



KliWES – Nebelkorrektur

Schriftenreihe, Heft 16/2013



Erarbeitung einer Nebelkorrektur für
meteorologische Daten mit einem
geeigneten Verfahren im Rahmen des
FuE-Projektes KliWES –
Klimawandel und Wasserhaushalt
(Klimaprojektionen)

Dr. Robert Schwarze, Dr. Werner Dröge, Corina Hauffe, Agnes Baldy, Michael Wagner

1	Einleitung	10
2	Grundlagen	11
2.1	Literaturrecherche	11
2.2	Datengrundlage	12
2.2.1	Hydrologische Daten	12
2.2.2	Meteorologische Daten.....	13
2.2.3	Geodaten.....	13
3	Methodik und Ergebnisse.....	14
3.1	Sachsenweite Analysen von Beobachtungsdaten zur Berechnung einer Nebelkorrektur als Restglied einer Wasserhaushaltsbilanzierung	14
3.1.1	DIFGA-Methode	14
3.1.2	Ergebnisse der DIFGA-Analysen	17
3.1.3	Untersuchung unausgeglichener Wasserhaushaltsbilanzen	20
3.1.4	Vorgehensweise zur Korrektur des Niederschlages für die DIFGA-Gebiete im Zeitraum 1951–2005.....	24
3.1.5	Beispiel für eine Nebelkorrektur – Ergebnisse aus dem Gebiet Rehefeld 2	25
3.1.6	Zusammenfassung der Nebelkorrekturwerte für alle untersuchten DIFGA-Gebiete.....	32
3.1.7	Untersuchung des Einflusses der Höhe auf die Korrekturwerte des Niederschlages	36
3.2	Untersuchungen zu einer prozessbezogenen Berücksichtigung von Nebelniederschlägen	38
3.3	Regional flächendeckende Berücksichtigung des Nebelniederschlages bei der Wasserhaushaltsmodellierung	41
3.3.1	Regionalisierung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Beobachtungszeitraum 1951–2005	41
3.3.2	Regionalisierung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Zeitraum ab 2006.....	51
4	Zusammenfassung und Ausblick	54
5	Literaturverzeichnis	56
6	Anlage	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schema des Differenzenganglinienanalyseverfahrens DIFGA aus SCHWARZE & BEUDERT (2009)	15
Abbildung 2:	Beispiel für den Wasserhaushalt des Winters 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz bei Verwendung der Ausgangswerte des Niederschlagsgebietsmittels	18
Abbildung 3:	Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Ammeldorf für den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 31.10.2007	22
Abbildung 4:	Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Lauenstein 1 für den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 31.10.2007	23
Abbildung 5:	Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Deutschgeorgenthal für den Zeitraum vom 01.01.1966 bis zum 31.10.2007	23
Abbildung 6:	Beispiel für den Wasserhaushalt des Winters 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz bei Verwendung der korrigierten Werte des Niederschlagsgebietsmittels	25
Abbildung 7:	Erforderliche Korrektursummen für den Niederschlag je Winterhalbjahr Einzugsgebiet des Pegels Rehefeld 2	29
Abbildung 8:	Doppelsummenanalyse zwischen den Ausgangswerten bzw. den korrigierten täglichen Werten des Gebietsniederschlags und den Durchflüssen am Pegel Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum 1951–2005	30
Abbildung 9:	Übersicht zu dem Einsetzen der Beobachtung an den Niederschlagsstationen im Bereich des Einzugsgebietes der Wilden Weißeritz bis zum Pegel Rehefeld 2 für den Zeitraum 1951–1978	30
Abbildung 10:	Verlauf der Nebelkorrektursummen im Winterhalbjahr für die Untersuchungsgebiete im Zeitraum 1951–1977	34
Abbildung 11:	Verlauf der Nebelkorrektursummen im Winterhalbjahr für die Untersuchungsgebiete im Zeitraum 1978–2005	35
Abbildung 12:	Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der mittleren Höhe des Einzugsgebietes	36
Abbildung 13:	Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der maximalen Höhe des Einzugsgebietes	36
Abbildung 14:	Zusammenhangsuntersuchung von Waldanteil und Höhenstufe	37
Abbildung 15:	Beispiel für den Verlauf der täglichen Nebelkorrektur am Pegel Lauenstein für den Winter 1998/1999 im Zusammenhang zur Lufttemperatur und zum Nebelintensitätsfaktor TNBW1 (aus HOFFMANN 2012, überarbeitet)	40
Abbildung 16:	Beispiel für den Verlauf der täglichen Nebelkorrektur am Pegel Rehefeld 2 für den Winter 1998/1999 im Zusammenhang zur Lufttemperatur und zum Nebelintensitätsfaktor TNBW1 (aus HOFFMANN 2012, überarbeitet)	40
Abbildung 17:	DIFGA-Gebiete, für die Korrekturwerte existieren	41
Abbildung 18:	Teileinzugsgebiete und Raster der Klimadaten	42
Abbildung 19:	Regressionsgeraden der mittleren Korrekturwerte in Abhängigkeit von der mittleren Gebietshöhe; blau dargestellt für normale Gebiete und rot dargestellt für fünf besonders zu korrigierende Gebiete (Liebstadt 2, Lauenstein 1, Deutschgeorgenthal 2, Rehefeld 2, Johannegeorgenstadt 2)	43
Abbildung 20:	Verhalten der mittleren positiven Korrekturwerte (blau) und der mittleren negativen Korrekturwerte (rot) mit der mittleren Gebietshöhe	43
Abbildung 21:	Vergleich der sortierten Korrekturwerte der DIFGA-Gebiete (Abszissenachse) mit den flächengewichteten Korrekturwerten der Teileinzugsgebiete in den DIFGA-Gebieten (Ordinatenachse); die rote Linie ist die 1:1-Gerade	45
Abbildung 22:	Skizze des Bereiches, für den die Regionalisierung der Korrekturwerte durchgeführt wurde	48
Abbildung 23:	Beispiel der regionalisierten Korrekturwerte am 15.03.1951	48
Abbildung 24:	Vergleich der sortierten Korrekturwerte der DIFGA-Gebiete (Abszissenachse) mit den mittleren Korrekturwerten aus dem Raster der Klimadaten in den DIFGA-Gebieten (Ordinatenachse); die rote Linie ist die 1:1-Gerade	50
Abbildung 25:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Januar	51

Abbildung 26: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im April	52
Abbildung 27: Vergleich der mittleren Korrektursummen nach der DIFGA-Analyse mit den mittleren Korrektursummen aus der Regionalisierung in den DIFGA-Gebieten; rote Linie - 1:1-Gerade	53
Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Höhe und mittleren Korrekturwerten für das Winterhalbjahr in DIFGA-Gebieten sowie Korrekturwerten für das Winterhalbjahr in Waldgebiete nach FLEMMING (1983) (s. Tabelle 3).....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der vorliegenden Datenreihen zur Sichtweite	13
Tabelle 2:	Zusammenstellung der Einzugsgebiete mit unausgeglichener Wasserhaushaltsbilanz	19
Tabelle 3:	Maximale Nebelniederschlagssummen für Sommer- und Winterhalbjahr sowie Jahr in Waldgebieten Mitteleuropas in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel nach FLEMMING (1983)	20
Tabelle 4:	Vergleich mittlerer Wasserhaushaltsgrößen der Einzugsgebiete Ammeldorf und Zöblitz mit und ohne Berücksichtigung von Nebelniederschlag nach FLEMMING (1983)	21
Tabelle 5:	Unausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum Januar 1951 bis Dezember 2005 unter Verwendung der Ausgangsdaten des Gebietsniederschlags	27
Tabelle 6:	Ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum Januar 1951 bis Dezember 2005 unter Verwendung des nebelkorrigierten Gebietsniederschlags	28
Tabelle 7:	Abbild des Datenbankinhaltes für tägliche Korrekturbeträge im Zeitraum 01.02.1999 bis 28.02.1999	33
Tabelle 8:	Charakteristische Gebietshöhen in mNN in den Einzugsgebieten Lauenstein 1 und Rehefeld 2	39
Tabelle 9:	Anzahl an Tagen, die zur Mittelung herangezogen werden können	51

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen in der Anlage

Abbildung A1:	Skizze des Bereiches, in dem die Regionalisierung der Korrekturwerte durchgeführt worden ist.....	67
Abbildung A2:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Januar	67
Abbildung A3:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Februar.....	68
Abbildung A4:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im März	68
Abbildung A5:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im April.....	69
Abbildung A6:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Mai	69
Abbildung A7:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im November.....	70
Abbildung A8:	Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Dezember.....	70
Tabelle A1:	Zusammenstellung der Nebelkorrektursummen je Winterhalbjahr vom 1.11. bis 30.4. in den untersuchten Einzugsgebieten (Teil 1).....	59
Tabelle A2:	Zusammenstellung der Nebelkorrektursummen je Winterhalbjahr vom 1.11. bis 30.4. in den untersuchten Einzugsgebieten (Teil 2).....	63

Abkürzungsverzeichnis

AFMS	Automatisch-Fern-Meldende-Station
ArcEGMO	Hydrotopbasiertes Wasserhaushaltsmodell der Firma BAH, EGMO – Einzugsgebietsmodell
CG1	Kurzfristige Rückgangskonstante
CG2	Langfristige Rückgangskonstante
DEF	Bilanzfehler
DGL	Differenzenganglinie
DGM	Digitales Geländemodell
DIFGA	Differenzenganglinienanalyseverfahren
DSA	Doppelsummenanalyse
DWD	Deutscher Wetterdienst
ELS	Einzellinearspeicher
ETR	Reale Evapotranspiration
EZG	Einzugsgebiet
FGW	Fließgewässer
GIS	Geoinformationssystem
GWN	Grundwasserneubildung
HAD	Hydrologischer Atlas Deutschland
HÜK200	Hydrogeologische Übersichtskarte im Maßstab 1 : 200 000
IHM	Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden
KliWES	Forschungsvorhaben mit folgendem Thema: Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
P	Niederschlag (Allgemeine Bedeutung), im Zusammenhang mit DIFGA wird darunter insbesondere der korrigierte Niederschlag bzw. die Wasserabgabe aus der Schneedecke verstanden
Q	Durchfluss
QD	Direktabfluss
QG	Grundwasserabfluss
QG1	Schneller Grundwasserabfluss
QG2	Langsamer Grundwasserabfluss
ReKIS	Regionales Klimainformationssystem
RD	Zufluss zum Direktabfluss
REST	Restglied aus der DIFGA-Analyse, bestehend aus realer Verdunstung und Füllung eines nur durch Verdunstung ausschöpfbaren Speichers
RG1	Abflussbildung des kurzfristigen Grundwasserabflusses
RG2	Abflussbildung des langfristigen Grundwasserabflusses
SG1	Angaben zum Gebietsspeicher des kurzfristigen Grundwasserabflusses
SG2	Angaben zum Gebietsspeicher des langfristigen Grundwasserabflusses
SG1grenz	Aufteilungsparameter des Grundwasserspeichers
TNBW1	Nebelintensitätsfaktor

Glossar

DIFGA-Einzugsgebiet	Bezeichnung für ein Einzugsgebiet, für das der Wasserhaushalt mit Hilfe von DIFGA berechnet wurde
DIFGA-Pegel	Bezeichnung für Pegel, an denen der Wasserhaushalt mit Hilfe von DIFGA erstellt worden ist
Einzugsgebiet	Ein Einzugsgebiet ist das Gebiet, aus dem Wasser einem bestimmten Ort zufließt. Dabei spielt es keine Rolle, ob dieser Zufluss ober- oder unterirdisch stattfindet. (DIN 4049-1, 1992)
Pegeleinzugsgebiet	Stellt ein Einzugsgebiet dar, welches am Gewässerauslass über einen Pegel verfügt und aus einem oder mehreren Teileinzugsgebieten besteht.
Regionalisierung	Übertragung von Eigenschaften aus einem Gebiet auf ein hydrologisch ähnliches Gebiet, in welchem diese Information fehlt durch regionale Übertragung oder flächenhafte Verallgemeinerung einer Größe oder Funktion bzw. der Parameter der Funktion innerhalb einer Skalenebene (BECKER, 1990). In der letzten Zeit wird dieser klassische Begriff der Regionalisierung erweitert um die „Regionale Übertragung“ über Skalengrenzen hinweg (vom Punkt auf die Fläche, von Meso- auf Makroskala, vom Globalmodell zum Lokalmodell etc.). Regionalisierung umfasst somit heute auch das Herauf- oder Herunterskalieren hydrologischer Größen (KLEEBERG et al., 1999).
Teileinzugsgebiet	Einzugsgebiet eines Punktes im Untersuchungsgebiet, i. d. R. im Gewässersystem (PFÜTZNER et al., 2007)

1 Einleitung

Für Wasserhaushaltsbilanzierungen ist es erforderlich, alle bilanzwirksamen Elemente zu erfassen. Dabei handelt es sich um die Wasserhaushaltselemente Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Speicherung, ggf. untergliedert in Teilkomponenten. Diese Größen können durch Messungen und/oder modellgestützte Berechnungen und/oder als Restglied einer Bilanzierung gewonnen werden. Im vorliegenden Bericht steht der Niederschlag im Fokus. Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass meteorologische Größen wie der Niederschlag nicht korrekt erfasst werden können und fehlerbehaftet sind. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Nach DIN 1319-1:1995 ist die Abweichung eines aus Messungen gewonnenen Wertes vom wahren Wert der Messgröße die Messabweichung, welche im allgemeinen Sprachgebrauch meist Messfehler genannt wird. Somit sind auch gemessene meteorologische Größen fehlerbehaftet. Im Falle des Niederschlages kommen als wesentliche Ursachen des Messfehlers die Lage der Station (Geschütztheitsgrad), das gewählte Messverfahren und die Niederschlagsart in Frage. Diese Einflussgrößen, welche systematisch zu einem geringeren Messwert gegenüber dem tatsächlich gefallenen Niederschlag führen, können mithilfe verschiedener Verfahren korrigiert werden. Üblich ist die Korrektur nach RICHTER (1995), welche auch im Projekt KliWES angewandt wurde (SCHWARZE et al. 2010).

Des Weiteren können mit den üblichen Verfahren der Niederschlagsmessung nicht alle Niederschlagsarten erfasst werden. Das betrifft primär den abgesetzten bzw. abgefangenen Niederschlag aus Nebel, Tau, Reif, Raureif und Raufrost. Diese Niederschlagsart wird üblicherweise bedingt durch die Art der verwendeten Messgeräte nicht an den Niederschlagstationen erfasst und somit auch bei der geläufigen Messwertkorrektur z. B. nach RICHTER (1995) nicht berücksichtigt. Der Wassergewinn aus derartigen Niederschlägen kann neben dem üblicherweise berücksichtigten Dargebot aus Regen und Schnee einen nicht unerheblichen Anteil am Gesamtniederschlagsdargebot eines Gebietes erreichen. Dies ist von örtlichen Gegebenheiten (Höhe, Vegetation, Anströmrichtung etc.), Wetterlage und Jahreszeit abhängig. Bei einer Nichtberücksichtigung abgesetzter und abgefangener Niederschläge kann es zu erheblichen Unstimmigkeiten in der Berechnung von Gebietswasserhaushaltsbilanzen kommen.

Die beschriebene Problematik trat bei den im Rahmen des KliWES-Projektes mit DIFGA2000 durchgeführten Analysen und Berechnungen des Wasserhaushalts sächsischer Einzugsgebiete insbesondere in der Erzgebirgsregion auf. Um einen plausiblen und bilanzreinen Wasserhaushalt zu erreichen, musste deshalb eine Methode zur Nebelkorrektur entwickelt werden.

Die hierfür benötigten Datengrundlagen werden in Kapitel 2 beschrieben. Anschließend wird das entwickelte Verfahren zur Berücksichtigung von Nebelniederschlägen erläutert (Kapitel 3). Im Kapitel 3.1.2 werden eine Methode, welche die Nebelkorrektur aus einem Restglied einer Wasserhaushaltsbilanz für den Beobachtungszeitraum 1951–2005 ermittelt, und deren Ergebnisse dargestellt. Im Kapitel 3.2 werden Möglichkeiten und Grenzen der Nebelkorrektur mit prozessbezogenen Modellen diskutiert. Eine Methode zur flächendeckenden Erfassung des Nebelniederschlages für die Wasserhaushaltsmodellierung und ihre Ergebnisse sowohl für den Beobachtungszeitraum als auch für Klimaprojektionsdaten werden im Kapitel 3.3 erläutert. Abschließend wird der vorliegende Bericht zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Arbeiten gegeben (Kapitel 4).

2 Grundlagen

Zur Entwicklung einer Methode für die Berücksichtigung von Nebelniederschlag wurde im Vorfeld eine Literaturrecherche durchgeführt (Kapitel 2.1). Kapitel 2.2 enthält die verwendete Datengrundlage.

2.1 Literaturrecherche

Bei einer Reihe von Gebieten insbesondere in den Kammlagen des Erzgebirges ist festgestellt worden, dass eine ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz mit dem zur Verfügung stehenden Wasserdargebot aus Niederschlag nicht erstellt werden kann. Eine einfache Wasserhaushaltsbilanz ergab, dass die Differenz aus den langjährigen mittleren Jahressummen des korrigierten Niederschlags und des beobachteten Abflusses zu geringe, unplausible Werte für die Verdunstung liefert. Fehler im Abfluss können i. d. R. ausgeschlossen werden oder sind bei bekannten Überleitungen und Entnahmen (z. B. Revierwasserlaufanstalt) im Erzgebirge bereits zu Beginn der Arbeiten in KliWES im Rahmen der Datenaufbereitung bereinigt worden. Als Ursache wird primär der nicht berücksichtigte sekundäre Niederschlagsgewinn z. B. aus Nebelniederschlag und Raufrost angenommen, der in Kammlagen Sachsens bei Waldbeständen nach Angaben von FLEMMING (1983) maximal zwischen 8 mm/a (in 200 mNN) und bis zu 240 mm/a (in 1.000 mNN) betragen kann. Diese Werte ergaben sich aus der Zusammenstellung verschiedener Arbeiten von GRUNOW (1964), LUFT (1970) und KREČMER et al. (1979). Angaben für Höhen oberhalb 1.000 mNN erfolgen bei FLEMMING nicht. Ein Vergleich der Werte von FLEMMING (1983) mit den Untersuchungsergebnissen findet sich in Kapitel 3.3.2.

Nach DYCK & PESCHKE (1995) beträgt der Nebelniederschlag oberhalb von 700 mNN bei voller Bewaldung 3 % bis 6 % des fallenden Niederschlags. Diese Niederschlagsart wird bei der konventionellen Messung nicht erfasst und ist demnach auch nicht in den aus den Stationsdaten erzeugten Gebietsniederschlägen enthalten.

Ansätze zur Beschreibung und Modellierung des Prozesses „Nebelniederschlag“ liegen mit den Arbeiten von z. B. PAHL (1996) und DÄHNE (1999) vor. Diese betreffen hauptsächlich die Beschreibung des Transports von Schadstoffen und deren Deposition auf Oberflächen durch Nebelauskämmung. QUECK (2003) beschreibt eine auf spezifische Rezeptoren (Baum, Vegetationsoberfläche usw.) bezogene Quantifizierungsmöglichkeit des Nebelniederschlags. Diese beruht auf einem Modell, welches als Eingangsgrößen u. a. die Windgeschwindigkeit und den Flüssigwassergehalt der Luft, der aus gemessenen Sichtweiten ermittelt werden kann, nutzt. Diese Depositionsmodelle lassen zwar grundsätzlich Rückschlüsse auf den Nebel zu, sind aber wegen ihrer enormen Datenanforderungen (Beschreibung des Rezeptors durch Kennwerte wie Albedo, Blattflächenindex, Typ, Alter, Wuchsklasse der Vegetation, Geometrie etc. sowie zeitlich hochaufgelöste Angaben zum Flüssigwassergehalt der Luft, zum Wind, zur vertikalen und horizontalen Erstreckung des Nebels etc.) für großräumige Untersuchungen derzeit nicht geeignet.

Grundsätzlich kann Nebel auch gemessen werden. Bei einer Methode wird der Nebel direkt an einem Nebelsammler (Netze oder Gitter, an denen der Nebel kondensiert und abläuft) abgefangen und die abgesetzte Wassermenge gemessen. Als Beispiel für eine derartige Messung ist die von GRUNOW (1964) entwickelte Hohenpeißenberger Methode bekannt. Sie ist für einen konkreten Standort möglich, jedoch nicht auf natürliche Verhältnisse großräumig übertragbar. Eine weitere Möglichkeit stellen Messungen der Sichtweite z. B. mittels Transmissiometer, ASOS (automated surface observing system) dar. Auch diese beschreiben nur die Verhältnisse unmittelbar am Messort. Messungen liegen zudem nur für wenige Orte (z. B. Flughäfen, einige Klimahauptstationen) vor. Eruierte Daten für die Untersuchungsregion enthält die Tabelle 1. Großräumige Angaben zum Nebel ermöglichen zunehmend Fernerkundungsdaten wie Satelliten-, Radar- und Lidar-

sungen. Satellitendaten gewinnen mit zunehmender Verbesserung der Auflösung immer mehr an Bedeutung. Sie sind jedoch nicht unproblematisch, weil der Nebel im sichtbaren Bereich durch Wolken verdeckt werden kann. Auch benötigt die Auswertung von Satellitenmessungen Zeit und sehr viel Erfahrung. Über Radar besteht die Möglichkeit, auch Temperaturinversionen der Atmosphäre zu messen, was in Bezug auf die Nebelentstehung genutzt werden kann. Ein Lidar ermöglicht es auch, sehr kleine Tröpfchen in der Atmosphäre zu erfassen. Lidar (Light detection and ranging) ist verwandt mit Radar (radiowave detection and ranging) und kann zur optischen Fernmessung atmosphärischer Parameter eingesetzt werden. Statt Funkwellen (Radar) werden Laserstrahlen (Lidar) verwendet. Ausführungen zu den hier skizzierten Methoden sind z. B. in WEITKAMP (2005), FUJII (2005) und ANSMANN (1997) enthalten.

Weil diese Messungen nicht flächendeckend, nicht über den gesamten Untersuchungszeitraum verfügbar und bei der Auswertung i. d. R. mit sehr großem technischen Aufwand verbunden sind, ist eine Lösung der Problemstellung unter Verwendung von Messwerten sachsenweit im Rahmen des Vorhabens KliWES nicht möglich.

Als letztlich zu verwendendes Verfahren erscheint die Ermittlung der abgesetzten/abgefangenen Nebelniederschlagsmenge P_{Nebel} als Restglied aus der Wasserhaushaltsbilanzgleichung für langjährige Betrachtungszeiträume besser geeignet zu sein.

$$P_{\text{Nebel}} = P_{\text{beob}} - R - \text{ETR} \quad (1)$$

Auf dieser Methode basieren auch die eingangs dieses Abschnittes genannten Zahlen von FLEMMING (1983) und DYCK & PESCHKE (1995). Hierfür stehen langjährige Datenreihen von 1951–2005 zur Verfügung, die im Rahmen der DIFGA-Analysen für untersuchte Einzugsgebiete in Sachsen ausgewertet wurden. Das Problem hierbei besteht in der Trennung von abgesetzten bzw. abgefangenen Niederschlagsmengen, die nicht in der regulären Niederschlagsmessung erfasst wurden. Hinzukommen die Messfehler der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag und Abfluss.

2.2 Datengrundlage

Unabhängig vom Ergebnis der Literaturrecherche und der letztlich für die Nebelkorrektur verwendeten Methodik wird auf jeden Fall untersucht, ob eine Bestimmung von Nebelniederschlägen aus der Analyse langjähriger Beobachtungsreihen von Wasserhaushaltsgrößen möglich ist. Dafür soll das Analyseverfahren DIFGA eingesetzt werden. DIFGA berechnet mit einem inversen Verfahren den Gebietswasserhaushalt aus beobachteten Niederschlägen und Abflüssen. Für die Bearbeitung eines Einzugsgebietes mit DIFGA werden pro Gebiet Angaben zum Pegel und der dazugehörigen Durchflussreihe (Kapitel 2.2.1), zu den meteorologischen Gegebenheiten (Kapitel 2.2.2) und hydrogeologischen Eigenschaften des Einzugsgebietes (Kapitel 2.2.3) benötigt. Diese Angaben wurden vor der Bearbeitung eines DIFGA-Gebietes GIS-gestützt aus der KliWES-Geodatenbasis ermittelt. Umfangreichere Informationen zu den einzelnen Datengrundlagen können SCHWARZE et al. (2010a) und SCHWARZE et al. (2012) entnommen werden.

2.2.1 Hydrologische Daten

Für die DIFGA-Analysen werden langjährige, unbeeinflusste, lückenlose, homogene und konsistente Durchflussreihen benötigt. Vorhandene Lücken wurden durch eine Regressionsanalyse und anschließende Mehrfachregression aus Informationen benachbarter Einzugsgebiete geschlossen. Bei der Analyse der Gebiete mit DIFGA werden Datenfehler, die bei der Lückenfüllung nicht im Detail geprüft wurden, korrigiert. Unter Datenfehler sind z. B. Zahlendreher oder unplausible Sprünge in den Daten zu verstehen. Soweit derartige Fehler

oder Unplausibilitäten in den Reihen festgestellt wurden, sind die betroffenen Reihen bereinigt worden. Diese genauer geprüften Durchflussreihen liegen vollständig für den Untersuchungsraum Sachsen vor. Diese Datenaufbereitung ist in den zuvor genannten Berichten umfassend dokumentiert.

2.2.2 Meteorologische Daten

Als meteorologischer Input für DIFGA-Analysen sind die gemäß RICHTER (1995) korrigierten Gebietsmittel des Niederschlags oder der Wasserabgabe aus Schneedecken in täglicher Auflösung notwendig. Für die Berechnung des Wasserhaushaltes für den Ist-Zustand mittels DIGFA war die Bereitstellung von längeren Niederschlags- und Temperaturreihen erforderlich. Deshalb wurden für den Zeitraum 1951–1960 die bisher verwendeten Klimadaten gemäß SCHWARZE et al. (2010a) verwendet. Ab 1961–2005 konnten die aus den Stationsdaten berechneten Gebietsmittel genutzt werden. Die Methodik für die Bestimmung der Niederschlagsgebietsmittel für DIFGA ist in DRÖGE (2011) und SCHWARZE et al. (2010) beschrieben. Zur Berechnung des Schneedeckenauf- und -abbaus wird das Schneemodell nach GURTZ (1988) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Tagesgradverfahren, welches den Niederschlag und die Tagesmitteltemperatur zur Berechnung der Schneeakkumulation und Schmelzwassermengen nutzt.

Für stärker prozessorientierte Untersuchungen zur Nebelproblematik sind umfassendere meteorologische Informationen erforderlich. Das betrifft zum einen die breitenverfügbaren Daten Windgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte. Diese sind in der KliWES-Datenbank sachsenweit verfügbar. Zum anderen sind unmittelbare Angaben zum Nebel selbst (z. B. Flüssigwassergehalt der Luft und Sichtweite, mindestens täglich, besser zeitlich höher aufgelöst) erforderlich, die bisher in der Datenbank nicht enthalten sind. Eine Anfrage beim DWD ergab, dass als für das Vorhaben geeignete Datensätze nur Messwerte der Sichtweite zur Verfügung stehen. Die Daten zur Sichtweite wurden beschafft, was aber nur für die in Tabelle 1 genannten Stationen und Zeiträume möglich war. Aus der Sichtweite lassen sich Aussagen zur Nebelhäufigkeit und -intensität ableiten (siehe Kapitel 3.2).

Tabelle 1: Zusammenstellung der vorliegenden Datenreihen zur Sichtweite

DWD-Station	Tageswerte (vollständige Winterhalbjahre)	Stundenwerte (max. 240 Fehlerte im Jahr)
Carlsfeld	1996–2000; 2007–2010	1993–2011
Chemnitz	1952–2011	1983–1988; 1991–2011
Fichtelberg	1952–2011	1981–1985; 1993–2011
Marienberg	1976; 1997–2000; 2008–2011	1992–1993; 1996–1998; 2001–2011
Zinnwald-Georgenfeld	1972–1977; 1980; 1991–2011	1983–1984; 1992–2011

2.2.3 Geodaten

Neben den Abfluss-, Niederschlags- und Temperaturdaten werden Geodaten benötigt. Die Geodaten werden für die Berechnung des Wasserhaushaltes benötigt. Weiterhin stellen sie auch die Grundlage für die Regionalisierung der Nebelkorrektur insbesondere für hydrologisch unbeobachtete Gebiete dar. Folgende Geodaten waren erforderlich: Hydrogeologische Karte (HÜK200), Gewässernetz, Einzugsgebietsgrenzen und Digitale Geländemodelle. Die Geodaten lagen in der KliWES-Geodatenbank bereits vor.

3 Methodik und Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Methodik und die Ergebnisse der Berücksichtigung der Nebelniederschläge für Wasserhaushaltsberechnungen in Sachsen erläutert.

Mithilfe von DIFGA werden für ausgewählte Gebiete in Sachsen Wasserhaushaltsbilanzen erstellt. In einzelnen Gebieten ergeben die DIFGA-Analysen Bilanzfehler, welche durch die Erhöhung des Niederschlages um sogenannte Nebelkorrekturwerte behoben werden (Kapitel 3.1). Anschließend wird eine Untersuchung zur prozessbezogenen Korrektur der Nebelniederschläge vorgestellt (Kapitel 3.2). Die im Rahmen der DIFGA-Analysen bestimmten Nebelkorrekturwerte müssen ebenso bei der Berechnung des Wasserhaushaltes mittels ArcEGMO im Beobachtungs- und Projektionszeitraum berücksichtigt werden. Die Vorgehensweise zur Regionalisierung dieser Werte ist Kapitel 3.3 zu entnehmen.

3.1 Sachsenweite Analysen von Beobachtungsdaten zur Berechnung einer Nebelkorrektur als Restglied einer Wasserhaushaltsbilanzierung

In diesem Abschnitt werden zunächst die DIFGA-Methodik und die mit dem Verfahren ermittelten Ergebnisse kurz vorgestellt (Kapitel 3.1.1 und 3.1.2). Erläuterungen zu den Ursachen für unausgeglichene Wasserhaushaltsbilanzen finden sich in Kapitel 3.1.3. Die Behebung dieser Bilanzfehler mittels Niederschlagskorrekturwerten für 28 DIFGA-Gebiete wird in Kapitel 3.1.4 erläutert. Diese Vorgehensweise wird darauffolgend am Beispiel Rehefeld 2 (Kapitel 3.1.5) dargelegt. Anschließend erfolgen eine Untersuchung der Ergebnisse der Niederschlagskorrektur (Kapitel 3.1.6) sowie eine Zusammenhangsanalyse zwischen den ermittelten Korrekturwerten und der Gebietshöhe (Kapitel 3.1.7).

3.1.1 DIFGA-Methode

Eine umfassende Darstellung von DIFGA erfolgte bereits in SCHWARZE et al. (2010) und SCHWARZE et al. (2011). Die für das Verständnis der Methodik erforderlichen Erläuterungen werden im Folgenden wiederholt.

DIFGA (SCHWARZE, 1985; SCHWARZE et al., 1991) ist ein hydrologisches Verfahren, welches langjährige Beobachtungswerte des täglichen Durchflusses und Niederschlages bezüglich der Entstehung verschiedener Abflusskomponenten eingebettet in eine Wasserhaushaltsbilanz untersucht. DIFGA nutzt dafür eine inverse hydrologische Methode, die aus langjährigen Inputdaten (Niederschlag) und Outputdaten (Durchfluss) Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Ursache-Wirkung vermittelnden Systems (Niederschlags-Abfluss-Prozess) ermöglicht. Abbildung 1 veranschaulicht das Prinzip von DIFGA.

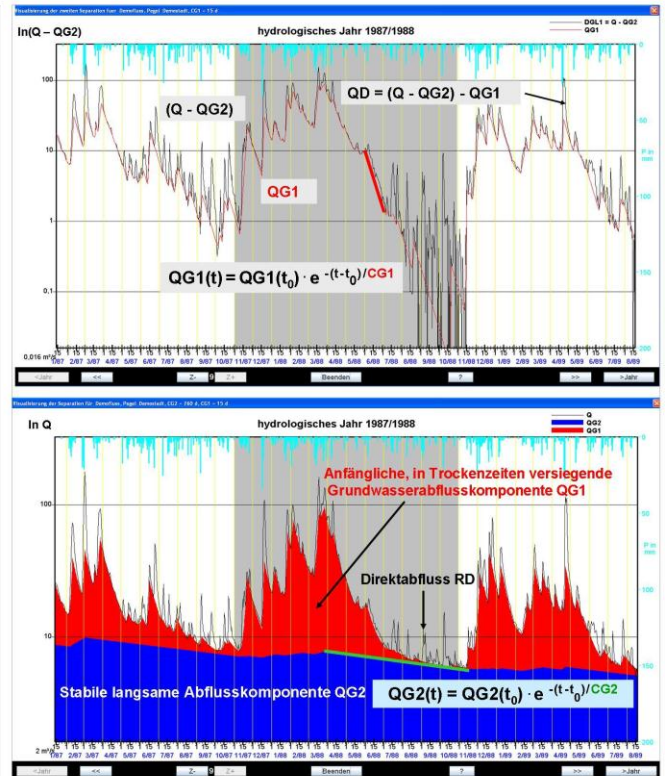
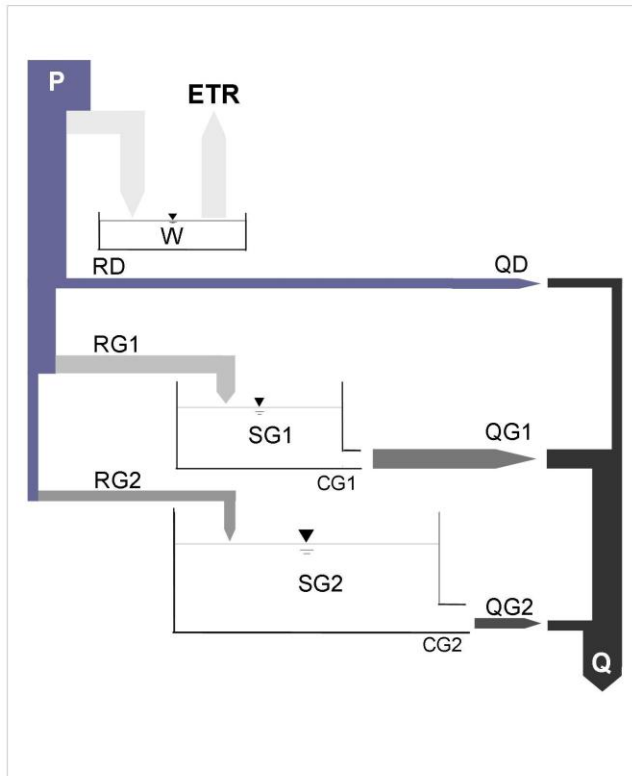


Abbildung 1: Schema des Differenzganglinienanalyseverfahrens DIFGA aus SCHWARZE & BEUDERT (2009)

Für die Berechnung des Wasserhaushaltes innerhalb KliWES werden drei Abflusskomponenten unterschieden:

- Direktabfluss RD, QD
- kurzfristiger Grundwasserabfluss RG1, QG1
- langfristiger Grundwasserabfluss RG2, QG2

Mit R werden dabei die Zuflüsse zum Gebietspeicher (Abflussbildung) und mit Q die Abgaben aus dem Speicher in das Gewässernetz (Abflusskonzentration) bezeichnet (siehe Abbildung 1). Der Direktabfluss umfasst alle schnellen Abflussanteile (Oberflächenabfluss, Interflow etc.). Die Grundwasserabflüsse setzen sich aus den langsamen Abflusskomponenten zusammen. Als Grundlage zur Beschreibung des Prozesses dient die Modellvorstellung des Einzelinearspeichers ELS. Demnach lässt sich der Abfluss in einem Einzugsgebiet als Summe des Auslaufes von n parallel geschalteten ELS beschreiben. Bei der Separation des Durchflusses wird mit der stabilsten, am wenigsten schwankenden Abflusskomponente QG2 begonnen. Anschließend wird eine Differenzganglinie DGL1 ($\ln Q - \ln QG2$) ermittelt und die Komponente QG1 von der DGL1 abgetrennt. Nach der Separation der Komponenten QG1 und QG2 von der gemessenen Ganglinie verbleibt ein „Rest“, welcher QD darstellt. Demnach setzt sich der Gesamtabfluss Q zum Zeitpunkt t aus den drei Komponenten QD, QG1 und QG2 zusammen (Formel 2) (SCHWARZE et al. 2010).

$$Q(t) = QD(t) + QG1(t) + QG2(t) \tag{2}$$

Neben der Ermittlung der Wasserflüsse werden mittels DIFGA wesentliche Modellparameter für den Aufbau des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO für Gesamtsachsen gewonnen. Dabei handelt es sich um die:

- Speicherkonstante des kurzfristigen Grundwasserabflusses CG1
- Speicherkonstante des langfristigen Grundwasserabflusses CG2
- Angaben zum Gebietsspeicher des kurzfristigen Grundwasserabflusses SG1 (minimale, maximale und mittlere Füllung)
- Angaben zum Gebietsspeicher des langfristigen Grundwasserabflusses SG2 (minimale, maximale und mittlere Füllung)

DIFGA berechnet das Gebietsmittel der Wasserhaushaltsbilanz im Monatszeitschritt. Gleichzeitig erfolgt die Prüfung der Komponentenseparation in jedem Monat auf Bilanzreinheit. Folgende Größen in mm/Monat gehen in die Bilanz ein (Abbildung 1):

- Niederschlagssumme P (korrigierter flüssiger Niederschlag bzw. Wasserabgabe aus der Schneedecke, Gebietsmittel), Beobachtungswerte korrigiert nach RICHTER (1995)
- Abflussbildung des langfristigen Grundwasserabflusses RG2
- Abflussbildung des kurzfristigen Grundwasserabflusses RG1
- Durchflusssumme Q der Beobachtungswerte
- Summe des langfristigen Grundwasserabflusses QG2
- Summe des kurzfristigen Grundwasserabflusses QG1
- Direktabflusssumme QD bzw. RD
- Restglied, bestehend aus realer Verdunstung und Füllung eines nur durch Verdunstung ausschöpfbaren Speichers (REST = ETR + W)

Für jeden Zeitschritt wird somit gewährleistet, dass der beobachtete Niederschlag P bilanzrein in der Abflussbildungsgleichung (Formel 3) (Zufluss zu den Gebietsspeichern)

$$P = RD + RG1 + RG2 + REST \quad (3)$$

bzw. der Durchfluss Q bilanzrein in der Abflusskonzentrationsgleichung (Formel 4) (Ausfluss aus den Gebietsspeichern)

$$Q = QD + QG1 + QG2 \quad (4)$$

aufgeteilt wird.

3.1.2 Ergebnisse der DIFGA-Analysen

Als Ergebnis der DIFGA-Analysen stehen folgende Größen für die 115 untersuchten Einzugsgebiete zur Verfügung:

- Rückgangskonstante der schnellen Abflusskomponente CG1
- Rückgangskonstante der langsamen Abflusskomponente CG2
- Speicherbegrenzung des Zuflusses zum Speicher der schnellen Abflusskomponente SG1grenz
- Aktuelle Monatswerte, aus denen aktuelle Jahreswerte und mittlere Monats- sowie Jahreswerte errechnet werden können innerhalb des Zeitraums 1951–2005, soweit es die Messreihen des Niederschlages und Durchflusses für das jeweilige DIFGA-Gebiet zulassen:
 - Niederschlagssumme P (korrigierter flüssiger Niederschlag bzw. Wasserabgabe aus der Schneedecke, Gebietsmittel), Beobachtungswerte korrigiert nach RICHTER (1995)
 - Langfristiger Grundwasserzufluss RG2
 - Kurzfristiger Grundwasserzufluss RG1
 - Zufluss zum Direktabflussspeicher RD
 - Durchflusssumme Q, Beobachtungswerte
 - Langfristiger Grundwasserabfluss QG2
 - Kurzfristiger Grundwasserabfluss QG1
 - Direktabfluss QD
 - Restglied, bestehend aus realer Verdunstung und Füllung eines nur durch Verdunstung ausschöpfbaren Speichers ($REST = ETR + W$)

Allerdings ist für 28 (siehe Tabelle 2) von insgesamt 115 DIFGA-Gebieten festgestellt worden, dass die Wasserhaushaltsbilanz mit dem zur Verfügung stehenden Wasserdargebot aus Niederschlag nicht ausgeglichen werden kann. Bereits eine einfache Wasserhaushaltsbilanz ergab, dass im langjährigen Mittel die Differenz aus korrigiertem Niederschlag und beobachtetem Abfluss zu geringe, unplausible Werte für die Verdunstung liefert. Das heißt auf Tagesbasis ist der gebildete Abfluss größer als der beobachtete und der nach RICHTER (1995) korrigierte Niederschlag, wodurch kein Wasser mehr für die Verdunstung zur Verfügung steht (siehe Beispiel Abbildung 2). Fehler im Abfluss können i. d. R. ausgeschlossen werden oder sind bei bekannten Überleitungen und Entnahmen (z. B. Revierwasserlaufanstalt RWA) im Erzgebirge ggf. zu bereinigen.

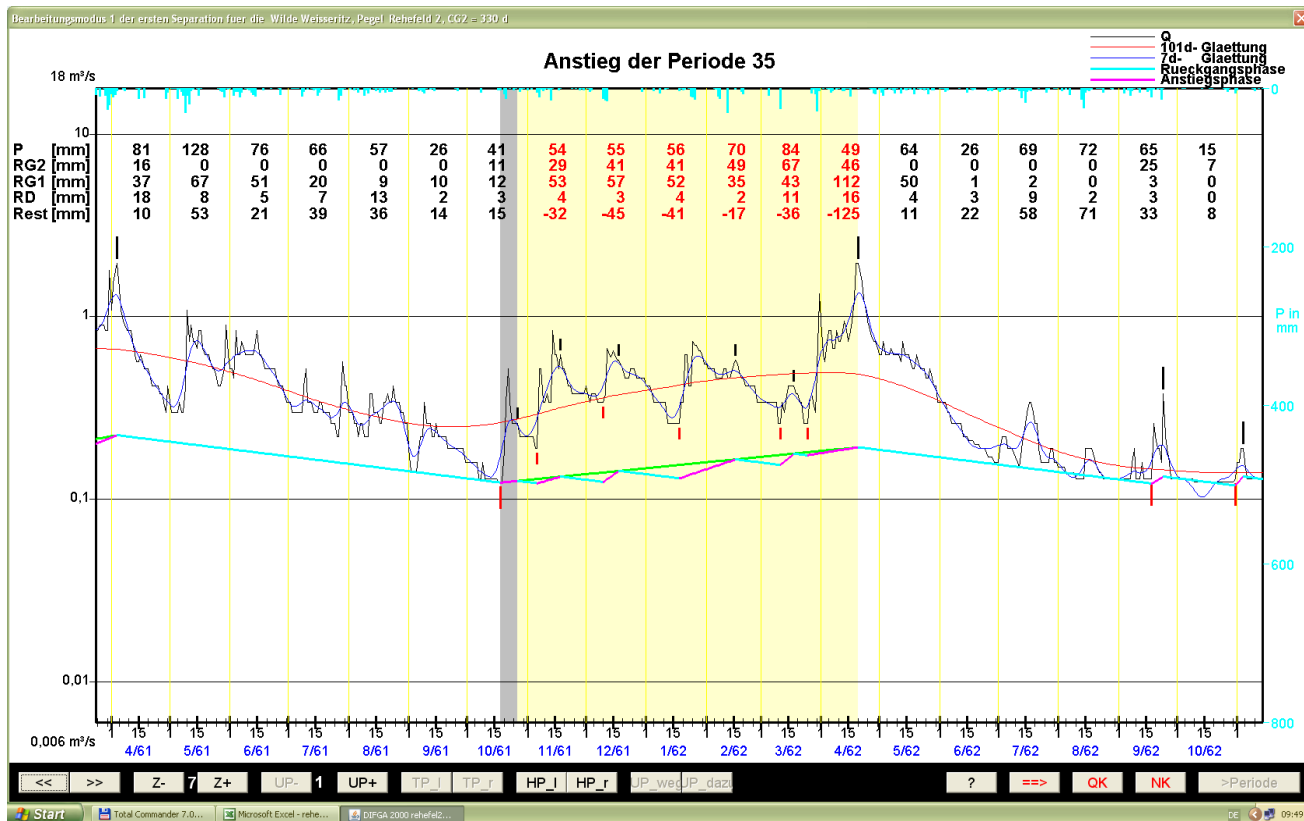


Abbildung 2: Beispiel für den Wasserhaushalt des Winters 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz bei Verwendung der Ausgangswerte des Niederschlagsgebietsmittels

Als Beispiel für eine unausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz wird für das Gebiet Rehefeld 2 der Zeitraum 01.11.1961 bis 30.04.1962 untersucht. Der Ausgangswert der Niederschlagssumme für diesen Zeitraum beträgt 368 mm. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, formiert sich für diesen Zeitraum aus dem Direktabfluss RD mit 40 mm und dem schnellen Basisabfluss RG1 mit 352 mm zusammen bereits eine Abflussbildungssumme, die größer als die Niederschlagssumme ist. Die Abflusskonzentration, d. h. die Wassermenge, die im betrachteten Zeitraum das Pegelprofil passiert, ergibt mit einem QD von 40 mm und einem QG1 von 335 mm zusammen immer noch mehr als die Niederschlagssumme. Aus dem Niederschlag kann somit die Fülle der schnell unmittelbar auf den Niederschlag reagierenden Abflussanteile nicht erklärt werden. Hinzu kommt noch eine Grundwasserneubildung RG2 von 273 mm. Für die Verdunstung bleibt somit kein Wasser übrig. Das Bilanzsaldo weist ein Defizit von 296 mm auf. Um diesen Betrag müsste der Niederschlag mindestens erhöht werden, damit das Restglied wenigstens den Wert Null annehmen würde. Dieses Defizit muss bereinigt werden, weil ansonsten eine Berechnung des Wasserhaushalts mit DIFGA in den betreffenden Gebieten unmöglich ist. Auf die Eingrenzung und Bereinigung von Fehlern in der Datenlage wird nachfolgend eingegangen.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Einzugsgebiete mit unausgeglichener Wasserhaushaltsbilanz

lfd. Nr.	Pegel	Gewässer	Zeitraum	Mittlere Gebietshöhe [mNN]	Maximale Gebietshöhe [mNN]	Fläche [km ²]	Korrektur abgeschlossen
1	Ammelsdorf	Wilde Weißeritz	1951–2005	527,3	908,3	49,3	Ja
2	Cämmerswalde	Cämmerswalder Dorfbach	1984–2005	598,1	740,0	5,1	Ja
3	Dippoldiswalde 1+3	Rote Weißeritz	1951–2005	340,3	834,4	72,43	Ja
4	Freital 1	Poisenbach	1968–2005	297,9	427,5	12,4	Ja
5	Geising 1	Rotes Wasser	1966–2005	566,9	904,7	26,29	Ja
6	Gottleuba 1	Gottleuba	1951–2005	430,5	767,6	30,1	Ja
7	Gottleuba 2	Oelsenbach	1951–2005	431,1	644,8	2,4	Ja
8	Herzogswalde 1	Triebisch	1951–2005	256,5	458,4	46,9	Ja
9	Klingenthal 1	Zwota	1951–2005	712,1	943,1	58,6	Ja
10	Lauenstein 1	Müglitz	1951–2005	488,5	880,5	40,1	Ja
11	Liebstadt 2	Seidewitz	1966–2005	318,8	623,8	25,3	Ja
12	Markersbach	Bahra	1951–2005	377,3	736,3	48,5	Ja
13	Neuwersndorf	Wernsbach	1951–2005	768,3	877,5	6,8	Ja
14	Rehefeld 2	Wilde Weißeritz	1951–2005	685,5	908,3	15,3	Ja
15	Deutschgeorgenthal 2	Rauschenbach	1951–2005	600,3	835,0	9,6	Ja
16	Cranzahl	Lampertsbach	1981–2005	843,9	1029,5	8,4	Ja
17	Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	1951–2005	688,9	1047,1	26,7	Ja
18	Muldenberg 3	Zwickauer Mulde	1967–1985	715,0	800,5	5,3	Ja
19	Rauschenbach 2	Rauschenfluss	1951–2005	559,0	874,7	7,4	Ja
20	Rothenthal	Natzschung	1951–2005	535,7	920,7	75,0	Ja
21	Sachsengrund	Große Pyra	1951–2005	746,7	966,7	6,7	Ja
22	Schmiedeberg 1	Rote Weißeritz	1951–2005	429,6	834,4	47,8	Ja
23	Schönheide 3	Zwickauer Mulde	1951–2005	539,7	972,5	152,0	Ja
24	Tannenberg	Zschopau	1951–2005	485,6	1114,3	9,6	Ja
25	Markersbach 1	Große Mittweida	1951–2005	847,9	1213,9	30,0	Ja
26	Wolfersgrün	Hirschfelder Wasser	1951–2005	353,2	540,0	22,2	Ja
27	Wolfsgrund	Chemnitzbach	1951–2005	468,6	735,0	37,2	Ja
28	Zöblitz	Schwarze Pockau	1951–2005	440,9	919,8	129,0	Ja

3.1.3 Untersuchung unausgeglichener Wasserhaushaltsbilanzen

Weil die betroffenen Gebiete (siehe Tabelle 2) insbesondere in den Kammlagen des Erzgebirges liegen, wird als primäre Ursache der sekundäre Niederschlagsgewinn z. B. aus Nebelniederschlag und Raufrost angenommen. Zur Eruierung dieser These erfolgte zunächst die Ermittlung der Nebelkorrektur in Abhängigkeit von Landnutzung und Gebietshöhe mittels der von FLEMMING (1983) genannten maximalen Werte (siehe Tabelle 3). Anschließend wurde geprüft, ob mit diesen korrigierten Niederschlagsreihen eine bilanzreine DIFGA-Analyse möglich ist. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Ermittlung von plausiblen Werten für die als Restglied berechnete Verdunstung ETR in den Jahressummen. Dafür wurden die berechneten Verdunstungswerte durch Vergleich mit unabhängigen Werten z. B. aus dem HAD (BMU 2003) auf Plausibilität geprüft.

Tabelle 3: Maximale Nebelniederschlagssummen für Sommer- und Winterhalbjahr sowie Jahr in Waldgebieten Mitteleuropas in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel nach FLEMMING (1983)

Höhe [mNN]	Maximaler Nebelniederschlag im Sommer [mm]	Maximaler Nebelniederschlag im Winter [mm]	Maximaler Nebelniederschlag im Jahr [mm]
0	0	2	2
200	1	7	8
400	3	17	20
600	15	65	80
800	40	120	160
1000	80	160	240

Am Beispiel zweier Einzugsgebiete werden nachfolgend die Ergebnisse der DIFGA-Analysen unter Verwendung des Niederschlags mit und ohne Nebelniederschlagskorrektur miteinander verglichen. Hierfür werden allein die mittleren Jahressummen des Niederschlags, Abflusses und Verdunstung aufgezeigt. Niederschläge „ohne Nebel“ sind dabei Gebietsmittel des Niederschlags, welche nur der üblichen Korrektur des Niederschlagsmessfehlers nach RICHTER (1995) unterworfen wurden. Bei Niederschlägen „mit Nebel“ wurden vor der Gebietsmittelberechnung alle Stationsdaten je nach Höhenlage um die in der Tabelle 3 genannten Werte erhöht, indem die genannten Halbjahressummen proportional zum Niederschlagsgang auf die zuvor bereits nach RICHTER (1995) korrigierten Niederschlagsmesswerte aufgeteilt wurden. Für die Niederschläge ohne Nebelkorrektur lassen sich mit DIFGA auf Monatsbasis in vielen Wintermonaten keine ausgeglichenen Wasserhaushaltsbilanzen erzeugen (siehe Beispiel Abbildung 2). Mit der Berücksichtigung von Nebel nach FLEMMING kann DIFGA eine ausgeglichene Bilanz ermitteln (siehe Beispiel Abbildung 6). Eine ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz im Einzeljahr ist aber nicht gleichbedeutend mit einer realistischen Bilanz der langjährigen Mittelwerte. Bei den langjährigen Mittelwerten liefert DIFGA unter den meteorologischen Bedingungen Sachsens für alle untersuchten Einzugsgebiete immer eine ausgeglichene Bilanz, weil die Differenz aus beobachteter mittlerer Jahresniederschlagssumme und beobachteter mittlerer Jahresabflusssumme stets größer Null wird. Dieser Differenzwert stellt quasi eine beobachtete mittlere Summe der Gebietsverdunstung dar. Hier muss geprüft werden, ob diese Werte der Verdunstung eine plausible Größenordnung besitzen. Die mit DIFGA berechneten Werte der mittleren jährlichen Verdunstung wurden mit der ermittelten Verdunstung aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland HAD (BMU 2003), welcher ein unabhängiges Verfahren nutzt, verglichen. Beispielhaft wird in Tabelle 4 gezeigt, dass die Übereinstimmung der mittleren jährlichen Verdunstungswerte bei Berücksichtigung von Nebel deutlich besser als ohne Nebel im Vergleich zum HAD (BMU 2003) sind. In beiden Gebieten ist die aus der Differenz P-R berechnete Verdunstung (mit Nebelkorrektur) kleiner als der Verdunstungswert aus dem HAD.

Tabelle 4: Vergleich mittlerer Wasserhaushaltsgrößen der Einzugsgebiete Ammeldorf und Zöblitz mit und ohne Berücksichtigung von Nebelniederschlag nach FLEMMING (1983)

Einzugsgebiet (Pegel/ Gewässer)	Zeitraum	Mittlere Jahresniederschlagssumme P [mm/a]	Mittlerer Abfluss R [mm/a]	Mittlere Verdunstung ETR [mm/a]	Mittlere Verdunstung ETR [mm/a]	Bemerkung
		DIFGA	DIFGA	DIFGA	HAD	
Ammelsdorf/Wilde Weißeritz	1961–1990	1035	599	436	485	Ohne Nebel
		1061	599	462	485	Mit Nebel
Zöblitz/ Schwarze Pockau	1961–1990	949	559	380	476	Ohne Nebel
		982	559	423	476	Mit Nebel

Die grundsätzliche Schwierigkeit bei der zuvor dargestellten Vorgehensweise ist, dass FLEMMING (1983) nur mittlere Nebelniederschlagsmengen pro Jahr nennt. Eine pauschale Erhöhung der Jahresniederschlagssummen um diese Beträge führt oft zu unplausiblen Ergebnissen in den Einzeljahren. Deshalb wurde eine pauschale Anwendung der Werte nach Flemming als nicht zum Ziel führend eingeschätzt. In der weiteren Bearbeitung wurde eine Lösung entwickelt, die einen Ereignisbezug aufweist. Dafür musste zunächst detailliert erfasst werden, warum es trotz einer Primärprüfung der Daten (Durchfluss- und Niederschlagsdaten, Gebiets-eigenschaften), siehe SCHWARZE et al. (2010), im Rahmen der DIFGA-Analysen zu einer unausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz kommen kann. Dafür können folgende Ursachen genannt werden:

- Fehlerhafte Einzugsgebietsgröße (z. B. unter- und oberirdisches Einzugsgebiet stimmen nicht überein wie bei Karst)
- Durchflussdaten fehlerhaft (Fehler in der W-Q-Beziehung, Datenfehler etc.)
- Durchflussdaten beeinflusst (Überleitungen, Entnahmen etc.)
- Durchflussdaten inkonsistent und ggf. inhomogen (z. B. bei Reihenverlängerungen mittels Regression, Stationsverlegung)
- Niederschlagsdaten fehlerhaft (z. B. Datenfehler, Fehler im Regionalisierungsverfahren, Fehler bei der RICHTER-Korrektur)
- Niederschlagsdaten inkonsistent (z. B. Wechsel der für die Berechnung der Gebietsniederschläge verwendeten Stationen im Verlauf der Zeitreihe)
- Berechnung Gebietsniederschlag nicht repräsentativ (ungenügende Anzahl auswertbarer Messstellen, Lage der Messstellen deckt die Gebietsverhältnisse nicht ab, z. B. Fehlen von Stationen in Kammlagen)
- zeitliche Verteilung des abflusswirksamen Wasserdargebotes aus festen Niederschlägen entspricht wegen Fehlern bei der Berechnung im Schneemodell nicht dem aufgetretenen Verlauf
- Niederschlagswerte zu gering, weil der Wassergewinn aus Nebelniederschlag nicht berücksichtigt wird

DIFGA berechnet im langjährigen Mittel die Gebietsverdunstung ausschließlich aus der Differenz des aus gemessenen Stationsdaten berechneten Gebietsniederschlages und des beobachteten Durchflusses am Pegel. In diesem Zusammenhang ist der Gebietswasserhaushalt unausgeglichene, wenn für das Restglied Verdunstung keine plausiblen Werte errechnet werden. Somit stecken in dem Restglied summarisch die zuvor

genannten Fehler. Die Fehlerursachen der Anstriche 1. bis 3. wurden im Rahmen der Datenprüfung und Aufarbeitung ausgeschlossen bzw. bereinigt. Die Homogenität der Durchflussdaten gemäß dem 4. Anstrich kann durch Doppelsummenanalysen (DSA) zwischen Durchflussmessreihen benachbarter Pegel geprüft werden. Am Beispiel des Pegels Rehefeld 2/Wilde Weißeritz sei die Vorgehensweise demonstriert (Abbildung 3 und Abbildung 5). Für den Pegel Rehefeld 2 liegen ab 1947 Durchflussdaten vor, die allerdings vor 1960 aus den Durchflüssen des Pegels Ammeldorf mittels Regression berechnet wurden (Abbildung 3). Weil für die DIFGA-Analysen der Zeitraum 1951–2005 verwendet wird, werden die Doppelsummenanalysen ab 1951 berechnet. Wie Abbildung 3 und Abbildung 5 zeigen, liegt keine signifikante Inhomogenität der Durchflussdaten in Rehefeld 2 vor. Somit kann auch die zuvor unter dem 4. Anstrich genannte Fehlerursache ausgeschlossen werden. Weitere Doppelsummenanalysen können vom LfULG zur Verfügung gestellt werden. Es konnten keine Inhomogenitäten in den Durchflussreihen nachgewiesen werden, die eine Verwendung der betreffenden Datenreihe in DIFGA unmöglich gemacht hätten.

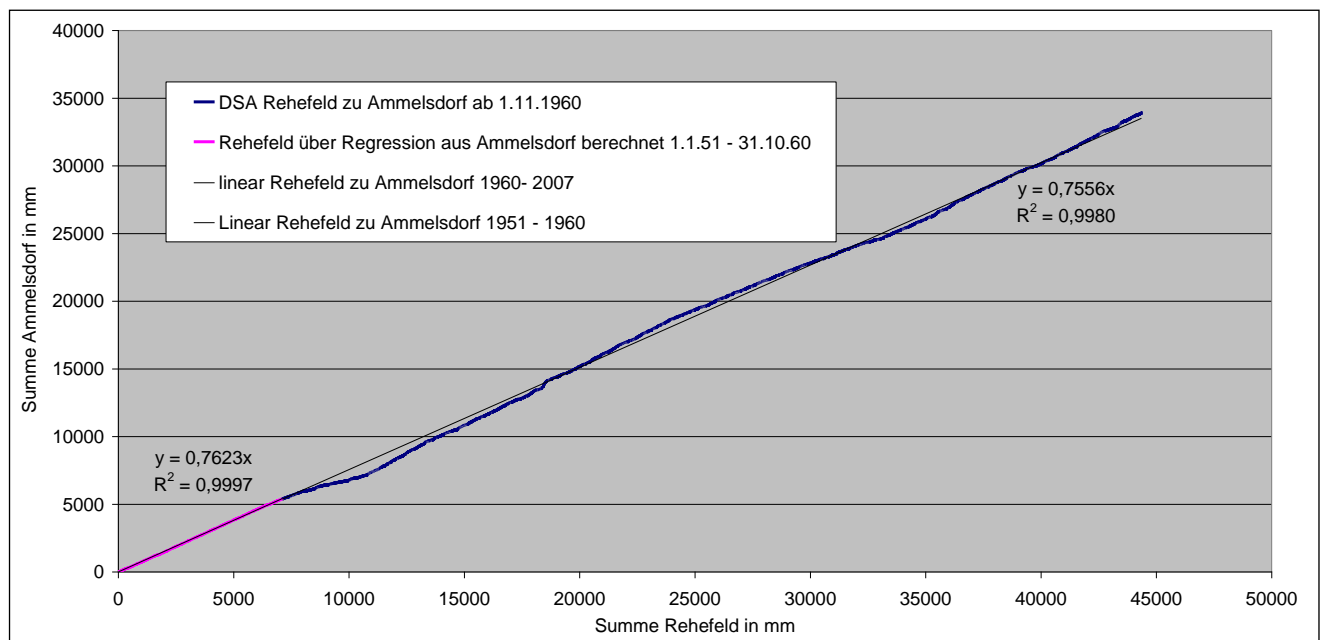


Abbildung 3: Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Ammeldorf für den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 31.10.2007

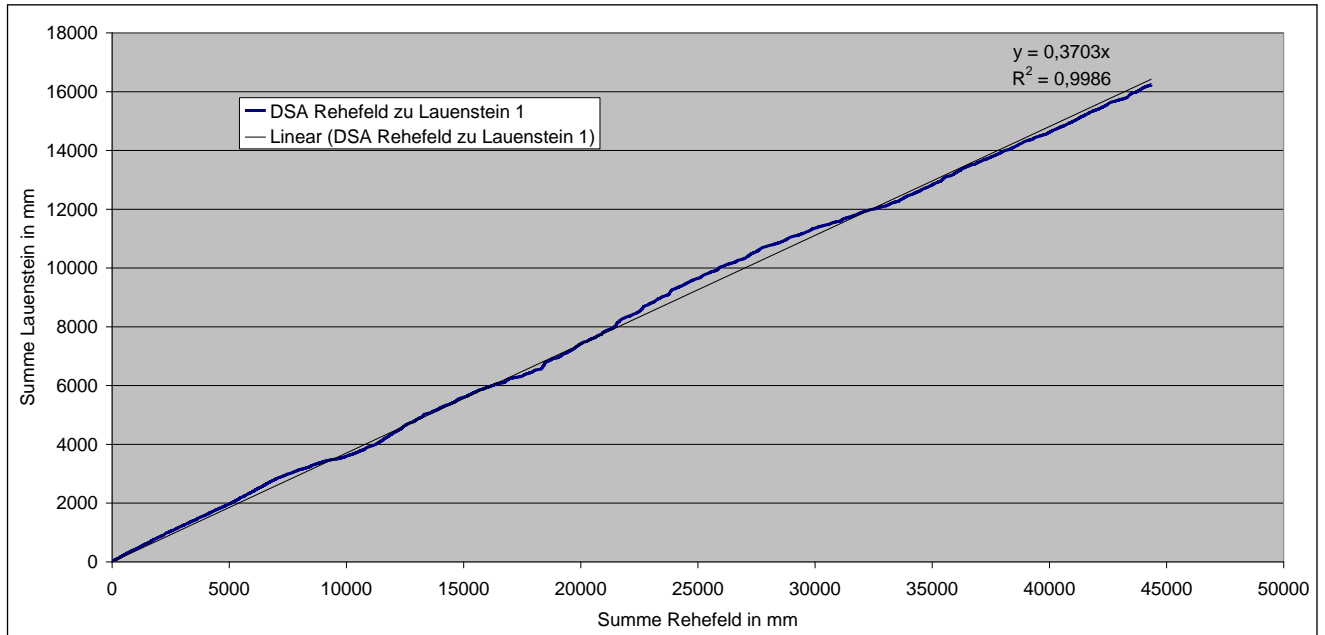


Abbildung 4: Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Lauenstein 1 für den Zeitraum vom 01.01.1951 bis zum 31.10.2007

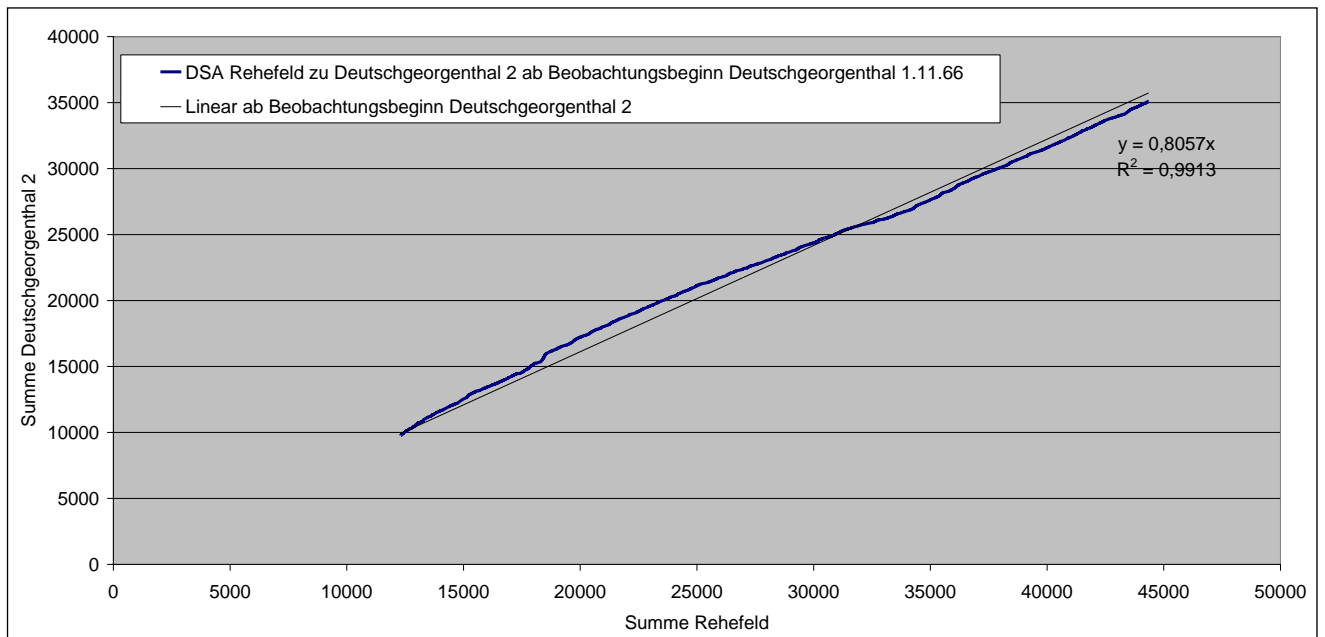


Abbildung 5: Doppelsummenanalyse zwischen den Durchflusstagesmitteln an den Pegeln Rehefeld 2 und Deutschgeorgenthal für den Zeitraum vom 01.01.1966 bis zum 31.10.2007

Wenn die Durchflussdaten konsistent und homogen sind, muss im nächsten Schritt die Konsistenz und Homogenität der Niederschlagsdaten geprüft werden, um die Fehlerursachen der Anstriche 5 bis 9 auszuschließen bzw. etwaige Niederschlagsfehler zu quantifizieren. Dafür wird DIFGA eingesetzt. Mit den geprüften Durchflüssen und Ausgangswerten des Niederschlagsgebietsmittels (Kriging über die Stationsreihen mittels dem im Vorhaben KIWES entwickelten Verfahrens [SCHWARZE et al. 2010] [Kapitel 2.1.2] inkl. Abgleich auf die Niederschläge des HAD, Korrektur nach RICHTER [1995] sowie Schneedeckenauf- und -abbau berechnet) wird mit DIFGA der Wasserhaushalt berechnet. Wie das Beispiel aus Kapitel 3.1.2, Abbildung 2 zeigt, weisen einige DIFGA-Gebiete (Tabelle 2) ein Defizit im Bilanzsaldo auf. Als Ursache für dieses Defizit kommen nach

Ausschluss von Durchflussfehlern noch Fehler bei der Berechnung des Gebietsniederschlags, bei der Berechnung der Schneedeckenprozesse und bei der Berücksichtigung des Nebelniederschlags in Frage. Dieses Defizit muss bereinigt werden, weil ansonsten eine Berechnung des Wasserhaushalts mit DIFGA in den betreffenden Gebieten unmöglich ist.

3.1.4 Vorgehensweise zur Korrektur des Niederschlages für die DIFGA-Gebiete im Zeitraum 1951–2005

Die Bereinigung der Defizite in der Bilanz kann nur gebietsweise und weitgehend manuell erfolgen. Um hier der Subjektivität enge Grenzen zu setzen, werden Regeln aufgestellt:

Erster Korrekturschritt

Korrektur offensichtlicher Fehler bei der Berechnung des Schneedeckenauf- und -abbaus:

Diese äußern sich durch schlechte Korrelation zwischen dem zeitlichen Verlauf des Schmelzwasserdargebotes und dem der Durchflussganglinie. Die Ursachen dafür sind primär in der Unzulänglichkeit des Tagesgradverfahrens und in den verfügbaren Lufttemperaturdaten zu suchen. Alternative und vor allem prozessnähere Verfahren zur Berechnung der Entwicklung von Schneedecken existieren zwar, sind aber für eine sachsenweite Anwendung wegen ihrer Datenanforderungen nicht nutzbar. Der Fehler, welcher in Sachsen nur in den Kammlagen der Mittelgebirge zu einem Problem bei der Wasserhaushaltsbilanzierung führt, wird durch eine manuelle Veränderung der Zuordnung korrigiert. Dabei wird weder beim Schneeschmelzmodell noch bei der Überarbeitung seiner Ergebnisse die Niederschlagssumme der Ausgangswerte verändert. Das heißt, das Schneeschmelzprogramm stellt in Abhängigkeit von der Temperatur nur eine Transformation zwischen den Terminen des Niederschlagsfalles und den Terminen, an denen dieses Wasser abflusswirksam wird, her. Im Ergebnis entstehen in täglicher Auflösung sowohl negative als auch positive Korrekturwerte, welche sich über den Verlauf des Winterhalbjahres zu Null saldieren. Lässt sich auf diesem Wege kein ausgeglichener Wasserhaushalt herstellen, muss ein zweiter Korrekturschritt erfolgen.

Zweiter Korrekturschritt

Erhöhung des täglichen Niederschlages zum Ausgleich des Defizits und zum Erlangen plausibler Werte für das Restglied bzw. im langjährigen Mittel für die Verdunstung:

DYCK (1978) nennt für die Wintermonate November bis März als Näherungswert für die Verdunstung in der Summe 60 mm (Dezember und Januar je 5 mm, November und Februar je 10 mm und März 30 mm). Diese Werte gelten für das Flachland und Mittelgebirgsvorland im Süden der ehemaligen DDR (DYCK 1978). In höheren Lagen ist mit leicht abweichenden Werten zu rechnen, vergleichbare pauschale Angaben liegen jedoch nicht vor. Die Niederschlagserhöhungen wurden so vorgenommen, dass im langjährigen Mittel diese Werte für die Verdunstung erhalten wurden. Diese Korrekturen betreffen nur das Winterhalbjahr. Im Sommerhalbjahr wird mit DIFGA nahezu immer ein positives Restglied erhalten. Das bedeutet nicht, dass es nicht auch im Sommerhalbjahr einen Wassergewinn aus Nebel geben kann (siehe FLEMMING 1983, Tabelle 3), nur macht sich dessen Nichtberücksichtigung quasi nie als korrekturbedürftiges Niederschlagsdefizit bemerkbar. Ursache dafür ist die im Sommer sehr geringe Abflussbildung, sodass nach Abzug des Abflusses vom Niederschlag in der Regel immer ein positiver Rest für die Verdunstung bleibt. Somit ist die Erfassung von Nebelniederschlägen aus dem Restglied der Wasserhaushaltsbilanz im Sommer nicht möglich. Die Unterschätzung der Jahressumme des Nebelniederschlags ist damit stets gegeben. Der Anteil des sommerlichen Nebelniederschlags an der Jahressumme nach FLEMMING (1983) liegt zwischen 15 % (400 mNN) und 33 % (1.000 mNN). Für die Sommermonate Mai bis Oktober wird deshalb vorgeschlagen, den Niederschlag höhenabhängig mittels eines Korrekturfaktors proportional zum Niederschlagsverlauf zu korrigieren. Dieser Faktor kann mittels

der von FLEMMING (1983) genannten Anteilswerte aus den kumulierten winterlichen Nebelniederschlagssummen berechnet werden.

Beispiel

Mittlere Nebelkorrektursumme in 600 mNN im Winterhalbjahr über DIFGA zu 70 mm ermittelt. Mittleres Verhältnis von Sommer- zu Winternebelsumme in 600 mNN beträgt nach FLEMMING (1983) 1 zu 4,33. Die Nebelkorrektur Sommer würde im konkreten Fall dann $70 \text{ mm} / 4,33 = 16 \text{ mm}$ betragen. Diese 16 mm müssen proportional zum Verlauf der Sommerniederschläge auf diese aufgeschlagen werden.

3.1.5 Beispiel für eine Nebelkorrektur – Ergebnisse aus dem Gebiet Rehefeld 2

Nachfolgend werden beispielhaft Ergebnisse der Korrektur des Niederschlages für das Einzugsgebiet Rehefeld 2 dargestellt. In diesem Zusammenhang werden die Ergebnisse einer weiteren Prüfung unterzogen, um die ermittelten Korrektursummen zu bewerten.

Abbildung 6 beinhaltet die auf die beschriebene Weise korrigierte Wasserhaushaltsbilanz für den Pegel Rehefeld 2 im Zeitraum 01.11.1961 bis 30.04.1962. Aus ihr wird ersichtlich, dass nach der Korrektur des Gebietsniederschlages kein Defizit beim Restglied wie vor der Korrektur des Niederschlages (Abbildung 2) vorliegt.

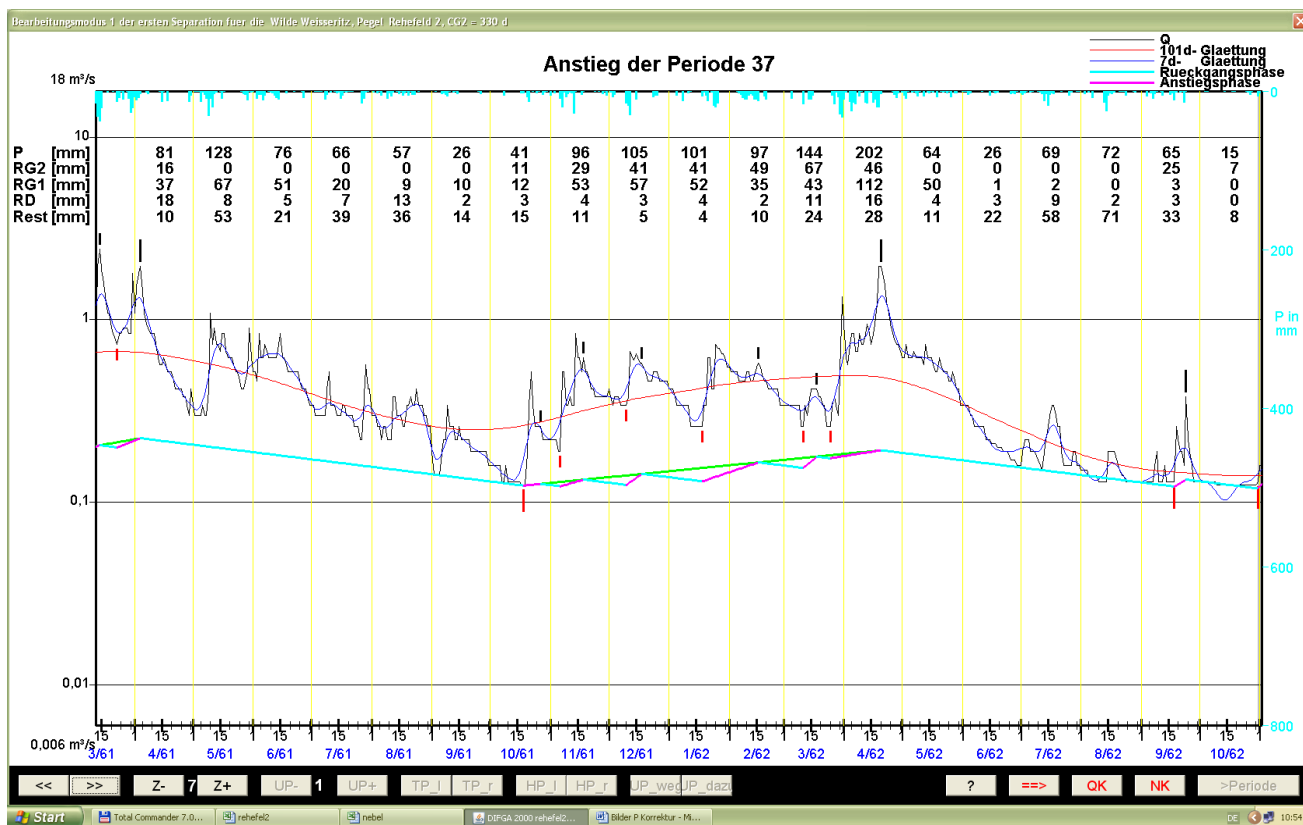


Abbildung 6: Beispiel für den Wasserhaushalt des Winters 1961/1962 für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz bei Verwendung der korrigierten Werte des Niederschlagsgebietsmittels

In der Tabelle 5 ist die mittlere Wasserhaushaltsbilanz für den Zeitraum 1951–2005 für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz mit den Ausgangswerten des mittleren Gebietsniederschlags ersichtlich. Die Bilanz ist nicht ausgeglichen. In den Monaten März und April tritt auch im langjährigen Mittel ein negatives Restglied auf. Bei den Winterhalbjahressummen beträgt das Restglied -19,2 mm, d. h. die Niederschlagsmenge deckt weder die Abflussmenge noch die Verdunstungsmenge ab. Als mittlere Jahressumme wird von DIFGA eine

Verdunstung ETR von 305,4 mm/a berechnet, was deutlich zu gering ist. Eine Rückrechnung aus der Differenz der mittleren Jahressummen für Niederschlag P mit 1097,0 mm/a und Durchfluss Q mit 789,3 mm/a ergibt mit 307,7 mm/a nahezu denselben Wert für die Verdunstung. Die geringen Unterschiede resultieren aus unterschiedlichen Füllständen der Gebietspeicher am Anfang und Ende der Berechnung. Nach Korrektur der Gebietsniederschläge um die vorher berechneten Defizite (Abbildung 7) wird eine ausgeglichene Bilanz ermittelt. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt nunmehr 1.200,5 mm/a, wodurch die berechnete Verdunstung mit 408 mm/a einen plausiblen Wert darstellt. Die ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 5: Unausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum Januar 1951 bis Dezember 2005 unter Verwendung der Ausgangsdaten des Gebietsniederschlags

DIFGA 2000: MITTLERE WASSERHAUSHALTSBILANZ

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

!!!ACHTUNG: NICHT BILANZREIN!!!

Gewässer: Wilde Weißeritz, Pegel: Rehefeld 2

Einzugsgebietsfläche: 15,3 km²

Lithofazieseinheit: Phyllit

CG2: 330 d, CG1: 9 d

Reihe von 11/1947 bis 10/2007, Bilanzierung von 01/1951 bis 12/2005

Angaben zum Niederschlag:

Angaben zur Schneeschmelze:

Monatsmittel aller Summen in mm/Monat:

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
1	75,9	16,9	31,3	14,6	61,1	15,2	31,3	14,6	0,1	13,1
%	100,0	22,3	41,2	19,2	100,0	24,9	51,2	23,9	0,1	17,2
2	74,4	16,2	32,2	13,5	60,7	14,1	33,2	13,5	0,1	12,5
%	100,0	21,8	43,3	18,1	100,0	23,2	54,7	22,2	0,1	16,8
3	126,0	40,5	93,3	24,5	108,1	16,4	67,2	24,5	0,1	-32,3 *
%	100,0	32,1	74,0	19,5	100,0	15,1	62,2	22,7	0,1	-25,6
4	98,7	23,5	78,2	26,3	140,4	17,7	96,4	26,3	0,0	-29,2 *
%	100,0	23,8	79,2	26,6	100,0	12,6	68,7	18,7	0,0	-29,6
5	89,9	7,3	25,4	17,1	72,5	17,9	37,4	17,1	0,0	40,1
%	100,0	8,1	28,3	19,0	100,0	24,7	51,7	23,6	0,1	44,6
6	95,9	4,3	14,3	11,2	44,4	16,2	17,1	11,2	0,1	66,1
%	100,0	4,5	14,9	11,7	100,0	36,4	38,4	25,2	0,2	68,9
7	118,8	10,2	20,6	16,5	52,6	15,8	20,3	16,5	0,2	71,5
%	100,0	8,6	17,3	13,9	100,0	30,1	38,5	31,4	0,4	60,2
8	104,1	8,0	10,4	14,6	41,9	15,1	12,2	14,6	0,3	71,1
%	100,0	7,7	10,0	14,0	100,0	36,0	29,1	34,9	0,7	68,3
9	74,7	8,8	12,7	7,2	33,1	13,9	12,0	7,2	0,4	46,0
%	100,0	11,7	17,0	9,6	100,0	42,1	36,3	21,7	1,2	61,6
10	71,3	9,9	23,2	8,2	40,6	14,1	18,3	8,2	0,1	30,0
%	100,0	13,9	32,6	11,5	100,0	34,7	45,0	20,3	0,3	42,0
11	78,3	22,6	32,0	11,4	56,0	13,7	30,9	11,4	0,2	12,2
%	100,0	28,9	40,9	14,5	100,0	24,5	55,2	20,3	0,4	15,6
12	89,1	20,9	40,4	23,3	77,9	15,2	39,4	23,3	0,1	4,5
%	100,0	23,4	45,3	26,2	100,0	19,5	50,6	30,0	0,1	5,1

Winterhalbjahressumme in mm/6 Monate (330 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	542,4	140,7	307,3	113,6	504,2	92,3	298,3	113,6	0,6	-19,2 *
%	100,0	25,9	56,7	20,9	100,0	18,3	59,2	22,5	0,1	-3,5

Sommerhalbjahressumme in mm/6 Monate (330 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	554,6	48,4	106,7	74,9	285,1	93,1	117,3	74,9	1,2	324,7
%	100,0	8,7	19,2	13,5	100,0	32,6	41,1	26,3	0,4	58,5

Jahressumme in mm/a (660 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	ETR
	1097,0	189,0	414,0	188,5	789,3	185,3	415,6	188,5	1,8	305,4
%	100,0	17,2	37,7	17,2	100,0	23,5	52,7	23,9	0,2	27,8

(das hydrologische Jahr geht vom 01.11. bis zum 31.10.)

Tabelle 6: Ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanz für das Gebiet Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum Januar 1951 bis Dezember 2005 unter Verwendung des nebelkorrigierten Gebietsniederschlags

DIFGA 2000: MITTLERE WASSERHAUSHALTSBILANZ

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie

Gewässer: Wilde Weißeritz, Pegel: Rehefeld 2

Einzugsgebietsfläche: 15,3 km²

Lithofazieseinheit: Phyllit

CG2: 330 d, CG1: 9 d, SGlgrenz: 51.0 mm

Reihe von 11/1947 bis 10/2007, Bilanzierung von 01/1951 bis 12/2005

Angaben zum Niederschlag:

Angaben zur Schneeschmelze:

Monatsmittel aller Summen in mm/Monat:

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
1	74,2	15,7	29,4	14,9	61,4	16,9	29,6	14,9	0,1	14,2
%	100,0	21,1	39,7	20,1	100,0	27,5	48,3	24,2	0,2	19,1
2	77,1	17,8	31,7	13,5	60,6	15,6	31,5	13,5	0,0	14,0
%	100,0	23,1	41,2	17,5	100,0	25,7	52,1	22,2	0,1	18,2
3	159,2	27,1	92,9	24,0	108,9	17,3	67,6	24,0	0,1	15,2
%	100,0	17,0	58,4	15,1	100,0	15,9	62,1	22,0	0,1	9,6
4	144,3	20,6	78,9	25,9	140,4	17,7	96,8	25,9	0,1	18,9
%	100,0	14,3	54,7	17,9	100,0	12,6	68,9	18,4	0,1	13,1
5	94,0	7,7	25,3	17,3	72,5	17,9	37,4	17,3	0,1	43,8
%	100,0	8,2	26,9	18,4	100,0	24,6	51,6	23,8	0,1	46,6
6	95,3	5,7	14,1	11,2	44,4	16,2	17,0	11,2	0,1	64,3
%	100,0	5,9	14,8	11,8	100,0	36,5	38,3	25,3	0,2	67,5
7	119,3	11,4	20,5	16,7	52,6	15,8	20,1	16,7	0,3	70,7
%	100,0	9,6	17,2	14,0	100,0	30,1	38,2	31,7	0,6	59,3
8	104,1	18,1	9,6	14,7	41,9	15,5	11,7	14,7	0,5	61,7
%	100,0	17,4	9,2	14,1	100,0	37,0	27,9	35,1	1,1	59,3
9	74,7	12,5	11,7	7,4	33,2	15,0	10,9	7,4	0,4	43,0
%	100,0	16,7	15,7	10,0	100,0	45,2	32,9	22,4	1,1	57,7
10	73,0	16,6	19,8	9,0	40,7	15,7	16,0	9,0	0,2	27,6
%	100,0	22,7	27,2	12,4	100,0	38,6	39,2	22,2	0,4	37,8
11	84,9	22,2	30,2	12,1	55,9	15,5	28,3	12,1	0,1	20,4
%	100,0	26,1	35,6	14,3	100,0	27,7	50,6	21,7	0,1	24,0
12	100,5	24,2	38,3	23,9	77,9	16,8	37,2	23,9	0,0	14,1
%	100,0	24,1	38,1	23,8	100,0	21,6	47,7	30,7	0,0	14,0

Winterhalbjahressumme in mm/6 Monate (330 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	640,2	127,6	301,5	114,3	505,1	99,9	291,0	114,3	0,5	96,8
%	100,0	19,9	47,1	17,8	100,0	19,8	57,6	22,6	0,1	15,1

Sommerhalbjahressumme in mm/6 Monate (330 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	Rest
	560,4	71,9	101,0	76,3	285,2	96,1	113,0	76,3	1,5	311,1
%	100,0	12,8	18,0	13,6	100,0	33,7	39,6	26,8	0,5	55,5

Jahressumme in mm/a (660 Monate):

										rehefel2
	P	RG2	RG1	RD	Q	QG2	QG1	QD	Def	ETR
	1200,5	199,5	402,5	190,6	790,4	195,9	404,0	190,6	2,0	408,0
%	100,0	16,6	33,5	15,9	100,0	24,8	51,1	24,1	0,3	34,0

(das hydrologische Jahr geht vom 01.11. bis zum 31.10.)

In der Abbildung 7 sind die Korrektursummen für Rehefeld 2 beispielhaft dargestellt. Die Korrektursummen gelten jeweils für ein Winterhalbjahr vom 01.11. bis zum 30.04. Diese Abbildung zeigt, dass eine Korrektur nur unter Verwendung einer mittleren Korrektursumme für Nebelniederschläge nicht zum Ziel führt, weil die jährlichen Korrekturwerte stark um die mittlere Korrektursumme schwanken. Zum Beispiel im Winterhalbjahr 1962/1963 liegt der ermittelte Korrekturwert rund 394 mm über der mittleren Korrektursumme. Nur in drei Winterhalbjahren (1970/71, 1979/80 und 2003/04) ist die ermittelte Korrektursumme nahezu identisch mit dem Mittelwert.

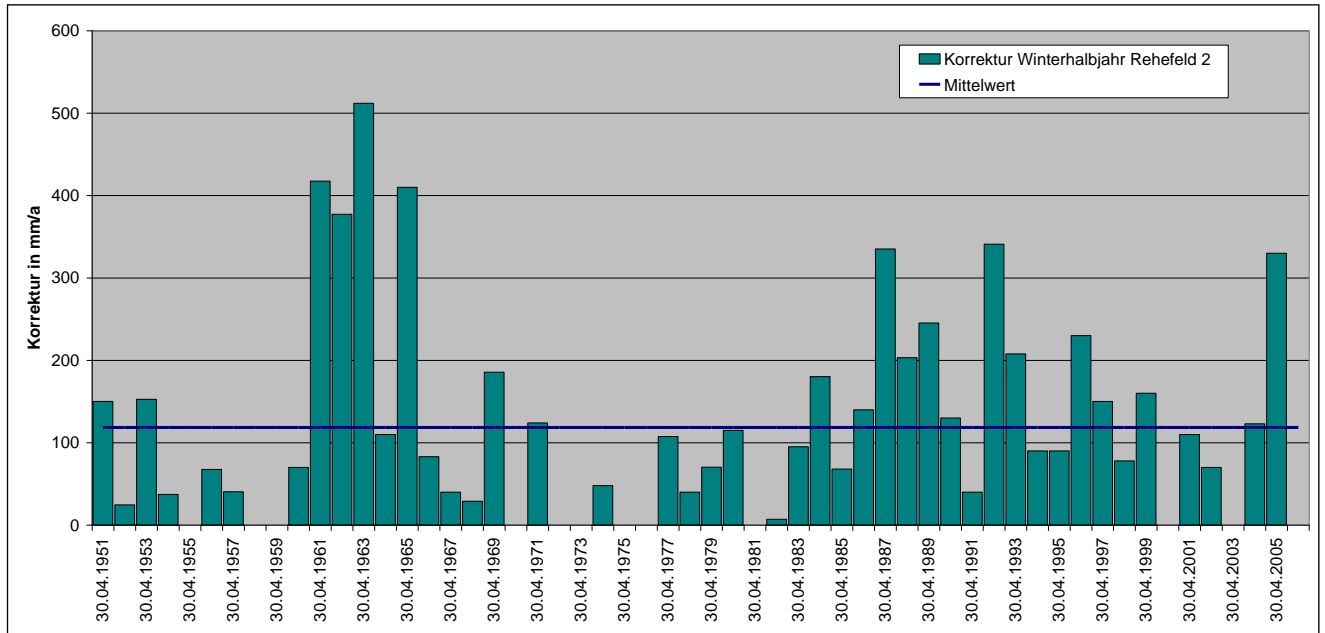


Abbildung 7: Erforderliche Korrektursummen für den Niederschlag je Winterhalbjahr Einzugsgebiet des Pegels Rehefeld 2

Nach dieser Korrektur des Gebietsniederschlages müssen die Ursachen, welche diesen Korrekturbedarf hervorgerufen haben, eruiert werden. Dafür kommen die in Kapitel 3.1.3 genannten Fehlerursachen der Anstriche 5 bis 9 in Frage. Auch hier können Doppelsummenanalysen (DSA) zwischen Gebietsniederschlag und Abfluss zum Nachweis eingesetzt werden. Die Abbildung 8 beinhaltet als Beispiel die Analyse für den Pegel Rehefeld 2 im Zeitraum 1951–2005.

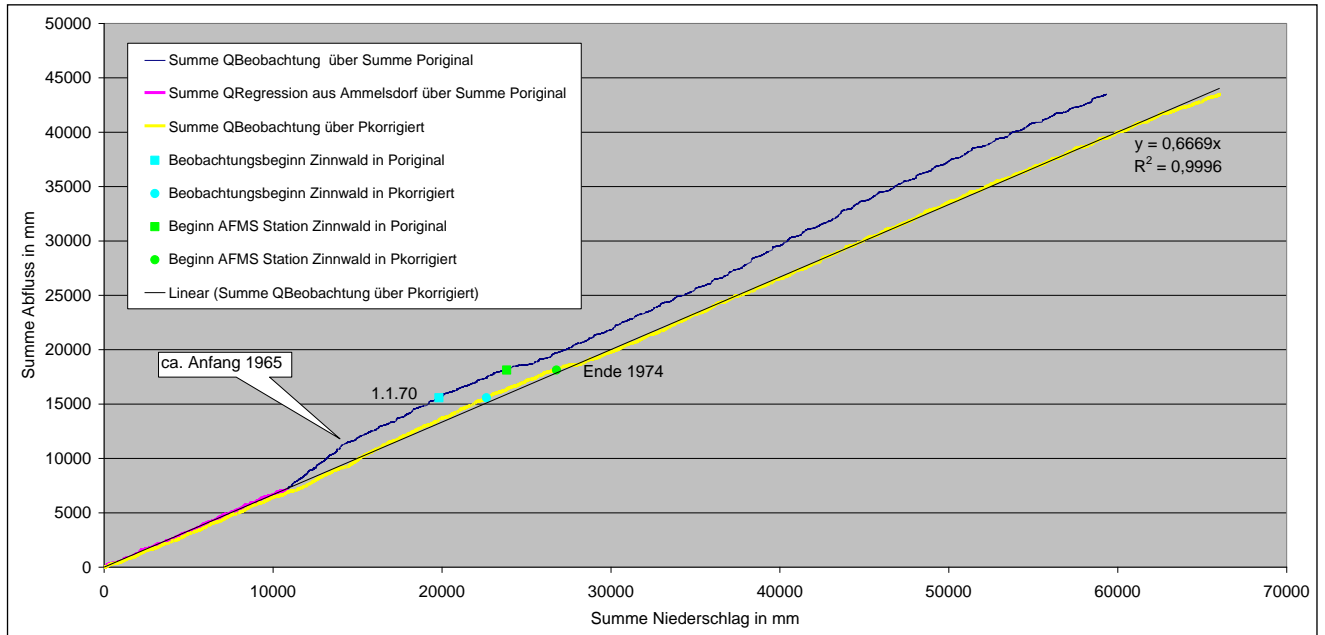


Abbildung 8: Doppelsummenanalyse zwischen den Ausgangswerten bzw. den korrigierten täglichen Werten des Gebietsniederschlages und den Durchflüssen am Pegel Rehefeld 2/Wilde Weißeritz für den Zeitraum 1951–2005

Von 1951–1959 wurden die Durchflusswerte für den Pegel Rehefeld 2 aus den Werten des Pegels Ammeldorf über eine Regression berechnet. Diese unterschätzt tendenziell die Durchflüsse in Rehefeld 2, wodurch ein geringer Gebietsniederschlag scheinbar ausreicht und nur eine relativ geringe Niederschlagskorrektur in diesem Abschnitt erforderlich ist. Ab 1960 liegen gemessene Durchflüsse vom Pegel Rehefeld 2 vor. Dies zeigt sich als markanter Knick in der DSA. Die Durchflusssumme steigt nunmehr steiler an, was zu sehr hohen Niederschlagsdefiziten bis etwa 1965 führt, wie auch Abbildung 8 zeigt. Um hier den Ursachen für diese Inhomogenität etwas näher zu kommen, erfolgte eine Zusammenstellung der in die Gebietsniederschlagsberechnung einbezogenen Niederschlagsstationen im zeitlichen Verlauf (siehe Abbildung 9).

	Höhe [mNN]	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Kipsdorf KO	550.0																												
Lauenstein	515.0																												
Neuhausen	593.0																												
Teplice	230.0																												
Cesky Jiretin, Flaje	740.0																												
Hrob-Krizanov	355.0																												
Usti nad Labem - Manesovy S	162.0																												
Telnice Libonov	300.0																												
Petrovice-Krasny Les	630.0																												
Dubi	402.0																												
Geisingberg, KL	823.0																												
Fürstenwalde-Rudolphsd.	679.0																												
Geising	578.0																												
Sayda	670.0																												
Schellerhau	785.0																												
Dorfchemnitz b. Sayda	506.0																												
Zinnwald-Georgenfeld WST	877.0																												
Cämmerswalde, Rauschbac	615.0																												
Holzchau	780.0																												

Abbildung 9: Übersicht zu dem Einsetzen der Beobachtung an den Niederschlagsstationen im Bereich des Einzugsgebietes der Wilden Weißeritz bis zum Pegel Rehefeld 2 für den Zeitraum 1951–1978

Bei der Berechnung von Gebietsniederschlägen mittels geostatistischer Verfahren spielt die Anzahl und Lage der Stationen in der gesamten Untersuchungsregion (hier ganz Sachsen inkl. einer Randzone außersächsischer Gebiete) eine entscheidende Rolle. Somit hat der Wegfall oder das Hinzufügen einzelner Stationen immer Auswirkungen auf die Gesamtinterpolation und nicht nur auf das Ergebnis in der unmittelbaren Nachbarschaft der betreffenden Stationen. Entscheidend bestimmt wird der Gebietsniederschlag in einem konkreten Einzugsgebiet aber stets durch die Anzahl und Lage der im Gebiet und in der unmittelbaren Umgebung befindlichen Stationen. Hier ist entscheidend, ob diese Stationen repräsentativ für das lokale meteorologische Regime sind (Höhenabhängigkeit, reliefbedingte Einflüsse, Luv-/Leelage etc.). Von 1951–1960 wird der Gebietsniederschlag im Gebiet des Pegels Rehefeld 2 maßgeblich nur durch die Stationen Kipsdorf, Lauenstein und Neuhausen bestimmt. Ab 1961 kommen noch fünf tschechische Stationen hinzu. Damit stehen bis 1964 lediglich drei bis acht Niederschlagsstationen maßgeblich zur Bildung des Gebietsniederschlags für die Einzugsgebiete (siehe Abbildung 9) zur Verfügung. Keine der acht Niederschlagsstationen befindet sich im Kammbereich des Erzgebirges. Weil die Niederschlagsmenge mit der Höhe zunimmt und Stationen in Kammhöhe folglich deutlich höhere Niederschlagsmengen auffangen, ergibt sich aus dem Fehlen dieser Stationen eine Unterschätzung der Gebietsniederschläge vor 1964. Angesichts der Lage der Stationen und der relativ geringen Anzahl kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Gebietsniederschlag für diesen Zeitraum plausible Werte liefert. Erst die Einbeziehung der Station Dubi ab 1965, welche sich auf tschechischer Seite des Erzgebirgskamms, nur ca. 4 km von den Quellgebieten der Wilden Weißeritz entfernt, befindet, führt zu deutlich höheren Gebietsniederschlägen, was sich in einem signifikanten Knick in der DSA bemerkbar macht (Abbildung 9). Eine weitere Ursache für diesen Knick dürfte auch in der ab 1967 erfolgten Einbeziehung der Station Geisingberg zu finden sein, mit der erstmals Niederschläge aus der Höhenlage der Kammfläche vorliegen. Ab Beobachtungsbeginn der Niederschlagsstation Zinnwald-Georgenfeld im Jahr 1970 steigt der Gebietsniederschlag nochmals leicht an. Ab Ende 1974 zeigt die DSA über den Zeitraum von etwa 18 Monaten erneut eine Zunahme der berechneten Gebietsniederschläge. Etwa ab Mitte 1976 nehmen die Gebietsniederschläge tendenziell leicht ab und zeigen bis 2005 keine Inhomogenitäten mehr an. Ob das Verhalten zwischen 1974 und 1976 mit dem Übergang zu einer AFMS-Station in Zinnwald-Georgenfeld und/oder der Einbeziehung weiterer Stationen (Cämmerswalde und Holzau) zusammenhängt, lässt sich nicht ohne Detailuntersuchung klären. Aus dieser Abdeckung der Region mit Niederschlagsmessstationen lässt sich als Fazit ableiten, dass der Gebietsniederschlag vor 1965 wegen des Fehlens von Stationen im Kammbereich und auf tschechischer Seite nicht zuverlässig berechnet werden kann. Ab 1965 verbessert sich die Situation durch die Einbeziehung der Station Dubi deutlich. Erst mit Zinnwald-Georgenfeld kann für das Einzugsgebiet bis zum Pegel Rehefeld 2 der Gebietsniederschlag aus gefallenem Niederschlägen plausibel berechnet werden. Ohne Zinnwald-Georgenfeld ist zumindest im östlichen bis mittleren Erzgebirge eine zuverlässige Berechnung des Gebietsniederschlags praktisch unmöglich.

Mittels der DSA lässt sich der Korrekturbedarf des Gebietsniederschlags für Rehefeld 2 weiter spezifizieren. Von 1951–1969 ergibt sich eine mittlere jährliche Korrektur von rund 143 mm pro Winterhalbjahr aus den ermittelten Korrektursummen je Winter. Von 1970 an beträgt die mittlere Korrektur nur noch 106 mm pro Winterhalbjahr. Daraus folgt, dass das Fehlen der Station Zinnwald-Georgenfeld vor 1970 den Gebietsniederschlag in diesem Kammgebiet in den Wintermonaten um ca. 37 mm pro Winterhalbjahr unterschätzt. In dieser Größenordnung ist unabhängig von der Nebelkorrektur eine stationsbedingte Korrektur erforderlich. Bei einer mittleren Niederschlagssumme im Winterhalbjahr im Zeitraum 1951–1969 von 470 mm (Ausgangswert des Gebietsniederschlags bereits mit Korrektur nach RICHTER (1995), aber ohne zusätzliche Korrekturen des Nebelniederschlags) resultiert somit allein aus dem Fehlen der Station Zinnwald-Georgenfeld im Mittel eine zusätzliche Korrektur von +8 % für die Wintermonate. Der mittlere Korrekturbedarf von 106 mm pro Winter für den Zeitraum nach 1970 könnte dem nicht erfassten Nebelniederschlag zugeordnet werden. Diese Summe des Wassergewinns aus Nebelniederschlägen (Nebel, Raufrost, Raureif und Tau) ist plausibel und passt in

die von FLEMMING (1983) genannten Größenordnungen für Nebelniederschlag im Winter. Der Vorteil ist, dass jetzt die erforderlichen Korrekturen des Nebelniederschlages in täglicher Auflösung vorliegen.

Die DIFGA-Analysen der 28 Gebiete (siehe Tabelle 2) weisen im Sommerhalbjahr immer ausgeglichene Wasserhaushaltsbilanzen auf. In Bezug auf den Nebelniederschlag heißt das, dass keine negativen Restglieder berechnet worden sind, ohne dass damit schon zu beurteilen ist, ob diese Restglieder plausibel sind. Die Bilanzen liefern somit unmittelbar keinen Anhaltspunkt für eine erforderliche Nebelkorrektur. Allerdings ist in den Sommermonaten auch ein deutlich geringerer Nebelniederschlag zu erwarten. Dieser liegt ausgehend von den bei FLEMMING (1983) genannten Werten für das zwischen 687 mNN und 908 mNN hoch gelegene Einzugsgebiet der Wilden Weißeritz bis zum Pegel Rehefeld 2 bei etwa 30 % des Winterwertes. Das bedeutet, über das Sommerhalbjahr fallen ca. 32 mm Nebelniederschlag im Mittel an. Eine Korrektur der Sommerniederschläge erfolgte bis zu diesem Arbeitsschritt noch nicht. Auf der Grundlage der in Tabelle 6 genannten Werte ergeben sich für Rehefeld 2 mit einer Korrektur auch im Sommerhalbjahr die folgenden Änderungen:

Sommerniederschlag	$560,4 \text{ mm} + 32 \text{ mm} = 590,4 \text{ mm}$
Niederschlag Gesamtjahr	$1200,5 \text{ mm} + 32 \text{ mm} = 1232,5 \text{ mm}$
REST Sommerhalbjahr	$311,1 \text{ mm} + 32 \text{ mm} = 343,1 \text{ mm}$
ETR Gesamtjahr	$408,0 \text{ mm} + 32 \text{ mm} = 440,0 \text{ mm}$

Die DSA für die Durchflusssummen und die um den Einfluss fehlender Niederschlagsstationen und um Nebelniederschlag korrigierten Gebietsniederschlagssummen zeigt die Abbildung 8 (gelbe Linie). Die Korrektur der von DIFGA berechneten Niederschlagsdefizite ergibt nunmehr einen konsistenten sowie homogenen Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss.

3.1.6 Zusammenfassung der Nebelkorrekturwerte für alle untersuchten DIFGA-Gebiete

Mit der geschilderten Methode (Kapitel 3.1.4) kann für die mit DIFGA zu untersuchenden Gebiete die Größenordnung des zu berücksichtigenden Nebelniederschlages in ihrem zeitlichen Verlauf berechnet und bei der Wasserhaushaltsbilanz berücksichtigt werden. Als Ergebnis stehen die täglichen Korrekturwerte für die betroffenen DIFGA-Gebiete (Tabelle 2) im LfULG zur Verfügung. Die Tabelle 7 zeigt als Beispiel ein Abbild des Datenbankinhaltes für den Zeitraum 01.02.1999 bis 31.03.1999. Rot hervorgehoben sind Tage, an denen die Ergebnisse des Schneemodells korrigiert werden mussten. An diesen Tagen wurde eine Schmelzwasserabgabe berechnet, obwohl die Ganglinie des Durchflusses keinerlei Reaktion zeigt. Blau gekennzeichnet sind Tage, an denen die an den rot markierten Tagen entnommene Wassermenge wieder eingespeist wurde und/oder eine Nebelkorrektur erfolgte. Werden die blauen und roten Werte aus Tabelle 7 innerhalb eines Winters saldiert, entsteht die Nebelkorrektursumme des betreffenden Jahres.

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen den Verlauf der Korrekturen in den Einzelgebieten. Beide Abbildungen enthalten weiterhin die Mittelwerte der Korrektursummen des Gebietsniederschlages über alle Gebiete. Die Tabelle A1 in den Anlagen enthält die zugehörigen Werte.

Tabelle 7: Abbild des Datenbankinhaltes für tägliche Korrekturbeträge im Zeitraum 01.02.1999 bis 28.02.1999

Datum	Markersbach	Liebstadt 2	Lauenstein 1	Gottleuba 1	Gottleuba 2	Dippoldiswalde 1+3	Schmiedeberg 1	Ammelsdorf	Rehefeld 2	Cämmerswalde	Deutschgeorgenenthal	Neuwersdorf	Rauschenbach 2	Wolfsgrund	Roithenthal	Zöblitz	Cranzahl	Markersbach 1	Tannenberg	Johanngeorgenstadt	Sachsengrund	Schönheide 3	Klingenthal	Wolfersgrün	Herzogswalde	Freital	Mittelwert
01.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02.02.1999	0.0	0.0	0.0	-1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03.02.1999	0.0	0.0	0.0	-7.3	0.0	0.0	0.0	-1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
07.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
08.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
09.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.8	-7.1	10.0	-4.2	0.0	0.0	0.0	0.0
13.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-28.7	-28.2	-30.0	-18.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13.4	-13.7	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-16.5	-17.6	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16.02.1999	0.0	0.0	0.0	-1.5	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-24.8	-34.6	-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17.02.1999	0.0	0.0	0.0	-1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.6	0.0	-5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
18.02.1999	0.0	0.0	0.0	-2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6	0.0	0.0	0.0
19.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.4	0.0	0.0	0.0	-30.0	0.0	0.0	-10.0	-25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	10.0	0.0	20.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.9	0.0	0.0	0.0	-10.0	0.0	0.0	-20.0	-15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.0	-11.1	0.0	0.0	0.0
25.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.0	-4.5	0.0	-28.9	0.0	-10.0	-28.3	0.0	-10.0	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9.7	0.0	0.0	0.0
27.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.0	-6.1	0.0	-1.1	0.0	-20.0	-29.1	0.0	-10.0	-15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-20.0	-23.1	0.0	0.0	0.0
28.02.1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.9	0.0	0.0	0.0	-10.0	-18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6	0.0	0.0	0.0

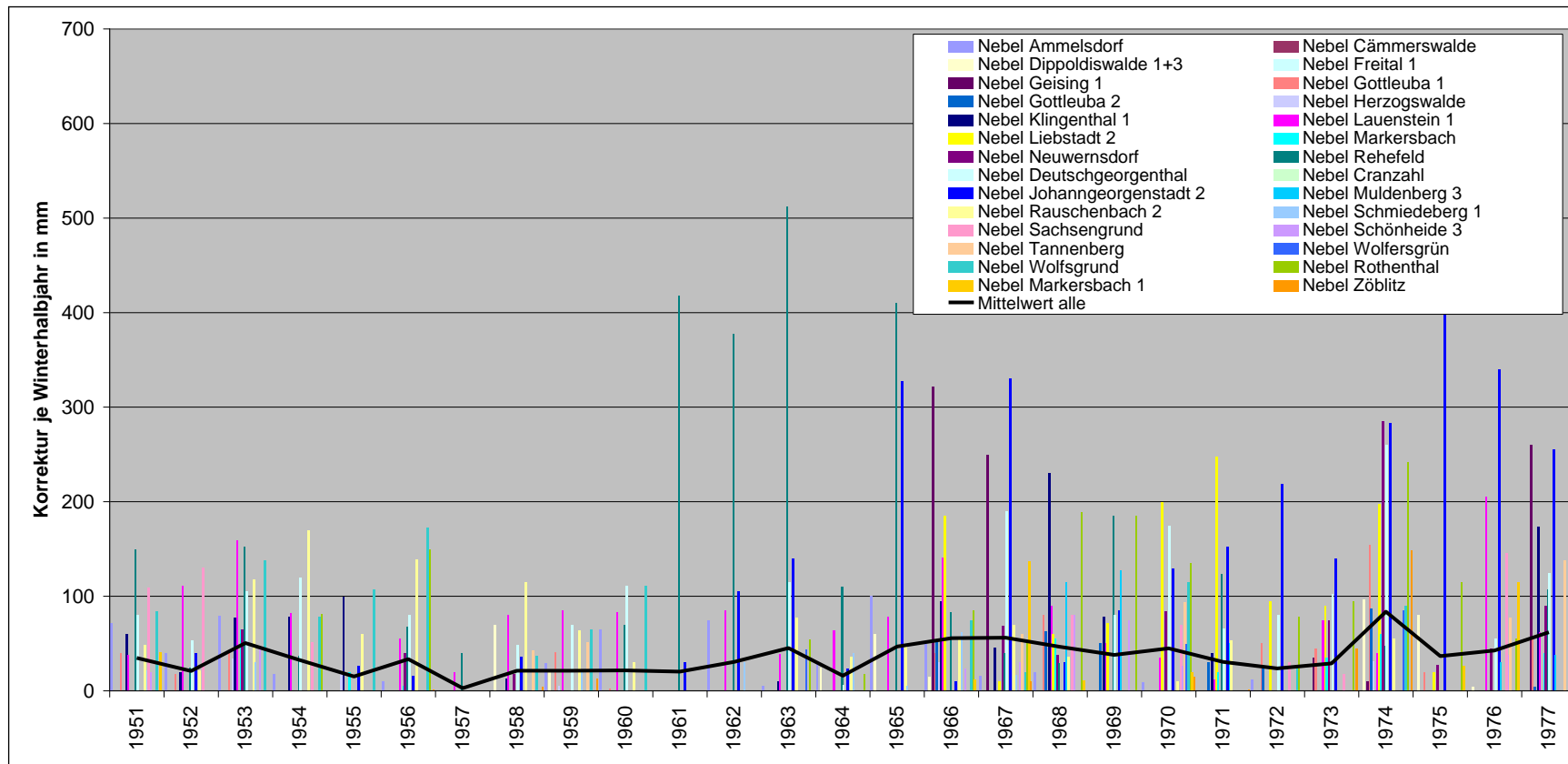


Abbildung 10: Verlauf der Nebelkorrektursummen im Winterhalbjahr für die Untersuchungsgebiete im Zeitraum 1951–1977

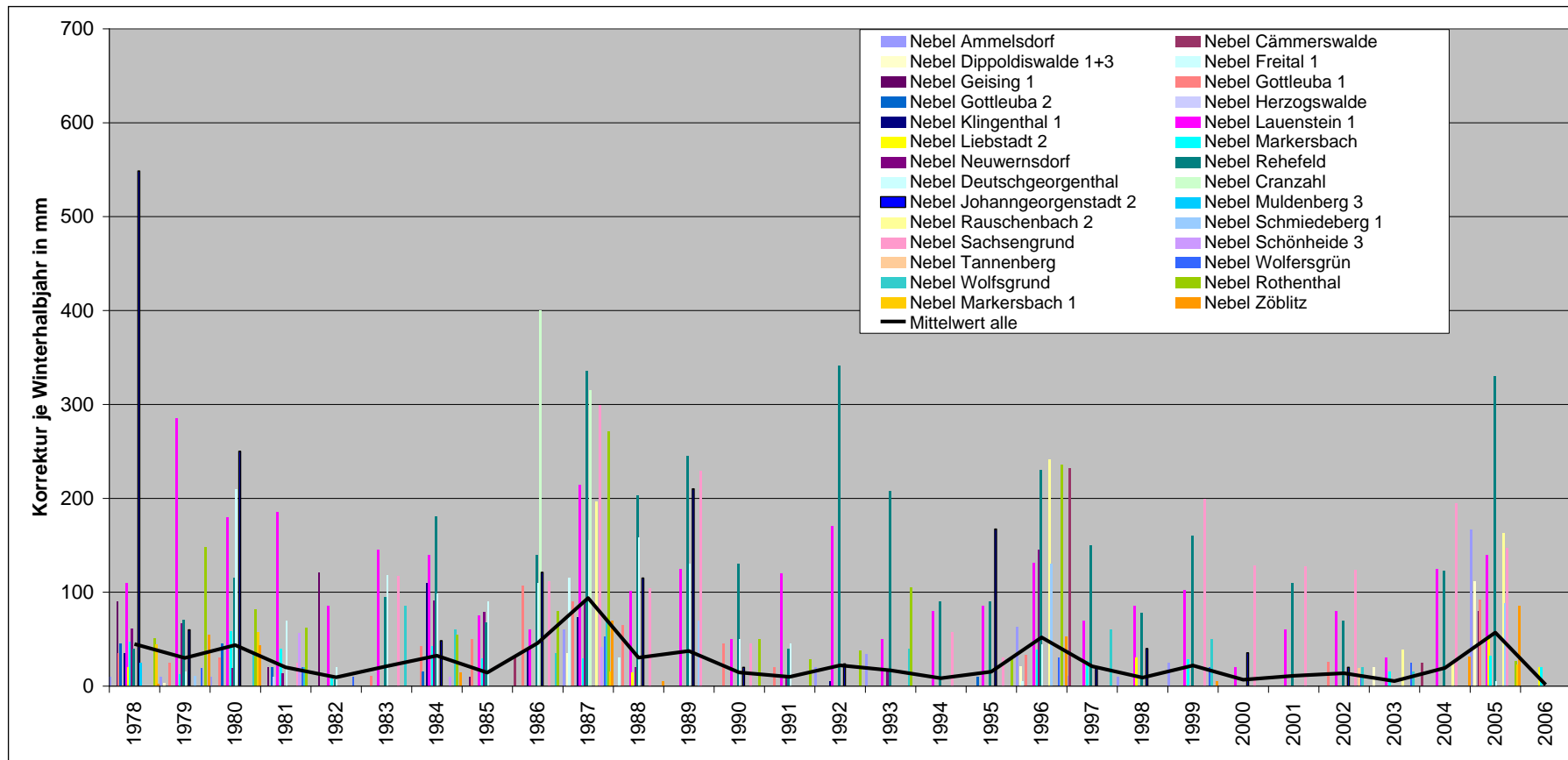


Abbildung 11: Verlauf der Nebelkorrektursummen im Winterhalbjahr für die Untersuchungsgebiete im Zeitraum 1978–2005

3.1.7 Untersuchung des Einflusses der Höhe auf die Korrekturwerte des Niederschlages

Der Korrekturbedarf für Nebelniederschläge hängt stark von der Gebietshöhe ab. Eine Korrektur ist praktisch erst für Einzugsgebiete ab einer maximalen Gebietshöhe von 400 mNN erforderlich. Die Abbildung 12 zeigt den Zusammenhang zwischen der mittleren Einzugsgebietshöhe und dem mittleren, jährlich erforderlichen Korrekturbetrag zur Erfassung der Nebelniederschläge im Winterhalbjahr. Abbildung 13 stellt diesen Zusammenhang für die maximale Höhe im Einzugsgebiet dar. Es ist auffällig, dass es offensichtlich zwei Gruppen von Gebieten gibt. Die erste Gruppe weist einen tendenziell höheren Korrekturbedarf als die Gebiete der anderen Gruppe auf. Hierzu gehören die Gebiete Liebstadt 2, Deutschgeorgenthal, Lauenstein 1, Johanngeorgenstadt 2 und Rehefeld 2. Alle anderen Gebiete gehören einer zweiten Gruppe mit eher geringem Korrekturbedarf an.

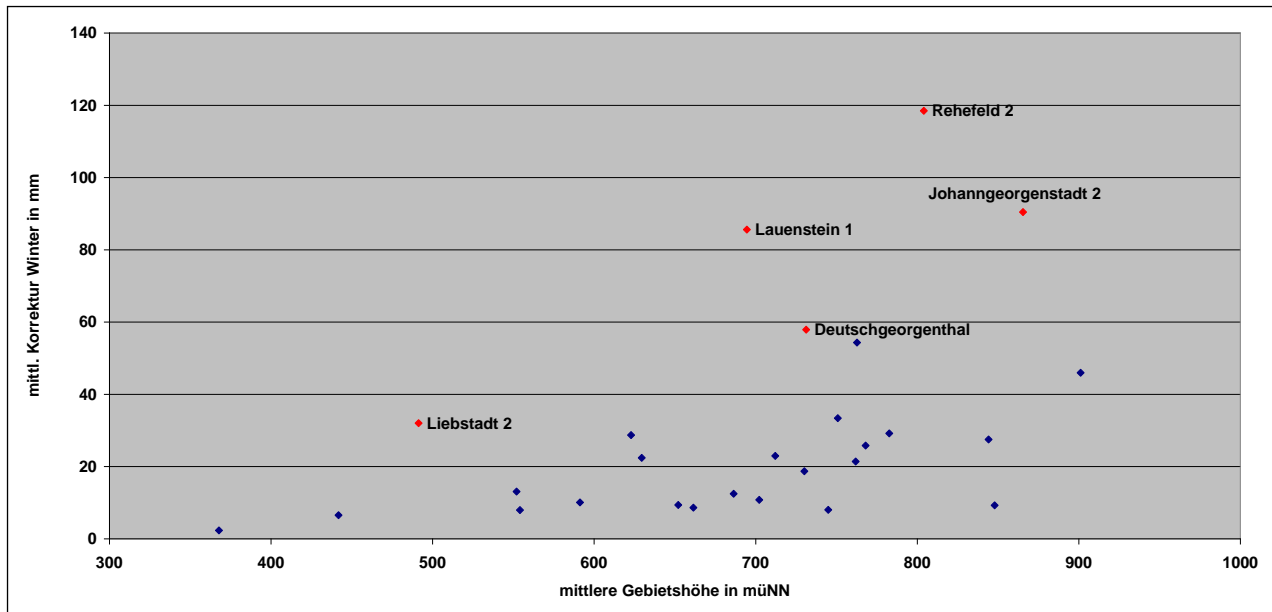


Abbildung 12: Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der mittleren Höhe des Einzugsgebietes

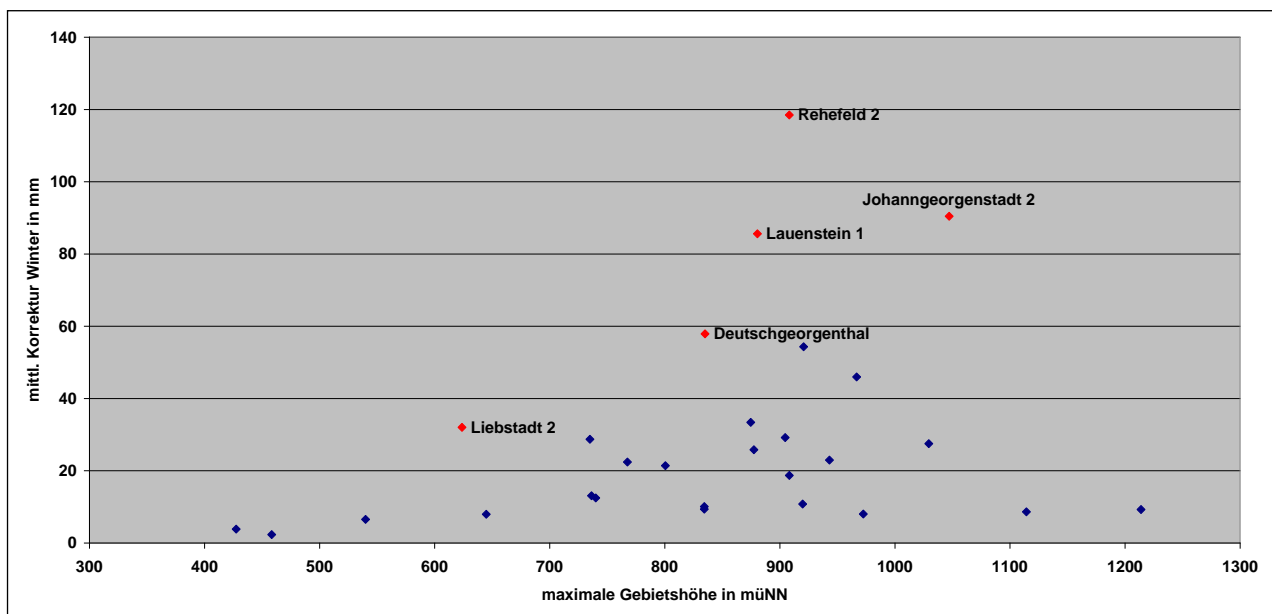


Abbildung 13: Abhängigkeit der mittleren Korrektursumme für den Gebietsniederschlag im Winterhalbjahr von der maximalen Höhe des Einzugsgebietes

Zur Erklärung dieser erhöhten Korrekturwerte in der ersten Gruppe wurde die Abhängigkeit von Vegetation und Nebelniederschlag untersucht. Verschiedene Literaturquellen (EDOM et al. 2007; CHANG et al. 2006; KATATA et al. 2008) legen nahe, dass es einen Zusammenhang zwischen der Vegetationsart und der quantitativen Menge des Nebelniederschlages gibt.

Es wird daher die These geprüft, ob die Stationen mit besonders hohen Nebelkorrekturen möglicherweise einen erhöhten Waldanteil insbesondere in Kammlagen oder in besonders nebelexponierten Arealen besitzen. Dafür wird in den DIFGA-Gebieten der Waldanteil an der Gesamtfläche ermittelt. Es gibt allerdings keine Übereinstimmung zwischen den Gebieten mit hohem Waldanteil und den Gebieten mit hohen Nebelkorrekturwerten. Weil der Nebelniederschlag von der Höhe abhängig ist, wurden weiterhin die betreffenden DIFGA-Gebiete in 100 m-Höhenstufen ausgehend von 0 mNN unterteilt und für jede dieser Höhenstufe der Waldanteil bestimmt. So ist in Abbildung 14 eine Zunahme des Waldanteils in allen der Nebelkorrektur unterzogenen Gebieten bis zur Höhenstufe „700–800 mNN“ zu erkennen. Oberhalb von 800 mNN ist eine Abnahme des Waldanteils sichtbar. Hierbei sind die Gebiete mit den größten Waldanteilen gekennzeichnet. Es wird allerdings festgestellt, dass keines der Gebiete mit besonders hohem Korrekturbedarf einen signifikant größeren Waldanteil aufweist. Daher kann der Waldanteil nicht als alleinige Erklärungsvariable für den hohen Nebelniederschlag in den Gebieten der ersten Gruppe dienen.

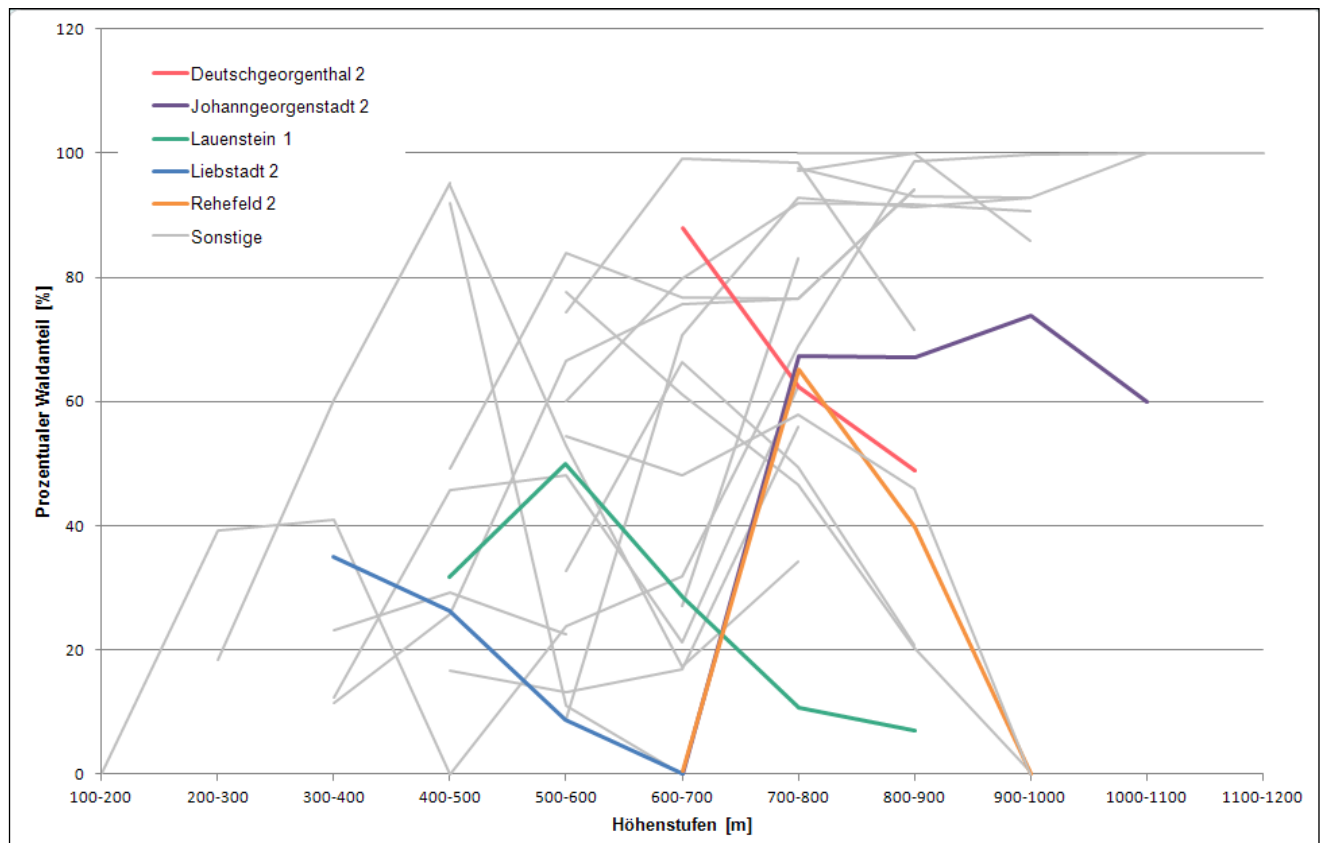


Abbildung 14: Zusammenhangsuntersuchung von Waldanteil und Höhenstufe

3.2 Untersuchungen zu einer prozessbezogenen Berücksichtigung von Nebelniederschlägen

Im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit (HOFFMANN 2012) wurde untersucht, ob es Möglichkeiten einer räumlich und zeitlich besser aufgelösten Berücksichtigung abgefangener und abgesetzter Niederschläge gibt, als es die Angaben nach FLEMMING (1983) bisher ermöglichen. Insbesondere wurde untersucht, ob ein prozessbezogenes Nebelkorrekturmodell für die Niederschlagskorrektur aufgestellt werden kann. Dafür sollten wesentliche Einflussfaktoren auf den Nebelniederschlagsgewinn, die in PAHL (1996), DÄHNE (1999) und QUECK (2003) genannt sind, für die Entwicklung eines „Nebelkorrekturfaktors“ berücksichtigt werden. Dazu gehören primär die Sichtweite (Daten von fünf Stationen liegen vor), Tagesmittel der Lufttemperatur, Tagesmittel der Windgeschwindigkeit sowie der Waldanteil. Damit sollte es dann möglich sein, für die Untersuchungen des auf Messwerten basierenden Status quo eine plausible Nebelkorrektur vorzunehmen.

Nachfolgend werden für zwei Pegel die Zusammenhangsanalyse zwischen täglichen Korrekturwerten und der Lufttemperatur sowie dem Nebelintensitätsfaktor aufgezeigt.

Die zeitliche Entwicklung der Nebelkorrektursumme pro Tag stellt die Abbildung 15 am Beispiel des Pegels Lauenstein im Winter 1998/1999 dar. In dieser Abbildung ist der Verlauf der Lufttemperatur und der zusätzlich zu RICHTER erfolgten Niederschlagskorrektur (Berücksichtigung von Nebelniederschlägen, Verlauf Schneeschmelze) in täglicher Auflösung zu sehen. Weiterhin ist die Nebelintensität mittels des Nebelintensitätsfaktors TNBW 1 dargestellt. Dieser Faktor wurde von HOFFMANN (2012) unter Verwendung täglicher Daten zur Sichtweite bestimmt. Die detaillierte Ableitung kann im LfULG erfragt werden. Je höher der Wert dieses Faktors ist, umso intensiver ist der Nebel. Wie Abbildung 15 zeigt, trat Nebel im Zeitraum November bis Januar überwiegend an Tagen mit negativer Lufttemperatur auf. Das bedeutet, dass mit einer starken Akkumulation von Nebelwasser in Form von Raufrost und Raureif zu rechnen ist. In diesem Zeitraum wurde weiterhin aus den Niederschlägen eine Schneedecke aufgebaut, die erst von Ende Februar bis Ende März komplett abgebaut wurde. Über den gesamten Winter verteilt gab es aber häufig kleinere Warmlufteinbrüche mit zeitweise einsetzender Schneeschmelze. Deren Verlauf konnte durch das verwendete Schneemodell (Tagesgradverfahren) mit einer Ausnahme gut nachgebildet werden. Um den 10.11.1998 und um den 22.11.1998 erreichte die Lufttemperatur den Grenzwert von $-0,5\text{ °C}$, ab dem vom Modell die Schneeschmelze berechnet wird. Weil in der Durchflussganglinie keine adäquate Reaktion sichtbar wurde, erfolgte hier eine Korrektur in Form einer Reduktion der Niederschläge (in der Abbildung 15 im Graph für die kumulierte Korrektursumme rot markiert). Diese Reduktion ist bei der nächsten Schmelzperiode vom 13. bis 16.12.1998 auf den Niederschlag addiert worden. Somit ist das Niederschlagswasserdargebot mengenmäßig nicht verändert, sondern nur zeitlich umverteilt worden. Trotz dieser Korrektur des Verlaufes der Schmelzwasserabgabe konnte aber in den Monaten Dezember bis März kein ausgeglichener Wasserhaushalt ermittelt werden. Zu jeder Schmelzperiode (sichtbar durch den Anstieg der Lufttemperatur über 0 °C) reichte die Summe aus Schmelzwasser und ggf. Regen nicht aus, um den Abfluss mengenmäßig zu erklären. Deshalb wurde zu jeder Schneeschmelzperiode eine Korrektur (Addition von Niederschlag) nach der in Abschnitt 3.1.4 beschriebenen Methode durchgeführt. Die Anstiege in der blau dargestellten Linie für die kumulierte Korrektur kennzeichnen Zeitpunkt und Höhe der Korrektur. Insgesamt wurden bis Ende April 1999 102,2 mm auf den Gebietsniederschlag aufgeschlagen. Ohne diese Nebelkorrektur hätte der Wasserhaushalt ein negatives Bilanzsaldo für die Verdunstung ergeben.

Zum Vergleich ist die Nebelkorrektur für das Einzugsgebiet des Pegels Rehefeld 2 dargestellt. Obwohl beide Gebiete nahe beieinander liegen, unterscheidet sich die erforderliche Nebelkorrektur deutlich. Eine Korrektur der berechneten Schmelzwasserabgabe war für Rehefeld 2 nicht erforderlich. Die Nebelkorrekturen erfolgen

meist zu denselben Zeitpunkten wie im Gebiet Lauenstein. Eine Ausnahme bildet der Januar 1999. Während in Lauenstein eine Nebelkorrektur am Anfang und gegen Ende des Monats erforderlich war, gab es in Rehefeld 2 nur eine Korrektur am Anfang des Monats. Ursache ist vermutlich die etwas geringere Lufttemperatur in Rehefeld 2 gegenüber Lauenstein. Wesentlich bedeutender ist, dass in Rehefeld 2 über das gesamte Winterhalbjahr hinweg eine Gesamtkorrektur von 160 mm erforderlich ist, während in Lauenstein nur 102 mm notwendig waren. Die Ursache hierfür ist in den unterschiedlichen Höhenlagen zu vermuten (vgl. Tabelle 8). Die untersuchten Gebiete weisen nicht nur von Jahr zu Jahr, sondern auch regional starke Schwankungen der erforderlichen Nebelkorrektur auf, welches aus Abbildung 10 und Abbildung 11 ersichtlich ist.

Tabelle 8: Charakteristische Gebietshöhen in mNN in den Einzugsgebieten Lauenstein 1 und Rehefeld 2

Pegel	Minimale Höhe	Maximale Höhe	Mittlere Höhe
Lauenstein 1	491	881	695
Rehefeld 2	687	908	804

Die Untersuchungen in der Arbeit von HOFFMANN (2012) zeigten insgesamt, dass unter Verwendung von Depositionsmodellen die Ableitung eines sachsenweit anwendbaren Nebelkorrekturfaktors nicht möglich ist. Die Ursachen liegen primär an der unzureichenden Datenverfügbarkeit. Die ausschließliche Verwendung der Sichtweite ermöglicht eine gute Charakterisierung der Nebelintensität. Diese Werte liegen aber nur für eine zu geringe Anzahl von Beobachtungsstationen und nicht für den gesamten Untersuchungszeitraum vor. Weiterhin kann mit der Nebelintensität eine gute qualitative Beschreibung des Korrekturverlaufes erfolgen (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16). Es konnte aber kein quantifizierbarer Zusammenhang zwischen Nebelkorrektur (Menge, zeitlicher Verlauf, regionale Struktur) und Nebelintensität bzw. Sichtweite formuliert werden. Dies war zu erwarten, weil in den Depositionsmodellen wesentlich mehr Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

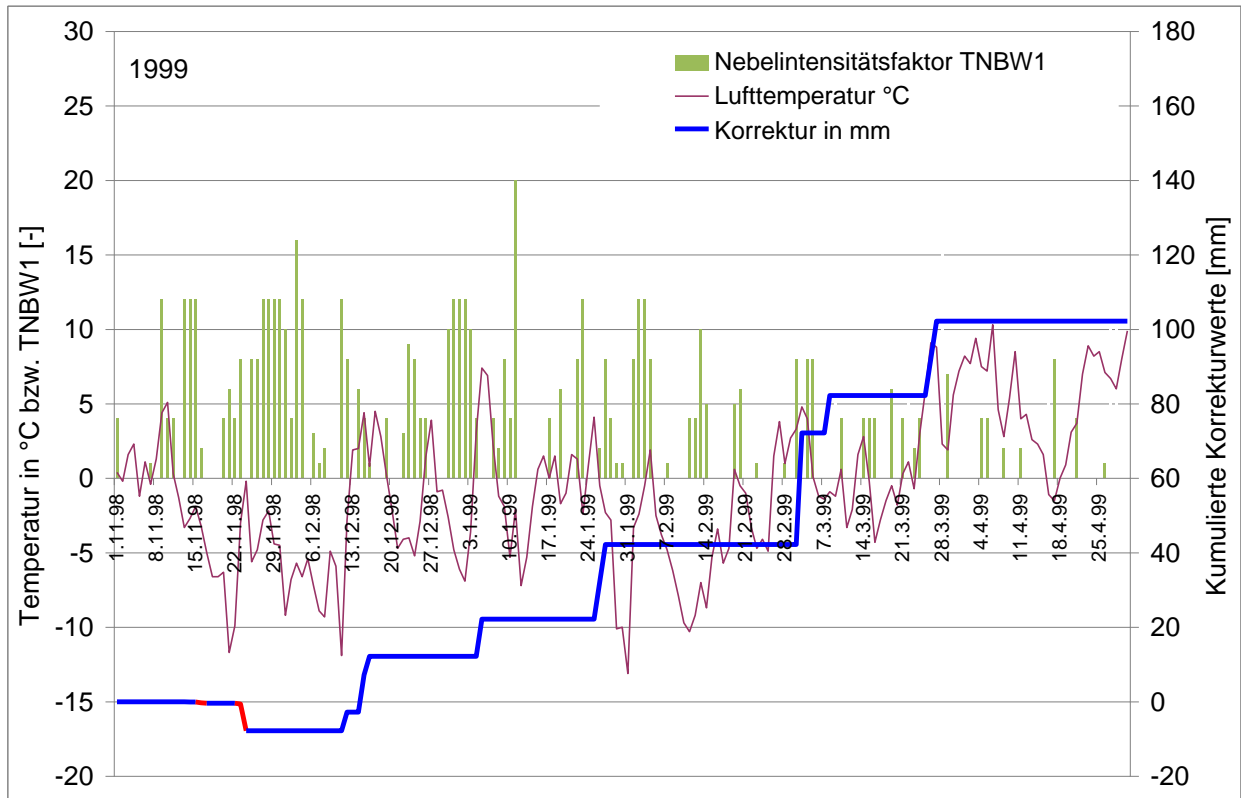


Abbildung 15: Beispiel für den Verlauf der täglichen Nebelkorrektur am Pegel Lauenstein für den Winter 1998/1999 im Zusammenhang zur Lufttemperatur und zum Nebelintensitätsfaktor TNBW1 (aus HOFFMANN 2012, überarbeitet)

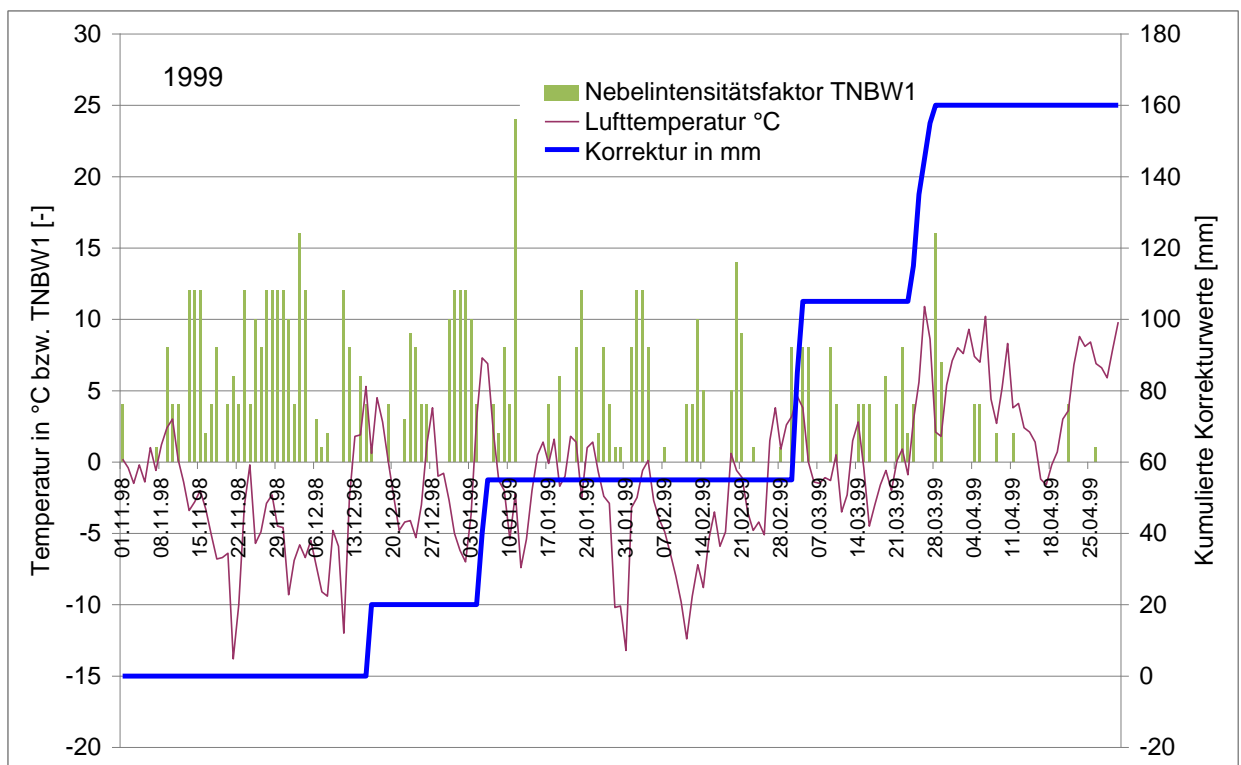


Abbildung 16: Beispiel für den Verlauf der täglichen Nebelkorrektur am Pegel Rehfeld 2 für den Winter 1998/1999 im Zusammenhang zur Lufttemperatur und zum Nebelintensitätsfaktor TNBW1 (aus HOFFMANN 2012, überarbeitet)

3.3 Regional flächendeckende Berücksichtigung des Nebel- niederschlages bei der Wasserhaushaltsmodellierung

Ausgehend von den Ergebnissen der Korrektur des Gebietsniederschlages für die DIFGA-Gebiete wurden Verfahren zur flächendeckenden Berücksichtigung des Nebelniederschlags auch in hydrologisch unbeobachteten Gebieten entwickelt, weil sowohl die Regionalisierung der DIFGA-Ergebnisse (Kapitel 3.3.1) als auch ArcEGMO (Kapitel 3.3.2) plausible Wasserhaushaltswerte nur mit einem korrekten Niederschlagsinput berechnen kann.

3.3.1 Regionalisierung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Beobachtungszeitraum 1951–2005

Für die Ermittlung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Untersuchungsraum innerhalb KliWES sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

- Übertragung der Korrekturwerte von Einzugsgebietsebene auf Teileinzugsgebietsebene
- Regionalisierung der Korrekturwerte
- Auswertung der regionalisierten Korrektursummen

Übertragung der Korrekturwerte von Einzugsgebietsebene auf Teileinzugsgebietsebene

Der Korrekturbedarf des Niederschlagsdargebotes wird für die unbeobachteten Gebiete mittels einer Regionalisierung aus den Ergebnissen der DIFGA-Analysen abgeleitet. In Abbildung 17 sind alle betrachteten Einzugsgebiete, für die Korrekturwerte anhand der DIFGA-Analysen ermittelt wurden, dargestellt.

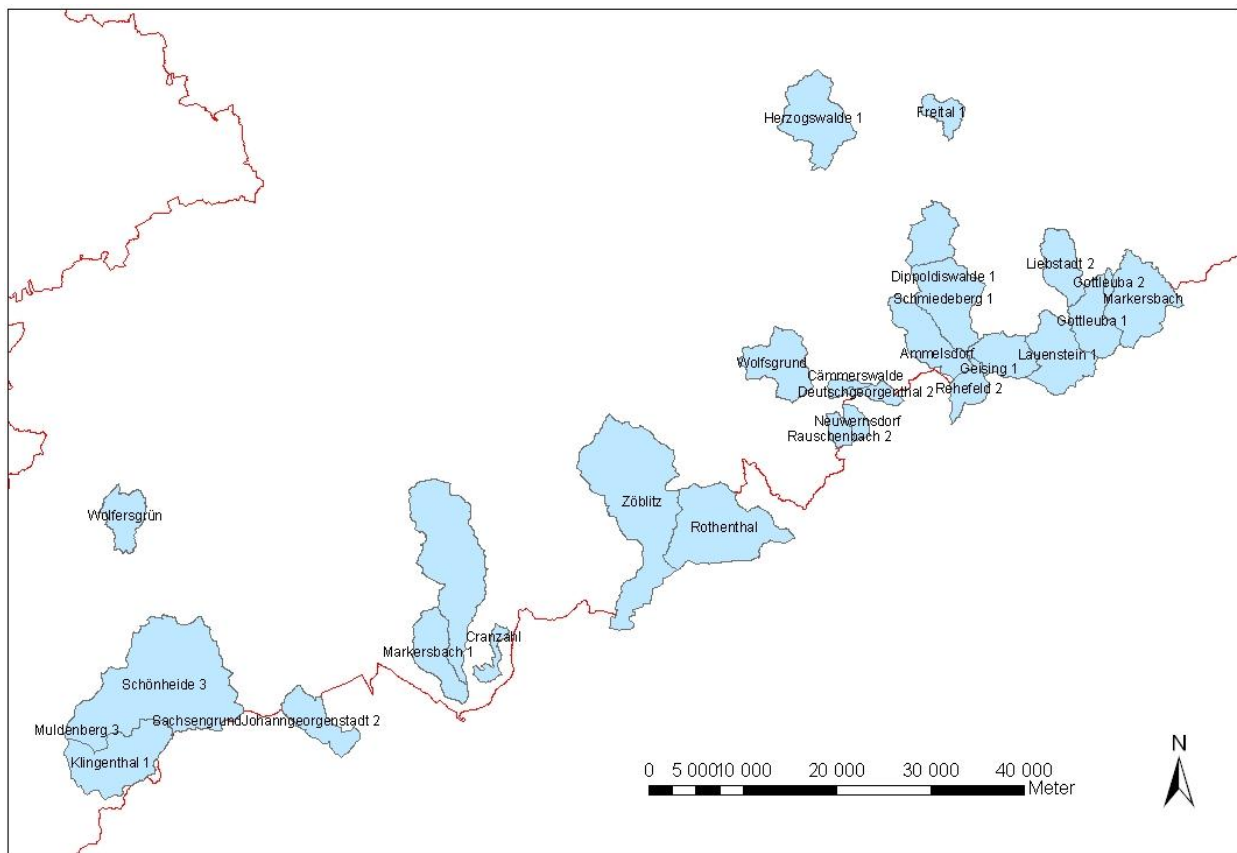


Abbildung 17: DIFGA-Gebiete, für die Korrekturwerte existieren

Zunächst werden die täglichen Korrekturwerte auf die in den DIFGA-Gebieten liegenden Teileinzugsgebiete (siehe Abbildung 18) regionalisiert. Die jeweilige mittlere Gebietshöhe z dient hierbei als externe Drift. Die Drift wird in Form der linearen Regression (siehe Abbildung 19, vgl. auch Abbildung 12 und Abbildung 13) aus den DIFGA-Gebieten abgeleitet. Nach DIFGA-Untersuchungen in 115 Gebieten in Sachsen war in Gebieten, deren maximale Gebietshöhe unter 400 mNN liegt, in keinem Fall eine Nebelkorrektur erforderlich. Somit wird auch hier die untere Grenze der Nebelkorrektur bei 400 mNN angesetzt. Daher muss die Regressionsgerade die Abszissenachse bei 400 m schneiden.

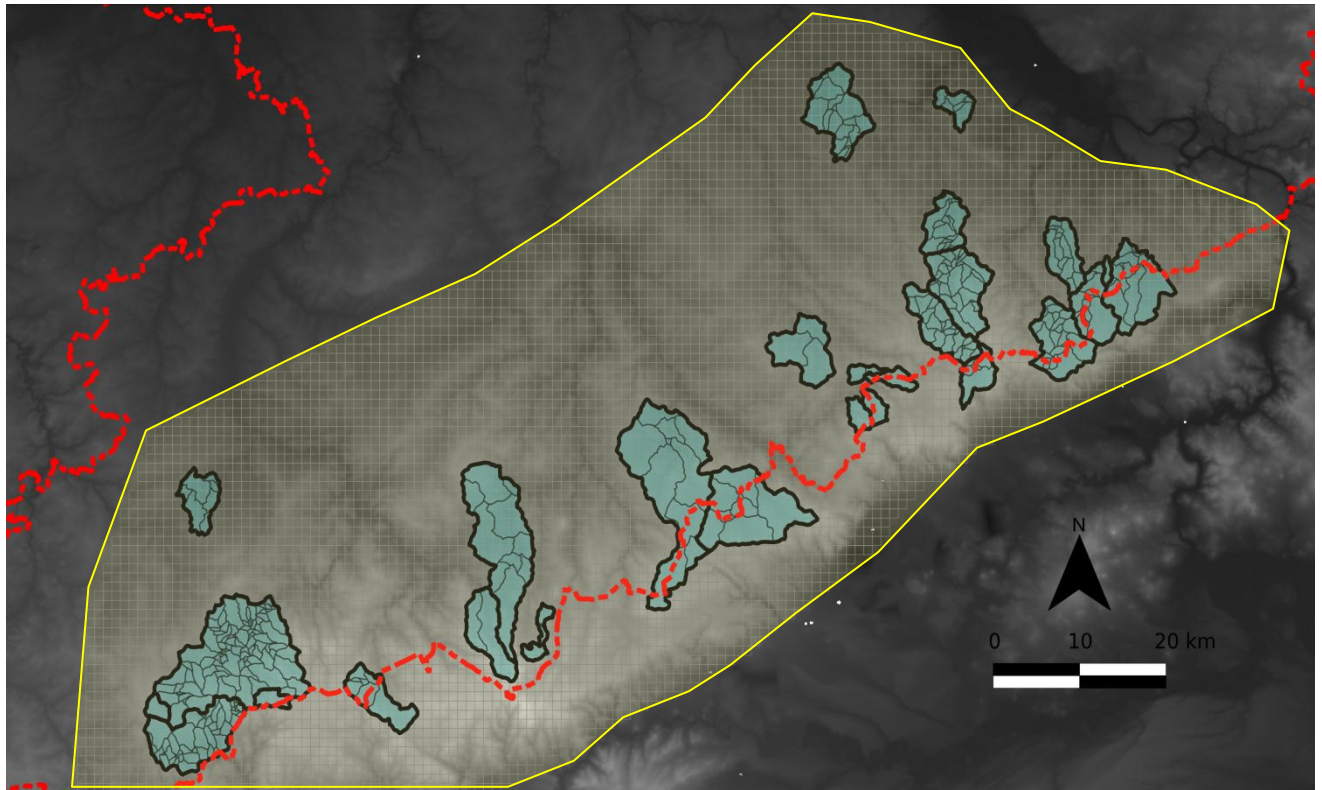


Abbildung 18: Teileinzugsgebiete und Raster der Klimadaten

Es gibt zwei unterschiedlich zu betrachtende Typen von Einzugsgebieten. Zum einen weist die Mehrzahl der betroffenen Gebiete geringere Korrekturwerte auf, zum anderen benötigen fünf Gebiete signifikant höhere Korrekturwerte (Liebstadt 2, Lauenstein 1, Deutschgeorgenthal, Rehefeld 2, Johanngeorgenstadt 2). Daher wird das Kollektiv aufgeteilt und zwei verschiedene Regressionen (Abbildung 19) aufgestellt. Für Gebiete mit geringeren ermittelten Korrekturwerten gilt für den errechneten Korrekturwert c^* :

$$c^*(z) = 7.389 \cdot 10^{-4} (z - 400) \quad (5)$$

Die Regressionsformel für die fünf Ausnahmegebiete lautet:

$$c^*(z) = 2.381 \cdot 10^{-3} (z - 400) \quad (6)$$

Diese Regressionsgeraden werden proportional auf die Teileinzugsgebiete des jeweiligen DIFGA-Gebietes angewandt. Damit berechnet sich der tatsächliche Korrekturwert c_T eines Teileinzugsgebietes mit dem Korrekturwert c_D des übergeordneten DIFGA-Gebietes wie folgt:

$$C_T = \frac{C_T^*}{C_D^*} C_D \quad (7)$$

mit:

C_T ...Tatsächlicher Korrekturwert eines Teileinzugsgebietes

C_T^* ...Errechneter Korrekturwert eines Teileinzugsgebietes

C_D ...Tatsächlicher Korrekturwert des übergeordneten DIFGA-Gebietes, welcher im Rahmen der DIFGA-Analyse ermittelt worden ist

C_D^* ...Errechneter Korrekturwert des übergeordneten DIFGA-Gebietes

Wie in Abbildung 20 deutlich wird, gilt die Proportionalitätsbeziehung nicht nur für positive, sondern auch für negative Korrekturwerte. Daher ist die gleichmäßige Anwendung der Formel zulässig.

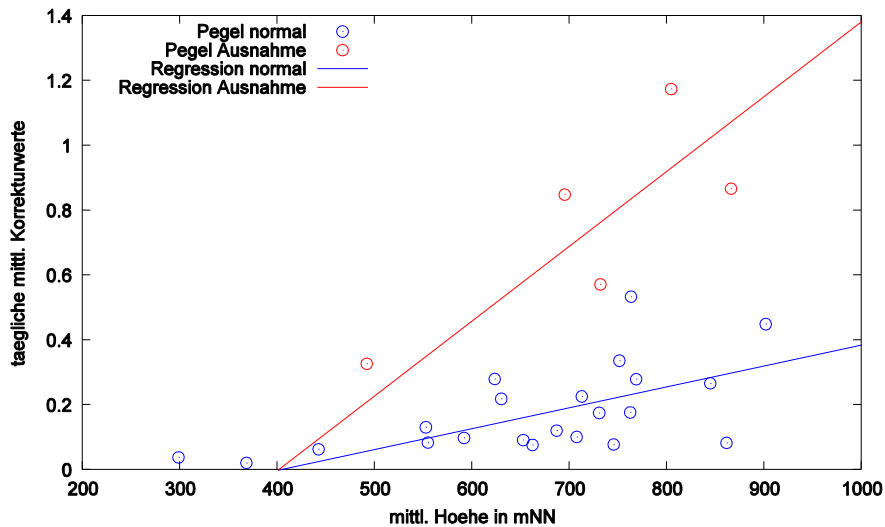


Abbildung 19: Regressionsgeraden der mittleren Korrekturwerte in Abhängigkeit von der mittleren Gebietshöhe; blau dargestellt für normale Gebiete und rot dargestellt für fünf besonders zu korrigierende Gebiete (Liebstadt 2, Lauenstein 1, Deutschgeorgenthal 2, Rehefeld 2, Johannegeorgenstadt 2)

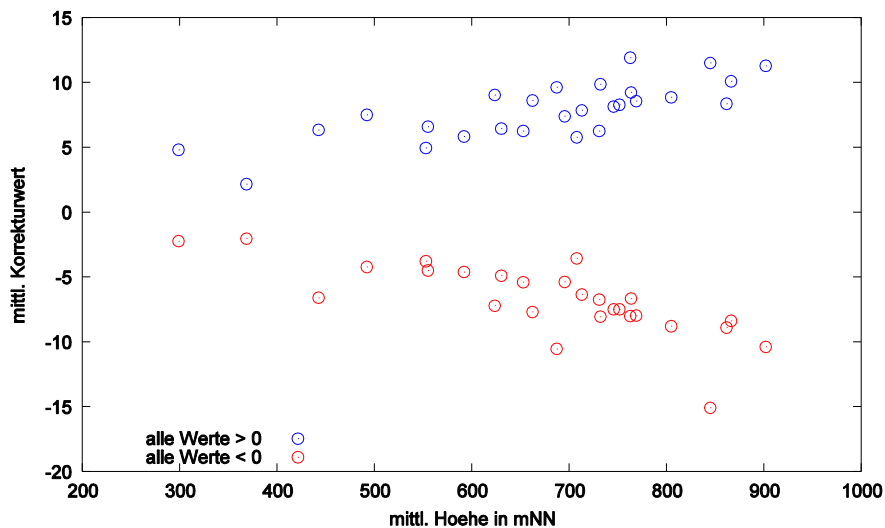


Abbildung 20: Verhalten der mittleren positiven Korrekturwerte (blau) und der mittleren negativen Korrekturwerte (rot) mit der mittleren Gebietshöhe

Es besteht die Frage, inwieweit das Downscaling der Korrekturwerte von DIFGA-Gebieten auf Teileinzugsgebiete bereits Ungenauigkeiten generiert. Dazu werden auf den Abszissenachsen der Abbildung 21 alle täglichen Korrekturwerte aus DIFGA-Gebieten sortiert abgetragen. Der untersuchte Zeitraum von 1951 bis 2005 umfasst 20.089 Tage. Eine Nebelkorrektur erfolgte dabei jedoch nur an einem Bruchteil der Werte. Für Rehefeld 2 z. B. gibt es Korrekturen nur an 1.324 Tagen, d. h. für die übrigen 18.765 Tage ist die Korrektur Null. Auch bei den Tagen mit Korrektur sind viele Tage mit gleichen Werten belegt. So kommt z. B. der Korrekturwert "+5" in Rehefeld 2 an 81 Tagen des Untersuchungszeitraumes vor. Die große Zahl gleicher Werte ergibt in der Abbildung 21 eine scheinbar geringe Anzahl von Eintragsstellen, obwohl in jedem Diagramm über 20.000 Werte dargestellt wurden.

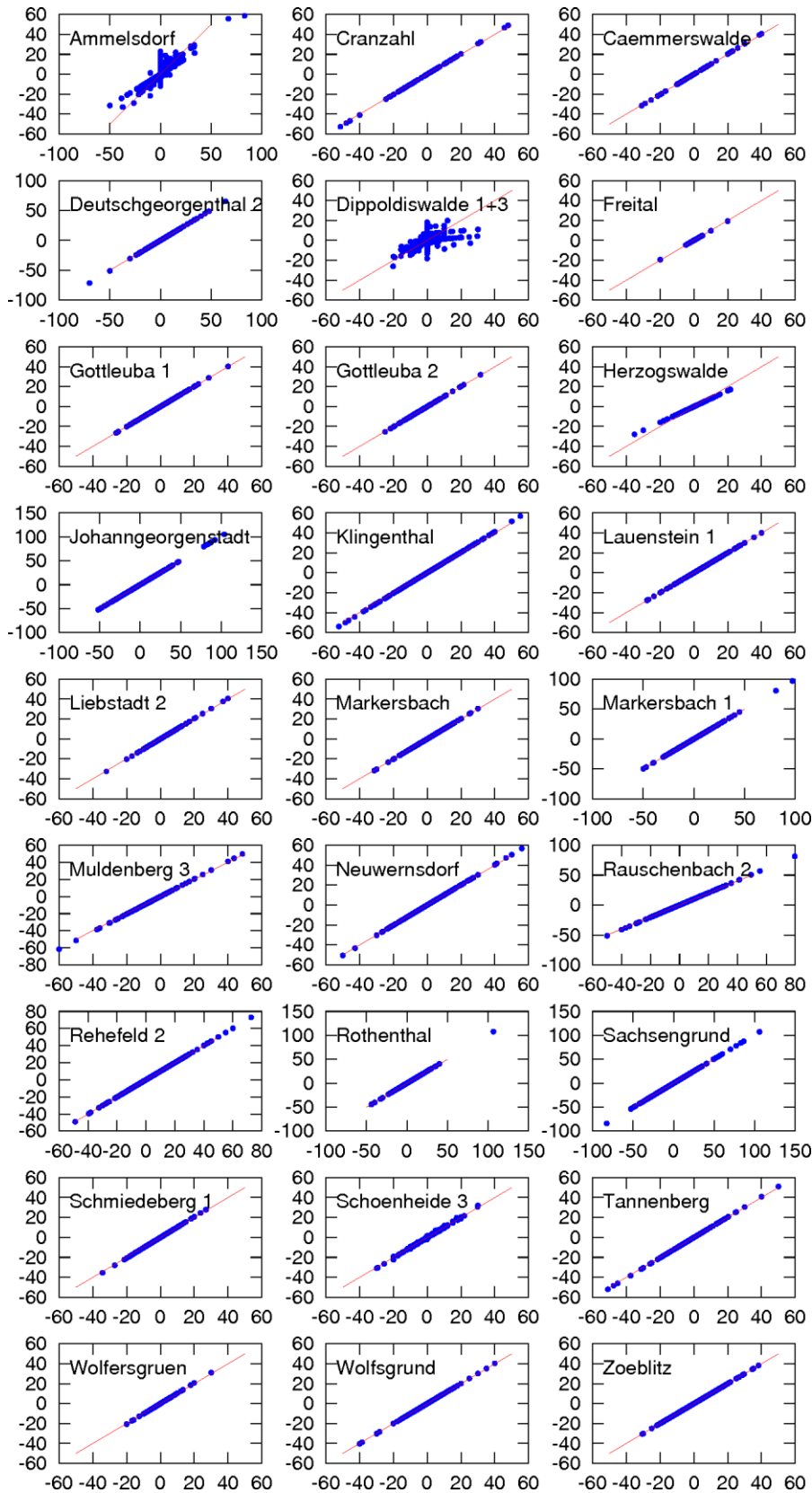


Abbildung 21: Vergleich der sortierten Korrekturwerte der DIFGA-Gebiete (Abszissenachse) mit den flächengewichteten Korrekturwerten der Teileinzugsgebiete in den DIFGA-Gebieten (Ordinatenachse); die rote Linie ist die 1:1-Gerade

Zum Vergleich zu den täglichen Korrekturwerten werden auf den Ordinatenachsen die flächenhaft gemittelten Korrekturwerte der jeweils zum DIFGA-Gebiet gehörenden Teileinzugsgebiete dargestellt. Zur schnellen Interpretation kann die 1:1-Gerade herangezogen werden. In fast allen Gebieten gibt es eine sehr gute Übereinstimmung der Korrekturwerte aus DIFGA mit den auf die Teileinzugsgebiete übertragenen Korrekturwerten. Eine Ausnahme sind die beiden Einzugsgebiete Ammeldorf und Dippoldiswalde 1+3. Ammeldorf umfasst Rehefeld 2 und Dippoldiswalde 1+3 das Gebiet Schmiedeberg 1. Die jeweiligen Teileinzugsgebiete haben eigene Pegel und somit auch eigene DIFGA-Auswertungen. Dies hat zur Folge, dass beispielsweise in Rehefeld 2 das Wasserdargebot aus Niederschlag am Tag i korrigiert werden muss. In Ammeldorf hingegen fallen an diesem Tag hingegen keine Bilanzfehler auf, weil das Gebiet größer ist und daher die Wasserbilanz besser puffert. Wird nun ein flächengewichtetes Mittel für Ammeldorf berechnet, werden auch die Werte aus Rehefeld 2 genutzt. Damit kommt es an einigen Tagen auch in Ammeldorf zu Korrekturwerten, die nicht in der DIFGA-Auswertung des Gesamtgebietes auftauchen. Gleichermäßen kommt es vor, dass an einigen Tagen der Korrekturwert aus allen Teileinzugsgebieten im Gebiet Ammeldorf signifikant anders ist als der Korrekturwert im Gesamtgebiet.

Auch das Gebiet Schönheide 3 umfasst gesondert untersuchte Gebiete, speziell Muldenberg 3 und Sachsengrund. Jedoch haben die beiden Teileinzugsgebiete zu geringe Flächenanteile, weshalb keine signifikanten Unterschiede vorhanden sind.

Regionalisierung der Korrekturwerte

Aus den betroffenen DIFGA-Gebieten können mittels Regression mit der mittleren Höhe tägliche Korrekturwerte von 377 Teileinzugsgebieten abgeleitet werden. Diese 377 Stützstellen können zur Regionalisierung auf das Raster, in welchem die Klimadaten vorliegen, genutzt werden. Das Raster muss zuerst auf einen Bereich maskiert werden, wo zu vermuten ist, dass Korrekturwerte wegen Nebelniederschlag notwendig sind. In Abbildung 18 ist der Bereich, für den eine Korrektur des Nebelniederschlags durchgeführt werden muss, durch das gelb umrandete Raster gekennzeichnet. Die Orientierung des Rasters ist identisch mit dem auch ansonsten in KliWES verwendeten 1.000 m Grid. Die Abgrenzung des Rasters richtet sich in etwa nach der 400 m-Höhenlinie. In anderen Gebieten Sachsens ist ausgehend vom Ergebnis der DIFGA-Analysen nicht mit signifikantem Nebelniederschlag zu rechnen.

Als Methode für die Regionalisierung wird ein External Drift Kriging (EDK) favorisiert (vgl. BÁRDOSSY 1997 und KITANIDIS 1997). Das zum Kriging notwendige Semivariogramm ist entweder sphärisch oder exponentiell. In den jeweiligen Fällen berechnet sich der theoretische Variogrammschätzer γ mit:

$$\text{Sphärisches Variogramm: } \gamma(l) = \begin{cases} sill \left[1.5 \frac{l}{range} - 0.5 \left(\frac{l}{range} \right)^3 \right] & \text{wenn } l \leq range \\ sill & \text{wenn } l > range \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{Exponentielles Variogramm: } \gamma(l) = sill \left[1 - \exp\left(\frac{-3l}{range}\right) \right] \quad (9)$$

Die Aussageweite $range$ wird fix auf 50 km gesetzt und nur der Schwellwert $sill$ unter Minimierung der quadratischen Abstände optimiert. Es ist günstig, die Aussageweite konstant auf einem plausiblen Wert zu belassen, weil dadurch die Optimierung erheblich vereinfacht und fehlerresistenter wird. Es wird kein Nugget-Effekt angenommen, somit wird das Kriging erwartungstreu an jeder Stützstelle.

Das External Drift Kriging berechnet die Kriging-Gewichte λ für jeden bekannten Punkt durch die Lösung eines Gleichungssystems, welches sich durch die Bedingung der Minimierung der Varianzen unter der Nebenbedingung der Erwartungstreue ergibt. Das Gleichungssystem besitzt die Form

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1n} & 1 & \gamma_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \dots & \gamma_{nn} & 1 & Y_n \\ 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ Y_1 & \dots & Y_n & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu_1 \\ \mu_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \\ \gamma_0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

mit den Werten des theoretischen Variogramms zwischen bekannten Punkten (z. B. γ_{1n}) und zu unbekanntem Punkten (z. B. γ_{n0}), der externen Variable Y (hier die mittlere Gebietshöhe) und den beiden Lagrange-Multiplikatoren μ . Letztere sind zur Lösung des Gleichungssystems unter den gegebenen Nebenbedingungen notwendig.

Ergebnisse der regionalisierten Korrekturwerte für den Zeitraum 1951–2005

Die regionalisierten Korrekturwerte sind für den gesamten linkselbischen Teil des KliWES-Untersuchungsgebietes, soweit dieser oberhalb 400 m NN liegt, vorhanden. Für den rechts der Elbe gelegenen Teil des Untersuchungsraumes (Lausitz) ergaben die DIFGA-Analysen keinen Korrekturbedarf bezüglich Nebel. Ursache ist die deutlich geringere Höhenlage der untersuchten Gebiete. Einzelne Areale überragen zwar die 400 m-Höhenlinie, sodass auch hier von Nebelniederschlag ausgegangen werden kann. Allerdings ist der Flächenanteil über 400 m NN gering und umfasst i. d. R. nur einzelne Bergkuppen. Einzig im Zittauer Gebirge wird auf einer Fläche von ca. 14 km Länge in West-Ost-Erstreckung und 1,5 bis 4 km Breite in Nord-Süd-Erstreckung die 400 m-Höhe weitgehend zusammenhängend überschritten, wobei mit der Lausche (792,6 m) und dem Hochwald (749,5 m) nur zwei Bergkuppen über 700 m hinausgehen. Weil die Kammlinie dieses Gebirgszuges die Grenze zwischen Sachsen und Tschechien bildet, entwässern zudem Teile des Zittauer Gebirges in südliche Richtung nach Tschechien. Wegen der geringen maximalen Höhen und der kleinen, meist nicht zusammenhängenden Flächen über 400 m ist nur von einem kleinen Wassergewinn durch Nebel auszugehen. Dadurch kam es in keinem der in der Lausitz mit DIFGA untersuchten Gebieten zu unausgeglichenen Wasserhaushaltsbilanzen bzw. unplausiblen Verdunstungshöhen. Die DIFGA-Bilanzen für die Gebiete in der Lausitz sind auch ohne Nebelkorrektur plausibel.

Für jeden Tag des Untersuchungszeitraumes 1951 bis 2005 liegen regionalisierte Korrekturwerte nach der im Abschnitt erklärten Methode vor. Ein Beispiel der Regionalisierung der Korrekturwerte zeigt Abbildung 23, zur Orientierung kann auf die Abbildung 22 zugegriffen werden. Für den 15.03.1951 liegen demzufolge vor allem im West- und Osterzgebirge Korrekturwerte in DIFGA-Gebieten vor, welche auf die Rasterpunkte regionalisiert werden. Eine solche Darstellung kann für jeden Tag mit Korrekturfaktoren erstellt werden. In der Darstellung hebt sich der Berechnungsraum als rechteckige diagonal verlaufende Struktur deutlich hervor. Dieser Raum reicht aus methodischen Gründen über den eigentlichen Untersuchungsraum, der durch die einbezogenen DIFGA-Gebiete und den Verlauf der 400 m NN-Höhenlinie bestimmt wird, deutlich hinaus. Das ist notwendig, damit Randeffekte beim Übergang vom mit Korrekturwerten belegten zum nicht belegten Bereich sich nicht auf die Ergebnisse in der Untersuchungsregion auswirken. Die regionalisierten Korrekturbeträge (Anlage 1) wurden auf den in KliWES verwendeten Niederschlag in der betrachteten Region aufgeprägt. Die korrigierten Werte liegen in der Projektdatenbank vor und können für die Wasserhaushaltsberechnungen mit dem Modell ArcEGMO verwendet werden.

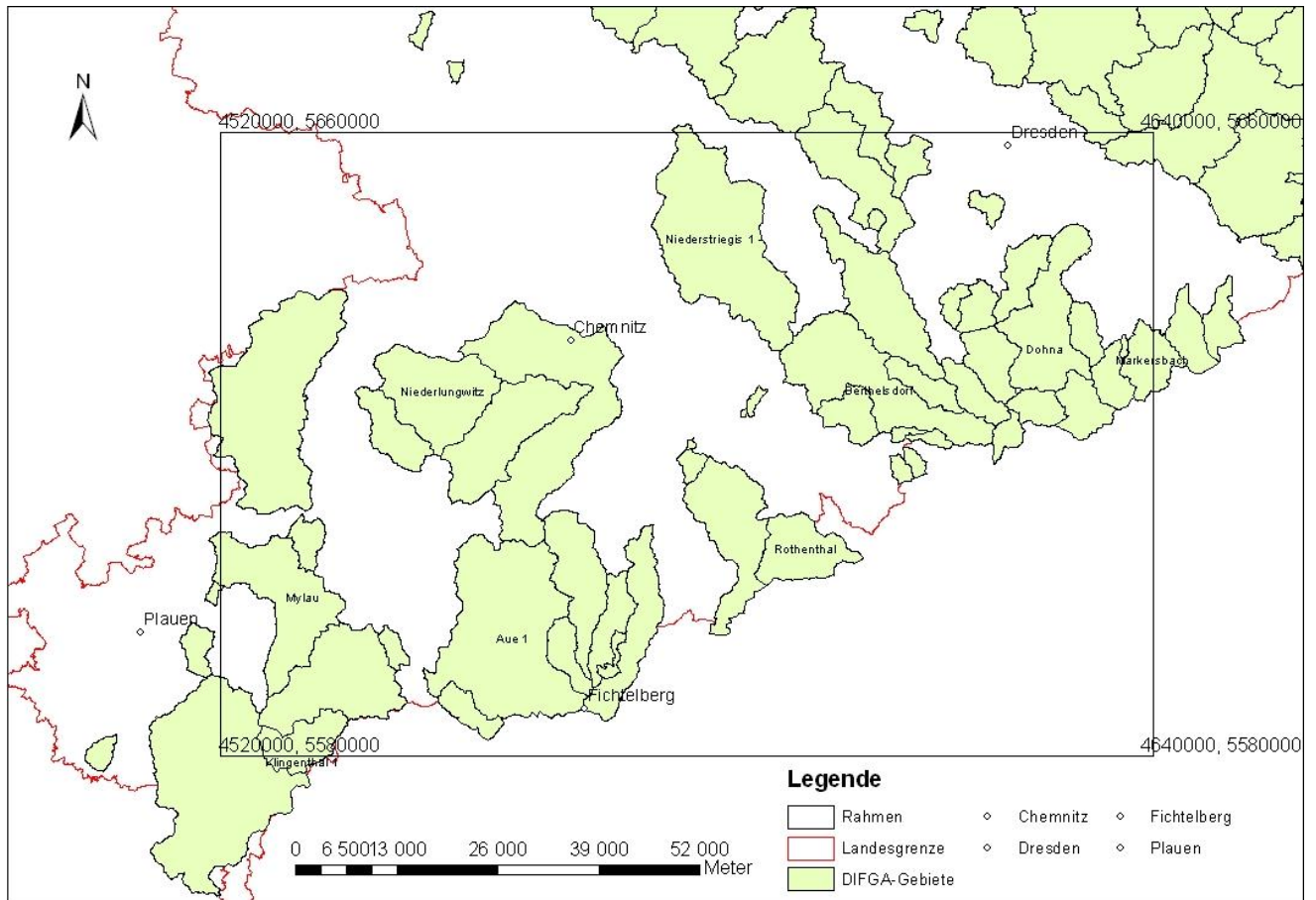


Abbildung 22: Skizze des Bereiches, für den die Regionalisierung der Korrekturwerte durchgeführt wurde

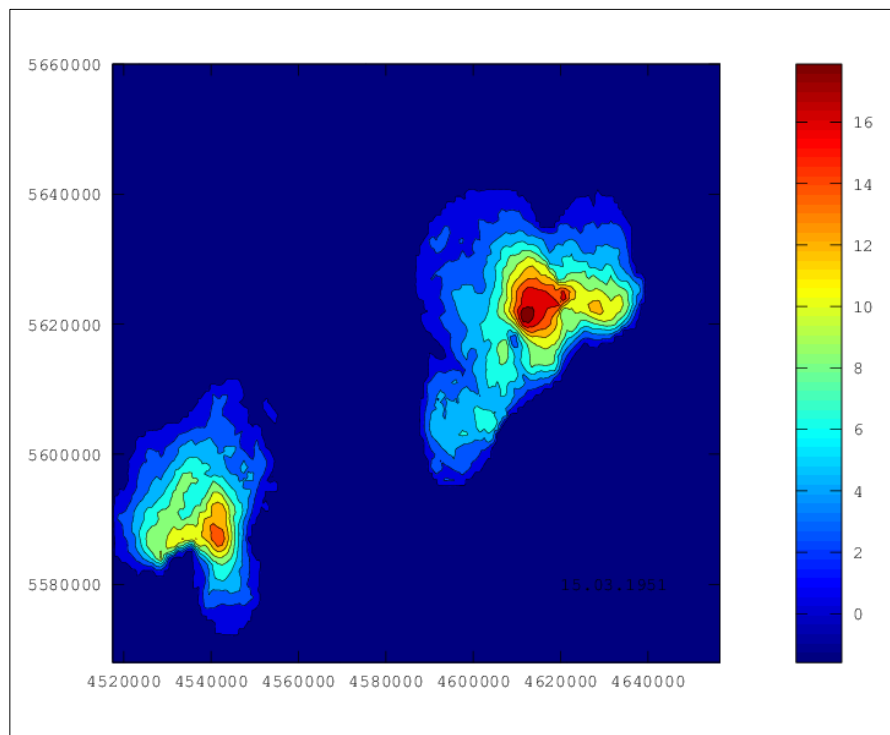


Abbildung 23: Beispiel der regionalisierten Korrekturwerte am 15.03.1951

Auswertung der regionalisierten Korrektursummen

Abbildung 24 zeigt den Vergleich der Korrekturwerte aus DIFGA (Abszissenachsen) mit den aus den jeweils betreffenden Rasterpixeln gemittelten Korrekturwerten (Ordinatenachsen). Auch hier ist zur schnelleren Einschätzung die 1:1-Gerade als rote Linie dargestellt. Bei den meisten DIFGA-Gebieten liegen alle Punkte auf der 1:1-Gerade, was als Idealfall zu werten ist. Streuen die Punkte um die Gerade, liegt das hauptsächlich an drei Sachverhalten:

- Wie für Abbildung 21 gilt, dass genestet liegende DIFGA-Gebiete z. T. an unterschiedlichen Tagen Korrekturwerte aufweisen. Das Kriging besitzt an den Einzugsgebietsgrenzen keinen abrupten Wechsel des Korrekturwertes, sondern weist weichere Übergänge auf. Diese Übergänge sind für die Streuung verantwortlich. (Beispiel: Schmiedeberg 1 und Dippoldiswalde 1+3).
- Ein weiterer Grund für die Streuung liegt in der Art der Überdeckung der Einzugsgebiete mit dem Raster. V. a. kleinere Einzugsgebiete werden nur durch wenige Rasterpixel repräsentiert. Diese wenigen Rasterpixel besitzen häufig einen signifikanten Flächenanteil außerhalb des Einzugsgebietes. Damit werden durch die Mittelung der Rasterwerte Gebiete einbezogen, die nicht zum verglichenen DIFGA-Gebiet gehören und somit z. T. andere Eigenschaften aufweisen (Beispiel: Sachsengrund).
- Ein dritter Grund ist v. a. im Osterzgebirge die hohe Dichte an DIFGA-Gebieten. Leicht unterschiedliche Korrekturwerte führen zu stärkeren Gradienten der abgeleiteten Rasterwerte an den Einzugsgebietsgrenzen. Damit besitzt ein Rasterpixel am Rand eines Einzugsgebietes auch Eigenschaften des Korrekturwertes aus dem benachbarten Einzugsgebiet. Auch dieser Fakt führt zu einer Streuung der Korrekturwerte aus Rasterwerten im Vergleich zu DIFGA-Gebieten (Beispiel: Gottleuba 2).

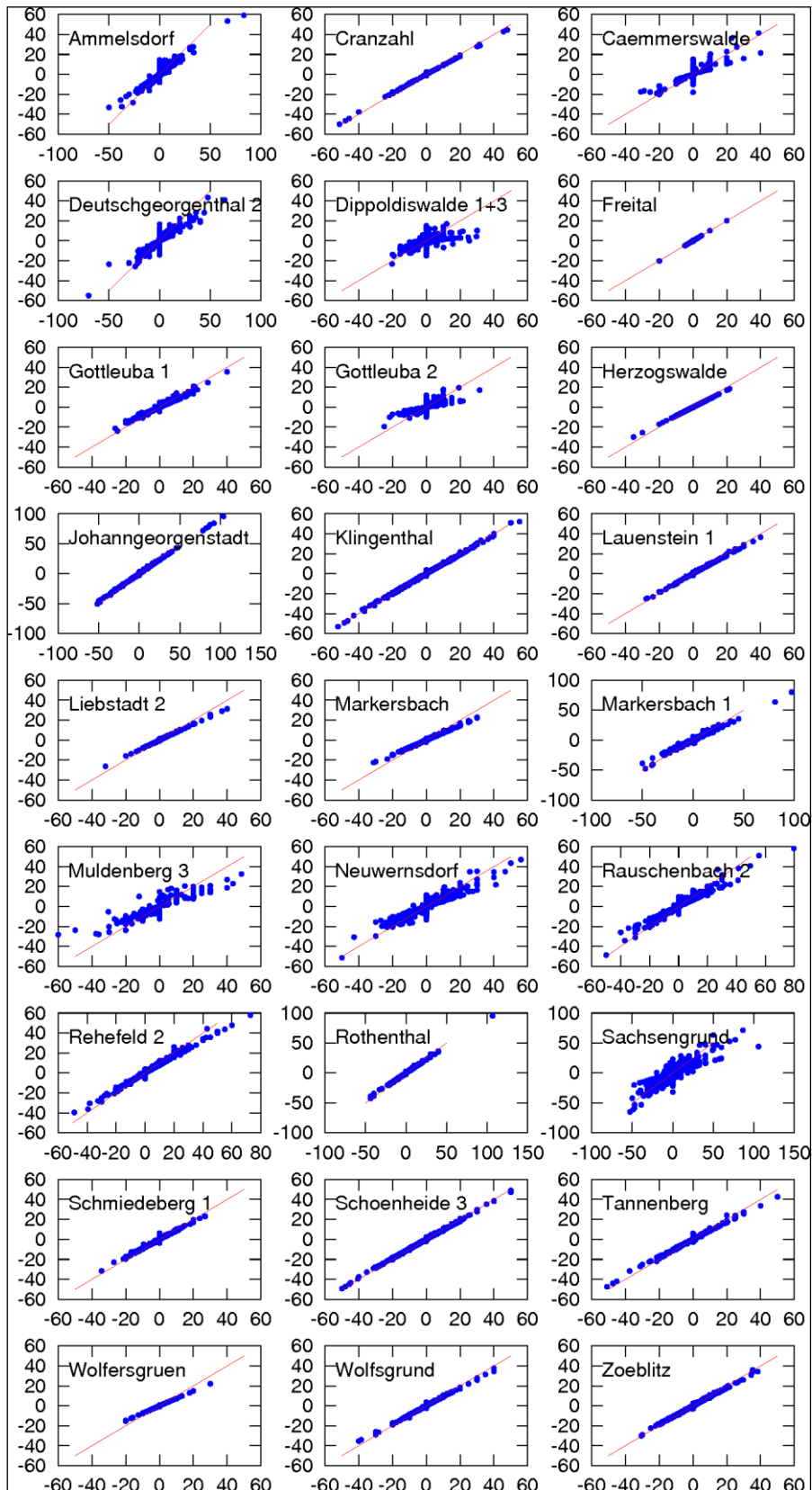


Abbildung 24: Vergleich der sortierten Korrekturwerte der DIFGA-Gebiete (Abszissenachse) mit den mittleren Korrekturwerten aus dem Raster der Klimadaten in den DIFGA-Gebieten (Ordinatenachse); die rote Linie ist die 1:1-Gerade

3.3.2 Regionalisierung der Korrekturwerte des Niederschlages für den Zeitraum ab 2006

Für die Zeiträume, für die keine DIFGA-Analysen vorliegen und für den Zeitraum der Klimaprojektion werden mittlere monatliche Korrekturwerte benötigt. Aus den bisherigen Analysen können diese Werte direkt abgeleitet werden. Beispielhaft werden in Abbildung 25 die räumlichen Verteilungen der mittleren täglichen Korrekturwerte in mm/d für Januar bzw. in Abbildung 26 die für April dargestellt, als Hilfestellung zur Orientierung dient Abbildung 22. Die Abbildungen der Verteilungen der mittleren täglichen Korrekturwerte für die übrigen Monate sind in der Anlage, Abbildung A2 bis A8, zu finden. In den Monaten November bis Mai traten in den untersuchten Gebieten Nebelniederschlag bzw. Ungenauigkeiten in der Schneeschmelzberechnung auf. Beide Gegebenheiten sind in den Korrekturwerten wieder zu finden. Für die einzelnen Monate liegt eine bestimmte Anzahl an auswertbaren Tagen mit Korrektur aus den DIFGA-Analysen vor (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Anzahl an Tagen, die zur Mittelung herangezogen werden können

Monat	Anzahl der Tage
Januar	1010 d
Februar	1009 d
März	1207 d
April	654 d
Mai	75 d d
November	347 d
Dezember	816 d

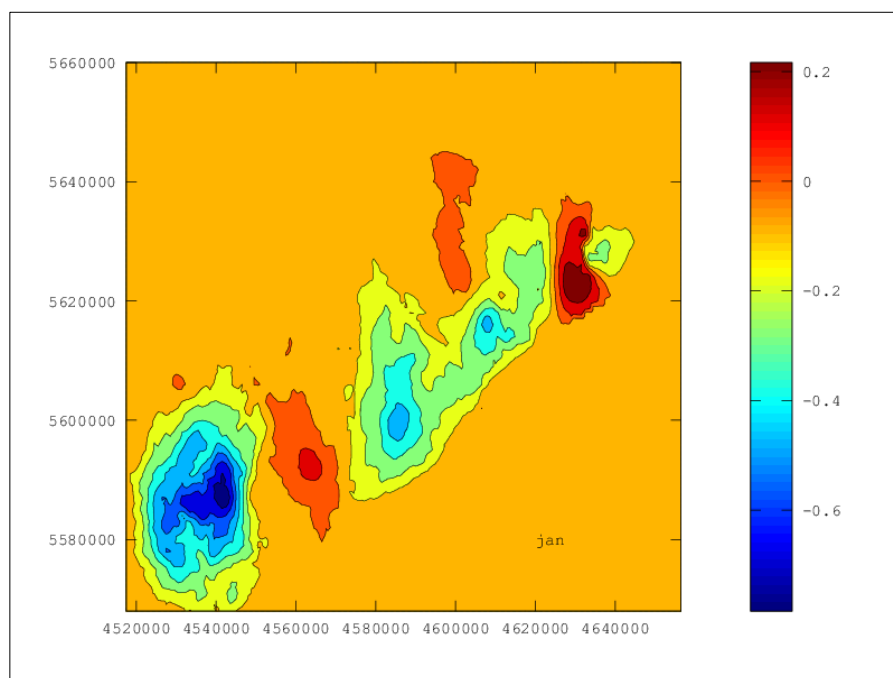


Abbildung 25: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Januar

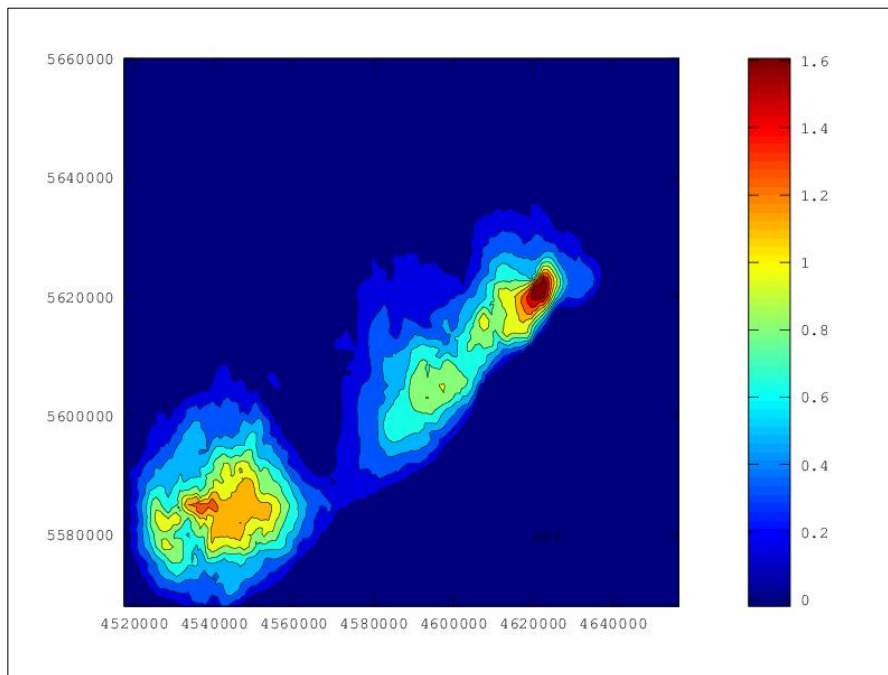


Abbildung 26: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im April

Auswertung der mittleren Korrektursummen

In allen Monaten wird deutlich, dass sich die Korrekturen des Wasserdargebotes aus Niederschlag v. a. auf das West- und Osterzgebirge ausdehnen. Das mittlere Erzgebirge ist demnach nicht ausgeprägt anfällig für Bilanzfehler in der Wasserhaushaltsbilanz von DIFGA. In der Darstellung für den Januar ist zu erkennen, dass im Mittel negative Korrekturwerte vorherrschen. Ihre Ursache liegt im Überwiegen von Fehlern in der Schneeschmelzberechnung (Modell rechnet Wasserabgabe aus der Schneedecke aus, die in der Realität nicht stattfindet). Im April hingegen dominiert der Abbau der Schneedecke und der abgefangenen/abgesetzten Nebelniederschläge, was zu dominant positiven Korrekturwerten führt.

Um die regionalisierten Korrekturwerte beurteilen zu können, werden sie mit den Werten der DIFGA-Analysen verglichen. Dies ist nur innerhalb der DIFGA-Gebiete möglich. In Abbildung 27 werden die gemittelten Korrektursummen der Winterhalbjahre von 1951–2005 aus den DIFGA-Analysen (Abszissenachsen) mit den mittleren Korrektursummen aus der Regionalisierung (Ordinatenachsen) gegenübergestellt (s. auch Tabelle 2). Zur besseren Bewertung des Ergebnisses der regionalisierten Werte ist die 1:1-Gerade als rote Linie dargestellt. Die Ergebnisse weichen nur geringfügig von dieser Geraden ab, d. h. dass mit der durchgeführten Regionalisierung plausible Werte errechnet wurden.

Außerdem wurden die mittleren Korrektursummen der Winterhalbjahre der betreffenden DIFGA-Gebiete mit Literaturwerten nach FLEMMING (1983) verglichen (s. Tabelle 3). Es besteht eine Abhängigkeit dieser Nebelniederschlagssummen von der Morphologie des Gebietes, den allgemeinen Windbedingungen und den Bewölkungsverhältnissen, welches laut FLEMMING (1983) an sich eine lokale Anpassung der in Tabelle 3 genannten Maximalwerte erfordert. Für das mittlere östliche und südliche Mitteleuropa empfiehlt FLEMMING (1983) zunächst aufgrund der meteorologischen Situation eine allgemeine Reduzierung der Werte in Tabelle 3 um 20 %. Die mittleren so reduzierten Korrekturwerte des Winterhalbjahres sind in Abbildung 28 als gestrichelte rote Linie dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die Korrekturwerte von FLEMMING (1983) in der Art einer oberen Hüllkurve über den berechneten mittleren Korrektursummen der DIFGA-Gebiete liegen. Neben den Unsicherheiten von FLEMMINGS (1983) Korrekturwerten (die Werte basieren primär auf einer Literaturrecherche und nur wenigen eigenen Untersuchungen) können hierfür drei mögliche Ursachen genannt werden:

- FLEMMING (1983) betrachtet nur Wälder, welche für die Nebelauskämmung maßgeblich sind. Andere Landnutzungen weisen einen deutlich geringeren Wassergewinn aus Nebelniederschlägen auf. In die vorliegenden Wasserhaushaltsberechnungen fließen hingegen alle Landnutzungstypen integral ein, was folglich zu geringeren Nebelkorrekturwerten führt. Weiterhin spielt der Standort des Waldes (Kuppen, Kammlage, Kanten oder Talboden, Hang etc.) für die Höhe des Wassergewinns aus Nebel eine Rolle. Die Werte von FLEMMING stehen für die besonders exponierten Standorte.
- Die Niederschlagswerte wurden im Rahmen der Nebelkorrektur nur soweit erhöht, dass die mit DIFGA ermittelten Wasserhaushaltsbilanzen ausgeglichen werden konnten (vgl. Abschnitt 3.1.4). Damit stellen sie die mindestens notwendige Höhe der Nebelkorrektur dar.
- Zusätzlich können die Werte durch regionale Unterschiede (Morphologie, Windbedingungen, Bewölkung) lokal voneinander abweichen. So nennt FLEMMING (1983) folgende Korrekturfaktoren für den Reliefeinfluss, mit denen die Werte aus Tabelle 3 umgerechnet werden können: Kuppen 1,5, Luvhänge 1,2, Leehänge 0,8 und Talgründe 0,5.

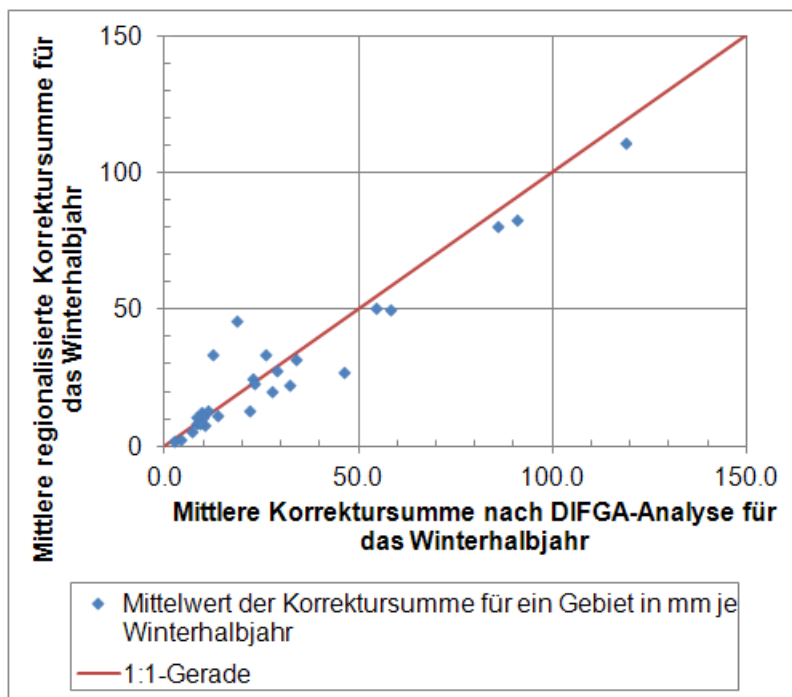


Abbildung 27: Vergleich der mittleren Korrektursummen nach der DIFGA-Analyse mit den mittleren Korrektursummen aus der Regionalisierung in den DIFGA-Gebieten; rote Linie - 1:1-Gerade

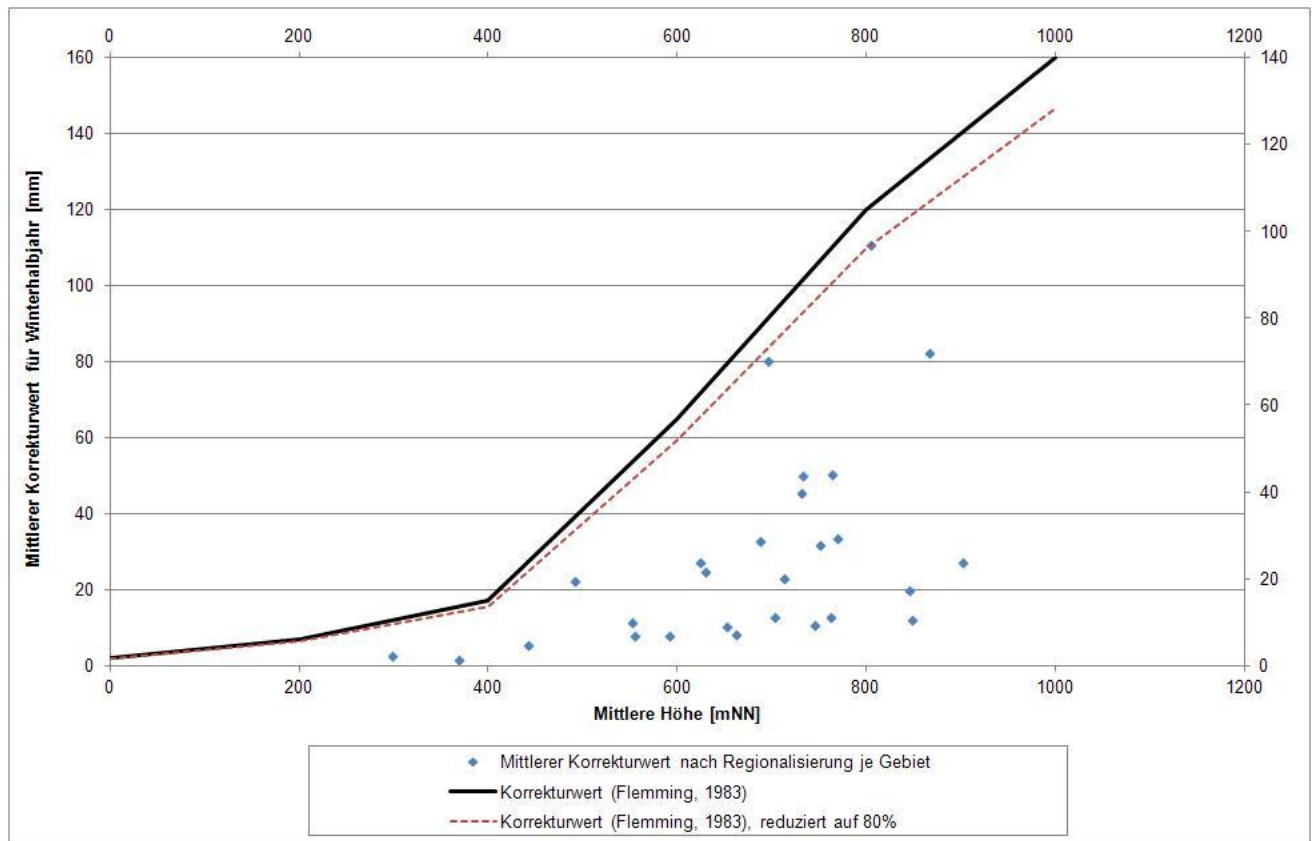


Abbildung 28: Zusammenhang zwischen Höhe und mittleren Korrekturwerten für das Winterhalbjahr in DIFGA-Gebieten sowie Korrekturwerten für das Winterhalbjahr in Waldgebiete nach FLEMMING (1983) (s. Tabelle 3)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Bei der Analyse und Berechnung des Wasserhaushalts 115 ausgewählter sächsischer Einzugsgebiete mit DIFGA wurden Unstimmigkeiten in den Wasserhaushaltsbilanzen von 28 Gebieten festgestellt. Die Gegenüberstellung der zuvor bereits nach RICHTER (1995) korrigierten Gebietsniederschlagsreihen und der gemessenen Abflussganglinien der Einzugsgebiete zeigte, dass der Niederschlag nicht ausreicht, um die Größenordnungen von Abfluss und Verdunstung zu erklären. Entsprechend der langjährigen Wasserhaushaltsgleichung ($P = R + ETR$) ergab sich nur ein sehr geringer oder sogar negativer Rest für die Verdunstung, welcher nicht die tatsächlichen Gegebenheiten widerspiegelt und stark von Vergleichswerten aus dem HAD (BMU, 2003) abweicht.

Weil sich alle betreffenden Gebiete in den höheren Lagen des Erzgebirges befinden, wurde der Nebelniederschlag als zusätzliche Niederschlagsmenge ins Auge gefasst. Nebel tritt in den höheren Gebirgslagen verstärkt auf und führt durch das Absetzen auf der Vegetation zu signifikanten Niederschlagsmengen, die in der Regel messtechnisch nicht erfasst werden. Durch spezielle Messverfahren sowie aufwändige und komplizierte Methoden kann der Nebelniederschlag ermittelt werden, allerdings können diese oft nur an konkreten Standorten angewendet werden. Damit im Rahmen des Projektes KliWES der Anteil des Nebelniederschlages am Gesamtniederschlag erfasst werden kann, wurde in mehreren Schritten eine Methodik entwickelt. Im ersten Schritt werden die Gebietsniederschläge in den Einzugsgebieten mit unplausiblen Wasserhaushaltsergebnis-

sen mit in der Literatur angegebenen Nebelniederschlagswerten korrigiert und die Wasserhaushaltsbilanzen mit DIFGA erneut ermittelt. Dies führte zu deutlich besseren Ergebnissen, ohne das Problem vollständig zu lösen.

Deshalb wurden anschließend die verwendeten hydrologischen und meteorologischen Eingangsdaten eingehend auf mögliche Fehler untersucht. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass die Ursache der Unstimmigkeiten in der fehlenden Nebelniederschlagsmenge zu sehen ist. Die daraufhin vorgenommenen taggenauen Korrekturen der Niederschlagswerte für die betreffende Gruppe von sächsischen Einzugsgebieten führten im Ergebnis zu bilanzreinen Wasserhaushaltsgrößen. Die Analysen und Wasserhaushaltsberechnungen stehen nun der Öffentlichkeit zur Verfügung. Alle unter Berücksichtigung von Nebelniederschlag durchgeführten Wasserhaushaltsberechnungen mit DIFGA werden in das Wasserhaushaltsportal Sachsen übernommen. Sie sind Grundlage für eine Überarbeitung der Regionalisierung der DIFGA-Ergebnisse. Somit liegt seit Juni 2013 eine überarbeitete Version der Ergebnisse der Differenzenganglinienanalyse (Säule A) unter Berücksichtigung der Nebelniederschläge vor.

Die Korrektur der Beobachtungsdaten zur Berücksichtigung von Nebelniederschlägen muss auch auf die Klimaprojektionsdaten übertragen werden, um ein konsistentes Vorgehen zu gewährleisten. Hierfür wurde eine Strategie zur Nebelkorrektur der Projektionsdaten entwickelt. Diese befindet sich momentan in der Umsetzung. Anschließend können die kalibrierten Einzugsgebietsmodelle in ArcEGMO mit den nebelkorrigierten Projektionsdaten als Input betrieben werden.

5 Literaturverzeichnis

- ANSMANN, A. (1997): Advances in atmospheric remote sensing with lidar. Springer, Berlin, ISBN 3-540-61887-2
- BÁRDOSSY, A. (1997): Introduction to Geostatistics. University of Stuttgart.
- BAUMGARTNER, A.; LIEBSCHER, H.-J. (1996): Lehrbuch der Hydrologie, Band 1 – Allgemeine Hydrologie Quantitative Hydrologie. 2. Auflage, Verlag der Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- BECKER, A.; SERBAN, P. (1990): Hydrological Models for Water-Resources System Design and Operation. WMO, Operational Hydrology Report, Nr. 34. (WMO-Nr. 740), Genf.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Hrsg.) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD).
- CHANG, S.C.; YEH, C.F.; WU, M.J.; HSIA, Y.J.; WU, J.T. (2006): Quantifying fog water deposition by in situ exposure experiments in a mountainous coniferous forest in Taiwan. (Hrsg.) Journal Forest Ecology and Management, Vol. 224.
- DÄHNE, R. (1999): Nebeldiagnose aus meteorologischen Standarddaten für Hochlagenstandorte im Osterzgebirge. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden, Dresden.
- DIN 1319-1 (1995): Grundlagen der Messtechnik – Grundbegriffe.
- DIN 4049-1 (1992): Hydrologie – Teil 1: Grundbegriffe. In: (Hrsg.) Deutsches Institut für Normung e. V., DIN-Taschenbuch 211, Wasserwesen: Begriffe und Normen, Beuth Verlag, Berlin.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. 3., stark bearbeitete Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- DYCK, S. (1978): Angewandte Hydrologie Teil 2. Verlag für Bauwesen, Berlin.
- EDOM, F.; DITTRICH, I.; GOLDACKER, ST.; KEßLER, K. (2007): Die hydromorphologisch begründete Planung der Moorrevitalisierung im Erzgebirge. (Hrsg.) Sächsische Landesstiftung Natur und Umwelt, Dresden.
- FLEMMING, G. (1983): Verbesserung der Niederschlagsdaten im Saldenbachgebiet. Forschungsbericht im Projekt "Wasser- und Stoffhaushalt von Einzugsgebieten", April 1983, Wissenschaftsbereich Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden.
- FUJII, T. (2005): Laser remote sensing. CRC, Taylor & Francis, Boca Rato, ISBN 0-8247-4256-7.
- GRUNOW, J. (1964): Weltweite Messung des Nebelniederschlags nach der Hohenpeissenberger Methode, Land Erosion Precipitations Hydrometry Soil Moistures, International Association of Scientific Hydrology Publication, 65, Gentbrugge, S. 324-342.
- GURTZ, J. (1988): Beitrag zu den hydrologischen Grundlagen für die Gewährleistung der gesellschaftlich notwendigen Mehrfachnutzung der Wasserressourcen. Habilitation, Technische Universität Dresden, Fakultät für Bau-, Wasser-, Forstwesen, Dresden.
- HOFFMANN, R. (2012): Berücksichtigung von Nebelniederschlägen bei der Wasserhaushaltsberechnung. Bachelorarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden, Dresden.
- KATATA, G.; NAGAI, H.; WRZESINSKY, TH.; KLEMM, O.; EUGSTER, W.; BURKARD, R. (2008): Development of a Land Surface Model Including Cloud Water Deposition on Vegetation. (Hrsg.) Journal of Applied Meteorology and Climatology, Vol. 47.
- KITANIDIS, P.K. (1997): Introduction to Geostatistics: Applications to Hydrogeology. Cambridge University Press.

- KLEEBERG, H.-B.; MAUSER, W.; PESCHKE, G.; STREIT, U.; BECKER, A.; DIEKKRÜGER, B.; SCHWARZE, R.; SCHUMANN, A.H. (1999): Hydrologie und Regionalisierung: Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992–1998) – Forschungsberichte (DFG). Verlag John Wiley & Sons.
- KOITZSCH, R.; GÜNTHER, R. (1990): Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Bodenfeuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen mit und ohne Bewuchs. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, 34/12.
- KREČMER, V.; FOJT, V.; KŘEČEK, J. (1979): Horizontální srážky z mlhy v lesích jako položka vodní bilance v horské krajině. Met. Zpravy 32, S. 78-81.
- LUFT, W. (1970): Waldbaulich-ökologische Untersuchungen bei der Femelschlagverjüngung im montanen Tannen-Buchenwald des westlichen Hochschwarzwaldes. Dissertation, Universität Freiburg.
- LÜNICH, K.; SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HAUFFE, C.; BALDY, A. (2012): KliWES – Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen, Klimaprojektionen, Teil B: Klima- und Landnutzungsszenarien – Auswahl von Klimaszenarien. Zwischenbericht. (Hrsg.) Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG, Dresden.
- PAHL, S. (1996): Feuchte Deposition auf Nadelwälder in den Hochlagen der Mittelgebirge. Berichte des Deutschen Wetterdienstes 198, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main, 143 S.
- PFÜTZNER, B.; KLÖCKING, B.; BECKER, A. (2007): ArcEGMO GIS-gestützte hydrologische Modellierung. (Hrsg.) BAH – Büro für Angewandte Hydrologie, Berlin und Potsdam.
- QUECK, R. (2003): Fraktionierung und zeitliche Differenzierung von Depositionsraten in Walbestände. Dissertation, Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden, Dresden.
- RICHARD, H. (2012): Berücksichtigung von Nebelniederschlägen bei der Wasserhaushaltsberechnung. Bachelorarbeit, Institut für Hydrologie und Meteorologie der Technischen Universität Dresden, Dresden.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. Nr. 194, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.
- SCHWARZE, R. & BEUDERT, B. (2009): Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushalts eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 53. Jahrgang, Heft 4, 236-250.
- SCHWARZE, R. (1985): Gegliederte Analyse und Synthese des Niederschlags Abfluss Verhaltens von Einzugsgebieten. Dissertation, Fak. Bau-, Wasser-, Forstwesen, Technische Universität Dresden.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HOFMANN, J.; MALESKA, V.; SPITZER, S.; LÜNICH, K. (2009): Zwischenbericht II zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer, Teil 1: Kernkomponente. (Hrsg.) LfULG - Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HOFMANN, J.; LÜNICH, K.; MALESKA, V.; SPITZER, S. (2010): Endbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer, Teil 1: Kernkomponente. (Hrsg.) LfULG - Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, unveröffentlichter Bericht.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HOFMANN, J.; MALESKA, V.; SPITZER, S. (2010a): Einbeziehung weiterer Testgebiete zur Umsetzung des Forschungsvorhabens KliWES – Abschätzung der für Sachsen prognostizierten Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten sächsischer Gewässer, Teil 1: Kernkomponente (Arbeitspakete 4.7 und 4.11). (Hrsg.) LfULG - Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HAUFFE, C.; BALDY, A. (2011): KliWES – Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen (Klimaprojektionen) – Teil A: Erarbeitung eines Prototyps für die Darstellung des Ist-Zustandes. Zwischenbericht, (Hrsg.) Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG, Dresden.
- SCHWARZE, R.; DRÖGE, W.; HAUFFE, C.; BALDY, A.; WAGNER, M.; LÜNICH, K.; STEINL, CH. (2012): KliWES – Klimawandel und Wasserhaushalt in Sachsen (Klimaprojektionen) – Teil A: Erarbeitung eines Prototyps für die Darstellung des Ist-Zustandes. Endbericht, (Hrsg.) Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie – LfULG, Dresden.
- SCHWARZE, R.; HERRMANN, A.; MÜNCH, A.; GRÜNEWALD, U.; SCHÖNIGER, M. (1991): Rechnergestützte Analyse von Abflusskomponenten und Verweilzeiten in kleinen Einzugsgebieten. - Acta Hydrophys. Berlin 35(1991) 2, 143-184.
- WEITKAMP, C. (2005): Lidar - range-resolved optical remote sensing of the atmosphere. Springer, New York, ISBN 0-387-40075-3.

6 Anlage

Ergebnisse

Tabelle A1: Zusammenstellung der Nebelkorrektursummen je Winterhalbjahr vom 1.11. bis 30.4. in den untersuchten Einzugsgebieten (Teil 1)

Jahr	Ammelsdorf	Cämmers- walde	Dippol- diswalde 1+3	Freital 1	Geising 1	Gottleuba 1	Gottleuba 2	Herzogs- walde	Klingenthal 1	Lauenstein 1	Liebstadt 2	Markersbach	Neuwerns- dorf	Rehefeld
1951	72.0		0.0			40.0	0.0	0.0	60.0	38.0		0.0	0.0	150.0
1952	40.0		0.0			18.1	0.0	0.0	20.0	110.6		0.0	0.0	24.5
1953	79.1		0.0			40.0	0.0	34.3	77.7	159.0		65.0	64.6	152.7
1954	18.2		0.0			0.0	0.0	0.0	78.0	82.0		0.0	0.0	37.2
1955	0.0		0.0			0.0	0.0	20.0	99.7	0.0		20.0	0.0	0.0
1956	10.0		0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	55.0		5.0	40.0	67.5
1957	0.0		0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	20.0		0.0	0.0	40.4
1958	0.0		70.0			0.0	0.0	0.0	12.5	80.0		0.0	18.1	0.0
1959	29.8		22.0			41.0	0.0	4.9	0.0	85.0		0.0	0.0	0.0
1960	65.0		0.0			2.0	0.0	0.0	0.0	83.2		0.0	0.0	70.0
1961	0.0		0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	417.5
1962	74.3		0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	85.0		0.0	0.0	377.2
1963	5.0		0.0			0.0	0.0	0.0	10.0	39.0		0.0	0.0	512.0
1964	28.8		24.8			0.0	0.0	0.0	0.0	64.0		0.0	0.0	110.0

Jahr	Ammelsdorf	Cämmers- walde	Dippol- diswalde 1+3	Freital 1	Geising 1	Gottleuba 1	Gottleuba 2	Herzogs- walde	Klingenthal 1	Lauenstein 1	Liebstadt 2	Markersbach	Neuwerns- dorf	Rehefeld
1965	100.0		60.0			0.0	0.0	0.0	0.0	78.0		0.0	0.0	410.0
1966	49.8		15.3		321.3	40.3	51.0	30.0	95.0	141.0	185.0	0.0	0.0	83.0
1967	15.7		0.0		249.6	0.0	0.0	0.0	46.0	0.0	10.0	0.0	69.0	40.0
1968	20.0		0.0	0.0	0.0	80.0	62.9	0.0	230.0	90.0	60.0	55.0	38.0	29.0
1969	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	78.8	50.0	72.0	0.0	0.0	185.5
1970	9.3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	199.3	0.0	84.0	0.0
1971	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	39.9	11.7	248.0	20.0	0.0	124.0
1972	12.4		0.0	0.0	0.0	50.0	24.0	0.0	0.0	0.0	95.0	0.0	0.0	0.0
1973	0.0		0.0	0.0	34.7	45.0	0.0	0.0	0.0	75.0	90.0	35.1	74.9	0.0
1974	0.0		96.5	0.0	10.0	154.7	87.0	31.3	0.0	40.0	198.0	60.3	285.0	47.9
1975	0.0		80.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	27.3	0.0
1976	0.0		3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	205.0	0.0	0.0	45.0	0.0
1977	0.0		0.0	0.0	259.9	54.0	4.0	0.0	174.0	62.0	0.0	40.0	90.0	107.4
1978	10.0		0.0	0.0	90.0	35.0	45.0	0.0	35.5	110.0	20.0	47.6	61.3	40.0
1979	10.0		3.4	0.0	0.0	24.9	0.0	0.0	0.0	285.0	0.0	12.9	66.5	70.2
1980	10.0		0.0	0.0	0.0	30.0	45.5	0.0	0.0	180.0	0.0	58.6	18.8	115.0
1981	0.0		0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	10.0	0.0	185.0	0.0	40.0	13.2	0.0

Jahr	Ammelsdorf	Cämmers- walde	Dippol- diswalde 1+3	Freital 1	Geising 1	Gottleuba 1	Gottleuba 2	Herzogs- walde	Klingenthal 1	Lauenstein 1	Liebstadt 2	Markersbach	Neuwerns- dorf	Rehefeld
1982	0.0		0.0	0.0	120.9	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	0.0	10.8	0.0	7.0
1983	0.0		0.0	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	145.0	0.0	0.0	0.0	95.0
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	15.0	0.0	109.6	140.0	0.0	42.0	91.0	180.3
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	50.0	0.0	0.0	0.0	75.0	0.0	29.5	78.5	67.9
1986	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	106.5	0.0	0.0	40.0	60.0	0.0	0.0	0.0	140.0
1987	60.0	0.0	35.0	115.0	0.0	89.9	0.0	0.0	73.2	214.5	0.0	29.8	89.6	335.2
1988	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.0	101.7	14.6	0.0	20.0	203.2
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0	0.0	0.0	0.0	245.2
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	0.0	130.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	120.0	0.0	0.0	10.3	40.0
1992	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	170.0	0.0	0.0	0.0	341.0
1993	34.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	15.9	207.7
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0	90.0
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	90.0
1996	62.7	0.0	21.0	5.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	131.0	0.0	38.5	144.9	230.0
1997	10.3	232.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0	0.0	26.7	0.0	150.0
1998	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	30.0	0.0	0.0	78.0

Jahr	Ammelsdorf	Cämmers- walde	Dippol- diswalde 1+3	Freital 1	Geising 1	Gottleuba 1	Gottleuba 2	Herzogs- walde	Klingenthal 1	Lauenstein 1	Liebstadt 2	Markersbach	Neuwerns- dorf	Rehefeld
1999	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102.2	0.0	28.4	0.0	160.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	110.0
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.4	0.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	0.0	70.0
2003	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	15.0	0.0	0.0
2004	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0	0.0	0.0	0.0	123.0
2005	166.2	0.0	112.0	0.0	80.3	92.0	0.0	0.0	0.0	140.0	50.0	32.5	0.0	330.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0
Mittelwert	18.7	12.5	10.1	3.8	29.2	22.4	7.9	2.3	22.9	85.6	32.0	13.1	25.8	118.5

Tabelle A2: Zusammenstellung der Nebelkorrektursummen je Winterhalbjahr vom 1.11. bis 30.4. in den untersuchten Einzugsgebieten (Teil 2)

Jahr	Deutsch-georgen-thal Cranzahl	Johann-georgen-stadt 2	Mulden-berg 3	Rauschen-bach 2	Schmiedeberg 1	Sachsengrund	Schön-heide 3	Tannenberg	Wolfers-grün	Wolfs-grund	Rothen-thal	Markers-bach 1	Zöblitz	Mittelwert alle
1951	80.0	0.0		48.4	21.6	108.9	20.0	0.0	0.0	84.0	0.0	41.4	0.0	34.7
1952	53.3	40.0		22.0	0.0	130.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9
1953	105.3	0.0		117.9	30.0	0.0	47.4	0.0	0.0	138.2	0.0	0.0	0.0	50.5
1954	120.0	0.0		170.0	0.0	51.0	0.0	0.0	0.0	78.4	81.4	0.0	0.0	32.6
1955	0.0	26.5		60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	107.1	0.0	0.0	0.0	15.2
1956	80.0	16.2		138.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173.0	150.0	0.0	0.9	33.5
1957	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
1958	48.8	36.5		115.0	0.0	0.0	0.0	43.1	0.0	37.2	0.0	0.0	4.6	21.2
1959	70.0	0.0		64.0	20.7	0.0	0.0	51.0	0.0	65.0	0.0	0.0	13.2	21.2
1960	111.5	0.0		30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110.9	0.0	0.0	0.0	21.5
1961	0.0	30.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3
1962	0.0	105.0		0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.5
1963	115.0	140.0		77.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	53.8	0.0	0.0	45.3
1964	6.1	23.7		35.7	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.9	0.0	0.0	16.0
1965	0.0	327.3		49.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8
1966	0.0	10.0		54.2	62.0	0.0	24.0	0.0	0.0	74.6	85.0	12.3	0.0	55.6

Jahr	Deutsch-georgen-thal	Cranzahl	Johann-georgen-stadt 2	Mulden-berg 3	Rauschen-bach 2	Schmiedeberg 1	Sachsengrund	Schön-heide 3	Tannenberg	Wolfers-grün	Wolfs-grund	Rothen-thal	Markers-bach 1	Zöblitz	Mittelwert alle
1967	190.0		330.0		69.3	17.1	0.0	30.0	60.0	0.0	20.0	53.0	137.0	10.0	56.1
1968	0.0		30.5	115.0	35.9	0.0	80.0	80.0	0.0	0.0	0.0	189.1	11.4	0.0	46.4
1969	80.0		84.7	127.9	0.0	0.0	0.0	74.6	0.0	0.0	0.0	185.0	0.0	0.0	38.0
1970	175.0		129.1	0.0	10.0	0.0	70.0	26.5	94.0	49.3	115.0	135.0	19.5	15.2	44.9
1971	65.7		152.4	50.0	53.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	30.6
1972	80.0		218.5	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	25.0	78.0	0.0	0.0	23.6
1973	102.0		140.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	94.2	0.0	45.0	29.0
1974	260.0		283.6	0.0	55.0	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	90.0	241.9	0.0	148.5	83.6
1975	0.0		665.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115.0	26.0	0.0	36.7
1976	55.0		339.9	30.0	0.0	0.0	145.6	38.5	77.0	0.0	0.0	55.0	114.5	0.0	42.7
1977	125.0		255.0	37.9	0.0	0.0	0.0	0.0	138.5	0.0	0.0	246.8	16.0	0.0	61.9
1978	0.0		548.6	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.4	44.6	2.0	44.8
1979	15.0		60.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	19.0	0.0	148.0	0.0	54.9	30.0
1980	210.0		250.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.5	81.4	57.5	43.3	43.6
1981	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.5	56.6	0.0	20.0	20.0	61.8	0.0	0.0	20.0
1982	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4
1983	118.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.4	0.0	0.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.0	21.2

Jahr	Deutsch-georgen-thal	Cranzahl	Johann-georgen-stadt 2	Mulden-berg 3	Rauschen-bach 2	Schmiedeberg 1	Sachsengrund	Schön-heide 3	Tannenberg	Wolfers-grün	Wolfs-grund	Rothen-thal	Markers-bach 1	Zöblitz	Mittelwert alle
1984	98.6	0.0	48.4	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0	60.0	54.4	0.0	14.9	32.4
1985	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3
1986	110.0	400.0	121.1		0.0	0.0	111.3	0.0	0.0	0.0	35.0	79.8	0.0	0.0	45.7
1987	155.6	315.0	0.0		196.4	0.0	299.6	41.6	0.0	53.1	70.0	271.2	15.0	70.0	93.7
1988	158.0	0.0	115.0		0.0	0.0	103.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	30.2
1989	130.0	0.0	210.1		0.0	69.6	229.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4
1990	50.0	0.0	20.0		0.0	0.0	45.6	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	0.0	0.0	14.5
1991	45.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	0.0	0.0	9.8
1992	0.0	0.0	23.7		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.8	0.0	0.0	22.1
1993	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	105.0	0.0	0.0	16.8
1994	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4
1995	0.0	0.0	167.3		0.0	0.0	29.9	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	0.0	0.0	15.3
1996	44.4	0.0	0.0		241.6	130.0	0.0	0.0	0.0	30.0	0.0	235.8	0.0	52.8	51.9
1997	0.0	0.0	20.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.0	21.1
1998	0.0	0.0	40.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0
1999	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	199.7	0.0	0.0	20.0	50.0	0.0	0.0	5.0	21.9
2000	0.0	0.0	35.4		0.0	0.0	128.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8

Jahr	Deutsch-georgen-thal	Cranzahl	Johann-georgen-stadt 2	Mulden-berg 3	Rauschen-bach 2	Schmiedeberg 1	Sachsengrund	Schön-heide 3	Tannenberg	Wolfers-grün	Wolfs-grund	Rothen-thal	Markers-bach 1	Zöblitz	Mittelwert alle
2001	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	127.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
2002	0.0	0.0	20.0		0.0	0.0	124.1	0.0	18.9	11.5	20.0	0.0	0.0	0.0	13.7
2003	0.0	0.0	0.0		38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	15.6	0.0	0.0	0.0	5.4
2004	0.0	0.0	0.0		25.0	0.0	194.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.3	19.4
2005	5.0	0.0	0.0		163.2	88.1	146.8	0.0	0.0	0.0	0.0	26.3	22.9	85.0	57.0
2006	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
Mittelwert	57.9	27.5	90.4	21.4	33.4	9.4	45.9	8.0	8.6	6.6	28.7	54.3	9.3	10.8	29.9

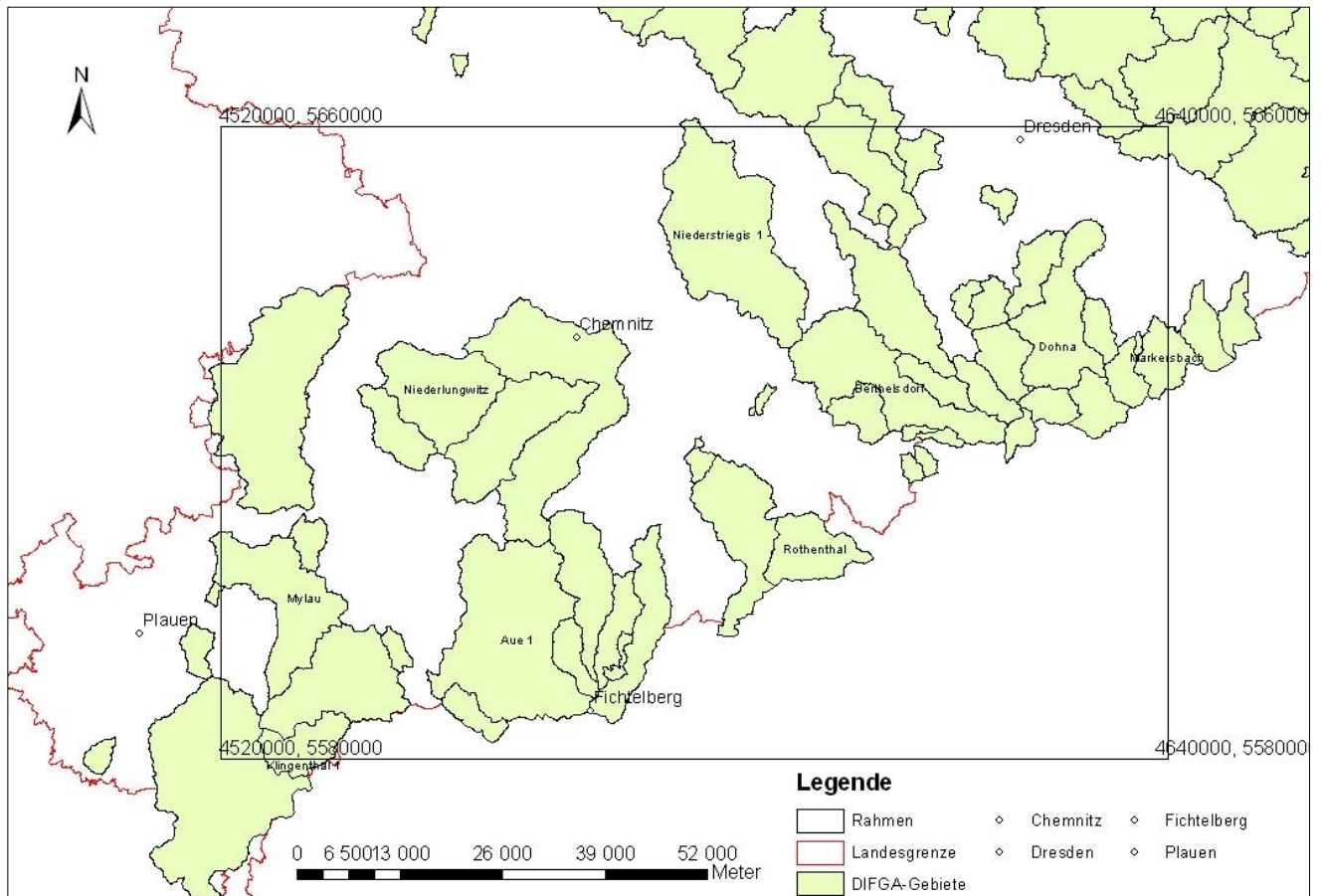


Abbildung A1: Skizze des Bereiches, in dem die Regionalisierung der Korrekturwerte durchgeführt worden ist

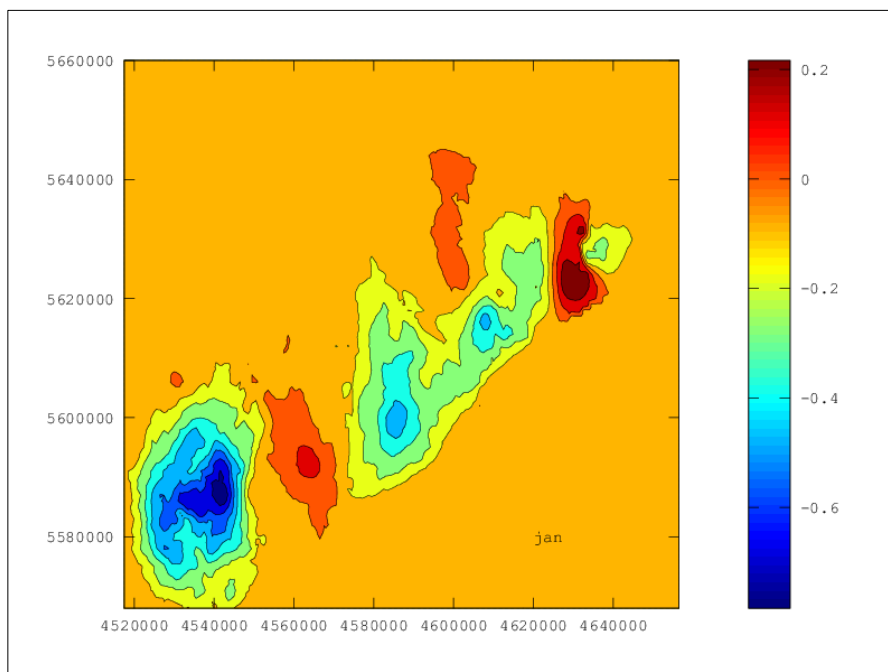


Abbildung A2: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Januar

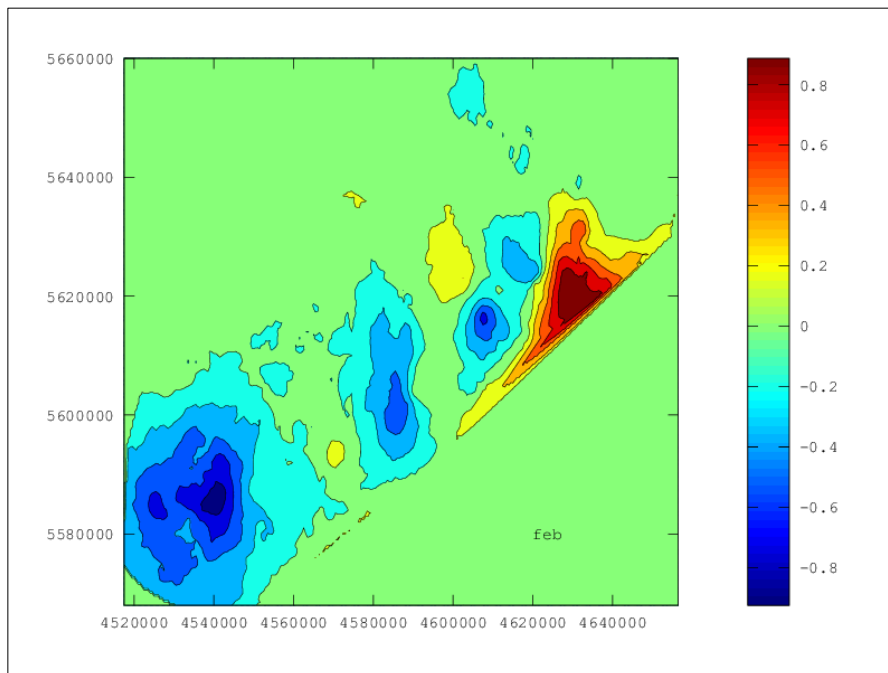


Abbildung A3: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Februar

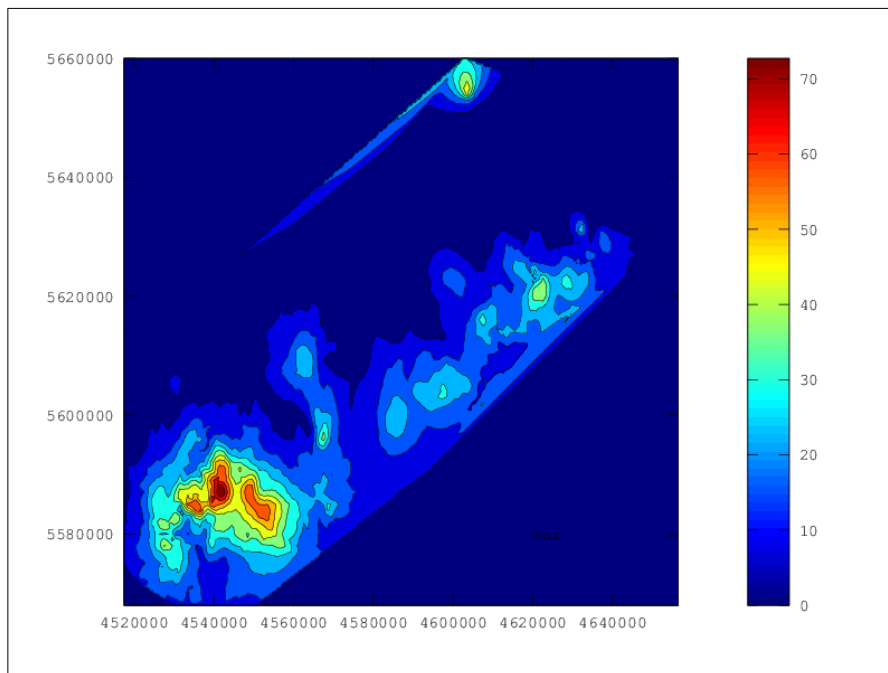


Abbildung A4: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im März

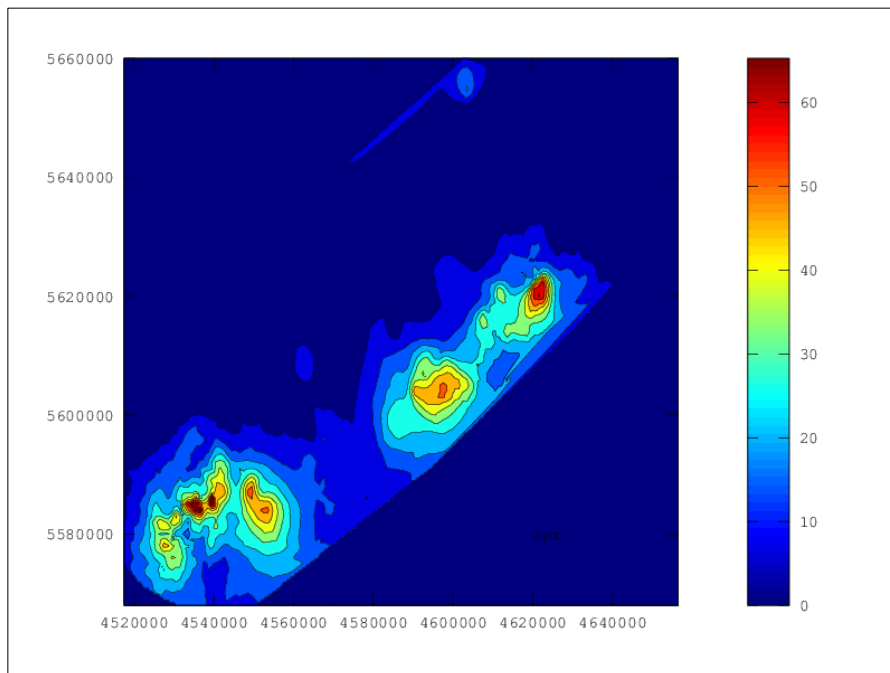


Abbildung A5: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im April

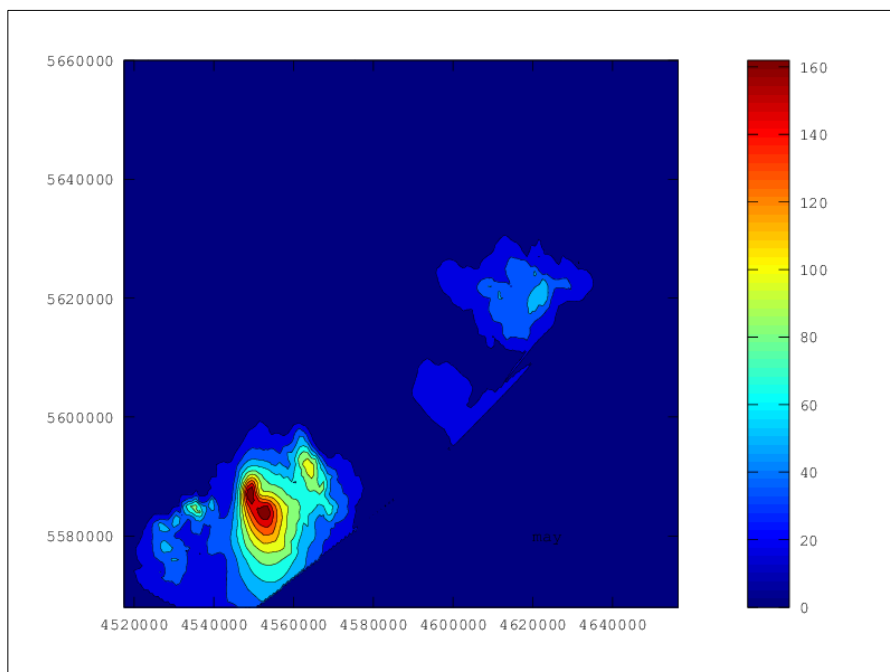


Abbildung A6: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Mai

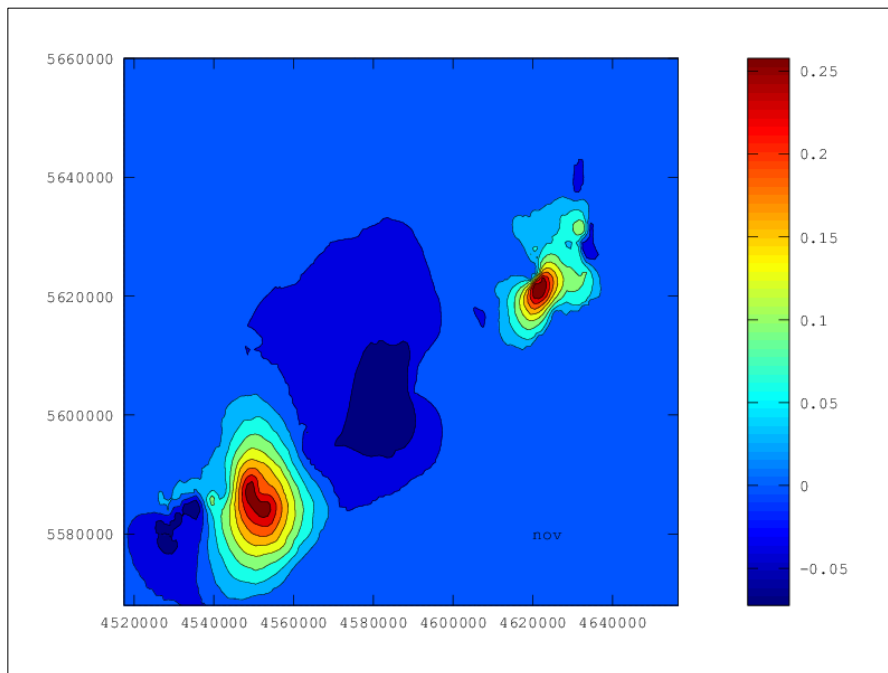


Abbildung A7: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im November

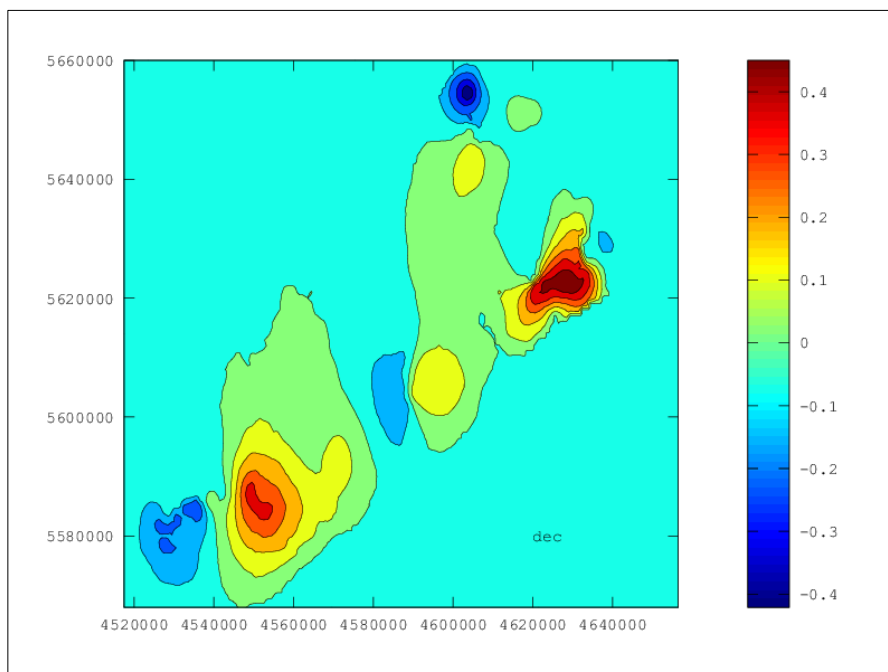


Abbildung A8: Mittlere tägliche Korrekturwerte in mm/d im Dezember

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Robert Schwarze, Corina Hauffe, Agnes Baldy, Dr. Werner Dröge,
Michael Wagner
Technische Universität Dresden
Fakultät Umweltwissenschaften, Fachrichtung Hydrowissenschaften
Bergstr. 66, 01069 Dresden

Redaktion:

Karin Kuhn, Kathleen Lünich, Liane Krauß, Elisabeth Böhm
Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/Referat Oberflächen- und Grundwasser
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: +49 351 8928-4400
Telefax: +49 351 8928-4099
E-Mail: karin.kuhn@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

15.07.2013

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.