

## Nürnberger Wasserwirtschaftstage am 9. und 10. Mai 2001

### Hochwasser – Niedrigwasser – Risiken

1.	Das Jahrtausendhochwasser von 1342 und seine meteorologischen Ursachen	5
2.	Historische Hochwasser-Informationen – Möglichkeiten und Grenzen ihrer anwendungsbezogenen Auswertung	23
3.	Zur Hochwasser-Risikozonierung der deutschen Versicherungswirtschaft	39
4.	Ermittlung der Überschwemmungsgebiete in Bayern	51
5.	Hochwasserbemessungskonzept für Talsperren (DIN E 19700)	59
6.	Hochwasserbemessungskonzept bei Deichen	78
7.	Modellgestützte Hochwasservorhersage in Bayern	88
8.	Landwirtschaftliche Nutzung und Hochwasser	98
9.	Trockenzeiten und Trockenregionen	106
10.	Niedrigwasseranalyse – Methoden und Ergebnisse	121
11.	Klimaänderung und Niedrigwasserabflüsse	139
12.	Anthropogene Veränderung von Niedrigwasser	140
13.	Strategien zum Niedrigwassermanagement	156
14.	Diffuse Einleitungen, Gewässergüte und Niedrigwasser	166
15.	Niedrigwasser – eine Komponente im Naturhaushalt	167
16.	Ermittlung von Mindestabflüssen in wasserkraftbedingten Ausleitungsstrecken am Beispiel der Isar in München	173

### Aktuelles zum Gewässerschutz

1.	Grundsätze für den Gewässerschutzbeauftragten im kommunalen Bereich	183
2.	Grundsätze für den Gewässerschutzbeauftragten im Industriebereich	190
3.	Abfallbeauftragter	196
4.	Arbeitsschutzgesetz – Grundsätze	199
5.	Arbeitsschutzgesetz - Umsetzung in die Praxis des Klärwerksbetriebes	204
6.	Zertifizierung einer Kläranlage	216
7.	Reststoffverwertung aus Kanal- und Kläranlage	224
8.	Aktuelles von der Klärschlammfront	236
9.	Aktuelle Fachfragen zum Vollzug der Abwasserabgabengesetze	241

ISBN: 3-88721-173-1

Herausgeber: ATV-DVWK Landesverband Bayern  
Friedenstr. 40, 81671 München

Herstellung und Vertrieb: F. Hirthammer Verlag GmbH  
Frankfurter Ring 247, 80807 München  
Tel. 089/3233360, Fax 089/3241728

Schutzgebühr: DM 80,-

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier



## Landwirtschaft und Hochwasser

Karl Auerswald, Freising,

Rolf Schröder, Koblenz, Peter Fiener, Freising

### 1. Einführung

Misst man das Abflussverhalten eines permanenten Fließgewässers, liegen wegen der Größe des Einzugsgebietes meist nur pauschale Informationen zur Landnutzung vor, die ggf. dann auch Eingang in eine Modellbildung finden. Mit diesen Pauschalangaben lassen sich häufig befriedigende Prognosen erstellen, da sich viele Einflüsse durch die kleinflächigen Nutzungsunterschiede kompensieren und am Gewässer kein deutliches Signal mehr erzeugen. Dies wird besonders deutlich an einem der am häufigsten verwendeten Modelle zur Prognose des Oberflächenabflusses, dem SCS-Curve-Number-Verfahren [1, 11], das den Landnutzungseinfluss nur pauschal, fachlich falsch, aber oft ausreichend erfolgreich beschreibt. In anderen Modellen wie NASIM [15] oder HILLFLOW [7] geht die Bewirtschaftung gar nur indirekt ein. Fatal ist dabei der häufig vertretene Umkehrschluss, dass die landwirtschaftliche Nutzung nur wenig Möglichkeiten bietet, die Abflussgeschwindigkeit zu vermindern und dass daher Hochwasser-Schutzmaßnahmen an anderer Stelle eingreifen müssen. Das Gegenteil ist der Fall. Da die Landwirtschaft große Fläche in anspruch nimmt, trägt sie ganz wesentlich zum Hochwassergeschehen bei. Ansatzpunkte für einen verbesserten Wasserrückhalt sind sowohl in der Bewirtschaftung als auch in der Landschaftsstruktur gegeben.

### 2. Möglichkeiten einer hochwassermindernden Bewirtschaftung

Im SCS-CN-Verfahren wird in der Landnutzung deutlich zwischen Reihenkulturen (row crop) und Mähdruschkulturen (small grain) unterschieden. Innerhalb einer Kultur wird nur an Hand der Ausgangsbodenfeuchte (Antecedent moisture condition) differenziert [1]. Beides kann nur falsch sein, denn es ist (a) nicht verständlich, warum größere Unterschiede im Abfluss zwischen einem Weizensaatbett und einem Maissaatbett auftreten als zwischen einem Maissaatbett und einem voll entwickelten Maisbestand, die aber gleich eingeschätzt werden. Zudem ist nicht verständlich, warum (b) die Ausgangsfeuchte einen Einfluss haben soll, da während der Vegetationsperiode die Böden praktisch immer ausreichend freien Porenraum haben, um selbst große Regen

aufnehmen zu können. Offenbar wird hier der Fehler, der durch das Vernachlässigen der Vegetationsentwicklung entsteht, durch den falschen, aber häufig interkorrelierten Parameter Feuchte kompensiert, so dass passable Prognosen resultieren. In Wahrheit hängt die Curve Number aber ganz entscheidend von der – im Nutzungszyklus wechselnden – Bedeckung des Bodens durch Vegetation und Mulchmaterial ab. Dieser Einfluss sollte in die Ableitung der Curve Number eingehen. In Exaktversuchen mit Mähdruschfrüchten auf unterschiedlichen Standorten der hydrologischen Bodengruppe C ergab sich [3]:

$$CN = 87 - 0,49 \times \text{Bedeckung (\%)}$$

$$r = -0,91 \quad n = 53.$$

Von diesem Ergebnis unterscheiden sich Reihenkulturen (Mais, Zuckerrüben), die ein weites Spektrum an Anbauverfahren abdecken und deshalb stärker streuten, nicht messbar (Auerswald & Kainz, unveröffentlicht; Abb.1):

$$CN = 80 - 0,40 \times \text{Bedeckung (\%)}$$

$$r = -0,77 \quad n = 23.$$

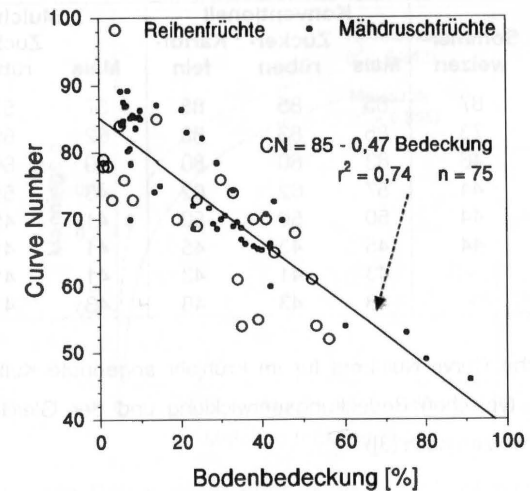


Abb. 1: Aus den Abflüssen von Beregnungsversuchen (65 mm; 1 h) berechnete Curve Numbers unterschiedlicher Kulturen (Getreide, Raps, Mais, Zuckerrüben), Standorte, Parzellengrößen (8-35 m<sup>2</sup>) und Anbauverfahren

Mannings n	Scheitelabfluss		Nachfluss-Infiltration	
	m <sup>3</sup> /s	%	m <sup>3</sup>	%
0,067	0,495	100	93	100
0,08	0,486	98	103	111
0,10	0,449	91	117	126
0,13	0,385	78	138	148
0,20	0,29	59	174	187

Tab. 2: Einfluss der Bodenrauigkeit (ausgedrückt durch den Mannings n) auf den Scheitelabfluss während des Regens und die Infiltration nach Regenende (Nachfluss-Infiltration) unter sonst gleichen Bedingungen;

Berechnung mit dem zeitlich und räumlich hochauflösenden Modell TOPSIM [4, 17] für ein 7,8 ha großes, in 500 Teilflächen aufgelöstes Einzugsgebiet in Scheyern für den Regen vom 27.5.1993 (30 mm, 1h; berechneter Abfluss vor Nachfluss-Infiltration: 699 m<sup>3</sup>)

### 3. Möglichkeiten einer hochwassermindernden Landschaftsstruktur

Aus dem Vorstehenden folgt, dass im Jahresverlauf die unbedeckten und daher abflussproduzierenden Flächen innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzung wechseln. Im Beispiel von Tab. 3 trägt beim Juni-Ereignis Mais am meisten zum Oberflächenabfluss bei, während beim August-Ereignis Gemüse den höchsten Anteil hat. Bereits dadurch vermindert eine diverse Landnutzung innerhalb eines Einzugsgebietes die Abflussbelastung des Gewässers.

Auf gut bedeckten Flächen bleibt die Infiltrationsfähigkeit erhalten und wird durch die meisten Regen nicht ausgeschöpft. Fließt nun der Abfluss einer wenig bedeckten Nutzfläche auf solch eine gut bedeckte, infiltrationsfähige Fläche, kann dort ein Teil des Abflusses infiltrieren (Runon-Infiltration, [19]). Dadurch wird die Abflussbelastung des Gewässers weiter reduziert (Tab. 3). Wegen der im Jahresverlauf variierenden Verschlammungsdisposition wechselt nicht nur der Beitrag einzelner Flächen zum Gesamtabfluss, sondern auch zur Runon-Infiltration. Während die Wintergerste beim Juni-Regen in Tab. 3 noch 15% zur Runon-Infiltration beiträgt, beträgt ihr Anteil nach der Ernte und damit dem Verlust an Bedeckung beim August-Regen nur noch 5%.

Nutzung	Anteil am Gesamtabfluss bis Niederschlagsende [%]		Anteil an der gesamten Runon-Infiltration [%]	
	27. 6. 1994	12. 8. 1994	27. 6. 1994	12. 8. 1994
Winterweizen	1	3	65	69
Wintergerste	1	2	14	5
Mais	46	5	6	9
Sonnenblume	18	15	3	4
Gemüse	33	74	7	10
Flächenstilllegung	0	0	2	0
Laubwald	0	1	4	3
<b>Summe [m<sup>2</sup>]:</b>	7710	1322	3048	1089

Tab. 3: Im Jahresverlauf wechseln die Flächen, die zur Bildung von Oberflächenabfluss neigen und die Flächen die wesentlich zur Runon-Infiltration beitragen können.

Dynamische Berechnung mit TOPSIM für zwei Regen und das Einzugsgebiet Neuenbürger Pfad, Weiherbach (Rasterzellenweite: 12,5 m).

Aus der im Jahresverlauf wechselnden Disposition zur Abflussbildung und Runon-Infiltration folgt, dass durch eine kleinparzellierte, vielfältige Landnutzung der Abfluss wesentlich gegenüber einer homogenen, großflächigen Landnutzung vermindert werden kann, bei durchaus gleicher Fruchtartenverteilung. Daraus folgt weiter, dass es gerade an den Unterhängen und in Gewässernähe wichtig ist, eine hohe Infiltrationsfähigkeit durch eine dauerhafte Bedeckung aufrecht zu erhalten, wie dies früher durch die Wiesennutzung der Unterhanglagen und Auenbereiche gewährleistet war. Räumlich differenzierte und zeitlich hochauflösende Modellierungen, mit denen sich die Runoff-Runon-Prozesse abbilden lassen, zeigen dementsprechend eine hohe Wirksamkeit dieser Maßnahmen [4].

Eine kleinflächig parzellierte Landnutzung bietet neben diesem direkten Effekt auch noch die Möglichkeit, spezielle Hochwasserschutzmaßnahmen innerhalb der landwirtschaftlichen Fläche zu realisieren. Hier bieten sich kleine (50-500 m<sup>3</sup>) Rückhaltebecken mit kontrolliertem Auslauf [6, 18] ebenso an, wie begrünte Abflussmulden [14], die zusätzliche Funktionen wie den Rinnenschutz und Verbesserung der biotischen Ausstattung der Agrarlandschaft erfüllen.

Der Grund, warum selbst bei stark ungesättigten Böden Oberflächenabfluss auftritt und die Bedeckung einen so großen Einfluss hat, liegt darin, dass nicht der Porenraum die Wasseraufnahme begrenzt, sondern die Durchlässigkeit der Bodenoberfläche in den obersten Millimetern [9, 12]. Diese Durchlässigkeit verändert sich nach einer Bodenbearbeitung durch Verschlammung. Die Verschlammung ist ein Zerfallsprozess, der sich hinreichend gut durch eine Funktion 1. Ordnung beschreiben lässt, wenn als treibende Kraft die effektiv auf der Bodenoberfläche auftreffende kinetische Energie der Niederschläge verwendet wird [13, 17].

Die effektive Niederschlagsenergie hängt im wesentlichen von der Bodenbedeckung ab. Mehr Bodenbedeckung vermindert damit den Abfluss deutlich, weil sie die Ausbildung der Verschlammung verzögert. Die Erklärung, warum Reihenfrüchte eine andere Abflussdisposition aufweisen, als vergleichbare, im Frühjahr angebaute Mähdruschfrüchte, liegt daher in ihrer späten und langsamen Bedeckungsentwicklung. Dies wird deutlich, wenn man aus den typischen Jahresgängen der Bodenbedeckung und der Gleichung in Abb. 1 die Curve Numbers berechnet und mit den entsprechenden Werten von Sommerweizen vergleicht (Tab. 1).

Monat	Sommerweizen	Konventionell			Mulchsaat		
		Mais	Zucker- rüben	Kartof- feln	Mais	Zucker- rüben	Kartof- feln
März	87	85	85	85	57	57	57
April	73	85	83	83	62	69	71
Mai	46	83	80	80	69	66	69
Juni	44	57	62	62	43	55	57
Juli	44	50	50	50	41	45	48
August	44	45	43	45	41	41	43
September	-	43	41	43	41	41	43
Oktober	-	48	43	48	43	41	45

Tab. 1: Monatliche Curve Numbers für im Frühjahr angebaute Kulturen (berechnet aus der typischen Bedeckungsentwicklung und der Gleichung in Abb. 1; Sommerweizen nach [3])

Nun ist die Bedeckung durch die Kulturpflanze bereits aus agronomischen Gründen optimiert, nicht aber die Bedeckung durch Zwischenfrüchte und abgestorbene Pflanzenteile. Diese Bedeckungen könnten gegenüber der jetzigen Situation wesentlich vergrößert werden [2]. Im konventionellen Landbau bietet sich hier insbesondere das

Mulchsaatverfahren bei Reihenkulturen an [8], mit dem sich die Abflussdisposition wesentlich senken lässt, was wiederum an Hand der Curve Numbers deutlich wird (Tab. 1). Verwendet man statt des sehr einfachen CN-Ansatzes ein dynamisches Modell, das den Verschlammungsprozess abbildet (TOPSIM, [4, 17]), so kommt man zu einem ähnlichen Ergebnis. Demnach lässt sich durch Einführung von Mulchsaat bei den Reihenkulturen, über eine ganze Fruchtfolge betrachtet, der Oberflächenabfluss um ca. 30% bei sonst gleichen Bedingungen vermindern [17]. Außerdem nimmt der Fließwiderstand zu, weil die Bodenoberfläche durch die geringere Verschlammung rauer bleibt und auch die Mulchschicht stellt einen Widerstand darstellt. Dies zeigt sich beispielsweise in der Zunahme von Mannings n mit zunehmender Mulchbedeckung (Abb. 2). Der höhere Fließwiderstand vermindert die Abflussgeschwindigkeit. Dadurch steht nach Regenende mehr Zeit zur Infiltration zur Verfügung, wodurch ein großer Teil des Abflusses noch auf dem Feld infiltrieren kann (Nachfluss-Infiltration). Außerdem wird der Scheitelabfluss deutlich gedämpft (Tab. 2). Durch diese dreifache Wirkung einer Mulchdecke (geringere Verschlammung, Nachfluss-Infiltration nach Regenende und Wellendämpfung) kann diese Maßnahme ganz wesentlich die Hochwasser-situation entspannen.

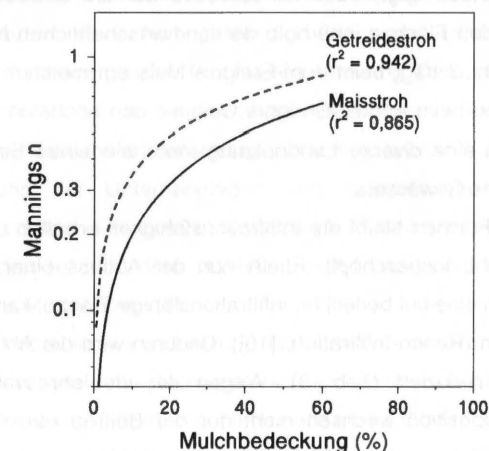


Abb. 2: Zunahme des Rauigkeitsbeiwertes (Mannings n) mit zunehmender Mulchbedeckung, berechnet nach [10] für eine Reynoldszahl von 1000, wie sie häufig bei flächenhaften Abflüssen auftritt (für größere Reynoldszahlen sinken die Werte)

#### 4. Bewertung

Alle dargestellten Maßnahmen vermindern nicht nur den Abfluss, sondern auch den Bodenabtrag bzw. Sedimenttransport [2] und zwar noch wesentlich effektiver, als sie zur Minderung der Hochwassersituation beitragen. Sie vermindern damit ganz wesentlich die Gewässerbelastung mit Sediment und Nährstoffen [5] und leisten zudem einen wesentlichen Beitrag zum Bodenschutz. Alle vorgestellten Maßnahmen wurden über 10 Jahre in einem realen Landschaftsausschnitt (Klostergut Scheyern; ca. 1 km<sup>2</sup>) durch den Forschungsverbund Agrarökosysteme München getestet [2]. Dabei konnte nicht nur ihre Wirksamkeit unter Beweis gestellt werden, sondern es konnte außerdem gezeigt werden, dass diese Maßnahmen auch agronomische Vorteile bringen. Es fehlt jedoch bisher an einer Etablierung dieser Maßnahmen in der Praxis. Dieses Manko beruht im Wesentlichen auf traditionellen Vorstellungen und der Skepsis, sowohl auf hydrologischer wie auf agronomischer Seite, hinsichtlich der Effektivität der vorgestellten Maßnahmen.

#### 5. Literatur

- [1] Anonym, 1989. Engineering field manual 2: Estimating runoff and peak discharges. USDA-SCS, 91 S.
- [2] Auerswald, K., Albrecht, H., Kainz, M. und Pfadenhauer, J., 2000. Principles of sustainable land-use systems developed and evaluated by the Munich Research Alliance on agro-ecosystems (FAM). *Petermanns Geogr. Mitt.*, 144: 16-25.
- [3] Auerswald, K. und Haider, J., 1996. Runoff curve numbers for small grain under German cropping conditions. *J. Environ. Manag.*, 47: 223-228.
- [4] Auerswald, K. und Schröder, R., 2001. Simulation von verschlammungsgesteuerten Oberflächenabflüssen kleiner heterogen genutzter Einzugsgebiete. *Wasser Boden (im Druck)*
- [5] Auerswald, K. und Weigand, S., 1999. Eintrag und Freisetzung von P durch Erosionsmaterial in Oberflächengewässern. *VDLUFA-Schriftenreihe*, 50: 37-54.
- [6] Boyd, M.J., 1993. Does onsite detention storage reduce total catchment flooding? In: R.N. Chowdhury and M. Sivakumar (Editors), *Environmental Mangement, Geo-Water & Engineering Aspects*. Balkema, Rotterdam, 393-399.
- [7] Bronstert, A., 1994. Modellierung der Abflußbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen. *IHW-Mitt.*, 46, 192 pp..
- [8] Brunotte, J., Roth, C.H., Hollmann, P. und Sommer, C., 1995. Einzelbetrieblicher Nutzen-Kosten-Vergleich von Erosionsschutz durch Mulchsaatverfahren. *Landbauf. Völkenrode*, 3: 122-134.
- [9] Duley, F.L., 1939. Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 4: 60-64.
- [10] Gilley, J.E., Kottwitz, E.R. und Wieman, G.A., 1991. Roughness coefficients for selected residue materials. *J. Irrig. Drainage Eng.*, 117: 503-514.
- [11] Ihringer, J., 1992. Regionalisierung des Abflußbeiwertes. In: H.-B. Kleeberg (Editor), *Regionalisierung in der Hydrologie*. VCH, Weinheim, 304-316.
- [12] McIntyre, D.S., 1958. Permeability measurements for soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Sci.*, 85: 185-189.
- [13] Morin, J. und Benyamini, Y., 1977. Rainfall infiltration into bare soils. *Water Resources Res.*, 13: 813-817.
- [14] Perl, T., Auerswald, K. und Schröder, R., 1999. Dämpfung und Verminderung des Oberflächenabflusses in Agrarlandschaften durch begrünte Abflussmulden. *Mitteil. Deutschen Bodenkundl. Ges.*, 91: 1305-1306.
- [15] Ostrowski, M.W. und Wolf, U., 1986. Niederschlags-Abfluß-Modell NASIM. Kurzbeschrieb. *Hydrotec*, Aachen, 20 S
- [16] Schröder, R., 2000. Modellierung von Verschlämmung und Infiltration in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *Bonner Geogr. Abh.*, 101: 175.
- [17] Schröder, R. und Auerswald, K., 2000. Modellierung des Jahresgangs der verschlammungsinduzierten Abflussbildung in kleinen landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. *Z. Kulturtechnik Landentw.*, 41: 167-172.
- [18] Weigand, S., Auerswald, K., Piller, W., Kainz, M. und Westrop, J., 1995. Erosions- und Hochwasserschutz durch Rückhaltebecken in landwirtschaftlichen Kleineinzugsgebieten. *Mitteil. Deutschen Bodenkundl. Ges.*, 76: 1377-1378.
- [19] Woolhiser, D.A., Smith, R.E. und Giraldez, J.-V., 1996. Effects of spatial variability of saturated hydraulic conductivity on Hortonian overland flow. *Water Resources Res.*, 32: 671-678.

#### Anschrift der Autoren:

PD Dr. Karl Auerswald (auerswald@weihenstephan.de) und

Dipl. Geogr. Peter Fiener (peter.fiener@gmx.de), Wissenschaftszentrum

Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, D-85350 Freising,

Dr. Rolf Schröder (r.schroeder@bjoernsen.de), Björnßen Beratende Ingenieure, Maria-

Trost-Str. 3, 56070 Koblenz