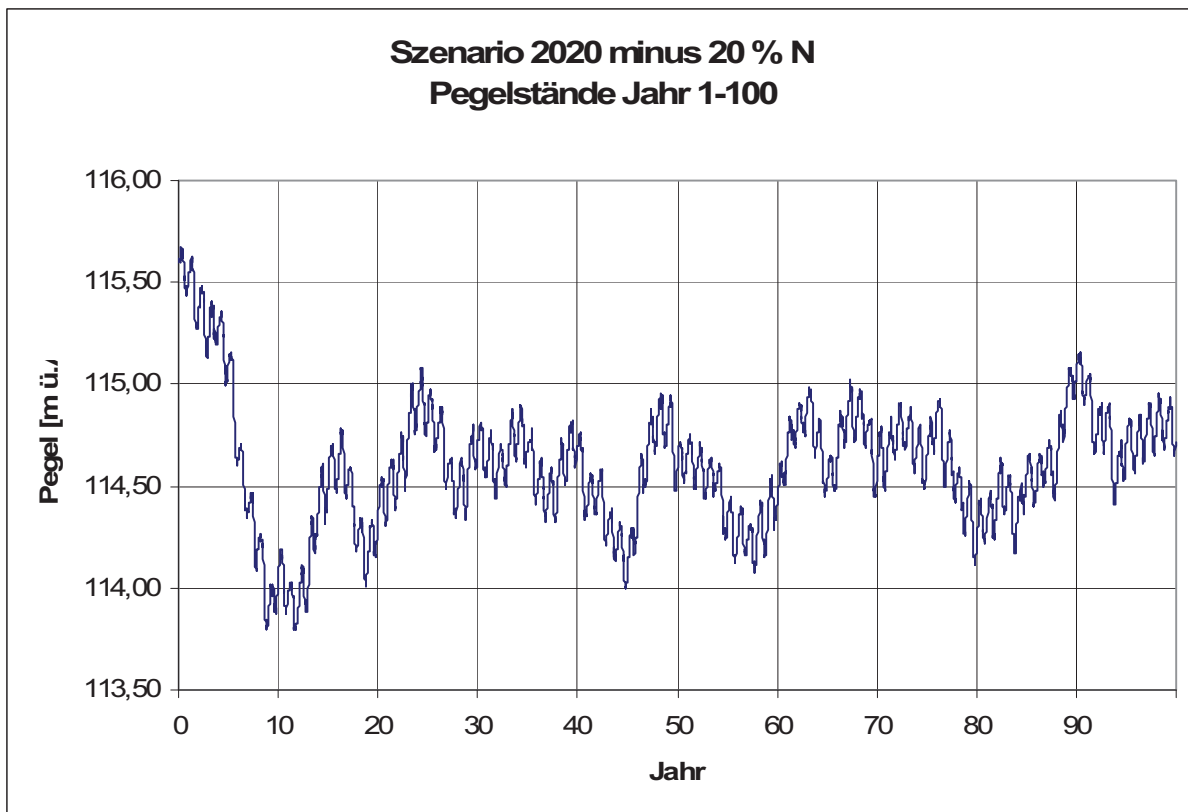


Abbildung 53: Szenario 2020 Basisniederschlag - 20%, Simulationsjahre 1-100

5.2.4 Szenarien 2040er Jahre

Die simulierten Pegelstände der Klimaszenarien 2020 Basis sowie plus/minus 5, 10, 20 % Änderung des Jahresniederschlages sind in den folgenden Abbildungen 55-60 dargestellt.

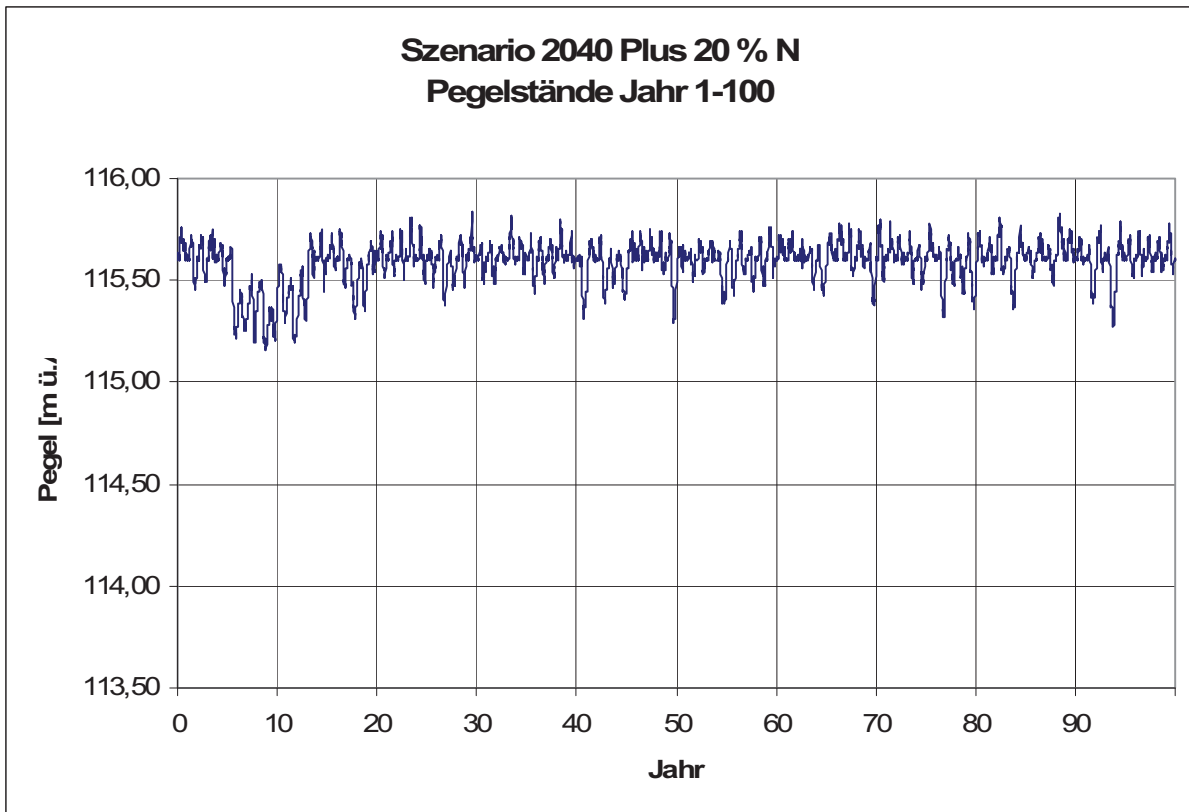


Abbildung 54: Szenario 2040 Basisniederschlag + 20%, Simulationsjahre 1-100

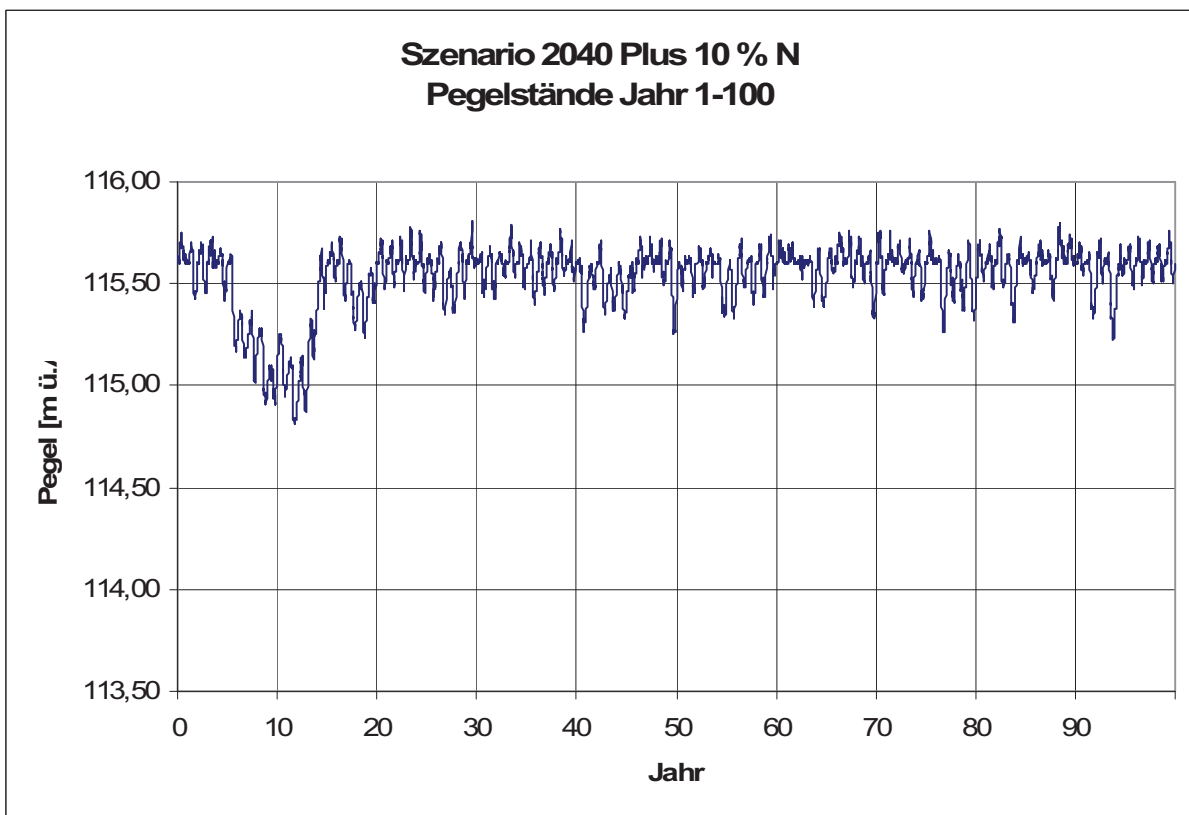


Abbildung 55: Szenario 2040 Basisniederschlag + 10%, Simulationsjahre 1-100

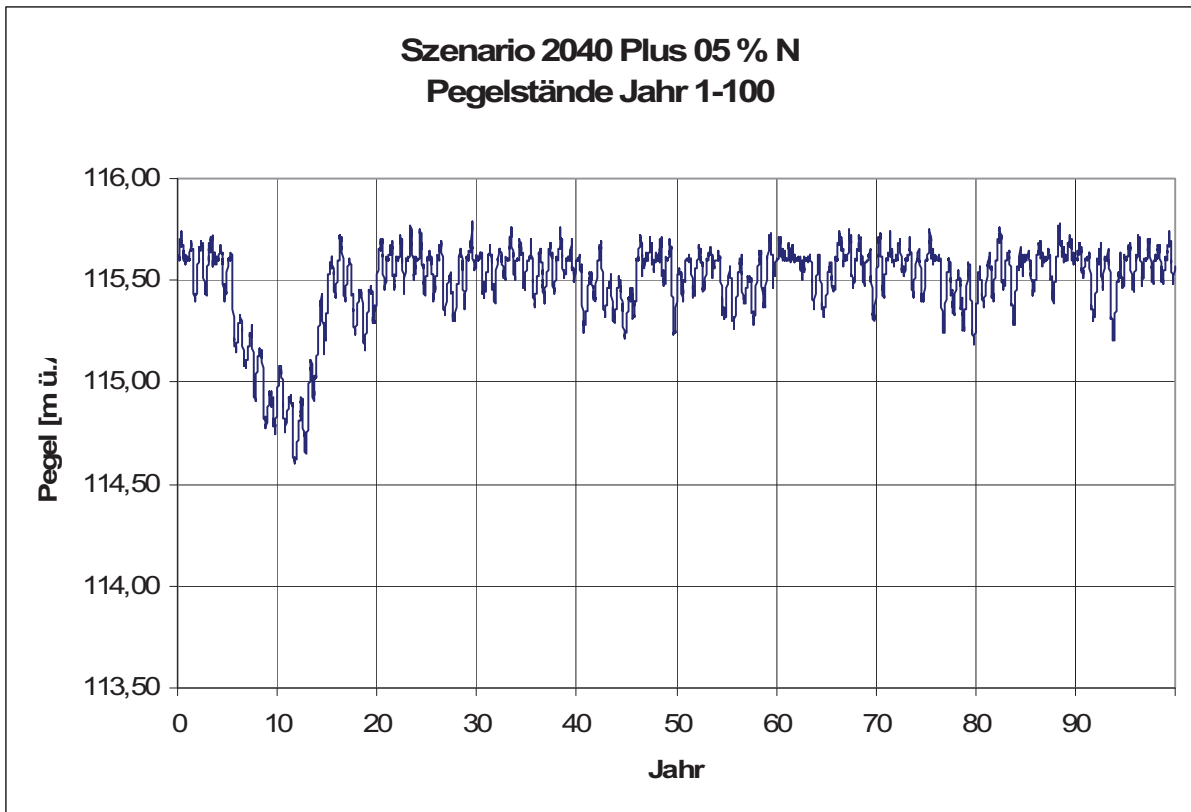


Abbildung 56: Szenario 2040 Basisniederschlag + 5%, Simulationsjahre 1-100

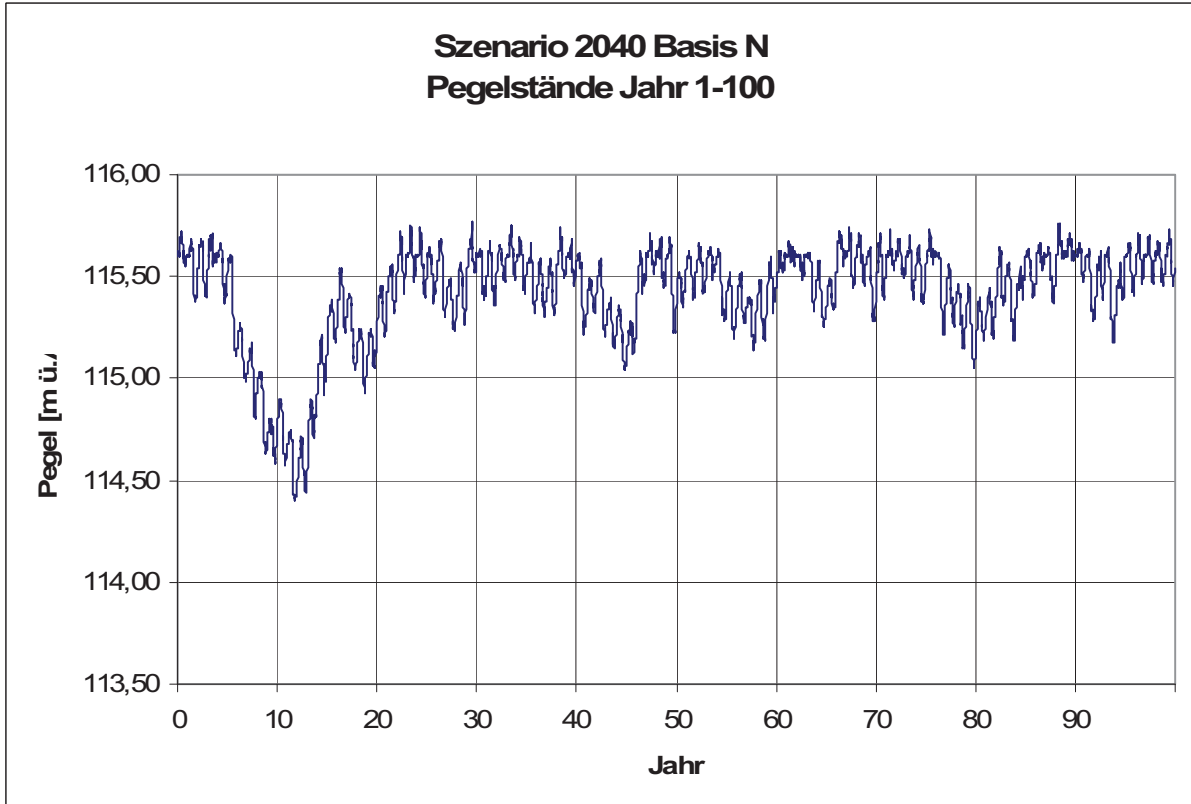


Abbildung 57: Szenario 2040 Basisniederschlag, Simulationsjahre 1-100

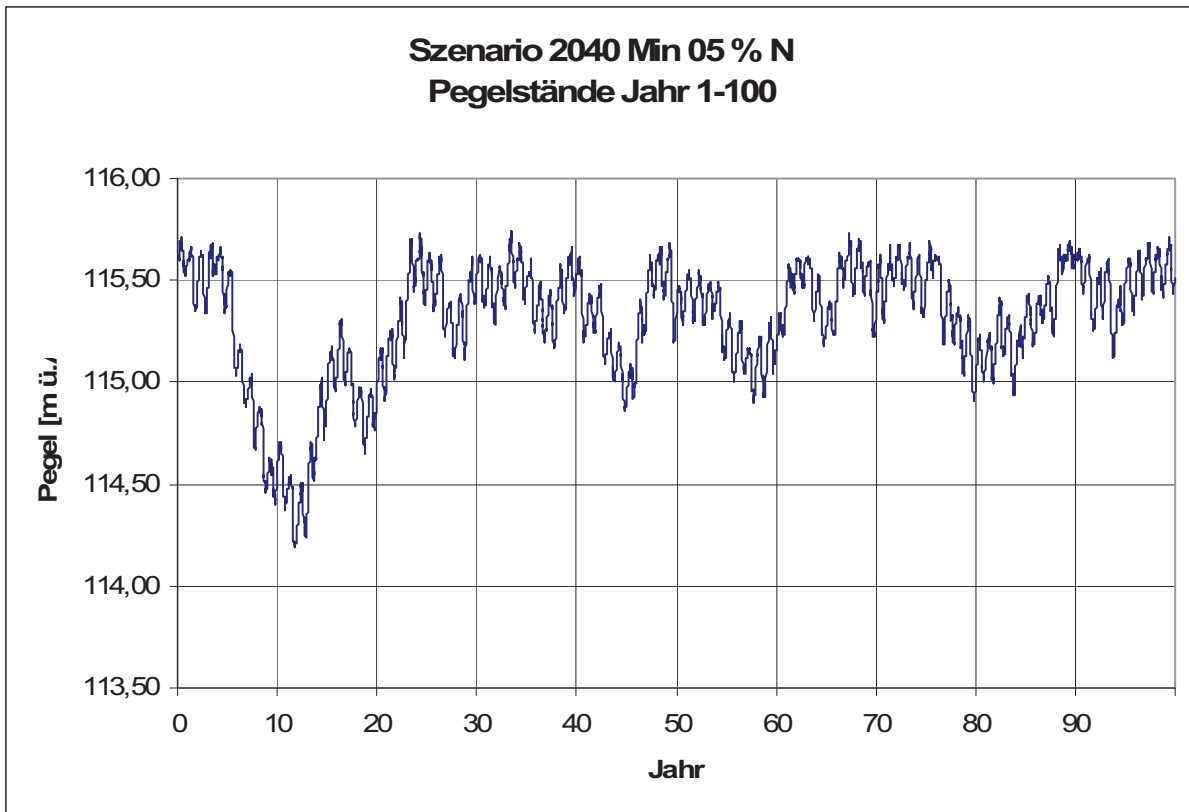


Abbildung 58: Szenario 2040 Basisniederschlag - 5%, Simulationsjahre 1-100

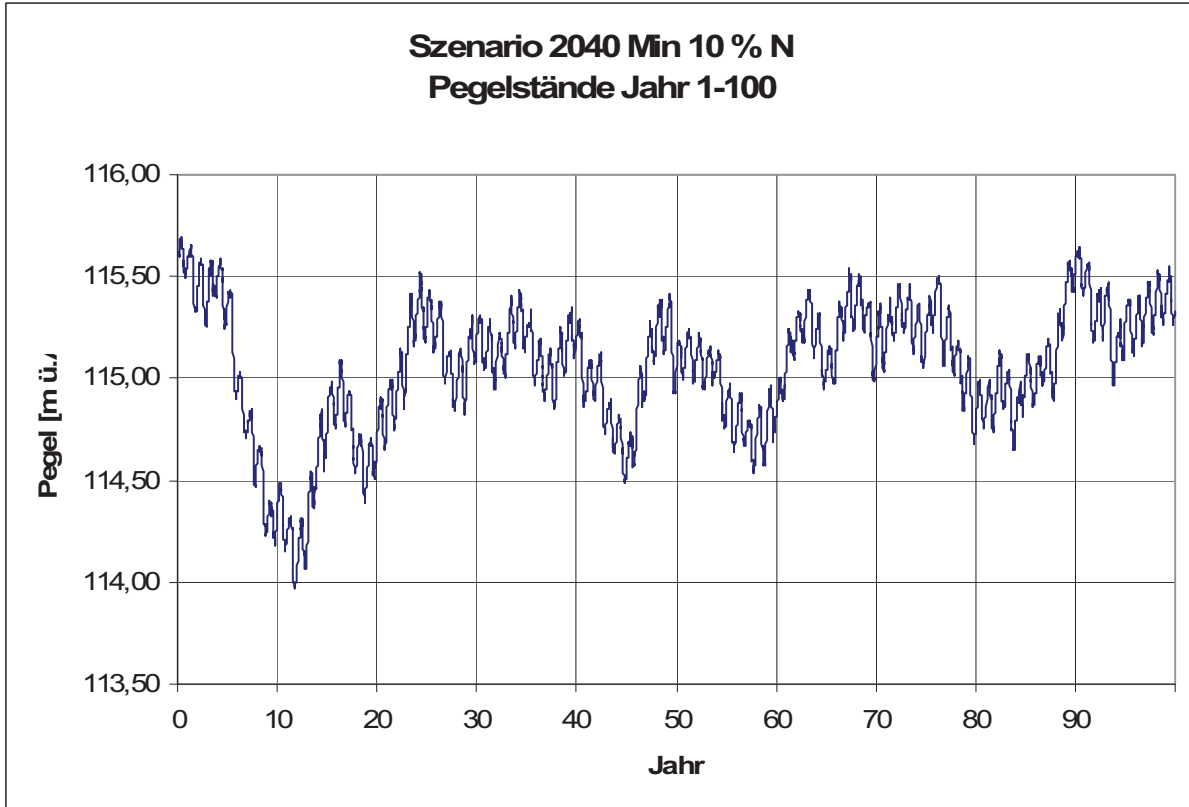


Abbildung 59: Szenario 2040 Basisniederschlag - 10%, Simulationsjahre 1-100

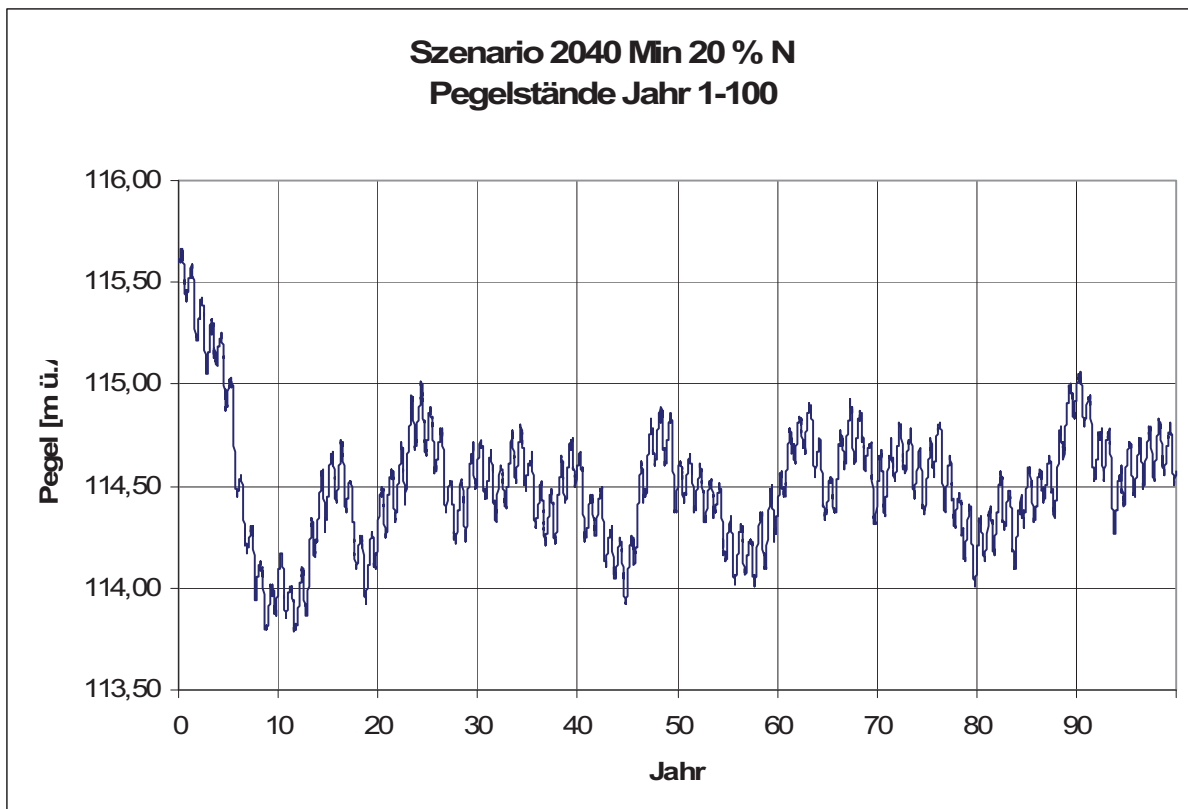


Abbildung 60: Szenario 2040 Basisniederschlag - 20%, Simulationsjahre 1-100

5.3 Szenarien – Wiederholung der extremen Jahre 2003 und 2004

Zur Veranschaulichung der Sensitivität der Wasserbilanz des Neusiedlersees werden im Folgenden 3 Szenarien der Wiederholung sehr niederschlagsarmer (als Beispiel 2003) und –reicher (als Beispiel 2004) Jahre gezeigt.

Abbildung 61 zeigt, dass nur wenige Trockenjahre (4-6) wie 2003 hintereinander notwendig sind um den Neusiedlersee weitgehend zur Austrocknung zu bringen. Sogar bei einer regelmässigen Abwechslung der Verhältnisse von 2003 und 2004 sind wesentlich niedrigere Wasserstände zu erwarten (Abb. 62). Eine ständige Aufeinanderfolge von niederschlagsreichen Jahren wie 2004 würde einen stabil hohen Wasserstand bedingen (Abb.63).

Es ist darauf hinzuweisen, dass das Bilanzmodell bei Überschreitung der Grenzpegel zur Entlastung in den Einserkanal (der einzige und geregelte Abfluss des Neusiedler Sees) entsprechend der Wehrbetriebsordnung für die Simulationen die maximal zulässigen Abflüsse rechnet. Höhere Wasserstände, wie sie in der Realität aufgrund abweichender Regelung fallweise schon aufgetreten sind, werden daher nicht wiedergegeben, wurden aber bei der Modellkalibration berücksichtigt.

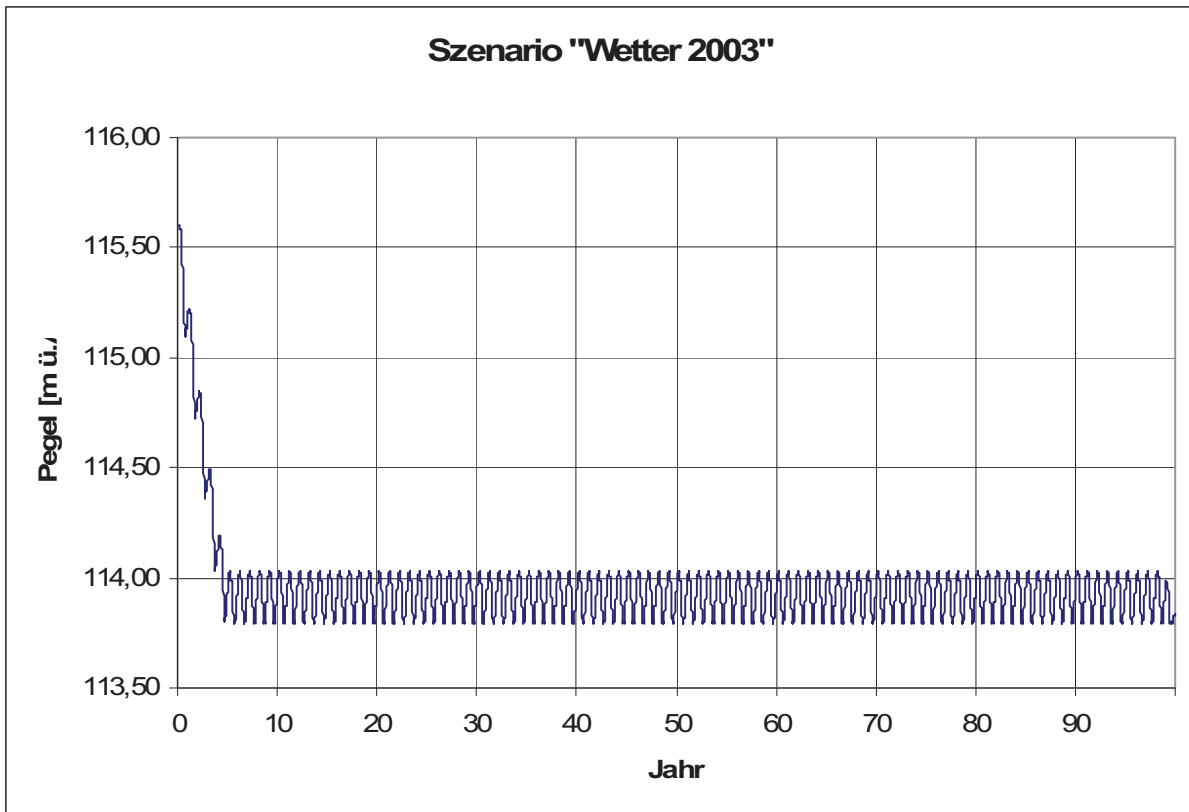


Abbildung 61: Simulation von Wasserständen bei Wiederholung des Wetters 2003.

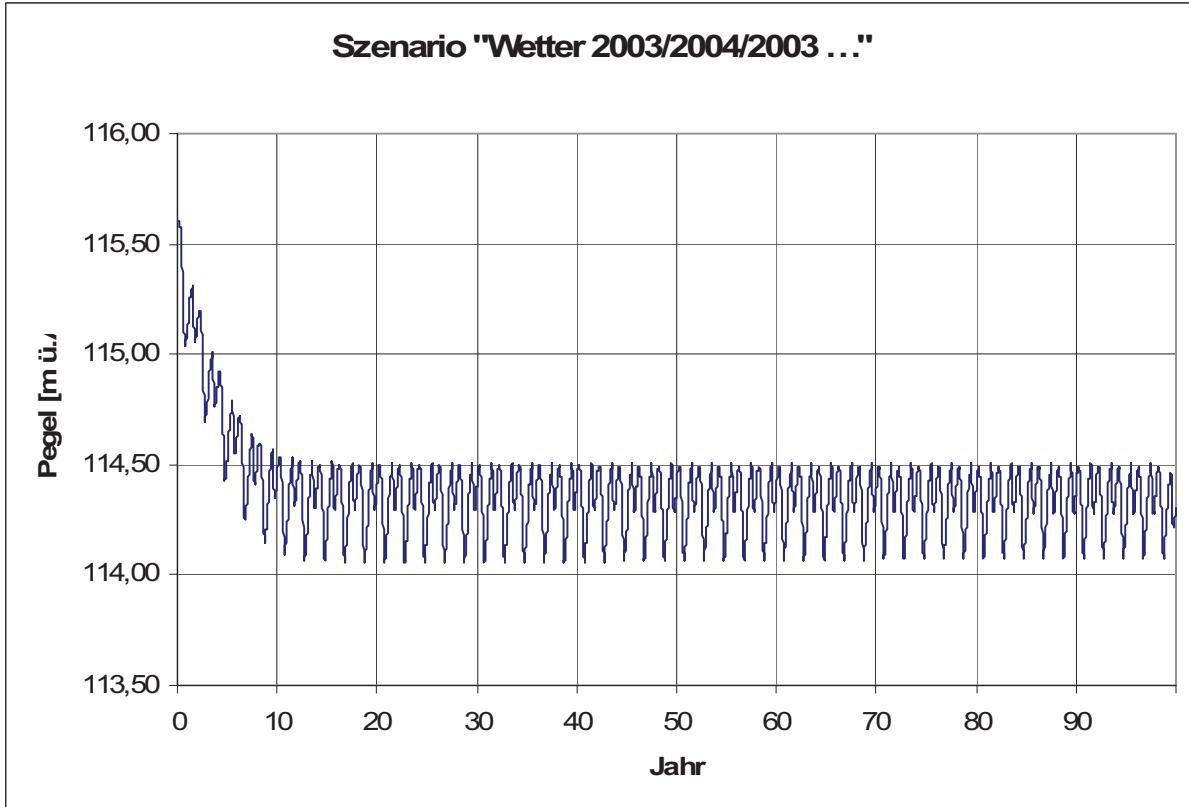


Abbildung 62: Simulation von Wasserständen bei Wiederholung des Wetters 2003/2004.

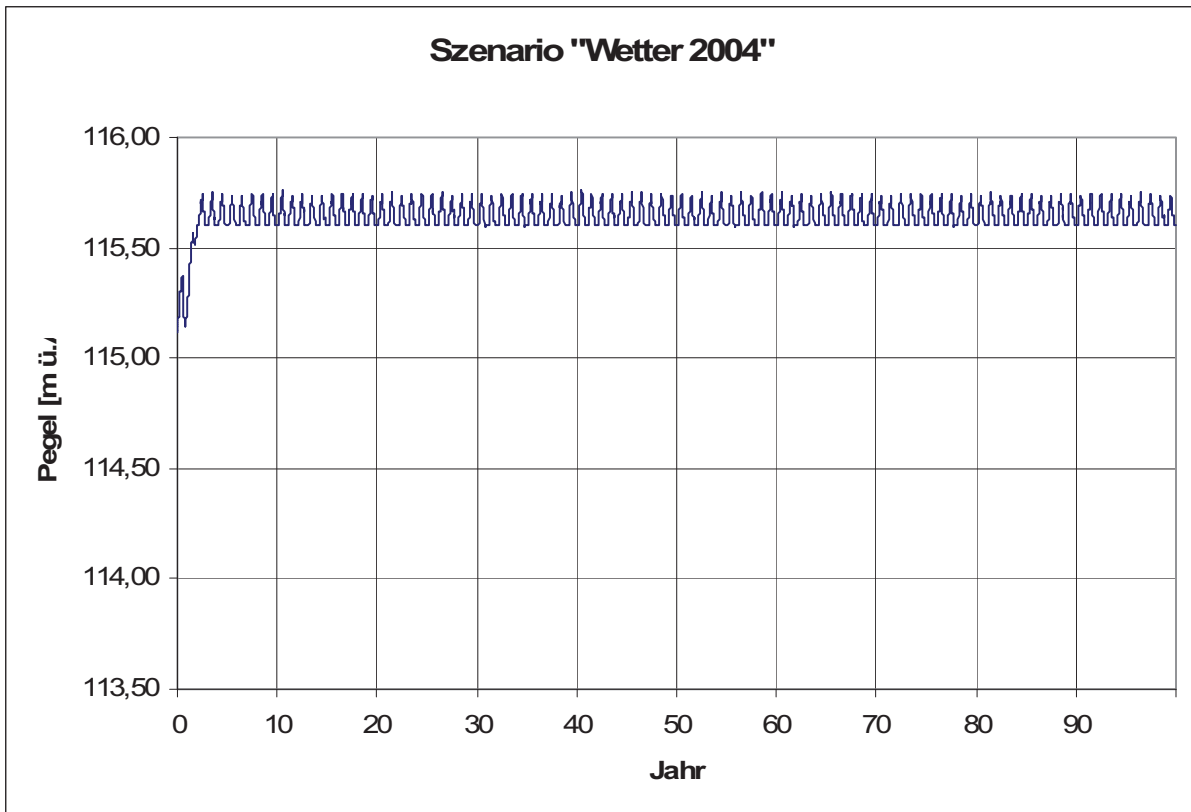


Abbildung 63: Simulation von Wasserständen bei Wiederholung des Wetters 2004.

5.4 Einfluss verschiedener Klimaparameter auf die Wasserbilanz

Die Gesamtergebnisse des Einflusses verschiedener Klimaparameter auf die Wasserbilanz des Sees unter gegenwärtigen Bedingungen und unter künftigen Klimaszenarien mit und ohne modifizierte Klimavariabilität ist im Folgenden dargestellt.

Da die Verdunstung des Neusiedler Sees stark von der Temperatur des Sees abhängt, führt der Temperaturanstieg in den Szenarien zu einer markanten Erhöhung der Verdunstung (siehe Abbildung 64). Bereits die bisherige Klimaveränderung in der Periode 1991-2004 führte zu einer Zunahme der Seeverdunstung von fast 10 Prozent. Für das Szenario der 2020er Periode (Mittel 2010-2030) ergibt sich eine Zunahme von 18.3 Prozent und für die 2040er Periode (Mittel 2030-2050) von 23.3 Prozent.

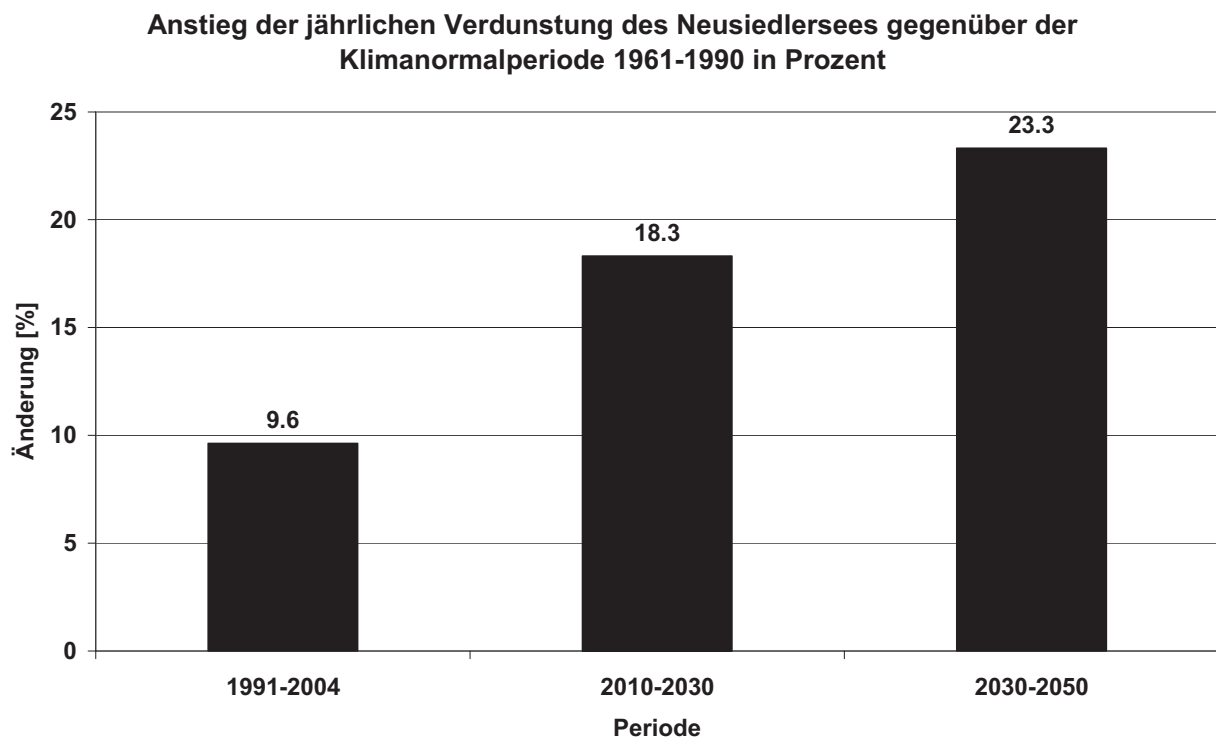


Abbildung 64: Anstieg der jährlichen Verdunstung des Neusiedler Sees im Vergleich mit der Klimanormalperiode 1961-1990, abgeleitet aus den 500 jährigen Modelldaten.

Selbst bei gleich bleibenden Niederschlagsverhältnissen führt diese Verdunstungszunahme zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von niedrigen Wasserständen. Die Ursachen einer künftigen Austrocknung bzw. vermehrten Niedrigwasserständen könnte daher nicht nur in einer Niederschlagsabnahme zu suchen sein (wie in der Periode von 1864-1870), sondern auch im höheren Verdunstungspotential unter den höheren Temperaturen der Klimaszenarien. Die 500 jährigen Zeitreihen der Pegelwasserstände wurden dahingehend ausgewertet, in wie vielen Jahren eine Unterschreitung bestimmter Pegelstände zumindest einen Tag im Jahr unterschritten wurden. In Abbildung 65 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

Ein Pegelstand von 115.3 m wird mit den Klimabedingungen von 1961-1990 in nur 5 Prozent aller Jahre unterschritten (Abb. 65). Dies entspricht daher einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit (Jährlichkeit) von rund 20 Jahren. Bereits im derzeitigen Klima von 1991-2004 mit einer Verdunstungszunahme von rund 10 % und einer Niederschlagsabnahme von 6 % kommt diese Pegelunterschreitung 18 mal in 100 Jahren (18% aller Jahre) vor und man muss also bereits alle 5 bis 6 Jahre damit rechnen. Für das Klimaszenario für 2020 mit einer Zunahme der Verdunstung von rund 18 % und gleichbleibendem Niederschlag (der Basisperiode 1961-1990) kommt diese Pegelunterschreitung in 33 Prozent aller Jahre vor und erreicht damit eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 3 Jahren. Für das Klimaszenario für 2040 mit einer Zunahme der Verdunstung von rund 23 % und gleichbleibendem Niederschlag (der Basisperiode 1961-1990) kommt diese Pegelunterschreitung bereits in 46 % der Jahre vor und damit schon fast jedes zweite Jahr.

Ein Pegelstand von 115.0 m wird mit den Klimabedingungen von 1961-1990 nie erreicht. Mit dem Klima von 1991-2004 wird dieser Pegelstand schon in 1.4 % aller Jahre unterschritten, im Szenario 2020 in 5.8 % und im Szenario 2040 in 11.4 % der Jahre. Dies entspricht Wiederkehrwahrscheinlichkeiten von rund 70, 17 und 9 Jahren. Unter den Klimaänderungsbedingungen für 2020 und 2040 kommen sogar Pegelunterschreitungen der Marke 114.5 m vor. Hier ist die Wahrscheinlichkeit für eine Unterschreitung in 2020 0.6 % und 2040 1.2 %. Dies entspricht einer Jährlichkeit von rund 166 bzw. 83 Jahren (siehe auch Tabelle 13).

Modellierte relative Häufigkeit von Seespiegelunterschreitungen am Neusiedlersee für das derzeitige Klima und Temperaturszenarien.

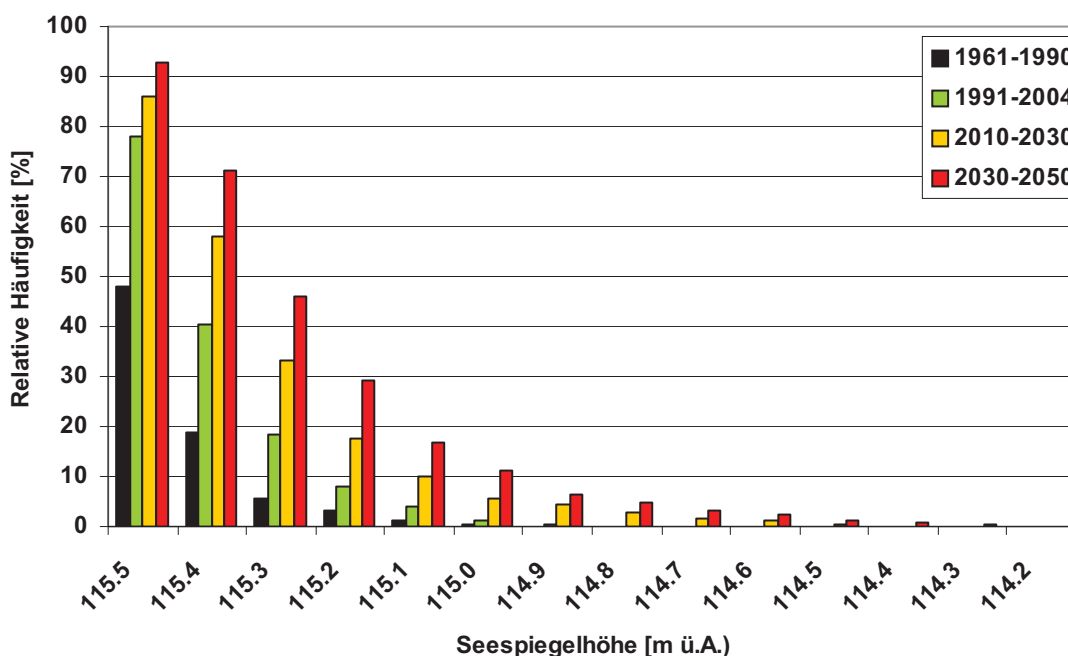


Abbildung 65: Relative Häufigkeit von Seespiegelunterschreitungen des Neusiedler Sees für die vier untersuchten Perioden bei unveränderten Niederschlagsbedingungen für die Szenarien 2020 und 2040, abgeleitet aus den 500 jährigen Zeitreihen.

Um zu untersuchen, wie eine mögliche Änderung des Niederschlages, der ja ein grosser Unsicherheitsfaktor in den Szenarien ist - diese Ergebnisse beeinflusst, wurden für die Szenarien 2020 und 2040 die mittlere Jahresniederschlagsmenge um 5, 10 und 20 Prozent erhöht und reduziert und damit das Seespiegelmodell jeweils 500 Jahre betrieben. Die Ergebnisse der Auswertung der Seespiegelunterschreitungen, angegeben in Wiederkehrwahrscheinlichkeit (Jährlichkeit), Häufigkeit des Auftretens in 500 Jahren und durchschnittliche Dauer der Unterschreitung eines bestimmten Pegels sind in Tabelle 13 und in Abb.66 bis 69 zusammen gefasst. Die Reihe mit keiner Niederschlagsveränderung entspricht den Ergebnissen von Abb. 65.

Um zum Beispiel eine vergleichbare Jährlichkeit einer Pegelunterschreitung von 115.2 m wie in der Klimanormalperiode 1961-1990 zu erreichen, muss der Niederschlag für das Szenario 2020 um 20 % zunehmen. Für das Szenario 2040 sinkt die Jährlichkeit selbst bei 20 prozentiger Niederschlagszunahme von 62.5 Jahren (in der Periode 1961-1990) auf 33 Jahre.

Bei einer Pegelunterschreitung von 115.0 m zeigt sich ein ähnliches Bild. Für das Szenario 2020 kann eine 20 prozentige Niederschlagszunahme die höhere Verdunstung noch kompensieren, aber bei dem Szenario für 2040 sinkt die Jährlichkeit von größer 500 Jahren (in 1961-1990) auf rund 250 Jahre.

Bei einer Pegelunterschreitung von 114.7 m reicht für das Szenario 2020 bereits eine Niederschlagszunahme von 10 %, damit diese Unterschreitung in den 500 Jahren nicht mehr vorkommt. Beim Szenario 2040 ist bei 10 Prozent Niederschlagszunahme aber noch eine Jährlichkeit von 250 Jahren gegeben.

Bei einer extremen Wasserabnahme mit Pegelständen von 114.5 m und darunter, reicht schon ein 5 prozentige Niederschlagsanstieg, damit dieser in 500 Jahren nicht erreicht wird. Eine Niederschlagsabnahme von nur 5 % im 500jährigen Mittel hingegen senkt die Jährlichkeit in dem Szenario 2020 von 167 (ohne Niederschlagsänderung) auf 71 Jahre und 2040 von 83 auf nur 25 Jahre. In Tabelle 13 ist auch die mittlere Dauer der Unterschreitung bestimmter Pegelstände unter den verschiedenen Szenarien dargestellt. Dies zeigt durchgehend eine relativ lange Dauer von Niedrigwasserständen, die bei negativer Wasserbilanz deutlich zunehmen.

Diese Ergebnisse zeigen deutlich die unter den Klimaszenarien zunehmende Sensibilität der Wasserbilanz des Neusiedler Sees auf Niederschlagsschwankungen. Die Wahrscheinlichkeit für Niedrigwasserstände wird daher unter den hier verwendeten Klimaszenarien auch ohne Niederschlagsänderung zunehmen.

Änderung der Jährlichkeit für eine Seespiegelunterschreitung von 115.2 (m ü.A.) in Abhängigkeit von der Niederschlagsentwicklung

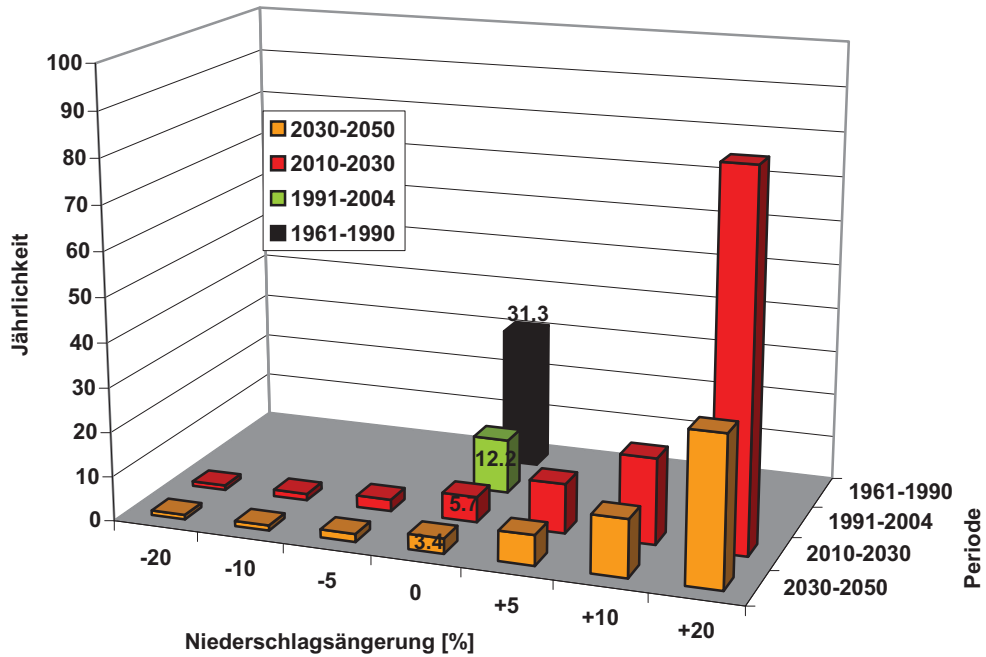


Abbildung 66: Veränderung der Jährlichkeit von Seespiegelunterschreitungen in Abhängigkeit der Niederschlagsentwicklung für den Pegelstand 115.2 m.

Änderung der Jährlichkeit für eine Seespiegelunterschreitung von 115.0 (m ü.A.) in Abhängigkeit von der Niederschlagsentwicklung

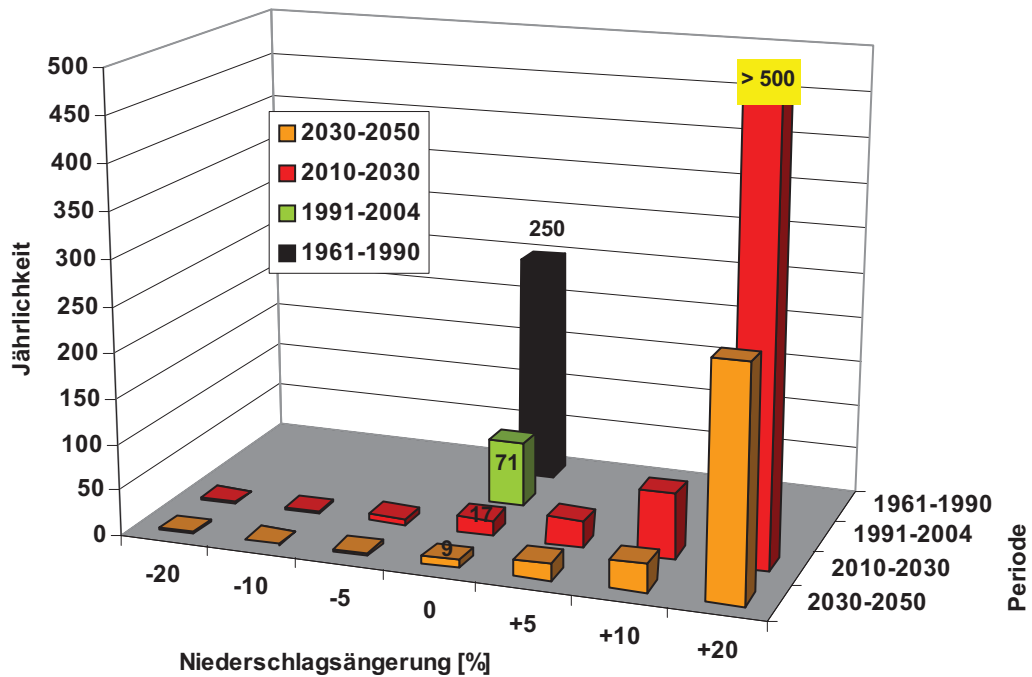


Abbildung 67: Veränderung der Jährlichkeit von Seespiegelunterschreitungen in Abhängigkeit der Niederschlagsentwicklung für den Pegelstand 115.0 m.

Änderung der Jährlichkeit für eine Seespiegelunterschreitung von 114.7 (m ü.A.) in Abhängigkeit von der Niederschlagsentwicklung

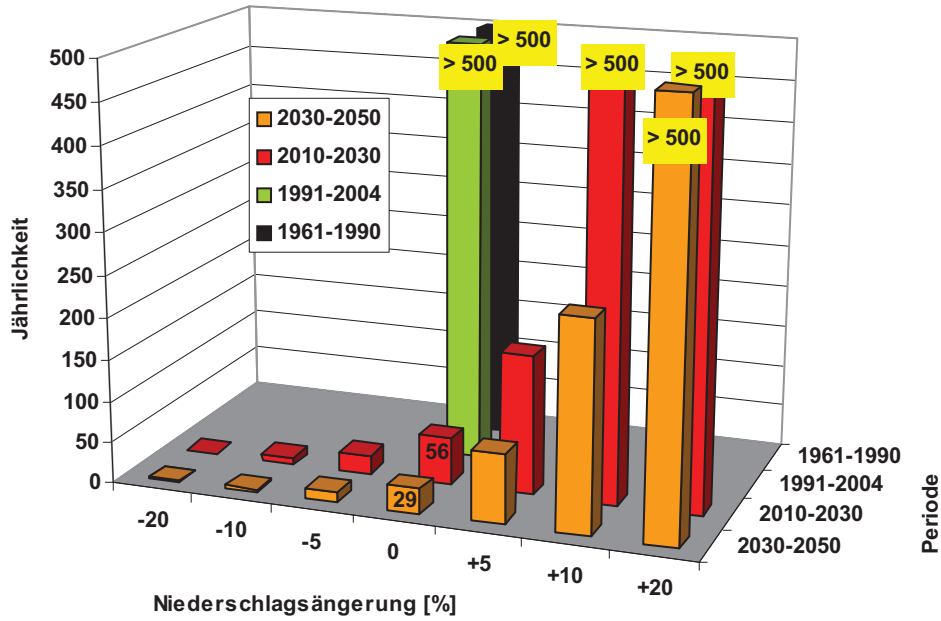


Abbildung 68: Veränderung der Jährlichkeit von Seespiegelunterschreitungen in Abhängigkeit der Niederschlagsentwicklung für den Pegelstand 114.7 m.

Änderung der Jährlichkeit für eine Seespiegelunterschreitung von 114.5 (m ü.A.) in Abhängigkeit von der Niederschlagsentwicklung

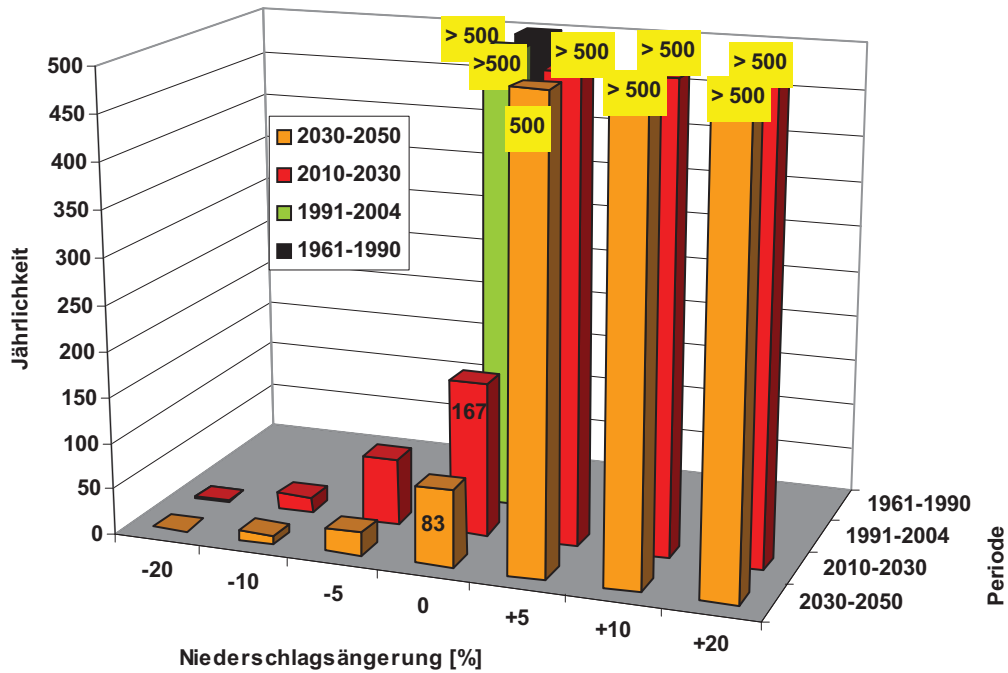


Abbildung 69: Veränderung der Jährlichkeit von Seespiegelunterschreitungen in Abhängigkeit der Niederschlagsentwicklung für den Pegelstand 114.5 m.

Tabelle 13: Gesamtübersicht der simulierten Auswirkungen des Klimas von Messperioden (1961-2004) und der beschriebenen Klimaszenarien kombiniert mit Niederschlagsänderungen auf die Pegelstände des Neusiedler Sees.

Seespiegel m üA.	Periode	Niederschlagsänderung %						
		-20	-10	-5	0	5	10	20
		Häufigkeit in 500 Jahren						
115.20	1961-1990	336.0	55.0	25.0	16.0	6.0	1.0	0.0
	1991-2004				41.0			
	2020er	498.0	337.0	191.0	88.0	45.0	26.0	6.0
	2040er	498.0	434.0	276.0	147.0	74.0	39.0	15.0
115.00	1961-1990	203.0	20.0	10.0	2.0	0.0	0.0	0.0
	1991-2004				7.0			
	2020er	494.0	201.0	72.0	29.0	17.0	7.0	0.0
	2040er	496.0	324.0	144.0	57.0	27.0	16.0	2.0
114.70	1961-1990	63.0	7.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1991-2004				0.0			
	2020er	445.0	61.0	22.0	9.0	3.0	0.0	0.0
	2040er	474.0	141.0	40.0	17.0	6.0	2.0	0.0
114.50	1961-1990	33.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1991-2004				0.0			
	2020er	329.0	28.0	7.0	3.0	0.0	0.0	0.0
	2040er	381.0	55.0	20.0	6.0	1.0	0.0	0.0
		Auftretswahrscheinlichkeit alle X Jahre						
115.20	1961-1990	1.5	9.1	20.0	31.3	83.3	500.0	> 500
	1991-2004				12.2			
	2020er	1.0	1.5	2.6	5.7	11.1	19.2	83.3
	2040er	1.0	1.2	1.8	3.4	6.8	12.8	33.3
115.00	1961-1990	2.5	25.0	50.0	> 500	> 500	> 500	> 500
	1991-2004				71.4			
	2020er	1.0	2.5	6.9	17.2	29.4	71.4	> 500
	2040er	1.0	1.5	3.5	8.8	18.5	31.3	250.0
114.70	1961-1990	7.9	71.4	500.0	> 500	> 500	> 500	> 500
	1991-2004				> 500			
	2020er	1.1	8.2	22.7	55.6	166.7		
	2040er	1.1	3.5	12.5	29.4	83.3	250.0	
114.50	1961-1990	15.2	500.0	> 500	> 500	> 500	> 500	> 500
	1991-2004				> 500			
	2020er	1.5	17.9	71.4	166.7	> 500	> 500	> 500
	2040er	1.3	9.1	25.0	83.3	500.0	> 500	> 500
		Mittlere Dauer der Pegelunterschreitung in Tagen						
115.20	1961-1990	260	192	204	137	91	-	-
	1991-2004				138			
	2020er	362	253	191	178	178	168	91
	2040er	364	288	223	176	168	168	85
115.00	1961-1990	241	219	164	91	-	-	-
	1991-2004				78			
	2020er	351	224	213	214	172	130	-
	2040er	359	250	190	189	183	148	-
114.70	1961-1990	232	130	0	-	-	-	-
	1991-2004				-			
	2020er	281	212	191	142	61	-	-
	2040er	310	184	196	161	152	-	-
114.50	1961-1990	194	0	-	-	-	-	-
	1991-2004				-			
	2020er	222	196	146	61	-	-	-
	2040er	255	183	155	152	-	-	-

Die Auswertung von jeweils 500 Jahren je Szenario erbrachte die in Abbildung 70 dargestellten Jährlichkeiten von Pegelunterschreitungen. Zu den mittleren Jahresniederschlagsmengen der angeführten Szenarien ist anzumerken, dass die Werte im Szenario 91-04 um 6%, jene der Szenarien 2020 und 2040 um 5% niedriger liegen als jene der Klimanormalperiode 1961-1990 (siehe auch Tabelle 13).

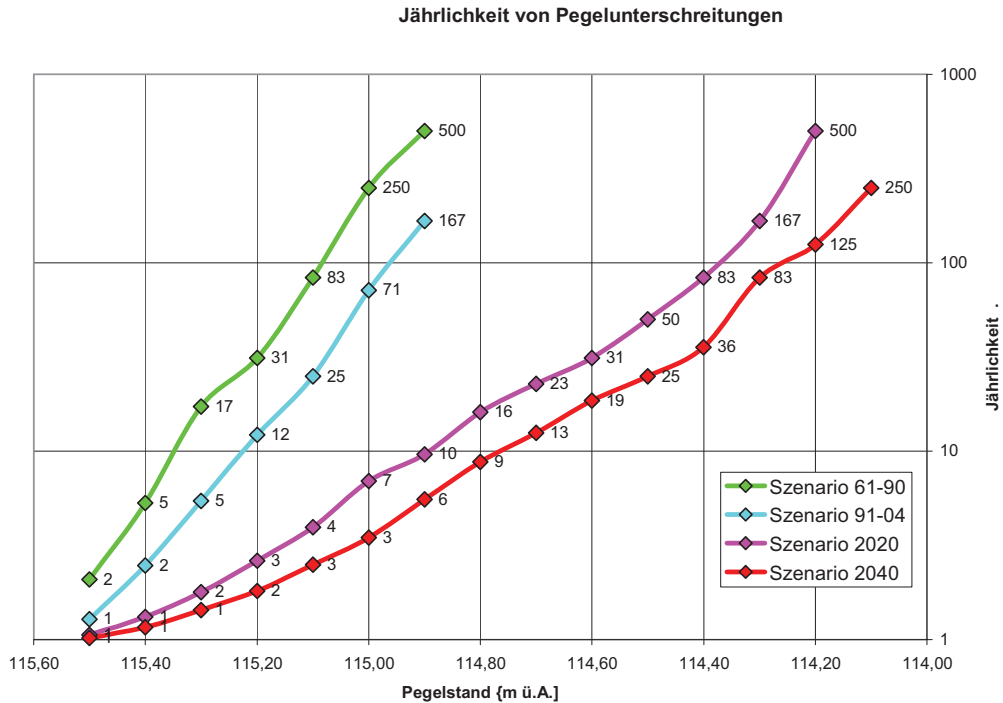


Abbildung 70: Jährlichkeit (Wiederkehrwahrscheinlichkeit in Jahren) von Pegelunterschreitungen des Neusiedler Sees in den verschiedenen Perioden und Klimaszenarien.

6 Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt wurde im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung die Sensitivität der Wasserbilanz des Neusiedler Sees unter den Klimaszenarien für die 2020er Periode (Mittel 2010-2030) und die 2040er Periode (Mittel 2030-2050) mit einer mittleren Temperaturerhöhung von 1.9 °C (2020er Periode) bzw. 2.5 °C (2040er Periode) untersucht. Dabei wurde auf vielseitige Informationen und Daten zurückgegriffen die bereits in früheren Projekten untersucht wurden bzw. die für das Projekt nützlich waren. So sind zum Beispiel die hydrologischen Randbedingungen wie Zu- und Abflussverhältnisse oder die wissenschaftlich anerkannten Klimaszenarien vorgegeben.

Da die Wasserbilanz des Neusiedler Sees stark auf klimatische Verhältnisse wie den Niederschlag reagiert, wurde auf die Auswahl der Klimaszenarien bzw. die Regionalisierungsmethodik grosser Wert gelegt. Für die Klimaszenarien wurden „mittlere“ Szenarien aus den IPCC anerkannten Szenarien gewählt. Diese für die Wasserbilanzberechnung ausgewählten Szenarien (ECHAM4-IS92a) zeigen bei der Bestimmung der Temperaturänderung eine grössere Güte als bei der Bestimmung der Niederschlagsänderung, weshalb für den Jahresniederschlag eine Sensitivitätsanalyse mit stufenweiser Änderung hinzugefügt wurde. Auch andere Szenarien wie dynamisches Downscaling und Paläoanaloge Szenarien wurden für die Region Neusiedler See berechnet, aber nicht für die Wasserbilanzberechnung weiterverwendet, da sie in einer ähnlichen Bandbreite liegen. Der Wasserbilanzberechnung liegt eine Kalibrierung von geeigneten Wassertemperaturgleichungen und Verdunstungsformeln zugrunde, wobei schliesslich die am besten geeignete (eine modifizierte Dalton Gleichung) in den Wasserbilanzberechnungen verwendet wurde.

Die Ergebnisse der Studie zeigen grundsätzlich die grosse Sensitivität der Wasserbilanz des Neusiedler Sees zum Jahresniederschlag auf. Bereits geringfügige Änderungen von 5-10% unter den derzeitigen Klimaverhältnissen haben einen deutlichen Effekt auf die Auftrittswahrscheinlichkeit von Niedrigwasserständen. Zum Beispiel würde der See bei einer ständigen Aufeinanderfolge des extrem trockenen Jahres 2003 (ca. 60% weniger Jahresniederschlag als im Mittel 1961-1990) nach 4-6 Jahren weitgehend austrocknen, bei einer ständigen Abwechslung von 2003 mit dem dem niederschlagsreichen Jahr 2004 nach ca. 10 Jahren ebenfalls noch sehr niedrige Wasserstände erreichen und bei einer ständigen Aufeinanderfolge von 2004 den höchsten geregelten Pegelstand halten.

Da unter den Klimaszenarien der 2020er und 2040er Periode eine Temperaturerhöhung zu verzeichnen ist, wird in den verwendeten Klimaszenarien ein höheres Verdunstungspotential wirksam, was zu einer noch grösseren Sensibilität des Wasserstandes des Neusiedler Sees hinsichtlich künftiger Niederschlagsschwankungen führt. Schon in der Periode 1991-2004 gab es eine Jahresmitteltemperaturerhöhung von 0.7 °C und eine Abnahme des mittleren Jahresniederschlages von 6 % (ca. 40mm) im Vergleich zu 1961-1990. Unter diesen, derzeitigen Klimabedingungen wird die kritische Wassermarke von 115.20m über Adria im statistischen Mittel alle 12 Jahre unterschritten. In der wärmeren 2020er Periode, würden – bei gleichen Niederschlägen bzw. Niederschlagsverteilung wie in der Basisperiode 1961-1990 – diese Unterschreitung durchschnittlich schon alle 5.7 Jahre auftreten und in den 2050er Jahren alle 3.4 Jahre. Eine Verringerung des Niederschlages um 5% in den Klimaszenarien erhöht diese

Wiederkehrwahrscheinlichkeit auf 3.6 (2020er Periode) bzw. 1.8 (2040er Periode) Jahre. Schon eine geringe Abnahme des mittleren Niederschlages der Region von z.B. 5% hat also eine signifikante Häufung von Niedrigwasserständen zur Folge die im seltener auftretenden Extremfall bis zur Austrocknung führen würde. Ein Pegelstand von 114.5 m, was einer Fast-Austrocknung entspricht, würde beim derzeit herrschenden Klima (1991-2004) statistisch gesehen nicht auftreten, in der wärmeren 2020er Periode - bei gleichbleibendem Niederschlag wie in der Basisperiode 1961-1990 - alle 166 Jahre und in der 2050er Periode alle 83 Jahre. Eine Verringerung des Niederschlages um 5% in den Klimaszenarien erhöht diese Wiederkehrwahrscheinlichkeit der Austrocknung auf 71 (2020er Periode) bzw. 25 (2040er Periode) Jahre.

Falls der Niederschlag noch weiter abnimmt, mehr extreme Trockenperioden im Vergleich zur derzeitigen Klimavariabilität auftreten würden oder die Klimaerwärmung stärker ausfällt als in unseren Klimaszenarien angenommen, würde sich die Situation verschärfen und umgekehrt, entspannen. Die Auswertungen und Simulationen bis zur Wasserbilanzierung wurden unter bestimmten definierten Randbedingungen durchgeführt. Zusätzlich steckt in vielen verwendeten Daten ein gewisses Maß an Unsicherheit. Neben den hydrologischen Randbedingungen und den ausgewählten Klimaszenarien zählen zum Beispiel die Bestimmung des Gebietsniederschlages aus Punktmessungen oder der Einfluss der zunehmenden Verschlammung oder die künftige Entwicklung des Schilfgürtels dazu. Diese Tatsachen müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

7 Danksagung

Dieses Forschungsprojekt war auf vielerlei Hintergrundinformationen und Daten angewiesen, welche mit freundlicher Unterstützung verschiedener Personen unentgeltlich zur Verfügung gestellt wurden.

Hierbei danken wir vor allem :

WHR Dipl. Ing. Helmut Rojacz

Leiter - Landeswasserbaubezirksamt Schützen am Gebirge
Burgenland

OBR Dipl. Ing. Karl Maracek

Referatsleiter – Hydrographie, Niederschlag, Lufttemperatur und Verdunstung
Burgenländische Landesregierung, Eisenstadt

Univ. Prof. Dr. Alois Herzig

Leiter - Biologische Station Neusiedler See
Illmitz, Burgenland

Alois Lang

Öffentlichkeitsarbeit - Informationszentrum Nationalpark Neusiedler See - Seewinkel
Illmitz, Burgenland

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Alfred Blaschke

Univ.- Ass., E222 - Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
TU Wien

Prof. Dr. Elmar Csaplovics

Institutsdirektor - Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Technische Universität Dresden

Dr. Miklos Pannonhalmi

Head of Department Environ. Prot. Eng., Győr, Ungarn

Dr. Zoltan Dunkel und Dr. Szalai Sandor

OMSZ - Hungarian Meteorological Service
Budapest, Ungarn

Dipl. Ing. Josef Plattner

Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Wien

8 Literaturverzeichnis

Adrian, R. et al., 1996: Potentielle Auswirkungen von Klimaveränderungen auf geschichtete und ungeschichtete Flachseen. Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin. Heft 56b - Institut für Wasserwesen, Internationales Symposium 1995, Tagungsband.

Albrecht, F., 1962: Die Berechnung der natürlichen Verdunstung (Evapotranspiration) der Erdoberfläche aus klimatischen Daten. Deutscher Wetterdienst. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 83, Band 11.

Alexandrov, V., Eitzinger, J., Cajic, V., Oberforster, M., 2002. Potential impact of climate change on selected agricultural crops in north-eastern Austria. *Global Change Biology* 8 (4), 372-389.

Alexandrov, V., Eitzinger, J., 2003. Drought impacts in southeastern and central Europe during the late 20th century. Proceedings of the European Conference on Applied Meteorology (ECAM'2003), Rome, Italy, September 15-19 2003, CD ROM. 6th European Conference on Applications of Meteorology and 3rd Annual Meeting of the European Meteorological Society.

Antal, E., Kalmar, I., Kovats, Z., Kozma, F., Kozmane T.E., Nagyne, D.A., Pannonhalmi, M., Walkovsky, A., 1982: Naturverhältnisse des Neusiedlersees (A fertő-to termeszeti adottsagai). Az Eszaktudományi Vizügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat, ISBN 9630221284; ISBN 9637701591, Budapest, 1982.

Auer, I. et al., 1996: Klimatographie und Klimaatlas von Burgenland. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Auer, I., R. Böhm and M. Maugeri, 2001: A New long-term gridded precipitation data set for the Alps and its Application for MAP and ALPCLIM. *Journal for Physics and Chemistry of the Earth, Part B*, Vol 26/5-6, 421-424

Balint et al., 2005: Regional Drought Event in the Sio and Lake Balaton Drainage Basin, Abstracts, EGU 2005, Wien.

Baranyi, S., Domokos, M., 1985: Möglichkeiten zur Verbesserung der Wasserstandsregulierung des Neusiedlersees. Biologische Station Neusiedlersee, Bericht 55 - BFB, 10. Neusiedlerseetagung, Biologisches Forschungsinstitut Burgenland, Illmitz.

Blaschke, A.P. et al., 2003: Modelling activities for comprehensive water and nutrient balances for two Austrian case study regions, Diffuse Pollution conference, Dublin 2003.

Bonta, I., Takács, Á., 1988: Development of a Warning System for Heavy Rainfall in Hungary. *Az Országos Meteorológiai Szolgálat Kisebb Kiadványai*, 63.

Borzenkova, I.I., 1992: Cainocoic climatic change. *Gidrometeoizdat*, 247 pp., St.Petersburg, Russia.

Boroviczeny, F. et al., 1990: TU - Forschungsbericht 13 : Wasserhaushalt Leithagebirge – Südostabdichtung. Forschungsanstalt Arsenal Wien, TU Wien, Forschungszentrum für Wasserwirtschaft Budapest, Wasserwirtschaftsdirektion Nordtransdanubien Győr.

Boroviczeny, F. et al., 1992: TU - Forschungsbericht 16 : Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geophysik und Geochemie 1980-1990. Forschungsanstalt Arsenal Wien, TU Wien, Forschungszentrum für Wasserwirtschaft Budapest, Wasserwirtschaftsdirektion Nordtransdanubien Győr.

Boroviczeny, F. et al., 1985: TU - Forschungsbericht 6 : Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedlersee mit Hilfe der Geochemie und Geophysik. Forschungsanstalt Arsenal Wien, TU Wien, Forschungszentrum für Wasserwirtschaft Budapest, Wasserwirtschaftsdirektion Nordtransdanubien Győr.

Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, 1966: Bericht über die Grundwasserströmung am Ostufer des Neusiedlersees. Forschungsanstalt Arsenal, Wien.

Burgenländische Landesregierung : Burgenland Landeskunde, Kapitel "Das Klima". Österreichischer Bundesverlag für Unterricht, Wissenschaft und Kunst, Wien.

Burian, K., Sieghardt, H., 19XX : The primary producers of the Phragmites belt, their energy utilisation and water balance. Buch Neusiedlersee, Dr. W. Junk by Publishers.

Christensen, J.H., T.R. Carter, and F. Giorgi, 2002: PRUDENCE Employs New Methods to Assess European Climate Change, EOS, AGU, 83, 147.

Csaplovics, E., 1998: High Resolution digital terrain models of shallow lake basins - towards modelling dynamics of sedimentation for multithematic ecosystems research. Universität Dresden, IAPRS, Vol 32, Part 4 "GIS - Between Visions and Applications".

Csaplovics, E., 1989: Die geodätische Aufnahme des Bodens des Neusiedler Sees - mit besonderer Berücksichtigung des Schilfgürtels und der Lamelle 115,50 bis 116, 50 m ü. A.. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 84, Burgenländisches Landesmuseum.

Csaplovics, E. et al., 1997: Digitale Geländemodelle des Neusiedler See- Beckens. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Band 97, Burgenländisches Landesmuseum.

Darnhofer, T., 1971: Verdunstungsstudien im Schilfgürtel des Neusiedler Sees, Dissertation.

Darnhofer, T., 1973: Verdunstung im Schilfgürtel des Neusiedlersee. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 52, Burgenländisches Landesmuseum.

Dick G., Dvorak M., Grüll A., et al., 1994: Vogelparadies mit Zukunft? Ramsar-Gebiet Neusiedler See – Seewinkel. Umweltbundesamt.

Dobesch, H., 1973: Das Wind-, Temperatur- und Feuchteprofil über einer freien Wasserfläche. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 22, 47-70, Springer.

Dobesch, H., 1984: Evapotranspiration grüneschnittenen Schilfes (Naturraumpotential Neusiedler See, Auswirkungen des Grünschnittes auf den Schilfgürtel). Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, AGN Sonderband 72.

Dobesch, H., 1987: Windinduzierte Strömungscharakteristiken und Pegelschwankungen des Neusiedlersees. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.

Dobesch, H., Motschka, O., Neuwirth F., 1973: Klimadaten des Neusiedlerseegebietes - I. Teil / II. Teil Lufttemperaturen / relative Luftfeuchte 1966 – 1970. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Publikation Nr. 203.

Dobesch, H., Neuwirth, F., 1983: Das Klima des Raumes Neusiedler See. Burgenländische Landesregierung, Raumplanung Burgenland 1983/1.

Dobesch, H.; Neuwirth, F. 1975: Kleinräumige Unterschiede des Windfeldes im Südteil des Neusiedler See. Wetter und Leben, Jahrgang 27, 1975, Seiten 38 – 46.

DVWK (Hrsg.), 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Bonn, Merkblätter 238/1996, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser.

Eckel, O., 1953: Zur Thermik des Neusiedlersees. Sonderdruck aus "Wetter und Leben", Jahrgang 5, Heft 3-4.

Eitzinger, J., Csekits, C., Formayer, H., 1996. Analyse des Wassertemperaturregimes im Marchfeldkanal - Teil 1 : Jahresverlauf der Wassertemperatur im Marchfeldkanal und die wichtigsten äußeren Einflußfaktoren.- Die österreichische Wasserwirtschaft, Jg. 48, Heft 4, 1996.

Eitzinger, J., Marinkovic, D., Hösch, J., 2002. Sensitivity of different evapotranspiration calculation methods in different crop-weather models. In : Integrated Assessment and Decision Support

proceedings of the 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society (ed. Rizzoli, A.E. and Jakeman, A.J), IEMSs 2002, 24-27 June 2002, Lugano, Switzerland, Vol. 2, 395-400 (ISBN :88-900787-0-7).

Eitzinger, J., Štastná, M., Žalud, Z., Dubrovský, M., 2003. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management*, 61, 3, 163-234.

Eitzinger, J., Kubu, G., Lemeshko, N., Minin, V., Nikolaev, M., Toude, J., Uskov, I., 2004: Modern methodologies in agrometeorology and soil hydrology for sustainable land management in Austria and Russia. International Association on Mechanization of Field Experiments (IAMFE) In: Semenov, V. et al., AAFEI, www.agri.spb.ru: IAMFE/RUSSIA 2004: The 12th International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments, 5-9 July 2004, St. Petersburg, Russia; International Association on Mechanization of Field Experiments (IAMFE), 218-228, www.iamfe.org.

Fleckseder, H., 1990: Forderungen vom Seebecken her. Tagungsband Schutz und Entwicklung grosser Mitteleuropäischer Binnenseelandschaften.

Formayer, H., Haas, P., Matulla, C., Frank, A., Seibert, P., 2005: Untersuchungen regionaler Klimaänderungsszenarien hinsichtlich Hitze- und Trockenperioden in Österreich. Endbericht von StartClim2004.B; in StartClim2004: Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Endbericht.

Frei, C., J. H. Christensen, M. Deuque, D. Jacob, R. G. Jones, and P. L. Vidale, 2003: Daily precipitation statistics in regional climate models: Evaluation and intercomparison for the European Alps, *J. Geophys. Res.*, 108(D3), 4124.

Gattinger, T.E., 1975: Das hydrogeologische Einzugsgebiet des Neusiedler Sees, Geologische Bundesanstalt, Wien. *verh. Geol. B.-A.*, Jg. 75, Heft 4, S. 331-346.

Haas, P., Haidinger, G., Mahler, H., Reitinger, J., 1992: TU - Forschungsbericht 14 : Wasserhaushalt Leithagebirge – Südostabdichtung. TU Wien, Forschungsbericht 14, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft TU Wien.

Haas, P., Haidinger, G., Mahler, H., Reitinger, J., 1987: TU - Forschungsbericht 9 : Grundwasserhaushalt Wulkaeinzugsgebiet. Forschungsanstalt Arsenal Wien, TU Wien, Forschungszentrum für Wasserwirtschaft Budapest, Wasserwirtschaftsdirektion Nordtransdanubien Győr, Landesamt für Wasserwirtschaft Budapest.

Haiden, T., Schultheis, R., 1995: Verfahren zur Abschätzung der Auswirkung von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt von Einzugsgebieten. *Analytische Meteorologie*, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, Forschungsprojekt im Auftrag des BMLF.

Hainisch, S., 1927: Die Zukunft des Neusiedlersees. *Die Wasserwirtschaft*, Nr. 24, S. 569.

Hann, W., 1975: Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees. Dissertation.

Harlfinger, O., 1971: Hydrometeorologische Studien im Gebiet des Seewinkels. *Wiss. Arb. Aus dem Burgenland*, Heft 47; Dissertation, Hrsg.: Burg. Landesmuseum, Eisenstadt (Amt d. Bgld. Land. Reg. Abt. XII/3).

Harlfinger, O., Knees, G., 1999: *Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung*. Band 1. ISBN: 3-7030-0341-3.

Hewitson, B., and R. Crane, 1996: Climate downscaling: techniques and application. *Clim. Res.*, 7, 85–95.

Hounam, C.E., 1973: Comparison between pan and lake evaporation. World Meteorological Organisation, Technical Note No. 126, WMO - No. 354.

IPCC, 2001: *Climate Change 2001 - The Scientific Basis*. Cambridge University Press, 881 pp.

Kalmar, I., 1982: Hydrographische Verhältnisse des Neusiedlersees. In: Antal, E., Kalmar, I., Kovats, Z., Kozma, F., Kozmane T.E., Nagyne, D.A., Pannonhalmi, M., Walkovsky, A., 1982: Naturverhältnisse des Neusiedlersees (A fertő-to termeszeti adottsagai). Az Eszaktudományi Vizügyi Igazgatóság és az Országos Meteorológiai Szolgálat, ISBN 9630221284; ISBN 9637701591, Budapest, 1982.

Klaghofer, E., 1980: Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 32, Heft 1/7, 1980.

Kopf, F., 1974: Beiträge zur Wasserwirtschaft im pannonischen Raum Österreichs. Der Neusiedler See - Wasserbilanz und Stabilisierung durch die Bedienungsvorschrift für die Schleuse im Einserkanal, 203-229.

Kopf, F., 1974: Der neue Wasserhaushalt des Neusiedler Sees, Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 26, Heft 7/8, Springer.

Kovats, 1982: In : Csaplovics, E. et al., 1997: Digitale Geländemodelle des Neusiedler See- Beckens. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Band 97, Burgenländisches Landesmuseum.

Linacre, E.T., 2004. Evaporation trends. Theoretical and Applied Climatology, 2004.

Mahringer, W., 1970: Verdunstungsstudien am Neusiedler See. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 18, 1-20, Springer.

Mahringer, W., 1966: Über die Einrichtung meteorologischer Stationen zur Bestimmung der Verdunstung des Neusiedlersees. Sonderdruck aus "Wetter und Leben", Jahrgang 18, 1966, S. 223-229.

Mahringer, W., 1970: Verdunstungsstudien am Neusiedler See. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 18, 1-20, Springer.

Mahringer, W., 1969: Der Strahlungshaushalt des Neusiedlersees im Jahre 1976. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 17, 51-72, Springer.

Mahringer, W., Motschka, O., 1968: Meteorologische Untersuchungen am Neusiedlersee im Jahre 1967 im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade. Wetter und Leben, Jahrgang 20, 1968, 159 – 163.

Matulla, C, P. Haas, S. Wagner, E. Zorita, H. Formayer, and H. Kromp-Kolb 2004: Anwendung der Analogmethode in komplexem Terrain: Klimaänderungsszenarien auf Tagesbasis für Österreich. GKSS report 2004/X, GKSS research center, Max-Planck-Strasse D-21502 Geesthacht.

Melkonian, A. et al., 1979: Beitrag zur Verdunstung aus freien Wasseroberflächen. Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH, Chem.-Ing.-Tech. 51 (1979) Nr. 8, S. 798-800, Verlag Chemie, GmbH, D-6940 Weinheim.

Neuwirth, F., 1978: Die Bestimmung der Verdunstung einer freien Wasserfläche aus längerfristigen Mittelwerten. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 25, 337-344, Springer.

Neuwirth, F., 1971: Ergebnisse von vergleichenden Messungen mit Verdunstungswannen im Gebiet des Neusiedler Sees. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 20, 361-382, Springer.

Neuwirth, F., 1976: Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees, Sonderdruck aus "Wetter und Leben", Jahrgang 28, 1976, S. 166-177. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 20, 361-382, Springer.

Neuwirth, F., 1974: Über die Brauchbarkeit empirischer Verdunstungsformeln dargestellt am Beispiel des Neusiedler Sees nach Beobachtungen in Seemitte und in Ufernähe. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 22, 233-246, Springer.

Neuwirth, F., 1975: Die Abhängigkeit der Verdunstung einer freien Wasserfläche (Neusiedler See) von meteorologischen Einzelelementen. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 24, 53-67, Springer.

Neuwirth, F., 1973: Experiences with evaporation pans at a shallow steppe-lake in Austria. Proceedings of the Helsinki Symposium, Hydrology of Lakes, July 1973, IAHS - AISH Publication No. 109.

Neuwirth, F., 1976: Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees. Wetter und Leben, Jahrgang 28, 1976, 166-177.

Neuwirth, F., 1980: Die Abschätzung der Verdunstung des Neusiedler Sees aus einfachen Klimawerten. Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 29, 373-386, Springer.

Österreichisch- Ungarische Gewässerkommission, 1996: 40 Jahre Österreichisch- Ungarische Gewässerkommission (1956-1996), Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, A-1010 Wien; Ministerium für Verkehr, Nachrichtenwesen und Wasserwirtschaft, H-1077 Budapest, Jubiläumsschrift.

Pichler, J., 1969: Entwicklung und wissenschaftliche Forschung des Neusiedlersees (Fertő-to) und seiner Umgebung. Ungarische Hydrologische Gesellschaft, Hidrológiai Közlöny 1969, 7. sz.

Plattner, J., 1997: Hochwasserereignis 1995/96 am Neusiedler See, im Seewinkel und Hansag. Bericht, Dipl. Ing. Josef Plattner, Zivilingenieur f. Kulturtechnik u. Wasserwirtschaft, Wien.

Plattner, J., 2000: Anpassung der bestehenden Bedienungsvorschrift für die Wehranlage im Hansagkanal - Auswirkungen auf die Wasserstände des Neusiedler Sees. Bericht, Dipl. Ing. Josef Plattner, Zivilingenieur f. Kulturtechnik u. Wasserwirtschaft, Wien.

Plattner, J., 1995: Hydrologische und wasserwirtschaftliche Grundlagen für die Neufassung der Bedienungsvorschrift für die Wehranlagen im Hansagkanal - Entwurf für die Neufassung. Bericht, Dipl. Ing. Josef Plattner, Zivilingenieur f. Kulturtechnik u. Wasserwirtschaft, Wien.

Plattner, J., 2004: Bericht Ökodynamische Rehabilitierung des Neusiedler Sees - Hydrologie – Quantität. Bericht, Dipl. Ing. Josef Plattner, Zivilingenieur f. Kulturtechnik u. Wasserwirtschaft, Wien.

Plattner, J., 1999: Wasserhaushalt und Wasserstandsregelung des Neusiedler Sees - Untersuchungen im Rahmen der Österreichisch- Ungarischen Gewässerkommission. Bericht Dipl. Ing. Josef Plattner, Zivilingenieur f. Kulturtechnik u. Wasserwirtschaft, Wien.

Reitinger, J. et al., 1993: Der Wasserhaushalt des Neusiedlersees und seines Umlandes - Schlussfolgerungen für den Pannonischen Raum. Trend Kommerz GmbH, Universität für Forstwirtschaft und Holzindustrie, Symposium "Wasser im Pannonischen Raum", Sopron 18. Mai 1993, p. 54-65.

Richter, D., 1969: Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen dargestellt am Beispiel des Stechlinsees. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik Nr. 88, Band XI, Akademie- Verlag, Berlin.

Riedinger, 1940: Wasserwirtschaftlicher Generalplan für den Neusiedler See - Technischer Bericht. Burgenländische Landesregierung.

Röckner, E., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Christoph, and I. Kirchner, 1996: ENSO variability and atmospheric response in a global coupled atmosphere-ocean GCM. Climate Dyn., 12, 737–745.

Sauerzopf, F., 1959: Die Wasserstandsschwankungen des Neusiedlersees. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 23, Burgenländisches Landesmuseum.

Sauerzopf, F., 19XX : Zur Frage der Wasserstandsschwankungen des Neusiedlersees. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 29, Burgenländisches Landesmuseum.

Schmid, Th., 1927: Die Zukunft des Neusiedlersees. Sonderabdruck aus "Die Wasserwirtschaft", Jahrgang 1927, Heft 16,17, Die Wasserwirtschaft, Wien III.

Schöner, W., I. Auer, R. Böhm, and S. Thaler, 2003: Quality control and statistical characteristics of selected climate parameters on the basis of daily values in the face of Extreme Value Analysis (Ger-

man). In: StartClim – Start Project: First analysis of extreme weather events and their impacts on Austria, H. Kromp-Kolb and I. Schwarzl (Eds.), Chapter 1, pp. pp 54. Institute of Meteorology and Physics, BOKU - University of Natural Resources and Applied Life sciences, Türkenschanzstraße 18, A-1180 Vienna, Austria. <http://www.austroclim.at/startclim/>.

Schreiner, E., 1959: Der Jahresgang der Wasserführung des Neusiedlersees. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Heft 23, Burgenländisches Landesmuseum.

Semenov, M., R. Brooks, E. Barrow, and C. Richardson, 1998: Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Clim. Res.*, 10, 95–107.

Stalzer, W., 1980: Gewässerschutzplanung, deren Umsetzung und Zielkontrolle im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees. Burgenländische Landesregierung.

Steinhauser, F., 1970: Kleinklimatische Untersuchung der Windverhältnisse am Neusiedler See. 1. Teil: Die Windrichtungen. IDÖJÁRÁS, Különlenyomat Separatum, 74. Evfolyam, 1-2, Országos Meteorológiai Szolgálat.

Steinhauser, F., 1982: Verteilung der Häufigkeiten der Windrichtungen und Windstärken in Österreich zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Heft 53.

Szalay, G. et al., 1989: Hungary and the Interhational Hydrological Programme (IHP), Unesco, 1965-1980.

Uppala, S., 2003: ECMWF ReAnalysis 1957–2001, ERA-40. Proceedings of the Workshop on Reanalysis 5–9 Nov. 2001, ECMWF. 1–10.

Wilfinger, H., 1976: Die klimatischen Verhältnisse des Seewinkels. Öst. Bodkdl. Ges., 1976.

Woldemar, L., 1972: Bibliographie des Neusiedlersee- Gebietes. Győr, 1972

Zorita, E., H. von Storch, 1999: The analog method - a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J. Climate*, 12, 2474–2489.

Bisher erschienen in der Reihe BOKU-Met Report:

- 1** Eitzinger, J., Kubu, G., Formayer, H., Haas, P., Gerersdorfer, T., Kromp-Kolb, H. (2009): Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedlersees (Endbericht im Auftrag der Burgenländischen Landesregierung vom 15. Juli 2005).