

WASSERBILANZMODELLE IN DER WASSERWIRTSCHAFT

- kontinuierliche Niederschlagsabflussmodelle-

Verantwortlicher Herausgeber:

Bund der Ingenieure
für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft
und Kulturbau (BWK) e.V.
Pappelweg 31
40489 Düsseldorf

bearbeitet von der Arbeitsgruppe 7.1 „Wasserbilanzmodelle in der Wasserwirtschaft“ unter
Mitwirkung von

Bucher, Bernd, Dr.rer.nat.
Haase, Michael, Dr.-Ing.

Lanphen, Lambert, Dipl.-Ing.
Meuser, Andreas, Dr.rer.nat.

Ostrowski, Manfred, Prof. Dr.-Ing.
(Vorsitzender)
Richter, Karl-Gerd, Dr.-Ing.

Sartor, Joachim, Prof. Dr.-Ing.

Schröder, Rolf, Dr.rer.nat.
Wolf-Schumann, Ulrich, Dipl.-Ing.

Erftverband, Bergheim
Forschungsinstitut für anwendungsorien-
tierte Wissensverarbeitung,
Universität Ulm
Niersverband, Viersen
Landesamt für Wasserwirtschaft
Rheinland-Pfalz, Mainz
Institut für Wasserwirtschaft
Technische Universität Darmstadt
Dr.-Ing. Karl Ludwig, Berat. Ing. Wasser -
Wirtschaft - Wasserbau, Karlsruhe
Fachhochschule Trier,
Fachbereich Bauingenieurwesen
Björnsen Berat. Ingenieure, Koblenz
Hydrotec Berat. Ingenieure, Aachen

ISBN

Das Merkblatt einschließlich seiner Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche an-
derweitige, auch auszugsweise Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts
ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch
für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verar-
beitung in elektronischen Systemen.

© Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.
Pappelweg 31, 40489 Düsseldorf

Vertrieb über die: BWK-Bundesgeschäftsstelle
Bund der Ingenieure
für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft
und Kulturbau e.V.
Pappelweg 31
40489 Düsseldorf
Fax: 0203 / 7395338 / 742521

Die Schutzgebühr beträgt 30,-- € (entspricht 58,67 DM), für BWK-Mitglieder 20,-- €
(entspricht 39,12 DM)

Vorwort

Zur Lösung wasserwirtschaftlicher Planungsaufgaben werden sehr oft nur einzelne Komponenten des hydrologischen Kreislaufs analysiert, um auf dieser Grundlage Anlagen zu bemessen und zu betreiben. Die Beschränkung auf einzelne Glieder des Wasserhaushalts hat vielerlei Ursachen. Die Wasserwirtschaft in Mitteleuropa hat sich über einen sehr langen Zeitraum entwickelt. Dabei wurden häufig nur Lösungen für Teilbereiche gesucht. So diente beispielsweise der Gewässerausbau einer verbesserten Vorflut oder dem Hochwasserschutz, die Stadtentwässerung war dagegen auf eine möglichst schnelle Ableitung von Niederschlägen und Schmutzwasser aus Siedlungsgebieten ausgerichtet. Probleme, die sich aus deren Einleitung in natürliche Gewässer ergaben, wurden lange Zeit vernachlässigt. Weitere Beispiele ließen sich anführen.

Einzelne Elemente des Wasserhaushalts wurden aber auch deshalb betrachtet, weil das Wissen über den Gesamtzusammenhang hydrologischer und hydraulischer Prozesse fehlte. Geeignete Methoden und Modelle waren lange Zeit nicht ausreichend entwickelt. Erst die intensive wissenschaftliche Forschung in der Neuzeit hat Einblicke in diese Prozesse gewährt, so dass inzwischen geeignete Rechenalgorithmen entwickelt werden konnten. Diese Entwicklung wurde nicht zuletzt durch die rasante Zunahme der allgemein verfügbaren Rechnerleistung begünstigt. Aber auch die erforderlichen umfangreichen Eingangsdaten sind heute wesentlich leichter zugänglich und verfügbar, z.B. durch geographische Informations- und Datenbanksysteme.

Die moderne Wasserwirtschaft bemüht sich heute mehr und mehr um eine integrale Betrachtung ökologischer und ökonomischer Ziele. Wasserbilanzkomponenten werden zunehmend in ihrer räumlichen und zeitlichen Vernetzung betrachtet. Eine nachhaltige integrierte Flussgebietsbewirtschaftung im Sinne der UN Agenda 'Sustainable Development' und auch im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union erfordert die Berechnung von Wasserbilanzen größerer Einzugsgebiete über längere Zeiträume unter Berücksichtigung anthropogener Einflüsse. Für solche integrierten Planungen ist naturgemäß ein hoher methodischer Aufwand erforderlich. Die hohe Komplexität der Rechenverfahren erfordert wiederum ein erweitertes Fachwissen der planenden Wasserwirtschaftler.

Die in diesen Empfehlungen vorgestellten Wasserbilanzmodelle werden seit Mitte der 80er Jahre mit deutlich zunehmendem Erfolg in der Praxis eingesetzt. Sie ersetzen meist traditionelle Niederschlag-Abflussmodelle, die sich auf die Berechnung von Hochwasserereignissen konzentrieren. Derartige Wasserbilanzmodelle sollten zur Lösung verschiedener Aufgaben geeignet sein; sie sollten gepflegt und vorgehalten werden. Andererseits hat sich aber auch gezeigt, dass mangelndes Wissen bei der Anwendung komplexer Methoden häufig zu größeren Fehlern führt.

Der BWK will daher Auftraggeber und Auftragnehmer durch geeignete Empfehlungen bei der Anwendung solcher Modelle unterstützen. Der BWK hat im Jahr 1994 die Arbeitsgruppe 7.1 'Wasserbilanzmodelle in der Wasserwirtschaft' eingesetzt. Die Arbeitsergebnisse wurden 1997 als Entwurf eines Technischen Berichts der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Die positiven Reaktionen und die weiterhin zunehmende Bedeutung von Wasserbilanzmodellen in der Wasserwirtschaft haben den BWK veranlasst, den Bericht weiter zu entwickeln und ihn, verbunden mit Handlungsempfehlungen, als Merkblatt herauszugeben.

Das Merkblatt kann und will nicht hydrologisches Grundwissen vermitteln, dieses wird ebenso wie die Grundlagen der Modelltechnik vorausgesetzt. Zunächst werden die Einsatzgebiete und die Struktur von Wasserbilanzmodellen vorgestellt. Erläuterungen zu den erforderlichen Eingangsdaten und Hinweise zur erfolgreichen Aufstellung und Prüfung solcher Modelle bilden den Kern des Merkblattes. Da Planungskosten zukünftig eine noch größere Rolle bei der Ent-

scheidung für oder gegen ein Planungswerkzeug spielen, werden Kosten-Nutzen Aspekte besonders diskutiert. Eine Reihe von Fallbeispielen rundet das Merkblatt ab und zeigt Anwendungsmöglichkeiten für Wasserbilanzmodelle auf.

Selbstverständlich ist der BWK sehr interessiert, von den Nutzern dieses Merkblattes zu erfahren, welche Erfahrungen sie in der Praxis mit diesem Papier gemacht haben. Wir sind dankbar für jeden Verbesserungsvorschlag.

Im September 2001

Dr.-Ing.E.h. Dietrich Ruchay
Präsident des BWK

Prof. Dr.-Ing. Manfred Ostrowski
Vorsitzender
der technisch-wissenschaftlichen
BWK-Arbeitsgruppe 7.1
„Wasserbilanzmodelle in der Wasserwirtschaft“

WASSERBILANZMODELLE IN DER WASSERWIRTSCHAFT

GLIEDERUNG

1	EINLEITUNG	1
2	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	3
3	WASSERWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGSAUFGABEN	5
3.1	GRUNDSÄTZLICHE PLANUNGSAUFGABEN	5
3.2	HÄUFIGE WASSERWIRTSCHAFTLICHE PLANUNGSAUFGABEN	5
3.3	ÜBERSICHT ÜBER ANWENDUNGSBEREICHE FÜR WASSERBILANZMODELLE	6
4	DEFINITION DES MODELLTYPUS	8
4.1	EIGENSCHAFTEN EINES WASSERBILANZMODELLS	8
4.2	MODELLSTRUKTUR	9
4.2.1	<i>Die Atmosphäre</i>	<i>11</i>
4.2.2	<i>Die Schneespeicherung</i>	<i>12</i>
4.2.3	<i>Der Interzeptionsspeicher</i>	<i>12</i>
4.2.4	<i>Der Oberflächenspeicher</i>	<i>13</i>
4.2.5	<i>Der Bodenspeicher und die ungesättigte Zone</i>	<i>13</i>
4.2.6	<i>Der Grundwasserspeicher</i>	<i>14</i>
4.2.7	<i>Fluss-Vorland-Systeme</i>	<i>14</i>
4.2.8	<i>Seen und Talsperren</i>	<i>15</i>
4.2.9	<i>Simulationsmodule für urbane Einzugsgebiete</i>	<i>15</i>
4.3	ZUSAMMENSETZUNG VON GESAMTMODELLEN	16
5	EINGANGSDATEN UND DATENVERWALTUNG	17
5.1	RAUMBEZOGENE DATEN	17
5.2	HYDROLOGISCHE UND METEOROLOGISCHE DATEN	20
5.3	GEWÄSSERBEZOGENE DATEN	21
5.4	IMPORTE / EXPORTE ÜBER EINZUGSGEBIETSGRENZEN	21
5.5	DATENPRÜFUNG	21
5.5.1	<i>Prüfung und Analyse von Zeitreihen</i>	<i>21</i>
5.5.2	<i>Prüfung räumlicher und gewässerbezogener Daten</i>	<i>22</i>
5.6	NUTZUNG EFFIZIENTER DATENVERWALTUNGSINSTRUMENTE	23
5.6.1	<i>Geographische Informationssysteme (GIS)</i>	<i>23</i>
5.6.2	<i>Zeitreiheninformationssysteme (ZIS)</i>	<i>24</i>
5.6.3	<i>Relationale Datenbankverwaltungssysteme (RDBMS)</i>	<i>28</i>
6	MODELLERSTELLUNG	29
6.1	RÄUMLICHE UNTERGLIEDERUNG UND SYSTEMPLAN	30
6.2	PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DES LAUFFÄHIGEN MODELLS	31
6.3	DURCHFÜHRUNG VON SENSITIVITÄTSANALYSEN	31
6.3.1	<i>Definitionen</i>	<i>31</i>
6.3.2	<i>Grundsätze der Parameterschätzung</i>	<i>32</i>
6.3.3	<i>Zielfunktionen für Parameterschätzung und Modellverifikation</i>	<i>32</i>
6.3.4	<i>Parametergruppen</i>	<i>33</i>
6.3.5	<i>Fehlersuche: Wie werden die Simulationsergebnisse verbessert?</i>	<i>33</i>
6.3.6	<i>Geeignete Zeiträume und Systemzustände</i>	<i>34</i>
6.4	VERIFIKATION	35
6.5	VALIDIERUNG (ÜBERTRAGBARKEIT UND EXTRAPOLATION IN EXTREME BEREICHE)	35
7	MODELLPFLEGE	36
7.1	AKTUALISIERUNG DER DATENBESTÄNDE	36
7.2	VERBESSERUNG DER RECHENPROGRAMME	36
7.3	MESSNETZPFLEGE	36

8	DIE PRÜFUNG AUFGESTELLTER MODELLE	38
8.1	ERGEBNISUMFANG.....	38
8.2	PLAUSIBILITÄTSPRÜFUNG DER ERGEBNISSE	39
8.2.1	<i>Lassen sich die Ergebnisse regional gut einordnen?</i>	<i>39</i>
8.2.2	<i>Sind die Kennwerte im räumlich-topologischen Zusammenhang plausibel ?</i>	<i>39</i>
8.2.3	<i>Spiegeln die Ergebnisse ausgeprägte Charakteristika der einzelnen Einzugsgebietsteile wieder?.....</i>	<i>39</i>
8.2.4	<i>Sind die Zwischenergebnisse plausibel ?.....</i>	<i>39</i>
8.3	VERGLEICH MIT MESSWERTEN	40
8.3.1	<i>Verfügbare Messwerte.....</i>	<i>40</i>
8.3.2	<i>Prüfung der Datengrundlage.....</i>	<i>41</i>
8.4	PRÜFUNG DES ARBEITSABLAUFS	42
8.4.1	<i>Dokumentation</i>	<i>42</i>
8.4.2	<i>Prüfung der Modellanwendung</i>	<i>42</i>
8.4.3	<i>Modellierung</i>	<i>42</i>
8.4.4	<i>Prüfung des Rechenprogramms.....</i>	<i>42</i>
8.5	FRAGEN ZUR WEITEREN NUTZUNG UND PFLEGE.....	43
9	KOSTEN- / NUTZENBETRACHTUNGEN.....	44
9.1	NUTZEN DER PLANUNG WASSERWIRTSCHAFTLICHER MAßNAHMEN	44
9.2	ZUSÄTZLICHE NUTZEN BEI DAUERHAFTEM EINSATZ VON WASSERBILANZMODELLEN	44
9.3	SONSTIGE NUTZEN	44
9.3.1	<i>Dokumentation</i>	<i>44</i>
9.3.2	<i>Evaluierung der Messkonzepte</i>	<i>45</i>
9.4	KOSTEN VON WASSERBILANZMODELLEN	45
9.5	VERGLEICHE VON NUTZEN UND KOSTEN	45
10	KOPPLUNG MIT ANDEREN MODELLEN	47
10.1	METEOROLOGISCHE MODELLE	47
10.2	GRUNDWASSERMODELLE	48
10.3	HYDRAULISCHE MODELLE	49
10.4	STADTENTWÄSSERUNGSMODELLE.....	49
10.5	EROSIONS-, TRANSPORT-, UND GÜTEMODELLE.....	50
11	FALLBEISPIELE.....	51
11.1	HYDROLOGISCHE MODELLUNTERSUCHUNG NIERSKANAL	51
11.1.1	<i>Aufgabenstellung und Zielsetzung.....</i>	<i>51</i>
11.1.2	<i>Beschreibung des Untersuchungsgebietes</i>	<i>51</i>
11.1.3	<i>Methodik der Untersuchung.....</i>	<i>51</i>
11.1.4	<i>Analyse zum Istzustand.....</i>	<i>53</i>
11.1.5	<i>Variantenrechnung.....</i>	<i>54</i>
11.1.6	<i>Zusammenfassung</i>	<i>54</i>
11.2	WASSERWIRTSCHAFTLICHES ENTSCHEIDUNGSHILFEMODELL FÜR RÜCKHALTEBECKEN STEUERUNG UND ABFLUßVORHERSAGE (WERA)	56
11.2.1	<i>Wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung.....</i>	<i>56</i>
11.2.2	<i>Das Untersuchungsgebiet</i>	<i>56</i>
11.2.3	<i>Problembeschreibung.....</i>	<i>56</i>
11.2.4	<i>Programmsystem WERA</i>	<i>57</i>
11.2.5	<i>Datengrundlage.....</i>	<i>59</i>
11.2.6	<i>Räumlich zeitliche Diskretisierung</i>	<i>59</i>
11.2.7	<i>Ergebnisse</i>	<i>59</i>
11.2.8	<i>Weiterreichende Modellanwendung.....</i>	<i>60</i>
11.2.9	<i>Kosten und Nutzen des Programmsystems</i>	<i>60</i>
11.2.10	<i>Spezielle Literatur</i>	<i>61</i>
11.3	FLÄCHENDETAILLIERTE ERMITTLUNG DER GRUNDWASSERNEUBILDUNG IM EINZUGSGEBIET DER SCHWALM	62
11.3.1	<i>Wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung.....</i>	<i>62</i>
11.3.2	<i>Das Untersuchungsgebiet</i>	<i>62</i>
11.3.3	<i>Problembeschreibung.....</i>	<i>63</i>
11.3.4	<i>Verwendetes Modell.....</i>	<i>63</i>
11.3.5	<i>Verwendete Daten</i>	<i>63</i>

11.3.6	<i>Räumlich-zeitliche Diskretisierung</i>	63
11.3.7	<i>Ergebnisse</i>	63
11.3.8	<i>Spezielle Literatur</i>	65
11.4	GEWÄSSERSCHUTZ DURCH REDUZIERTE MISCHWASSERENTLASTUNGEN	66
11.4.1	<i>Wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung</i>	66
11.4.2	<i>Das Untersuchungsgebiet</i>	66
11.4.3	<i>Problembeschreibung</i>	66
11.4.4	<i>Verwendetes Modell</i>	67
11.4.5	<i>Verwendete Daten</i>	67
11.4.6	<i>Räumlich-zeitliche Diskretisierung</i>	67
11.4.7	<i>Ergebnisse</i>	67
11.4.8	<i>Kosten und Nutzen der Untersuchung</i>	68
11.4.9	<i>Spezielle Literatur</i>	69
11.5	DEZENTRALER RÜCKHALT	70
11.5.1	<i>Wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung</i>	70
11.5.2	<i>Das Untersuchungsgebiet</i>	70
11.5.3	<i>Problembeschreibung</i>	71
11.5.4	<i>Modellansätze</i>	71
11.5.5	<i>Datengrundlage</i>	71
11.5.6	<i>Räumliche und zeitliche Diskretisierung</i>	71
11.5.7	<i>Ergebnisse</i>	71
11.5.8	<i>Weiterreichende Modellanwendung</i>	72
11.5.9	<i>Nutzen und Kosten</i>	73
11.6	GROBRÄUMIGE ERMITTLUNG DER WASSERBILANZ AM BEISPIEL DER WESER ZUR KOPPLUNG VON WASSERBILANZMODELLEN MIT ATMOSPHERISCHEN ZIRKULATIONS-MODELLEN	74
11.6.1	<i>Wasserwirtschaftliche Aufgabenstellung</i>	74
11.6.2	<i>Das Untersuchungsgebiet</i>	74
11.6.3	<i>Problembeschreibung</i>	74
11.6.4	<i>Verwendetes Modell</i>	74
11.6.5	<i>Verwendete Daten</i>	74
11.6.6	<i>Räumliche-zeitliche Diskretisierung</i>	76
11.6.7	<i>Ergebnisse</i>	76
11.6.8	<i>Kosten und Nutzen der Untersuchung</i>	77
11.6.9	<i>Spezielle Literatur</i>	77
12	LITERATURVERZEICHNIS	78
12.1	IM TEXT ZITIERTER LITERATUR	78
12.2	IM TEXT NICHT ZITIERTER LITERATUR	79