

DWA- Themen

Regionalisierung von Niedrigwasserkenngrößen

August 2009



Titelbild: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Kössinger AG

ISBN:

978-3-941089-75-4

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2009

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Spätestens seit der ungewöhnlichen Trockenperiode 2003 und dem damit verbundenen Rückgang der Niedrigwasserabflüsse in weiten Teilen Mitteleuropas sind solche Ereignisse mit ihren Folgen für die vielfältigen Nutzungen der Gewässer und für ihre Funktion als Ökosysteme wieder stärker in den Blickpunkt der Öffentlichkeit und der Fachleute gerückt.

Zur quantitativen Beurteilung der Auswirkungen von Niedrigwasserabflüssen müssen diese hinsichtlich verschiedener Kenngrößen wie Abflusswert, Häufigkeit und Dauer für die betroffenen Gewässer ermittelt werden. Dies gilt gleichermaßen für die Planung möglicher wasserwirtschaftlicher Gegenmaßnahmen einschließlich der Beurteilung ihrer Wirtschaftlichkeit sowie für die Bemessung notwendiger Bauwerke. Soweit ausreichende Messreihen an einer interessierenden Stelle vorliegen, gibt es seit längerem erprobte Verfahren für solche Untersuchungen. Wenn Abflusswerte an einer anderen Stelle am Gewässer benötigt werden als an der Pegelstelle oder an einem Gewässer ohne geeignete Messwerte, ist eine Übertragung von der Pegelstelle auf die interessierende Stelle erforderlich. Im Endeffekt ist es zweckmäßig, Informationen zu maßgebenden Abflüssen flächendeckend für Flussgebiete oder Zuständigkeitsbereiche wasserwirtschaftlicher Dienststellen zu erarbeiten, um Grundlagen für möglichst viele denkbare Anwendungsfälle bereit zu halten.

Die hierzu notwendigen Methoden (angefangen mit der Übertragung von Abflussdaten von einer Stelle eines Gewässers auf eine andere bis hin zur flächendeckenden Bereitstellung bestimmter Extremwerte) werden allgemein unter dem Begriff „Regionalisierung von Abflüssen“ zusammengefasst. Hinsichtlich der Regionalisierung von Niedrigwasserkenngrößen gibt es in der internationalen Literatur seit etwa 1970 verschiedene Verfahrensvorschläge, die u. a. für einzelne Regionen in Deutschland exemplarisch angewendet wurden. Flächendeckende Regionalisierungen von mittleren Niedrigwasserabflüssen existieren in Großbritannien, Österreich und der Schweiz, außerdem in Deutschland für einige Bundesländer. Darüber hinaus liegen in verschiedenen Bundesländern Regionalisierungen für den mittleren Abfluss MQ vor.

Um für weitere Aktivitäten auf diesem Gebiet eine Grundlage nach dem heutigen Stand des hydrologischen Wissens zu schaffen, hat die DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ das vorliegende Themenheft erarbeitet. Es enthält eine kurze Beschreibung der verschiedenen Methoden, deren Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten sowie Voraussetzungen und Einschränkungen. Das Spektrum reicht von einfachen Übertragungen von Abflusswerten bis hin zu komplexen statistischen Verfahren sowie dem Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen. Zur Ergänzung sind drei Beispiele aus verschiedenen Regionen und mit unterschiedlichen Vorgehensweisen angefügt. Im Vordergrund des allgemeinen Teils stehen die Anwendungsmöglichkeiten auf Niedrigwasserkenngrößen, z. B. Niedrigwasserabflüsse vorgegebener Häufigkeit. Die Methoden lassen sich aber sinngemäß auch auf andere hydrologische Extremwerte anwenden. In diesem Sinne ist die vorliegende Arbeit eine wichtige Grundlage für ein weites Anwendungsgebiet der Regionalisierung hydrologischer Größen.

Prof. Dr.-Ing. Gero Koehler
August 2009

Verfasser

Der Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ im Fachausschuss HW-3 „Wasserbewirtschaftung“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe HW-3.1 „Niedrigwasser“ gehörten in dieser Zeit folgende Mitglieder an:

BELKE, Detlev	Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt
DEMUTH, Siegfried	Prof. Dr. rer. nat., UNESCO, Division of Water Sciences, Paris
DRASCHOFF, Rainer	Prof. Dr.-Ing., Fachhochschule Lippe und Höxter, Abt. Detmold
EBNER VON ESCHENBACH, Anna-Dorothea	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
FINKE, Walter	Dr. rer. nat., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
KOEHLER, Gero	Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Kaiserslautern (Sprecher der AG)
LORENZ, Ulf	Dipl.-Ing., Eurawasser Nord GmbH, Rostock
PRELLBERG, Dieter	Dr.-Ing., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz (Stellv. Sprecher der AG)
WALTHER, Jörg	Dr. rer. nat., DHI-WASY GmbH, Niederlassung Dresden
WILLEMS, Winfried	Dr. rer. nat., Ingenieurhydrologie, Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG), Ottobrunn

Als Gast hat mitgewirkt :

LAAHA, Gregor	Priv. Doz. Dr. techn. Dipl.-Ing., Universität für Bodenkultur, Wien
---------------	---------------------------------------------------------------------

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden
--------------	----------------------------------------------------------------------

Inhalt

Vorwort		3
Verfasser		4
Bilderverzeichnis		6
Tabellenverzeichnis		7
1	Einführung	8
2	Niedrigwasserkennwerte	10
3	Regionalisierungsverfahren	11
3.1	Einfache Übertragungsverfahren	12
3.2	Multiple Regression	13
3.2.1	Grundlagen	13
3.2.2	Verfahren zur Variablenselektion	14
3.2.2.1	Faktorenanalyse	14
3.2.2.2	Nutzung von Informationskriterien	15
3.3	Index-Verfahren	16
3.4	Räumliche Interpolation (Kriging)	17
3.5	Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen	18
4	Beispiele zur Regionalisierung von Niedrigwasserkenngrößen	20
4.1	Einzugsgebiet der Stör	20
4.1.1	Einführung	20
4.1.2	Potentiell erklärende Variablen	21
4.1.3	Zielgrößen und deren Unsicherheiten	23
4.1.4	Regressionsmodelle zur MNQ-Regionalisierung	25
4.1.5	Index-Verfahren zur NM1Q(T)-Regionalisierung	28
4.2	Niedrigwasserregionalisierung in Österreich	31
4.2.1	Einleitung und Zielsetzung	31
4.2.2	Hydrologische Situation und Daten	31
4.2.3	Aufbereitung der Daten	32
4.2.4	Abgrenzung homogener Regionen	35
4.2.4.1	Residuenmuster-Methode	35
4.2.4.2	Clusteranalyse	36
4.2.4.3	Regressionsbaum	37
4.2.4.4	Saisonalitätsanalyse	39
4.2.5	Anpassung der Regressionsmodelle	41
4.2.6	Bewertung der verschiedenen Modelle	41
4.2.7	Niedrigwasserschätzung	42
4.3	Einzugsgebiet der Mulde	45
4.3.1	Einführung	45
4.3.2	Potenziell erklärende Variablen	47
4.3.3	Zielgrößen und Datengrundlage	47
4.3.4	Cluster- und Diskriminanzanalyse	48
4.3.5	Regressionsmodelle zur Regionalisierung von NM15Q bzw. NM15q	51
4.3.6	Index-Methode zur Regionalisierung von NM15Q(T)	53

5	Hinweise zur Erarbeitung von Regionalisierungsverfahren sowie zu ihrer Anwendung	55
5.1	Zugrunde liegende Daten.....	55
5.2	Gesamtgebiets- oder zwischengebietsbezogener Ansatz.....	55
5.2.1	Gesamtgebiete oder Zwischengebiete im Rahmen der Analyse.....	57
5.2.2	Gesamtgebiete oder Zwischengebiete im Rahmen der Synthese.....	57
5.3	Überprüfung der Ergebnisse aus der Regionalisierung.....	58
5.4	Gültigkeitsgrenzen.....	58
Anhang A	Verfahren zur Abgrenzung homogener Regionen	59
A.1	Gruppierungsverfahren.....	59
A.1.1	Residuenmuster-Methode.....	59
A.1.2	Clusteranalyse.....	59
A.1.3	Regressionsbaum.....	60
A.1.4	Saisonalitätsanalyse.....	60
A.2	Zuordnungsregel für Gebiete ohne Abflussbeobachtung.....	61
A.2.1	Diskriminanzanalyse.....	61
A.2.2	Klassifikationsbaum.....	62
Anhang B	Umfrageergebnisse zur Regionalisierung von NQ und MQ	62
Literatur	64

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Empirisches und theoretisches Semivariogramm.....	17
Bild 2:	Gebietsübersicht.....	20
Bild 3:	Mittlere Niedrigwasserabflussspenden und Konfidenzbereiche der 17 Pegel.....	23
Bild 4:	Quantile und Konfidenzbreiten des NM1Q am Pegel Willenscharen, empirische Quantile ermittelt mittels der Hosking Plotting Position-Formel.....	24
Bild 5:	Log-Likelihood-Werte der Regression des nach Box-Cox transformierten MNQ auf die logarithmische Einzugsgebietsgröße für λ zwischen -1 und 1.....	26
Bild 6:	Vergleich der regionalisierten MNQ-Spenden mit Konfidenzbändern der 17 Pegel.....	28
Bild 7:	Räumliche Verteilung von MNQ im Einzugsgebiet der Oberen Stör.....	28
Bild 8:	Regionenzuordnung als Ergebnis von Cluster- und Diskriminanzanalyse.....	29
Bild 9:	Lage des Gewässerabschnittes in Bild 10 im Flächenverzeichnis.....	30
Bild 10:	Niedrigwasserlängsschnitt für den in Bild 9 türkis dargestellten Gewässerabschnitt, mit Ergebnissen der lokalen (Kreuze) und regionalen Wahrscheinlichkeitsanalyse (Linien).....	31
Bild 11:	Topografie und Lage der verwendeten Pegel in Österreich.....	32
Bild 12:	Niedrigwasserspende q_{95} ($l s^{-1} km^{-2}$) aus Abflussdaten von 325 Zwischeneinzugsgebieten in Österreich...	33
Bild 13:	Residuenmuster des globalen Regressionsmodells.....	35
Bild 14:	Gruppierung aufgrund der Residuenmuster-Methode.....	36
Bild 15:	Gruppierung aufgrund der gewichteten Clusteranalyse.....	37
Bild 16:	Regressionsbaum für 325 Gebiete.....	38
Bild 17:	Gruppierung aufgrund des Regressionsbaums.....	39
Bild 18:	Saisonalitätsindex von 325 Zwischeneinzugsgebieten.....	40
Bild 19:	Saisonalitätshistogramme – Unterschreitungshäufigkeiten von q_{95} in jedem Monat für typische Einzugsgebiete in jeder Region.....	40

Bild 20:	Regionen mit annähernd homogener Saisonalität von Niedrigwasser.....	41
Bild 21:	Niedrigwasserregionalisierung in Österreich, eine Kombination von Methoden für Gebiete mit kurzen Abflussreihen, langen Abflussreihen und ohne Abflussreihen, d. h. unbeobachtete Gebiete	43
Bild 22:	Ausschnitt aus der österreichischen Niedrigwasserkarte (Regionalisierte Niedrigwasserspende q_{95} ($l s^{-1} km^{-2}$), aus BMLFUW (2007), Hydrologischer Atlas Österreichs, Karte 5.8). Linkes Bild – untere Grenze des Vertrauensbereichs; rechtes Bild – obere Grenze des Vertrauensbereichs	44
Bild 23:	Einzugsgebiet der Mulde bis zum Pegel Bad Dübren 1	46
Bild 24:	Dendrogramm zum Single-Linkage-Verfahren mit der euklidischen Distanz als Distanzmaß	49
Bild 25:	Gruppierung der Pegel als Ergebnis von Cluster- und Diskriminanzanalyse.....	50
Bild 26:	Vergleich der berechneten mit den beobachteten NM15Q	52
Bild 27:	Vergleich der mit Verfahrensweise 2 berechneten mit den beobachteten NM15Q(20)	54
Bild 28:	Unterscheidung zwischen Gesamtgebieten und Zwischengebieten	56
Bild A1:	Prinzip der Diskriminanzanalyse.....	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Raumbezogene Daten und abgeleitete potentiell erklärende Variablen	22
Tabelle 2:	Variablen und deren Signifikanzen zur Ermittlung des mittleren Niedrigwasserabflusses mittels drei erklärender Variablen	26
Tabelle 3:	Regionale Wahrscheinlichkeitsanalyse, drei Parameter der Verallgemeinerten Extremwertverteilung zur Ermittlung der normierten Quantilfunktion, Gesamtstichprobenumfang	29
Tabelle 4:	Einzugsgebietskenngrößen	34
Tabelle 5:	Vorhersagegüte der regionalen Regressionsmodelle, basierend auf den einzelnen Gruppierungsverfahren.....	42
Tabelle 6:	Raumbezogene Daten und abgeleitete potenziell erklärende Variablen	47
Tabelle 7:	Parameter und Gütekriterien des Regressionsmodells für die Nordgruppe	51
Tabelle 8:	Parameter und Gütekriterien der Regressionsmodelle für die Südgruppe.....	51
Tabelle 9:	Relative Fehler der mit den Regressionsmodellen berechneten NM15Q	52
Tabelle 10:	Normierte Niedrigwasserquantile NM15Q(T)	53
Tabelle 11:	Regionalisierte Niedrigwasserquantile NM15Q(T) für den Pegel Erlbn.....	53
Tabelle 12:	Mittlerer absoluter prozentualer Fehler ERR_m der mit dem kombinierten Regionalisierungsverfahren berechneten NM15Q(T)	54

1 Einführung

Niedrigwasserkennwerte beschreiben den Zustand „geringer Abfluss in einem Gewässer“ nach unterschiedlichen Kriterien und Zielsetzungen. Ein häufig benutzter Kennwert ist der Niedrigwasserabfluss, dessen hydrologische Bearbeitung, zumindest in Mitteleuropa, lange Zeit zu Gunsten der Untersuchung von Hochwasserabflüssen vernachlässigt wurde. Das mag vor allem mit dem auffälligen, medienwirksamen und gefährlichen Ereignis Hochwasser begründet sein. Erst die zunehmende Nutzung des Wasserdargebotes der Oberflächengewässer hat dazu geführt, dass mögliche Schäden einer Niedrigwasserperiode mit denen eines Hochwassers durchaus vergleichbar sein können und verstärkt wahrgenommen werden. Das betrifft vor allem Risiken für die Wasserversorgung mit Hilfe von Talsperren, Einschränkungen für Schifffahrt und Energiegewinnung, Nutzungen für die Bewässerung von Intensivkulturen und für andere Zwecke. So waren die volkswirtschaftlichen Schäden in Deutschland infolge der lang andauernden Trockenperiode 2003 mit z. T. extrem niedrigen Abflüssen größer als die einer der Hochwasserkatastrophen an Rhein, Oder und Elbe der letzten Zeit. In anderen Regionen Europas hatte die Trockenperiode 2003 noch deutlich gravierendere Folgen. Zu den volkswirtschaftlichen Schäden kommen ökologische Auswirkungen sowie die Besorgnis, dass infolge eines globalen Klimawandels solche Ereignisse in Zukunft vermehrt auftreten könnten. Eine zusätzliche Bedeutung haben Niedrigwasserabflüsse in jüngster Zeit durch die EU-Wasserrahmenrichtlinie erhalten. Deren zentrale Grundforderung, für die Fließgewässer in einem bestimmten Zeitraum einen „guten ökologischen Zustand“ zu erreichen (bzw. diesen zu erhalten, wo er schon gegeben ist), umfasst auch die Unterschreitung kritischer Grenzwerte von Schadstoffen. Bei der Ermittlung von Frachten können neben Niedrigwasserabflüssen aber auch mittlere Abflüsse von Bedeutung sein.

Sollen zur Verbesserung der Abflussverhältnisse in Fließgewässern wasserwirtschaftliche Maßnahmen ergriffen werden, sind ihre Wirksamkeit nachzuweisen und die zur Umsetzung erforderlichen baulichen Anlagen zu bemessen. Dazu müssen Abflüsse in Abhängigkeit ihrer Häufigkeit für die betroffenen Gewässer ermittelt werden. Nur so lässt sich im Vergleich mit dem erzielbaren Nutzen oder den verhinderten Schäden die Wirtschaftlichkeit der vorgesehenen Maßnahmen beurteilen.

Zur Durchführung solcher statistischen Analysen für Hochwasserabflüsse wurde in Deutschland bereits 1976 eine erste Regel erstellt (DVWK 1976) und 1999 grundlegend überarbeitet (DVWK 1999). Für extreme Niedrigwasserabflüsse wurden entsprechende Regeln 1983 für den Niedrigwasserabfluss vorgegebener Dauer (DVWK 1983) und 1992 für die Unterschreitungsdauern und die Abflussdefizite bei vorgegebenen Schwellenwerten (DVWK 1992) erarbeitet. Damit lassen sich an der Stelle, für die geeignete Abflussdaten aus Pegelmessungen vorliegen, maßgebende Abflüsse für wasserwirtschaftliche Entscheidungen oder wasserbauliche Maßnahmen gewinnen.

Wenn Abflusswerte an einer anderen Stelle am Gewässer benötigt werden als an der Pegelstelle oder an einem Gewässer ohne geeignete Messwerte, ist eine Übertragung von der Pegelstelle auf die interessierende Stelle erforderlich. Im Endeffekt ist es zweckmäßig, Informationen zu maßgebenden Abflüssen flächendeckend für Flussgebiete oder Zuständigkeitsbereiche wasserwirtschaftlicher Dienststellen zu erarbeiten, um Grundlagen für möglichst viele denkbare Anwendungsfälle bereit zu halten. Alle diese Methoden (angefangen mit der Übertragung von Abflussdaten von einer Stelle eines Gewässers auf eine andere, bis hin zur flächendeckenden Bereitstellung bestimmter Extremwerte) werden allgemein unter dem Begriff „Regionalisierung von Abflüssen“ zusammengefasst.

Einfache Regionalisierungsverfahren wurden schon sehr früh für Hochwasserabflüsse entwickelt, zunächst ohne Berücksichtigung von deren Häufigkeit. Beispiele sind die Hochwasserformeln von ISZKOWSKI (1886) sowie weitere Versuche dieser Art oder das Abflusspendendiagramm von WUNDT (1959) für extreme Abflüsse. ISZKOWSKI hat übrigens auch Formeln für NQ und MQ entwickelt, wobei NQ und HQ jeweils von MQ abhängen. Eine Regionalisierung von Hochwasserabflüssen verschiedener Wiederholungszeitspannen wurde erstmals 1978 flächendeckend für Großbritannien und Irland vom Institute of Hydrology in Wallingford vorgelegt (SUTCLIFFE 1978) und später grundlegend überarbeitet (FEH 1999). Ähnliche Arbeiten wurden in den folgenden Jahren in Deutschland für einzelne Bundesländer von deren zentralen wasserwirtschaftlichen Dienststellen durchgeführt (Niedersachsen 1979, Hessen 1979, Baden-Württemberg 1983, Rheinland-Pfalz 2002). Baden-Württemberg hat später ein vollständig überarbeitetes Regionalisierungsverfahren für Hochwasserabflüsse bis $T_n = 100$ a veröffentlicht (LFU 1999). Über den gegenwärtigen Stand dieser Bemühungen gibt es keinen umfassenden Überblick. Es ist möglich, dass für den internen Gebrauch verschiedene Methoden erarbeitet wurden, die aber nicht allgemein verfügbar sind.

Zur Regionalisierung von Niedrigwasserkenngrößen gibt es in der internationalen Literatur seit etwa 1970 verschiedene Verfahrensvorschläge, die an ausgewählten Regionen überprüft wurden (DEMUTH 1993, DEMUTH und HAGEMANN 1993). Für Großbritannien wurde im Jahr 1992 eine flächendeckende Regionalisierung von Niedrigwasserabflüssen vom Institute of Hydrology in Wallingford vorgelegt (GUSTARD et al. 1992). In Österreich und in der Schweiz wurden Verfahren zur flächendeckenden Bestimmung von Niedrigwasserkenngrößen veröffentlicht (LAAHA und BLÖSCHL 2006c und 2007a, ASCHWANDEN und KAN 1999). Weitere Methoden und Anwendungen in USA, Neuseeland und Norwegen sind in LAAHA und BLÖSCHL (2006c) zu finden.