

Wasserhaushalt und Abflußregime in kleinen Einzugsgebieten

H.-P. Nachtnebel¹, D. Gutknecht²

¹ Institut f. Wasserwirtschaft und Hydrologie, Universität für Bodenkultur

² Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU - Wien

Kurzfassung: Die Zielsetzung dieses Beitrages liegt in der Beurteilung der Abflußverhältnisse kleiner Einzugsgebiete im Hinblick auf ihre Beanspruchung als Vorfluter für Kläranlagenabwässer. Dabei sind sowohl quantitative Aspekte zu berücksichtigen, die sich auf die Häufigkeit und Dauer von Niederwässern beziehen, wobei noch der Auftrittszeitpunkt wesentlich ist, als auch qualitative Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die die Empfindlichkeit eines Gewässers gegenüber Belastungen und seine Fähigkeit Belastungen zu kompensieren, beschreiben. An Hand einiger Beispiele werden diese Gesichtspunkte erläutert.

1 Anforderungen an das Gewässer

Die Beeinflussung der Wasserqualität sowie der Güte der Fließgewässer erfolgt durch diffusen und oberflächlichen Eintrag infolge Erosion aus dem Einzugsgebiet, sowie über Lufteintrag, durch lokale Belastungen aus Mischwassereinleitungen (aus Regenüberläufen und aus Überlaufbecken) und Abwassereinleitungen. Diese auslösenden Faktoren für diese Belastungen sind weitgehend als zufällig anzusehen, wie z.B. das Anspringen von Regenüberläufen bei starken Niederschlagsereignissen. Ähnlich ist auch die Erosion und der damit verbundene diffuse Schadstoffeintrag zu beurteilen. Die Abwassereinleitung ist hingegen als „Dauerbelastung“ zu sehen, die durch technische Maßnahmen kontrollierbar ist. Im Prinzip gilt das auch für die vorher besprochenen Belastungspfade, da durch erhöhten finanziellen Einsatz sofort die Speicherkapazität eines Rückhaltebeckens vergrößert werden kann und durch geänderte Landnutzung der Stoffeintrag kontrolliert werden kann. Dennoch ist das auslösende Ereignis weitgehend zufällig und damit auch die

Belastung. Um Wirkungen besser beurteilen zu können, stellten Ang & Tang (1975) allgemein den von außen auf ein System wirkenden Belastungen, die Widerstandsfähigkeit des Systems, im gegenständlichen Fall, des Flusses, gegenüber. Die Widerstandsfähigkeit ist jahreszeitlich veränderlich, da die selbe Schadstoffmenge unterschiedliche Auswirkungen in Abhängigkeit von Abfluß zeigt. Weiters sind Wassertemperatur, biologische Aktivität und damit die Selbstreinigungskraft zeitlich veränderlich. Durch flußbauliche Maßnahmen wird nun, ähnlich wie bei der Dämpfung des Inputs, die Widerstandskraft verändert werden.

Bei der Beantwortung der Fragestellung, welche Restbelastung im Ablauf einer ARA zu welcher Zeit vorhanden sein darf, muß in jedem Fall der Zustand eines Gewässers eine wesentliche Beachtung finden. Die chemischen Grenzelastungen müssen auf das Fließgewässer mit seinen charakteristischen morphologischen Kenngrößen abgestimmt werden. Sinnvollerweise sollte die Selbstreinigungsleistung und Pufferfähigkeit des Fließgewässers in die Beurteilung der Reinigungsleistung einer ARA miteinbezogen werden. Der Gewässerzustand bzw. die Belastbarkeit eines Gewässers, dokumentiert durch seine morphometrischen Kenngrößen, muß als entsprechend gewichteter Faktor bei der Festlegung zulässiger Restbelastungen berücksichtigt werden.

Das läßt, daß einerseits die Wahrscheinlichkeit des Auftretes einer Belastung $h(X)$ und deren Größe X zu berücksichtigen ist, und daß gleichzeitig die Resistenz R des Gewässer $R(X|S)$ beim Zustand S für den Eintritt eines Schadensfalles wesentlich sind. Offensichtlich ist die Resistenz bei niedrigen Abflüssen am geringsten, so daß nachfolgend einige Analyse für Fließgewässer durchgeführt werden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, daß gerade für kleine Einzugsgebiete nur verhältnismäßig wenige hydrologische Beobachtungen vorliegen und daher die Schätzung von Niederwässern auf Grund von

- Einzelmessungen
- Vergleichsgebieten & Analogieschlüssen
- Regressionsmethoden
- allgemeinen Regionalisierungsansätzen

durchgeführt wird, wodurch zusätzliche Unsicherheiten entstehen.

Die abgeleiteten statistischen Parameter in Form von bestimmten Quantilen z.B. $Q_{95\%}$, Q_{347} , oder $p(NQ, T)$, wobei T die Unterschreitungsdauer angibt, werden oft als Konstante des hydrologischen Regimes gesehen. Tatsächlich weisen gerade kleine Einzugsgebiete öfters trendbehaftete Abflußreihen auf, die durch meteorologische Effekte und auch durch die Landnutzung und Veränderungen im Einzugsgebiet verursacht werden (Lang und Waldingbrett, 1994).

Die Belastbarkeit eines Fließgewässers mit seiner standorttypischen Artenzusammensetzung ist sowohl in der Längszonierung als auch im Jahresgang einem Wandel unterworfen. Die Restbelastung aus einer ARA muß demnach auf die standortstypischen und morphometrischen Verhältnisse des Vorfluters abgestimmt werden, die die natürliche ökologische Funktionsfähigkeit eines Gewässerabschnittes dokumentieren. Die zur Beurteilung verwendeten Parameter sind in ihrer zeitlichen Veränderung zumindest im Jahresgang darzustellen. Die Festlegung der Grenzen für Restbelastungen darf nicht allein auf den chemischen Parametern allein aufbauen, sondern es ist zusätzlich die Einbindung des Gewässers in sein Umfeld, der Grad der Verbauung und die Dynamik der Umlagerungen und Vielfältigkeit der Strukturen im Gewässer miteinzubeziehen. Überlegungen über die längerfristige Entwicklung des Wasserhaushaltes sind wichtig, gerade wenn Wasserversorgungssysteme eine ständige Überleitung in andere kleine Flußgebiete bewirken.

2 Parameter und Kriterien

Im Zusammenhang mit den oben formulierten Aufgaben kommt der Frage nach der Größe der Durchflüsse im Niederwasserbereich wesentlich größere Bedeutung zu als dies bislang der Fall war, solange Angaben zur Wasserführung überwiegend unter schutzwasserwirtschaftlichem Aspekt erstellt wurden. Gleichzeitig stellt sich die Frage, wie der maßgebende Niederwasserdurchfluß zu definieren sei und welche Aspekte in die Definition einfließen sollten.

Im Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern (ÖWWV, 1984) wird der **Begriff NW** wie folgt umschrieben: Mit NW „wird jener Abfluß bezeichnet, der eine bestimmte Grenze

unterschreitet, die aus der gewässerkundlichen Statistik (Pegelbeobachtungen) oder aus den örtlichen topographischen Gegebenheiten gewonnen wird“. Diese Definition läßt einigen Spielraum, der in Hinblick auf die Vielfältigkeit möglicher Bemessungssituationen nur zu begrüßen ist. In diese Richtung weist auch Leibundgut, der bezüglich des in der Schweiz verwendeten Niedrigwasser-Kennwertes Q_{347} feststellt, daß damit das Niedrigwassergeschehen nur ungenügend charakterisiert werden könne, da die Komplexität der Vorgänge nicht mit einem einzigen Wert beschreibbar sei (Leibundgut, 1989, S. 56).

Aus hydrologischer Sicht könnten zur Erweiterung des Aussagebereiches Angaben nach folgenden Gesichtspunkten einbezogen werden:

- Häufigkeit und Dauer der Unterschreitung gewählter Durchflussschwellwerte; Zeitpunkt des Auftretens, insbesondere in Hinblick auf jahreszeitliche Variationen;
- gemeinsames bzw. gekoppeltes Auftreten mit anderen Faktoren wie z.B. der Wassertemperatur;
- Auswirkung anthropogener Eingriffe.

Der zuletzt angeführte Punkt erscheint vor allem bei Einzugsgebieten mit sehr kleinen natürlichen Niederwasserabflußspenden von großer Bedeutung, kann mit Eingriffen doch nicht nur eine Veränderung der Durchflüsse, sondern auch eine Veränderung des Gütezustandes eines Gewässers verbunden sein.

- Zur Erfassung von Niederwassersituationen stehen im wesentlichen die folgenden Konzeptionen zur Verfügung
- Mittel- und Extremwerte aus der Liste der Hauptzahlen der gewässerkundlichen Statistik;
- Statistische Konzeptionen auf Basis einer Formulierung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Niederwasserkenngrößen;
- Rezessionskurven- bzw. Trockenwetterauslauflinienansätze
- hydrologische Modelle

2.1 Statistische Erfassung von Niederwasserkenngößen

2.1.1 Traditionelle Niederwasserkenngößen

- Hauptzahlen

Einen Startpunkt für alle Erhebungen für den Niederwasserabfluß bilden die Angaben im „Hydrographischen Jahrbuch von Österreich“ zu den folgenden Kenngrößen (Hauptzahlen): NQ , NQ_T , MNQ_T , $MJNQ_T$, worin NQ den niedrigsten Wert als Momentanwert und NQ_T den kleinsten Tagesdurchfluß in der betrachteten Zeitspanne (z.B. Monat, Jahr, Jahresreihe), MNQ_T das Mittel der kleinsten Tagesabflüsse im betrachteten Zeitraum (z.B. Mittel über alle MQ_T eines bestimmten Monats in einer Jahresreihe) und $MJNQ_T$ das Mittel alles Jahresniederwässer (auf Basis von Tageswerten) einer Jahresreihe bezeichnen. Eine Darstellung dieser Wert im Jahresverlauf liefert bereits ein erstes Bild über die Größenordnung der Niederwässer und über die Zeitpunkte, an denen in besonderer Weise mit niedrigen Abflüssen zu rechnen ist.

Hingewiesen soll hier besonders auf die Relation von NQ zu NQ_T werden. Viele Gewässer weisen heute kein ungestörtes Abflußregime mehr auf, wobei die kleineren Abflüsse davon stärker betroffen sind. Kann bei einem unbeeinflussten Abflußgang davon ausgegangen werden, daß sich die Abflüsse bei Niederwasser während eines Tages kaum ändern, wenn von einem geringfügigen Rückgang, der mit dem allmählichen Auslaufen der im Einzugsgebiet gespeicherten Wasservorräte zusammenhängt, abgesehen wird, so zeigen sich im Tagesverlauf des Abflusses bei gestörtem Regime mitunter beträchtliche, oftmals auch sprungartige Änderungen des Abflusses. Solche Änderungen stehen mit dem Betrieb von Speichern, Staustufen, Teichen oder mit etwa stoßartigem Einleiten in Zusammenhang. Ein erster Aufschluß über solche Eingriffe läßt sich daher sehr leicht gewinnen., indem der ausgewiesene Momentanwert NQ auf das Tagesmittel des Abflusses an dem betreffenden Tag bezogen wird. Je mehr diese Relation von „1“ abweicht, umso stärker ist der Eingriff in das Niederwassergeschehen. In Kresser et al. (1985) wird auf diesen Punkt hingewiesen, wenn die Frage der Erstellung eines Datenkollektivs für die Niederwasserstatistik diskutiert wird.

- Angaben zur Überschreitungsdauer. $Q_{95\%}$ und $NQ(D,n)$.

Zu den Grundlagen einer standardmäßigen Bemessung zählen die Dauerlinien. Diesbezügliche Angaben sind ebenfalls in den Hydrographischen Jahrbüchern und in den Monographien über „Abflüsse“ des Hydrographischen Dienstes enthalten. Bei Restwasserfragen und bei Untersuchungen von Einleitungen in Gewässern wird vielfach die Kenngröße Q_{347} bzw. $Q_{95\%}$ herangezogen, die jenen Durchfluß bezeichnet, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% erreicht oder überschritten wird.

Welche Aussage an diesen Wert geknüpft werden kann, hängt eng damit zusammen, welcher Bezugszeitraum bei der Bestimmung des Wertes zugrundegelegt wird. Zur generellen Charakterisierung des Regimes an einer bestimmten Pegelstelle kann der aus der Dauerlinie der Beobachtungsreihe abgeleitete Wert verwendet werden. Dieser Wert wird umso „stabiler“, je länger die Beobachtungsreihe ist. In der Schweiz wird daher im Gewässerschutzgesetz der Ermittlung von Q_{347} ein Zeitraum von 10 Jahren zugrundegelegt (Aschwanden, 1993).

Vielfach interessieren aber auch die Schwankungen, denen der Wert $Q_{95\%}$ von Jahr zu Jahr unterliegt. Eine Ermittlung dieser Größe für jedes einzelne Jahr ermöglicht die Feststellung des Schwankungsbereiches innerhalb des Beobachtungszeitraumes und die Beurteilung der Situation in einem konkreten Jahr, z.B. einem speziellen Trockenjahr, im Vergleich mit den insgesamt beobachteten Niederwassersituationen (Amt der Stmk. Landesreg., 1995).

In vielen Ländern wird als maßgebende Niederwasserkenngroße das 10-jährliche 7-tägige Niederwasser ($NQ(7,10)$) angesehen. Es wird aus einer statistischen Analyse der Jahreskleinstwerte der über $D=7$ Tage gemittelten Tagesdurchflüsse eines jeden Jahres ermittelt (Krausneker, 1975; Nachtnebel, 1981; Kresser et al., 1985; DVWK, 1992). Die Jährlichkeit wird dabei zu $n=10$ gesetzt.

2.1.2 Ergänzende statistische Auswertungen zur Erfassung der Variabilität der Niederwasserdurchflüsse

- Zeitliche Verteilung des Auftretens von Durchflüssen verschiedener Unterschreitungswahrscheinlichkeiten

Im Zusammenhang mit der Beurteilung von Einleitungssituationen ist eine Information über die Unterschreitungswahrscheinlichkeit von Durchflüssen verschiedener Größe im Verlauf des Jahres von Interesse. Angaben dieser Art wurden früher - z.B. im Rahmen der Ausarbeitungen für den Wasserkraftkataster - in Form von Durchflußdauerlinien für die verschiedenen Kalendermonate erarbeitet. In Verfolgung dieser Linie könnte bei weitergehender zeitlicher Auflösung die Unterschreitungswahrscheinlichkeit für Dekadenabschnitte oder für Einzeltage ermittelt werden.

Abb. 1 zeigt den Verlauf der 10- und 50% Quantile für drei Abflußtypen. Deutlich treten markante Eigenheiten der verschiedenen Abflußtypen anhand dieser Darstellung in Erscheinung.

- Bedingte Wahrscheinlichkeiten für die Dauer der Unterschreitung eines gewählten Durchflußschwellwertes

Bisher behandelte „Dauer“-Kennzahlen bezogen sich auf die Anzahl der Tage innerhalb des Bezugszeitraumes, an denen der gewählte Schwellenwertdurchfluß erreicht oder unter- (über-) schritten wurde. Dabei blieb unbeachtet, ob diese „Dauer“ durch mehrmaliges Unterschreiten während verschiedener Zeitabschnitte des Bezugszeitraumes oder in einer einzigen Phase entstand. Zur Beschreibung der Niederwassersituation eines Gewässers erscheint es aber durchaus interessant, wie lange ein Durchfluß kontinuierlich unterschritten wird. Zwei Fragestellungen können dabei formuliert werden (s. Abb. 2)

- (a) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein maßgebender Durchfluß eine bestimmte Anzahl von Tagen in kontinuierlicher Folge überschritten wird?

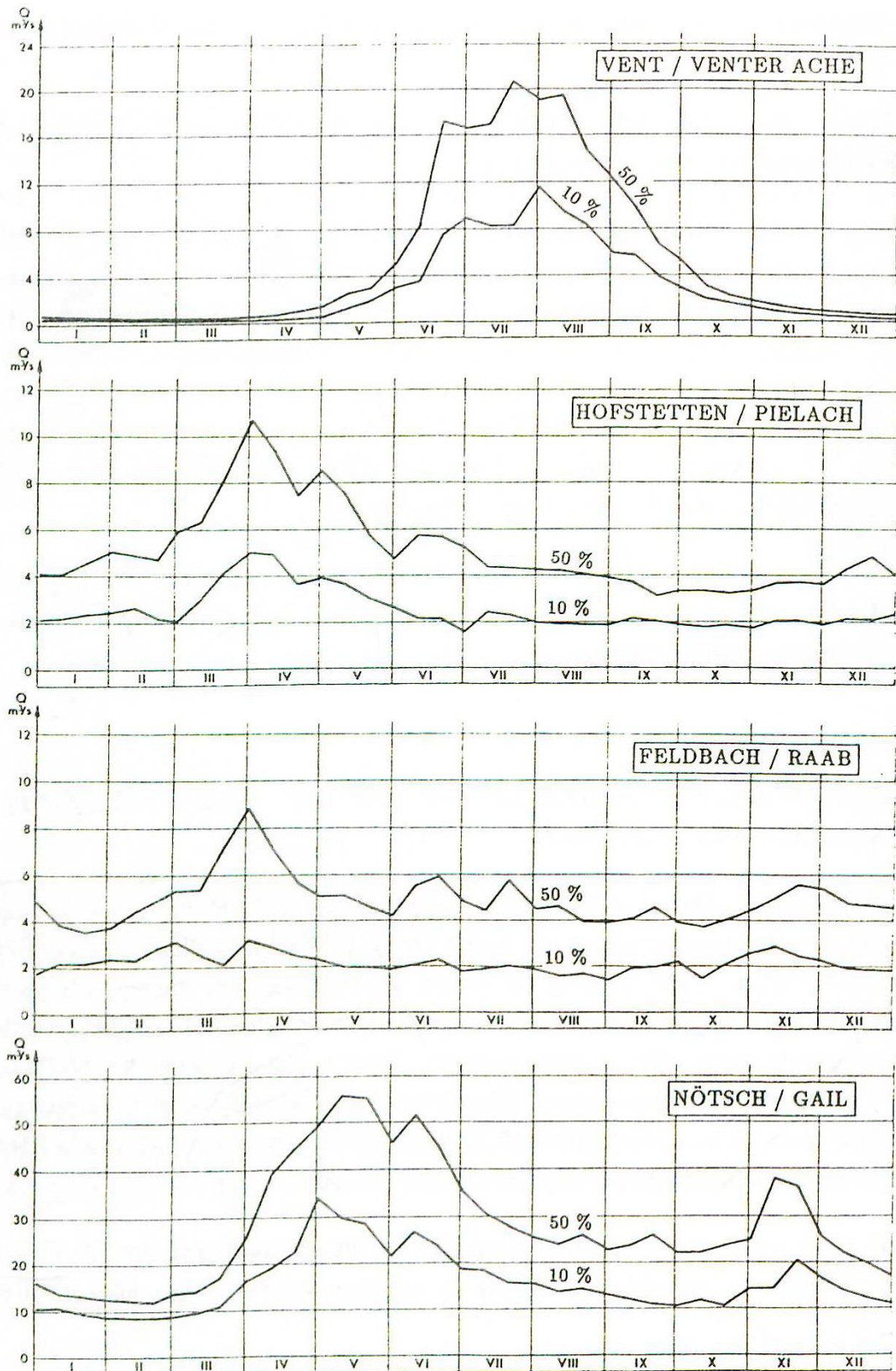


Abb.1 Verlauf der 50% Linie (obere Linie) und der 10% (untere Linie) Quantile der Unterschreitungswahrscheinlichkeit für vier verschiedene Abflusstypen

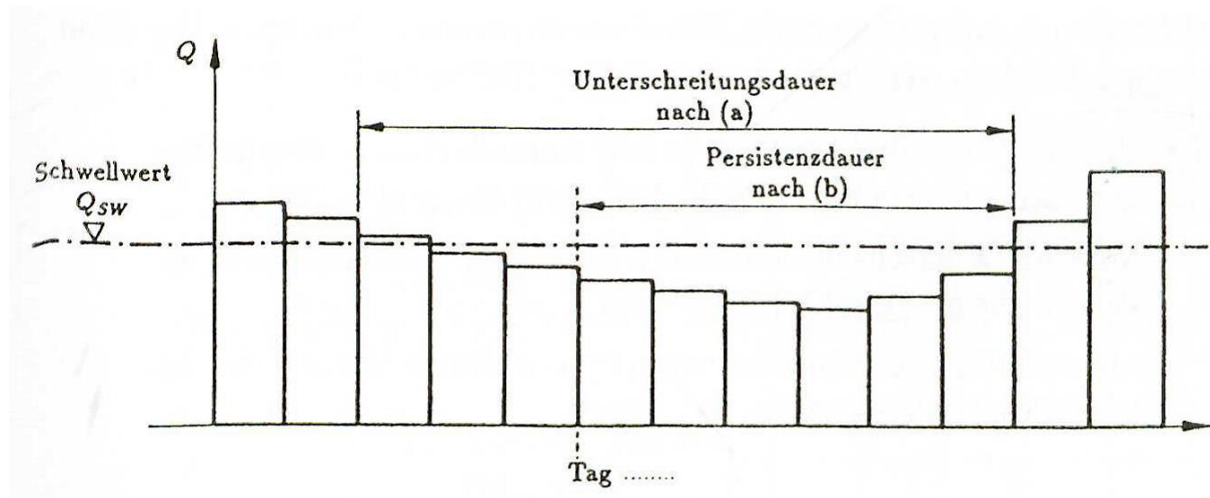


Abb. 2 Zur Definition von ereignis bzw. datenbezogenen Unterschreitungsdauern

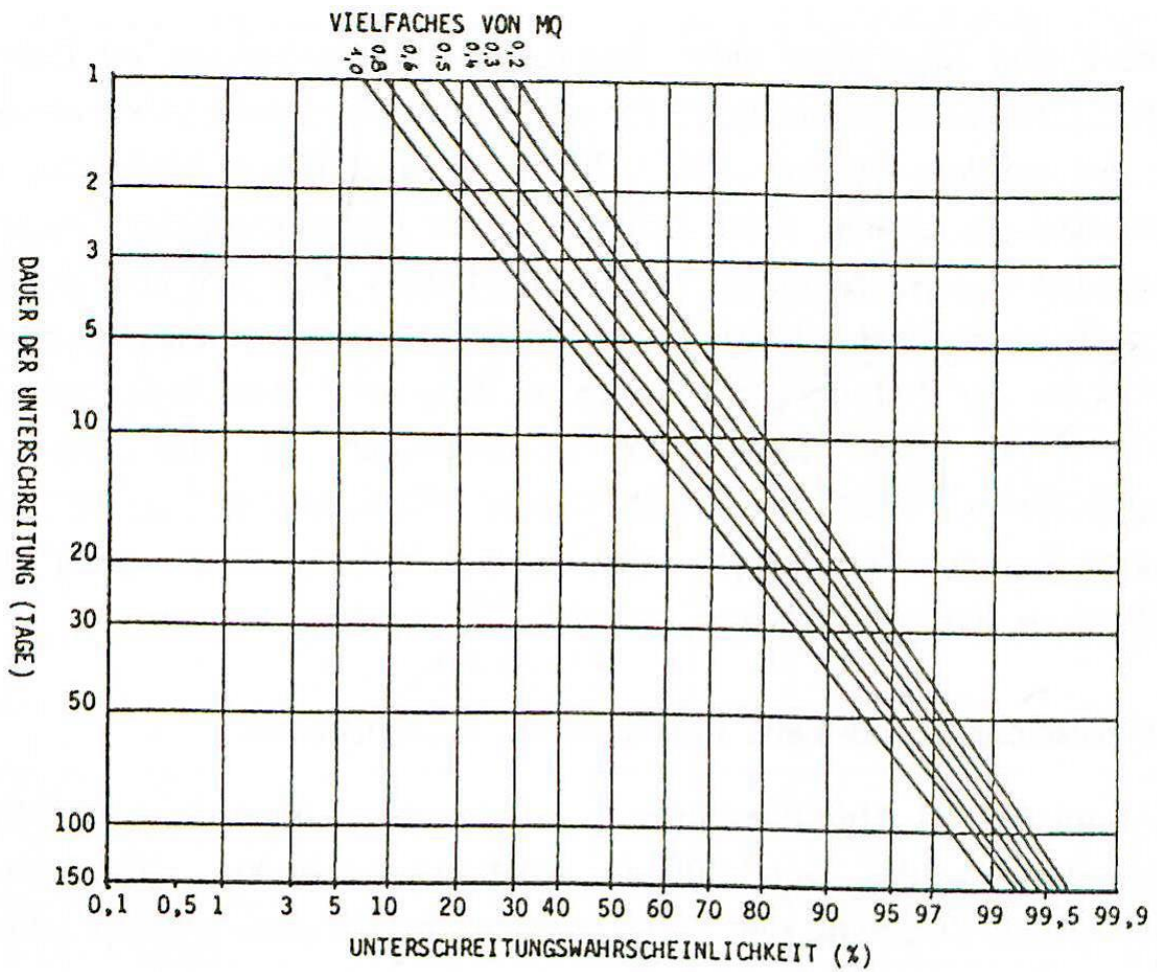


Abb. 3 Verteilung der Unterschreitungsdauern der Durchflüsse von Hofstetten/Pielach im logarithmischen Wahrscheinlichkeitsnetz (nach Kresser et al., 1985)

Eine Arbeit von Kresser et al. (1985) enthält als Beispiel für ein Ergebnis einer diesbezüglichen Auswertung das in Abb. 3 wiedergegebene Diagramm. Die damit möglichen Aussagen werden wie folgt formuliert (Kresser et al., 1985, S. 33):

- Wird der Durchfluß von $Q_{SW} = x \cdot MQ$ unterschritten, so dauert diese Unterschreitung in z.B. 50% der Fälle nicht länger als m Tage.
- Mit einer Wahrscheinlichkeit von p Prozent dauern Durchflüsse, die kleiner sind als Q_{SW} , höchstens 1 Tag.
- Mit einer Wahrscheinlichkeit von q Prozent dauern Durchflüsse, die kleiner sind als Q_{SW} , länger als j Tage“.

(b) Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß an einem bestimmten Tag ein gegebener Durchfluß eine bestimmte Anzahl von Tagen in kontinuierlicher Folge unterschritten wird (Persistenzdauer)?

In Abb.4 sind Ergebnisse einer entsprechenden Auswertung im Rahmen des Projektes „Niederwasseranalyse“ für vier Flüsse dargestellt. Als Schwellenwert dient der mittlere Abfluß MQ . Die unterschiedlichen Maßstäbe auf den Ordinatenachsen deuten allein schon auf die unterschiedliche Dauer der zu erwartenden Unterschreitungen hin. Darüberhinaus zeigt sich aber deutlich, wie stark auch innerhalb des Jahres die Dauer von Unterschreitungsphasen variieren kann, wobei der Zeitpunkt des Auftretens längerer Unterschreitungen in enger Beziehung zu den klimatischen Bedingungen in den verschiedenen Einzugsgebieten steht. Aufgrund dieser Beobachtung lassen sich die unterschiedlichen Verteilungen der Unterschreitungsdauer auch in enge Beziehung zu den „Abflußtypen“ bringen.

2.2 Rezessionskurven bzw. Trockenwetterauslauflinien

Beobachtungen des Abflußverlaufes in Trockenzeiten führten schon frühzeitig zu der Vorstellung, der Durchfluß in Niederwasserphasen müßte durch eine mathematische Erfassung der „Auslauflinien“ beschrieben werden können.

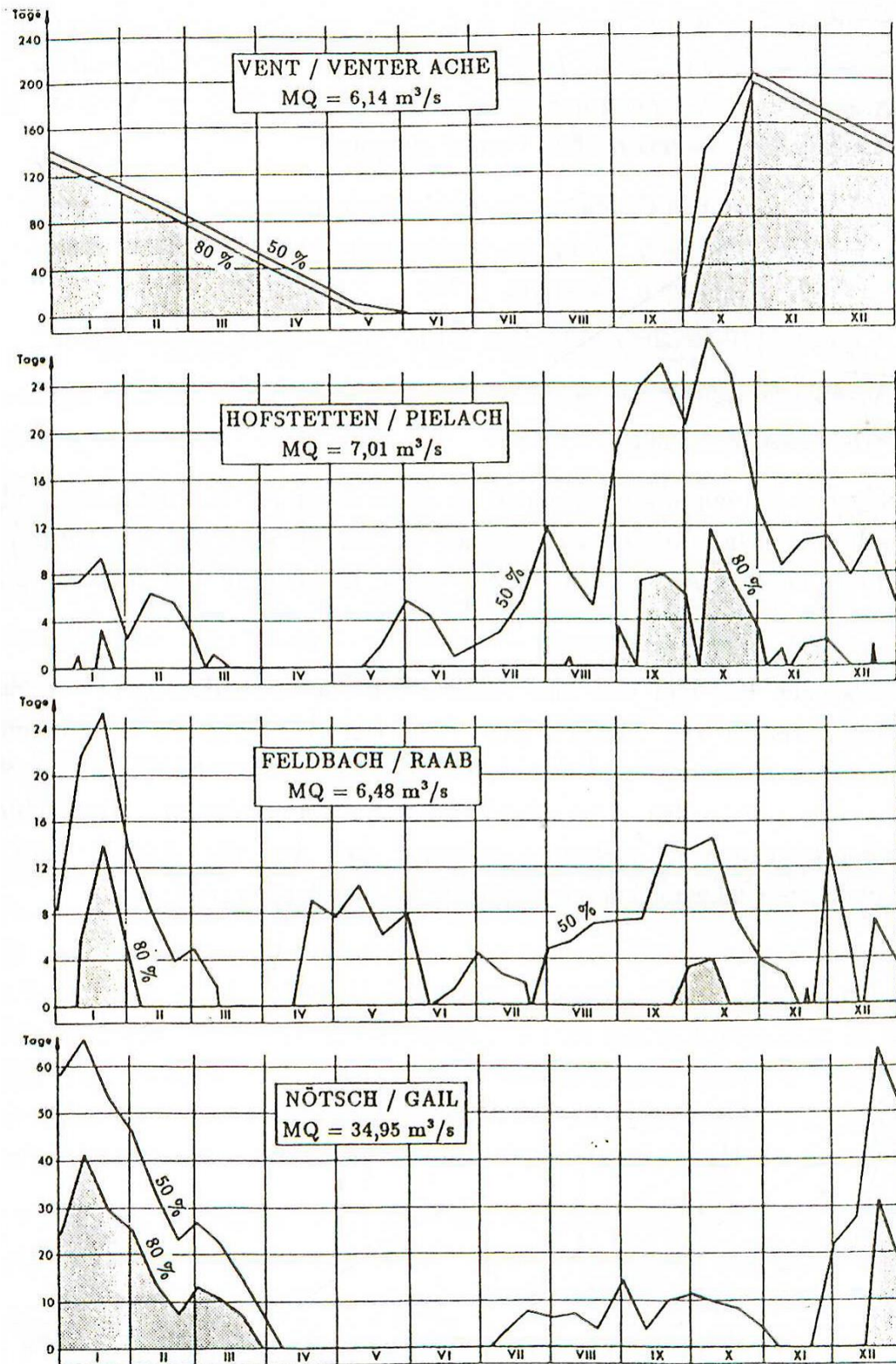


Abb. 4 Persistenzdauer der Unterschreitung des mittleren Abflusses mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 50 % bzw 80 % (untere Linie schraffiert) für vier Abflußtypen

Mit dieser Vorstellung wurde und wird verbunden, daß der Durchflußrückgang mit einem allmählichen „Auslaufen“ der Grundwasserspeichervorräte des Einzugsgebietes in Zusammenhang steht und dementsprechend einen gleichmäßigen, charakteristischen Verlauf annimmt.

- Die quantitative Erfassung der Auslauflinie kann nach verschiedenen Ansätzen erfolgen: Hydraulisch-mathematischer Ansatz (z.B. Singh, 1969; Nutbrown u. Downing, 1976):
- quasiphysikalische Ansätze auf Basis verschiedener Speichertypen;
- empirisch, durch Kurvenanpassung gefundene Auslauffunktionen,
- statistische Ansätze.

Im folgenden soll nur auf die Gruppen der empirischen Auslauffunktionen und der quasi-physikalischen Ansätze eingegangen werden, die aufgrund ihrer Konzeption und ihrer leichten Anwendbarkeit verbreitet Eingang in die Ingenieurpraxis gefunden haben.

Im einfachsten Fall läßt sich eine Auslauflinie nach Schaffernak (1960) durch „Aneinanderreihen der absteigenden Äste der Abflußganglinien zu einem fortlaufenden Linienzug“ gewinnen (Abb. 5a). Eine andere Möglichkeit besteht darin, die in den verschiedenen Rückgangsphasen beobachteten Durchflußrückgänge so zusammensetzen, daß sich die unteren Äste der verschiedenen Rückgangskurven möglichst gut überdecken (Abb.5b).

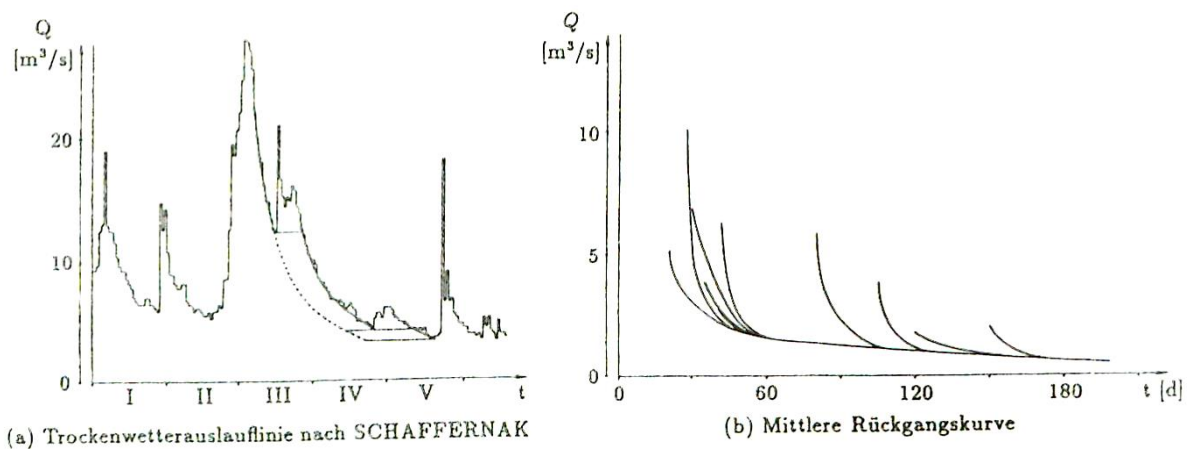


Abb. 5 a) Trockenwetterauslauflinie nach Schaffernak
b) Mittlere Rückgangskurve

In vielen Fällen wurde versucht, solche Auslauflinien über analytische Funktionen mathematisch zu beschreiben. Die verwendeten Ansätze sind zumeist vom Typ einer Exponentialfunktion. Beispiel dafür sind u.a.

Maillet	$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t)$
Balco	$Q_t = Q_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot \sqrt{t})$ bzw. $Q_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot t^n)$
Riggs	$Q_t = Q_0 \cdot k \cdot t$
	$Q_t = Q_0 / (1 + \beta t)^2$

Wie aus den Bildern zur Auslauflinienkonstruktion hervorgeht, stellt sich keineswegs immer dieselbe Auslaufkurve ein, wie eine Annahme der Funktionstypen suggerieren könnte. Die Auslaufkurven unterscheiden sich vielmehr in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen und von den damit in Verbindung stehenden ungleich großen Speicherrücklagen von Situation zu Situation mitunter äußerst stark. Eine gezielte Erfassung müßte daher entweder auf eine Variation der Parameter der Auslaufkurvenfunktion abstellen oder auf die Anwendung von integrierten N-A-Modellen übergehen. In der Praxis wurde diesem Umstand dadurch Rechnung getragen, daß verschiedentlich „typische“ Auslaufkurven für unterschiedliche Situationen aufgestellt wurden. Als Beispiele dafür können die saisonalen Auslaufkurven (Wundt, 1953; Riggs, 1963) gelten (Abb. 5c).

In anderen Fällen wurde versucht, durch Aufteilung der Auslaufkurve nach der Größe des Ausgangsdurchflusses bzw. des Scheitelwertes der vorangegangenen Welle zu einer breiteren Anwendbarkeit des Auslaufkurvenkonzeptes zu kommen (s. z.B. Apollonov et al., 1964; Balco, 1965; Kunsch, 1965). Jensen und Lang (1989) berichten über einen erfolgreichen Einsatz dieser Konzeption in einem Modell zur Echtzeit-Vorhersage des Mindestabflusses für den Rhein bei Rheinfelden. Die dabei zugrundegelegten Modellannahmen dürften gute Hinweise für mögliche ähnliche Anwendungen geben. Jensen und Lang fanden u.a., daß

- die Abflußganglinie bei Trockenheit innerhalb des betrachteten Intervalles von etwa 30 Tagen gegen einen Grenzwert strebt, der eine Funktion der Steilheit des Auslaufkurvenrückganges ist;
- der Grenzwert einen mehr oder weniger deutlichen Jahresgang aufweist, im wesentlichen aber durch die meteorologischen Verhältnisse der vorangegangenen Wochen und Monate abhängig sein dürfte.

3 Methodik

Allgemein besteht die Niederwasserauswertung einer Abflußreihe in der Auswahl von unabhängigen und trendfreien Extremwerten, die entsprechend ihrer Größe geordnet werden, und dann durch eine angepaßte Verteilung approximiert werden. Als Ergebnis erhält man die Häufigkeit (oder Auftrittswahrscheinlichkeit) von seltenen, in unserem Fall, Niedrigwässern. Geeignet sind Extremwertverteilungen vom Typ III (DVWK, 1992)

Im Unterschied zu anderen hydrologischen Ereignissen, wie z.B. bei Hochwässern, ist bei Niederwasseranalysen die Untersuchungen mehrerer Variabler und deren gleichzeitiges Auftreten wichtig. Als Beispiel sei die Größe eines Niederwassers, die Unterschreitungsdauer eines Schwellenwertes und der Auftrittszeitpunkt angeführt.

Waren bisher die Analyse der Meßreihen im Vordergrund, so wird in diesem Abschnitt Methoden zum Vergleich verschiedener Gebiete, bzw. zur Angabe von Schätzwerten für nichtbeobachtete Einzugsgebiete kurz erläutert. Mit Hilfe von Regionalisierungsverfahren werden diese punktbezogenen Information auf ein ganzes Gebiet übertragen. Bei den Regressionsansätzen werden nichtlineare Beziehungen (Fuchs und Rubach, 1983, DVWK, 1983) zwischen einer Jährlichkeit eines Ereignisses und an anderen Auftrittswahrscheinlichkeiten, sowie morphometrischen Parametern des Einzugsgebietes angenommen und durch statistische Anpassung berechnet.

3.1 Interpolation und Regression

Zur Erfassung der Niederwasserverhältnisse in einem Einzugsgebiet werden häufig an mehreren Stellen Simultanmessungen durchgeführt und diese „Momentaufnahmen“ mit einer längeren beobachteten Abflußreihe verglichen. Meist wird dann das Verhältnis zwischen einem statistischen Wert (Quantil) und den zugehörigen Momentanwert verwendet, um daraus statische Aussagen für die Meßstellen der Einzelaufnahme abzuleiten. Da die Niederwasserverhältnisse stark vom Bodenwasser- und Grundwasserhaushalt beeinflußt sind, setzt diese einfache Interpolation implizit gleichen Grundwassereinfluß an den diversen Meßstellen voraus. Was gerade bei kleinen Einzugsgebieten zumindest einer Überprüfung zu unterziehen wäre.

In anderen Verfahren wird für hydrogeologisch ähnliche Gebiete eine empirische Beziehung zwischen Abflußspende, Bewaldungsgrad, Bodenart, Hangneigung und Form des Einzugsgebietes aufgestellt (Demuth, 1993, Prellberg, 1977). Carlston (1963) stellte Beziehungen zwischen der Flußgebietsdichte und dem Rezessionsparameter der Abflußganglinie her.

Die Übertragung von lokalen Beobachtungen auf eine Abflußregion ist z. B. für verschiedene Flußgebiete Europas z. B. von Glos et al. (1972) für die DDR und von Widmoser (1974) für vierzig kleine Einzugsgebiete der Schweiz erfolgt. Die Ergebnisse des letzten Zitats basieren auf Relationen zwischen Parametern A und B und Einzugsgebietskenngrößen, wie

E	Einzugsgebietsfläche
Δl	Entfernung des Pegels vom Schwerpunkt
H_F	mittlere Höhenlage des Einzugsgebietes
l	Tallänge des Hauptflusses
$NQ_n = A - B Y_n$	
A =	$f(E, \Delta l, H_F)$
B =	$g(E, \Delta l, H_F)$

Die Einflußgrößen, E, Δl , H_F sind in den meisten Fällen bestimmbar. Die zugehörigen Exponenten sind durch Optimierung erhältlich. Diese Methode baut auf der Auswertung von Einzugsgebietsflächen zwischen 0.6 - 600 km² auf. Unter der Voraussetzung einer Neubestimmung der Koeffizienten scheint eine Übertragung auf andere Regionen möglich.

3.2 Gliederung nach „typischen Einheiten“

Die Überlegungen in diesem Abschnitt setzen bei der Beobachtung an, daß Einzugsgebiete von Pegelstellen bei der gegebenen Dichte des Abflußmeßstellennetzes zumeist so groß sind, daß sie mit Blick auf den örtlichen Wasserhaushalt nicht mehr als homogen anzusehen sind. Differenzierungen in Hinblick auf Geologie, Böden, Topographie und Vegetation bringen mit sich, daß die Abflußbildung des Trockenwetterabflusses aus dem Grundwasser nicht überall im Einzugsgebiet gleich erfolgt.

Grundsätzlich könnte eine Analyse der räumlich differenzierten Ausprägung des Wasserhaushaltes über die Simulation der dabei beteiligten Prozesse erfolgen (Abb. 6). Praktisch wird sich dies im Rahmen von Abwasserentsorgungskonzepten kaum realisieren lassen. Aus der Prinzipdarstellung können jedoch Anhaltspunkte dafür gewonnen werden, ob an einem bestimmten Standort mit einer entsprechenden Grundwasserneubildung gerechnet werden kann. Wesentliche Einflußfaktoren sind dabei der Bodenaufbau, die Bodenkennwerte, die Vegetation mit dem Wurzelraum und der Flurabstand sowie die hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters.

Diese Faktoren können auch ohne explizite, detaillierte Quantifizierung die Basis für eine räumliche Differenzierung bilden. Diese könnte über eine Grobklassifizierung der verschiedenen Einzugsgebietsflächen erfolgen. Ähnlich wie in der Arbeit von Becker (1986) könnte die Unterscheidung getroffen werden nach

- offenen Wasserflächen
 - undurchlässigen Flächen
- Flächen mit:
- tiefliegendem Grundwasserspiegel
 - oberflächennahem Grundwasserspiegel
- Hangflächen mit:
- durchlässigem Untergrund,
 - geringmächtiger Deckschicht und gut durchlässigen Unterbodenschichten

In Kombination mit den Niederschlägen und den Verdunstungsbedingungen kann nach Becker auf die Größe der Direktabflußbildung geschlossen werden. In Verbindung mit der Topographie und den geologischen Bedingungen könnte hier auch eine qualitative Aussage über die Größe der Grundwasserneubildung und die Möglichkeiten der Trockenwetterabflußbildung versucht werden. Deutliche Unterschiede in diesen Faktoren müssen zu differenziertem Verhalten in den Trockenwetterabflüssen führen. In Anlehnung an Becker wäre somit eine Differenzierung im Einzugsgebiet oder Flußgebiet vorzunehmen durch „Abgrenzung und separate Behandlung von Teilflächen mit charakteristisch unterschiedlichem Verdunstungs- und Abflußbildungsregime“.

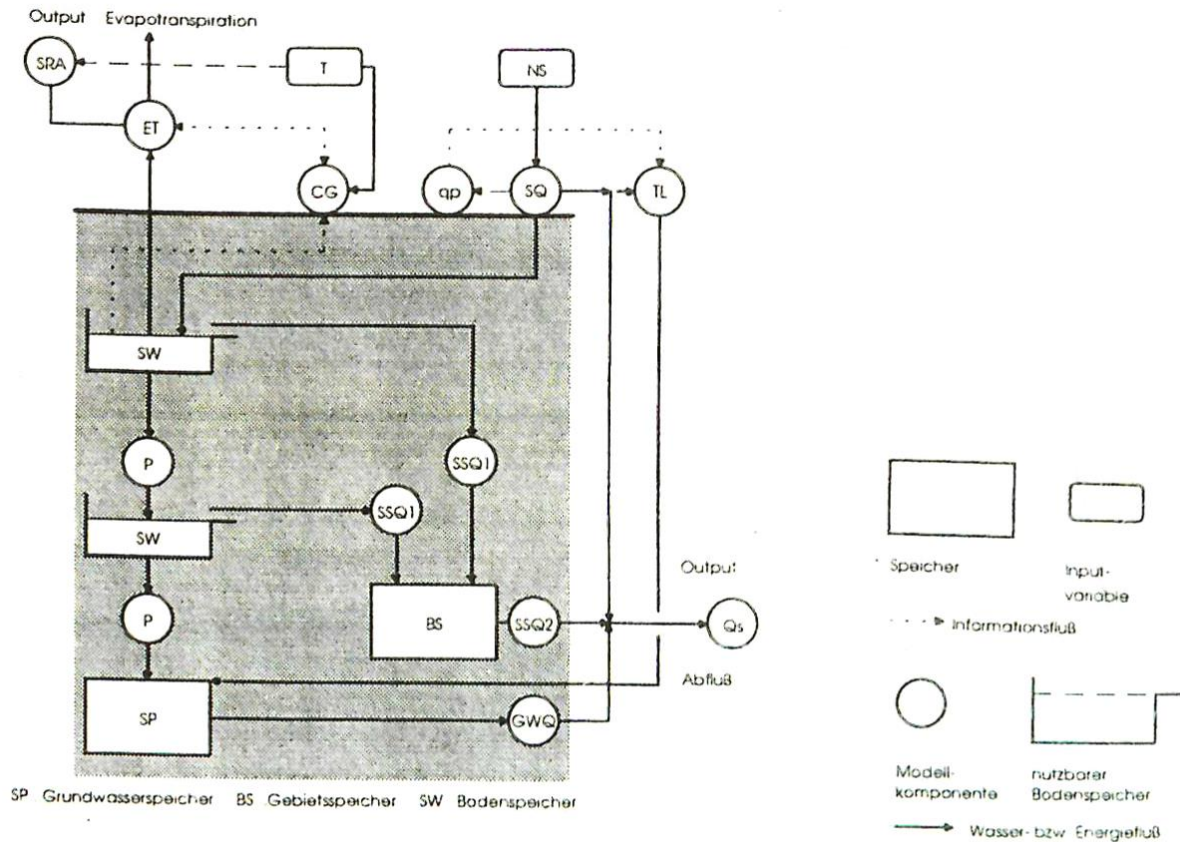


Abb. 6 Schematische Darstellung eines Wasserhaushaltsmodelles

Als einfachstes Hilfsmittel zur Differenzierung bietet sich allerdings die Durchführung von Sondermessungen des Abflusses an vielen, im Gebiet verteilten Bachquerschnitten an. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollten diese Messungen möglichst simultan und, um auf die $Q_{95\%}$ -Werte schließen zu können, möglichst in ausgeprägten Trockenzeiten durchgeführt werden. Eine Auswertung der so erhobenen Durchflüsse über Niederwasserspenden und über eine räumliche Zusammenfassung von Spendenwerten gleicher Größenordnung kann Aufschluß über etwaige Unterschiede zwischen verschiedenen Gebietsteilen geben. Die daraus entwickelten Aussagen über eine etwaige räumliche Differenzierung können durch die oben angeführten Überlegungen zur Trockenwetterabflußbildung auf Plausibilität hin überprüft werden.

3.3 Zeitlicher Instationaritäten

Das hydrologische Regime wird sowohl durch einen deutlich ausgeprägten Jahresgang, sowie durch die längerfristige Veränderungen bestimmt. Dazu zählt die Klimadrift und die unmittelbaren Auswirkungen der Landnutzung im Einzugsgebiet. Die Abflußverhältnisse werden verändert, die Grundwasseranreicherung durch Bodenverdichtung reduziert, und damit der Basis- oder Niederwasserabfluß ebenfalls verkleinert. Bedenkt man, daß eine Verordnung über die Abwassereinleitung längere Wirksamkeit haben wird, so ergibt sich der Bedarf nach einer Aussage über das langfristige Verhalten des Abflusses.

Als Analysemethoden bieten sich

- Zeitreihenverfahren
- hydrologische Modelle an,

die eine 'gesetzmäßige Beziehung' zwischen wasserwirtschaftlich relevanten Handlungen im Gebiet und dem Zustand des Einzugsgebietes herstellen.

Zeitreihenanalysen sind gut entwickelte Methoden, allerdings sind die Reihen meist sehr kurz und dann haben diese Methoden keine Erklärungskraft. Konzeptuelle hydrologische Modelle, deren Parameter aus Naturmessungen gewonnen werden können, und die verschiedene Komponenten des Systems (Oberflächenhydrologie, Bodenwasserhaushalt, Grundwasser) verknüpfen, bieten eine Grundlage für Experimente und damit für ein verbessertes Verständnis der ablaufenden Prozesse. Ein Beispiel wird anschließend für das Einzugsgebiet des Weidenbaches gegeben.

4 Anwendungen

4.1 Beispiel „Lainsitztalstudie“

Im Beitrag von Kroiß et al. (1996; dieser Band) wird ausführlich auf die Gesamtproblematik der Abwasserentsorgung im Lainsitztal und auf die Frage der Umsetzung von Abwasserkonzepten eingegangen. Von den darin angeführten Kriterien berührt das der Vorflutersituation und das des damit erreichbaren Verdünnungsverhältnisses bei Einleitungen die in diesem Beitrag zu behandelnde Thematik. Die im Rahmen dieser Studie gewählte Vorgangsweise zur Erfassung der Vorflutersituation soll im folgenden dargestellt werden.

Erfassung der Vorflutersituation

Den Ausgangspunkt für die Erfassung der Trockenwetterabflüsse bildeten die Durchflußangaben an den 4 Pegeln des Hydrographischen Dienstes NÖ im Lainsitzgebiet (Abb. 7). Auf Basis der Tagesdurchflüsse des Zeitraumes 1982-1991 wurden die Kennwerte Q_{95} bzw. q_{95} ermittelt (Tabelle.1).

Pegel	Fläche (km ²)	Q_{95} (l/s)	q_{95} (l/skm ²)
Oberlainsitz/Lainsitz	81,1	240	2,96
Ehrendorf/Lainsitz	267,6	480	1,79
Amaliendorf/Braunaubach	68,7	60	0,87
Hoheneich/Braunaubach	291,5	270	0,93

Tab. 1: Durchflüsse (Q_{95}) und Abflußspenden (q_{95}) mit 95%
Überschreitungswahrscheinlichkeit Datenbasis 1982-1991

Anhand der Abflußspenden q_{95} läßt sich erkennen, daß die auf die Einheitsfläche bezogenen spezifischen Trockenwetterabflüsse im Einzugsgebiet variieren. Für das im

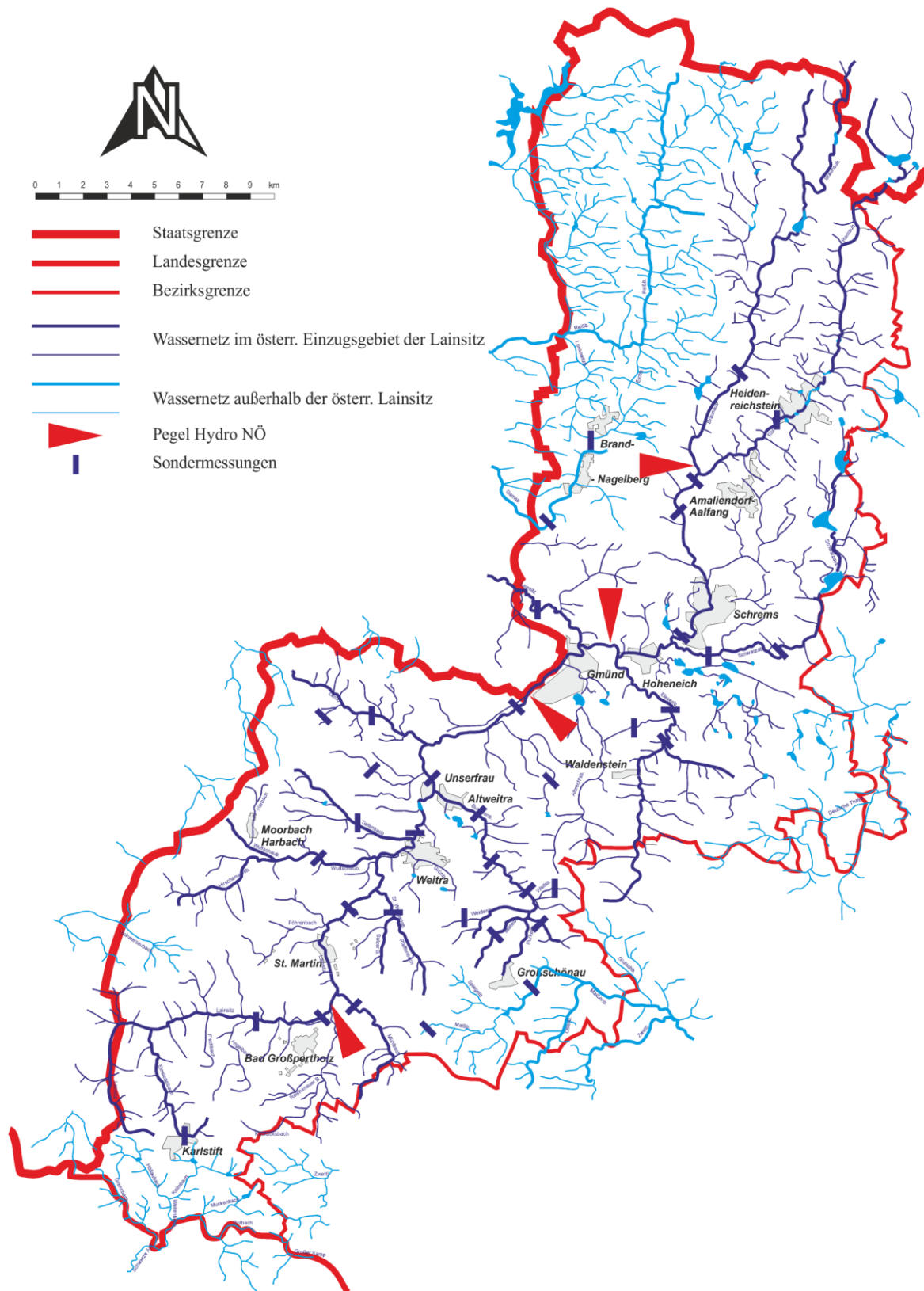


Abb. 7 Gewässernetz und Meßnetz im Einzugsgebiet der Lainsitz und Sondermessung der Durchflüsse

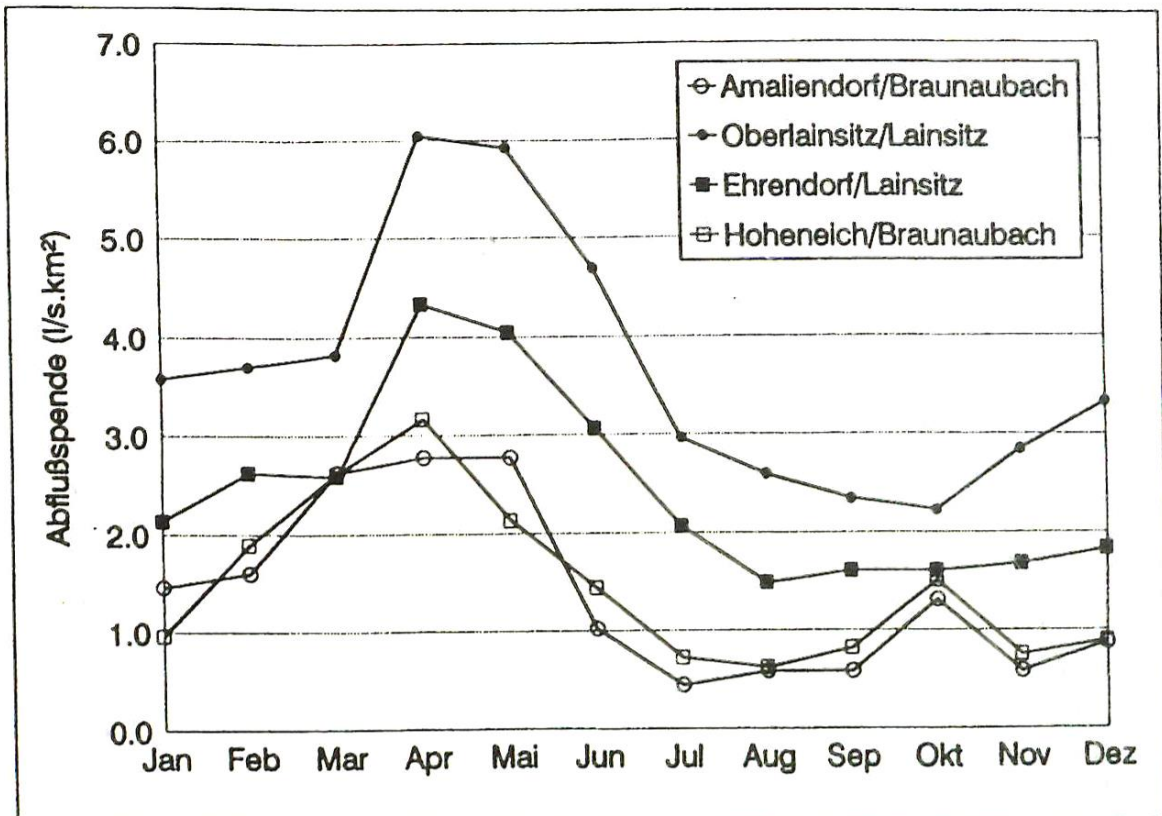
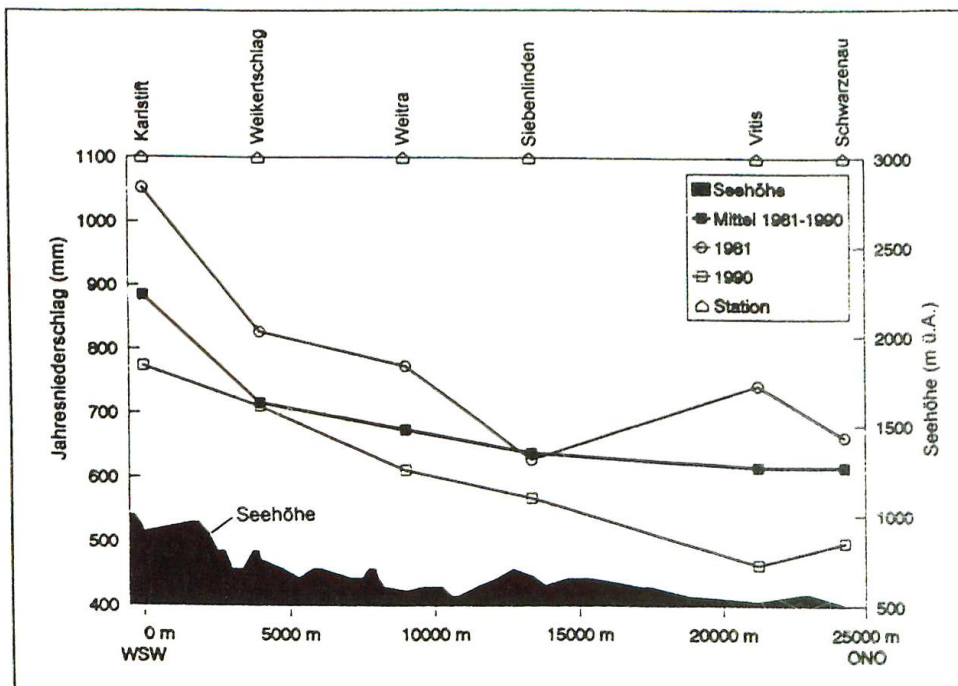


Abb. 8 Jahreszeitlicher Verlauf der Abflußspenden mit 95 %
 Überschreitungswahrscheinlichkeit (q_{95}) Datenbasis: 1982-1991



Längenschnitt von WSW (Karlstift) nach SOS (Schwarzenau)
 des Geländes und der Niederschlagsverhältnisse

Abb. 9

Südwesten gelegene obere Einzugsgebiet der Lainsitz ergeben sich deutlich größere Abflußpenden als für das Einzugsgebiet des Braunaubaches im Norden.

Dies gilt auch bei Betrachtung der jahreszeitlichen Verteilung der Niederwasserabflüsse (Abb. 8). An allen vier Pegeln zeigt sich ein deutlich ausgeprägter Jahresgang in den für die einzelnen Monate ermittelten q_{95} -Abflußpenden. Die Spenden des oberen Lainsitzgebietes liegen in allen Monaten höher als die des Braunaubaches. Im Jahresgang zeigen sich gewisse Unterschiede bei Betrachtung des Zeitpunktes des Auftretens der höchsten und der tiefsten Werte. Im südlichen, höher gelegenen Teil treten die Maxima in ausgeprägter Form in den beiden Monaten April und Mai auf, im nördlich gelegenen Braunaubachgebiet sind bereits im März q_{95} -Werte zu beobachten, die sich nicht mehr viel von den Höchstwerten im Jahresablauf (April) unterscheiden. Bei den Tiefstwerten tritt das Minimum im Jahresverlauf im Nordteil ebenfalls früher (Juli/August) als im Südteil (August bis Oktober) auf. Hinter diesem Verhalten stehen Eigenheiten des Wasserhaushalts in den beiden Einzugsgebietsteilen wie der größere Schnee- und Wasserreichtum im höher gelegenen Südteil gegenüber dem rascheren Aufbrauch der Boden- und Grundwasservorräte im nördlichen Gebietsteil.

Zur genaueren Aufschlüsselung des Trockenwetterabflußangebotes wurden daher Sondermessungen des Durchflusses an allen denkbaren Einleitstellen durchgeführt. In Abb. 7 sind diese Stellen durch entsprechende Balken markiert. Begünstigt durch eine relativ lange Schönwetterperiode konnten an mehreren Terminen Messungen durchgeführt werden, die sich der Größenordnung nach gut dem gesuchten Niederwasserbereich zuordnen ließen. Pro Einleitstelle wurden derart zumeist zwei bis drei Niederwasserdurchflüsse erhoben. Die Umrechnung auf die gesuchten Q_{95} -Durchflüsse erfolgte über die Bildung von Verhältniszahlen, mit denen an den vier Pegelstellen die Durchflüsse zu den verschiedenen Meßterminen mit den dort bekannten Q_{95} -Werten gewogen wurden gemäß

$$Q_{95}^{(E)} = Q_{(t)}^{(E)} \cdot Q_{95}^{(P)} / Q_{(t)}^{(P)},$$

worin (E) für die mögliche Einleitstelle, (P) für einen der vier Pegel als Bezugspegel und (t) für den Zeitpunkt der Sondermessung stehen. Aus den zwei

bis drei Einzelmessungen ergab sich dadurch ein gewisser Streubereich, aus dem durch Bilanzüberlegungen schließlich jener Wert für Q_{95} abgeleitet wurde, der den weiteren Überlegungen für eine räumlich differenzierte Erfassung der Einleitbedingungen zugrundegelegt wurde.

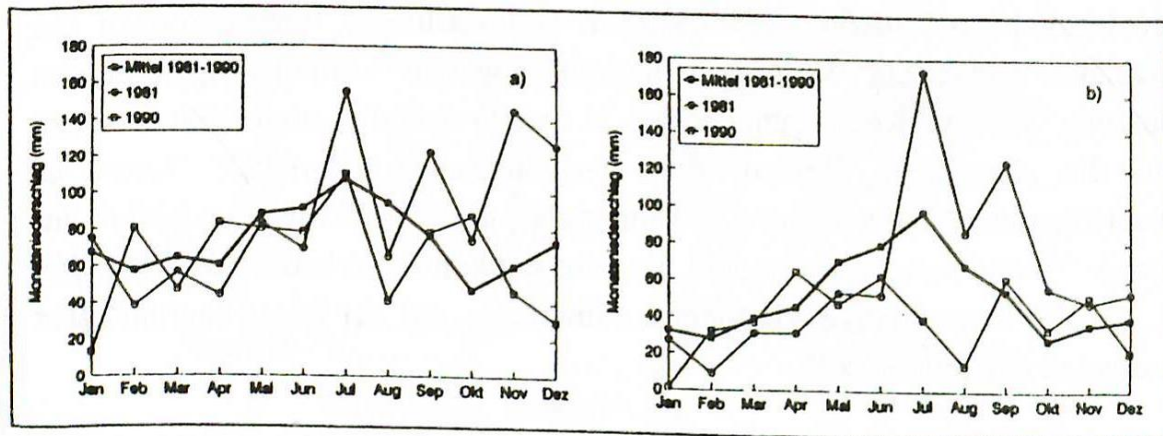


Abb. 10 Jahreszeitlicher Verlauf der Niederschlagsverhältnisse (Monatssummen)
für a) SW (Karlstift) b) (Vitis)
Mittel 1981-1990; 1981 feuchtes Jahr, 1990 trockenes Jahr

Die Bilanzüberlegungen bauten auf einer Analyse der Niederschlagsverhältnisse und auf einer hydrologischen Bewertung der Böden und der Landnutzung im Einzugsgebiet auf. Wie ein Längsschnitt durch das Einzugsgebiet zeigt (Abb. 9), nimmt der Jahresniederschlag von Südwesten (Karlstift) nach Osten merklich ab. Dies gilt auch für Einzeljahre, und zwar sowohl für nasse als auch für trockene Jahre sowie für die Niederschläge in den einzelnen Monaten (Abb. 10). Die Niederschläge sinken dabei auf ein Maß, das eine lokale Grundwasserneubildung aus Niederschlag nicht mehr zuläßt. In der Verteilung der Böden äußert sich dies im Vorherrschen von „mäßig trocken“ bis „trocken“ eingestuften Bodenformen von im allgemeinen hoher Durchlässigkeit in den betreffenden Gebietsteilen mit niedrigen Niederschlägen. Eine ausreichende Wasserspeicherung und Abflußbildung in Trockenzeiten kann sich dabei nicht einstellen. Es überrascht daher auch nicht, daß in diesen Gebietsteilen deutlich geringere Trockenwetterabflüsse gemessen werden und auch die Gewässer nur in Form sehr schmaler und seichter Gerinne ausgebildet sind.

Die verschiedenen Beobachtungen ergänzen sich zwangsfrei zu einer Einstufung der Gewässer des gesamten Einzugsgebietes nach den drei in Abb. 11 angegebenen Spendeklassen.

4.2 Beispiel Weidenbach:

Anhand eines Beispiels des Einzugsgebietes des Weidenbaches in Niederösterreich werden die Auswirkungen von zeitlichen Veränderungen der Klimavariablen sowie die Wirkung von anthropogenen Veränderungen in der Landnutzung auf die Komponenten des Wasserkreislaufes abgeschätzt. Dazu werden die einzelnen Reihen der hydrologischen Variablen, seien es Eingangsgrößen wie Niederschlag und Temperatur und in der Folge der Abfluß auf langfristige Veränderungen untersucht. Es wird ein kontinuierliches Abflußmodell erstellt, das die längerfristige Veränderung im Gebiet auf der Basis begründbarer Anwendungen nachbilden soll.

Der Weidenbach überwindet von seinem Ursprung im Ortsgebiet von Atzelsdorf (ca. 215 m.ü.A.) bis zu seiner Mündung in die March (ca. 145m ü.A.), auf einer Gesamtlänge von 31,69 km, einen Höhenunterschied von ungefähr 70 m, was einem durchschnittlichen Gefälle von 2,2 Promille entspricht.

Im Einzugsgebiet (Abb. 11) wird nur der Pegel Pirawarth beobachtet. Dieser liegt bei Flußkilometer 21,85, auf einer Seehöhe von 166,59 m ü.A. und betrifft eine Fläche von 71,0 km². Die Wasserstände werden seit 1967 beobachtet, mit der Abflußermittlung wurde 1968 begonnen. Die Hydrogeologie des Gebietes wird von Gerabek (1947) beschrieben.

Die vorherrschenden Ausgangsmaterialien zur Bodenbildung im Gebiet sind der sehr weit verbreitete Löß, die zutage tretenden tertiären Feinsedimente, welche zum Teil bindig (Tegel) und zum Teil sandig sind, sowie in den Talsohlen Schwemmaterial. In diesem Gebiet beeinflusst das Relief die Bodenbildung weitgehend. Schon schwache Neigungen (2-5°) führen im Lauf der Zeit zur Erosion und Akkumulation.

Als Bodenart treten neben dem vorherrschenden lehmigen Schluff, noch Lehm (sandig bis tonig) und selten Ton auf. Sandige bzw. kiesige Böden sind auf wenige Hektar beschränkt.

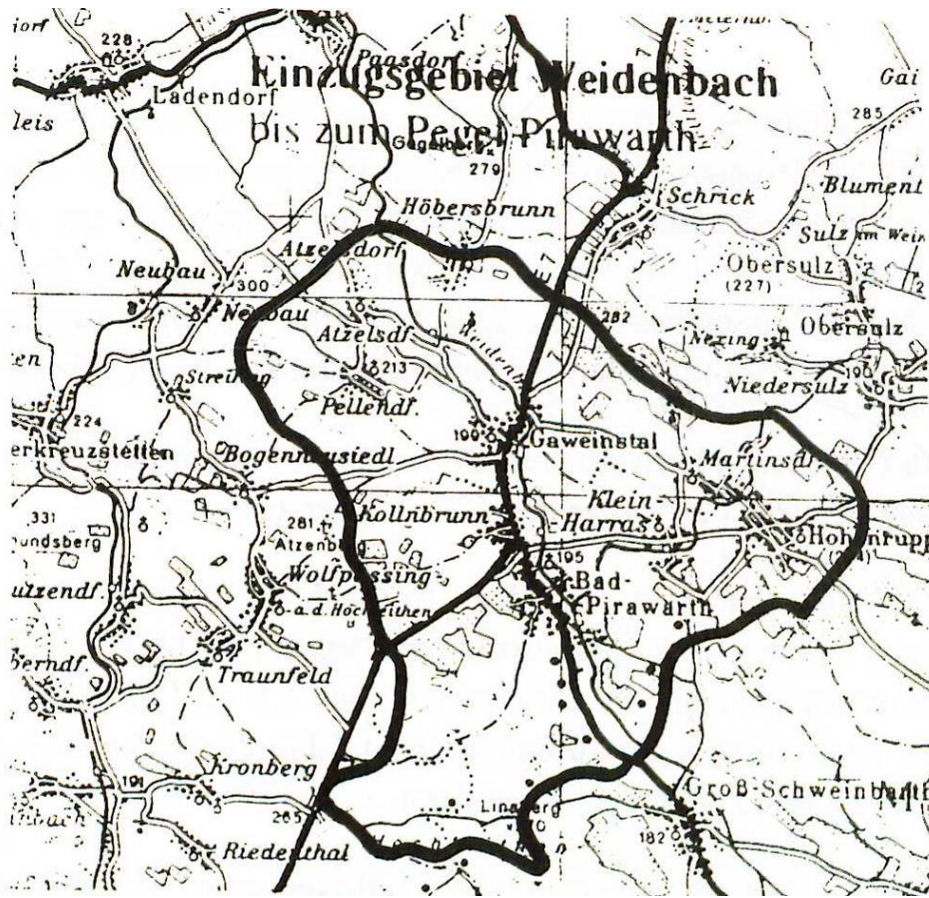


Abb. 11 Einzugsgebiet des Weidenbaches

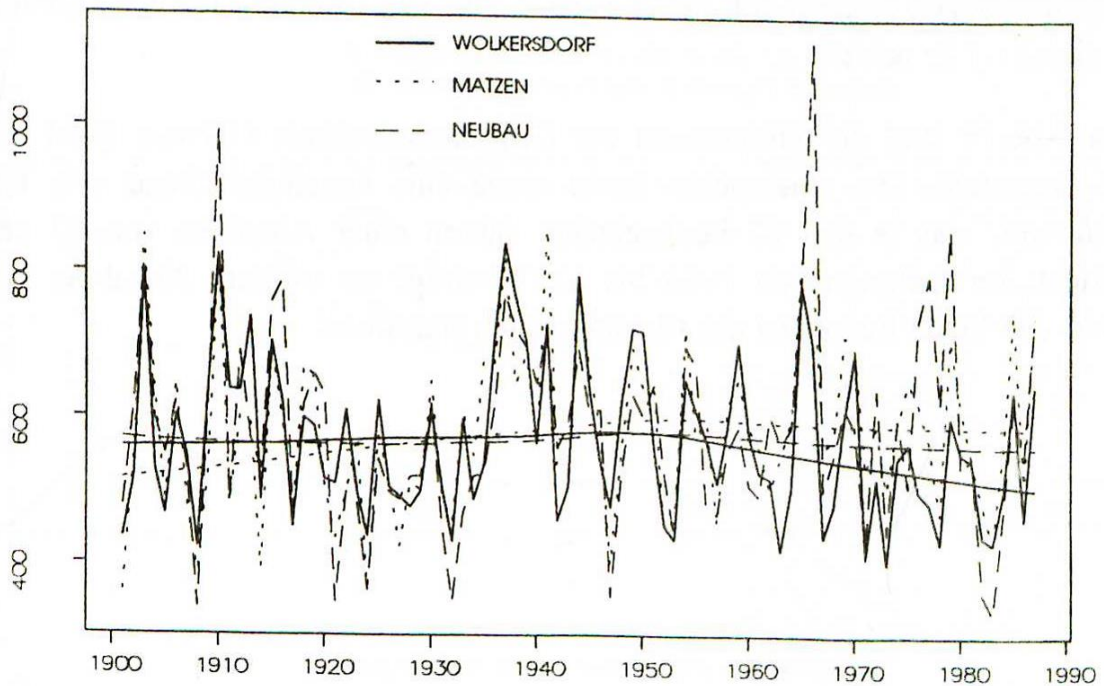


Abb. 12: Jahresniederschlagssummen Neubau, Matzen, Wolkersdorf 1901-1987 (mm/a) und die zugehörigen LOWESS Darstellungen ($F=0,66$)

Der weitest verbreitete Bodentyp im Gebiet ist der Tschernosem. Vom Klima her ist dieser Teil Niederösterreichs schon stark von pannonischen Klimaeinfluß geprägt. Das Gebiet leidet unter Wassermangel und ist typisch für die Weinviertel Region. An Hand dieses Gebietes soll die Wirkung verschiedener Eingriffe des Menschen auf den Wasserhaushalt dargestellt werden und die Instationärität im Abflußgeschehen und damit in allen abgeleiteten Parametern behandelt werden.

Das langjährige Niederschlagsverhalten ist in Abb. 12 dargestellt, und zeigt ab 1950 eine leicht fallende Tendenz in den Jahresniederschlägen.

Das Abflußverhalten hat sich seit dem Beobachtungsbeginn 1968 deutlich verändert. Die Abnahme des Abflußvolumens wird in Abb.13 deutlich. Die Jahresabflußsummen nahmen im Durchschnitt um 1,8 mm pro Jahr ab, das entspricht über den Zeitraum der 20 untersuchten Jahre einer Abnahme von über 40%. Dieser negative Trend ist hoch signifikant.

Einer deutlichen Änderung ist auch das Auftreten von Perioden niedriger Abflüsse unterworfen. Der MJNQ (70 l/s) Wert wurde bis Anfang 1980 nur insgesamt 21 mal erreicht oder unterschritten. Ab diesem Jahr traten Unterschreitungen jährlich auf, allein 1983 waren 195 tägliche MQ-Wert kleiner oder gleich 0,070 m³/s.

In der Abb.14 sind die Jahresmittel der Grundwasserstände (A) von 1964 bis 1990 dargestellt. Die untersuchte Reihe weist einen negativen Trend von 1,8 cm/Jahr auf, was in den 27 beobachteten Jahren einer Abnahme von 47 cm entspricht. Im Zeitraum von 1968 bis 1987 beträgt die mittlere Abnahme 2,5 cm/Jahr. Für beide Reihen ist die Abnahme hoch signifikant.

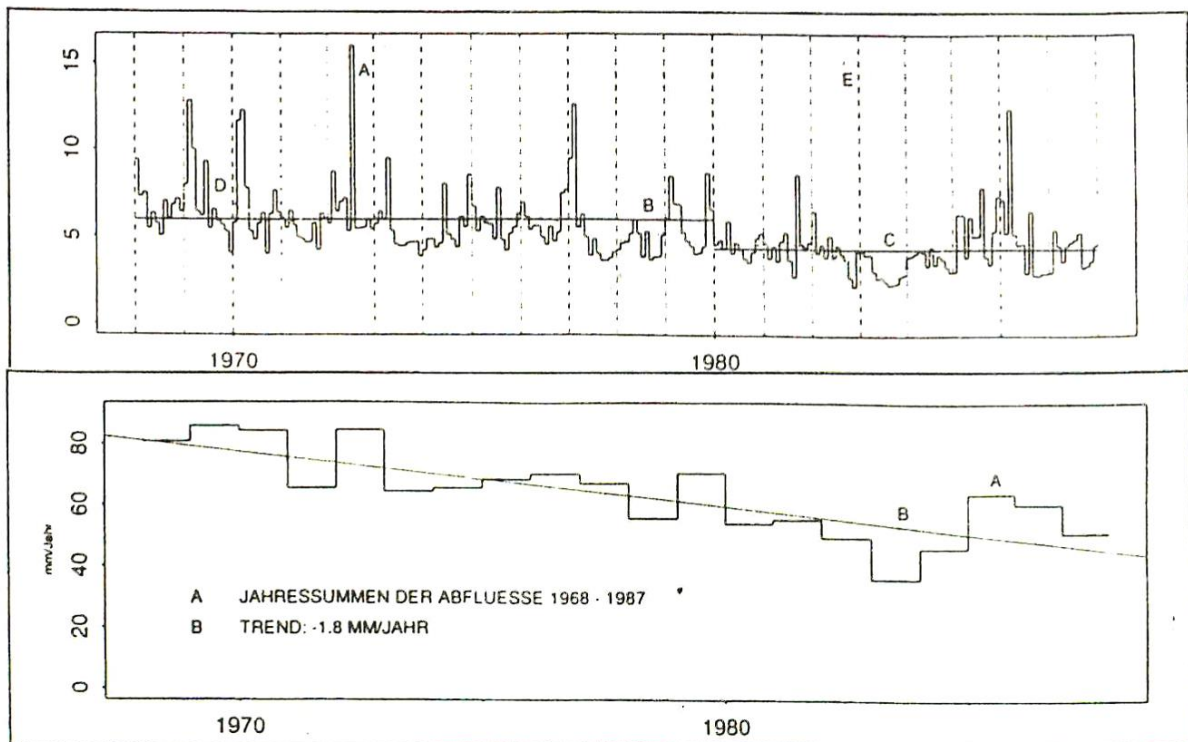


Abb. 13 a) Monatssummen der Abflüsse von 1968-1987. Pegel Bad Pirawarth
 b): Jahressummen der Abflüsse 1968 bis 1987
 A: Ganglinie der Jahresabflußsummen von 1968-1987
 B: Trendgerade, die Abnahme beträgt 1,8 mm/Jahr

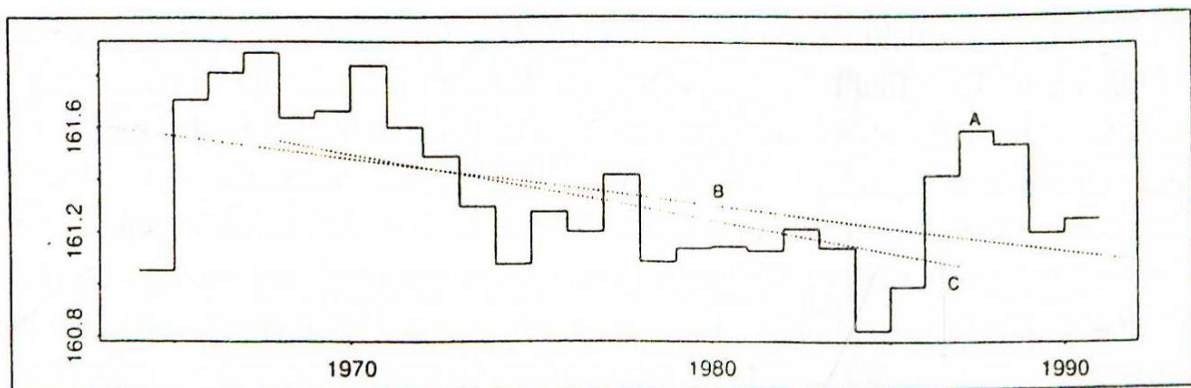


Abb.14 Jahresmittel der Grundwasserstände Brunnen Raggendorf (1964-1990)
 A: Ganglinie der Jahresmittel der Grundwasserstände
 B: Trendgerade 1964-1990, die Abnahme beträgt 1,8 cm/Jahr
 C: Trendgerade 1968-1987, die Abnahme beträgt 2.5 cm/Jahr

Analyse des Wasserhaushaltes

Erstellt man eine klimatische Wasserbilanz für das Gebiet, so erklärt die zunehmende Verdunstung und der geringfügig abnehmende Niederschlag nur einen Teil des Trends in der Abflußganglinie.

Es ist in diesen Auswertungen bereits erkennbar, daß die Veränderung der Klimavariablen, sowie Veränderungen im Gebiet, z.B. in der Landnutzung, diesen Trend bewirken müssen. Im Zeitraum der letzten 30 Jahre wurden dadurch auch die kennzeichnenden statistischen Parameter für die Niederwässer deutlich beeinflusst.

Nachfolgend wird ein Wasserhaushaltsmodell erstellt, mit dem Ziel die beobachtete Veränderung im Modellzusammenhang zu interpretieren. Zur Beschreibung des Wasserhaushaltes werden im Modell (Abb. 6) drei verschiedene Speicherelemente angewandt. Jeder Bodenschicht ist ein Bodenspeicher SW zugeordnet und ein Gebietsspeicher BS verzögert den seitlichen unterirdischen Abfluß SSQ aus den einzelnen Bodenschichten. Im Fall der Anwendung der Grundwasserkomponente wird noch ein Grundwasserspeicher SP simuliert.

Der Speicher SW dient als „Quelle“ für die Evapotranspiration ET und als „Senke“ für den Teil des Niederschlages, der nicht als Oberflächenabfluß SQ dem Vorfluter zufließt. Erreicht die Füllung des Speichers eine gewisse Grenze (Feldkapazität), so fließt das überschüssige Wasser entweder als Versickerung P in den darunterliegenden Bodenspeicher oder aus dem untersten Bodenspeicher in den Grundwasserspeicher. Kann nicht das ganze überschüssige Wasser versickern, gelangt es als unterirdischer Abfluß SSQ in den Gebietsspeicher BS. Die beiden Speicher BS und SP geben das Wasser entsprechend verzögert an den Vorfluter ab (SSQ, GWQ). Die im Falle eines Hochwasser auftretenden Infiltrationsverluste im Flußbett TL werden dem Grundwasserspeicher zugeführt.

Das Modell wurde anhand einer 20jährigen Inputreihe (Niederschlag, Temperatur, Strahlung, Wind) und unter der Verwendung typischer Bodenparameter bilanzmäßig mit den beobachteten Abflüssen verglichen. (Abb. 15) Ist hier zwar tendenziell eine Ähnlichkeit zwischen beobachteten &

berechneten Abfluß festzustellen, sinkt dennoch der beobachtete Abfluß stärker als der berechnete.

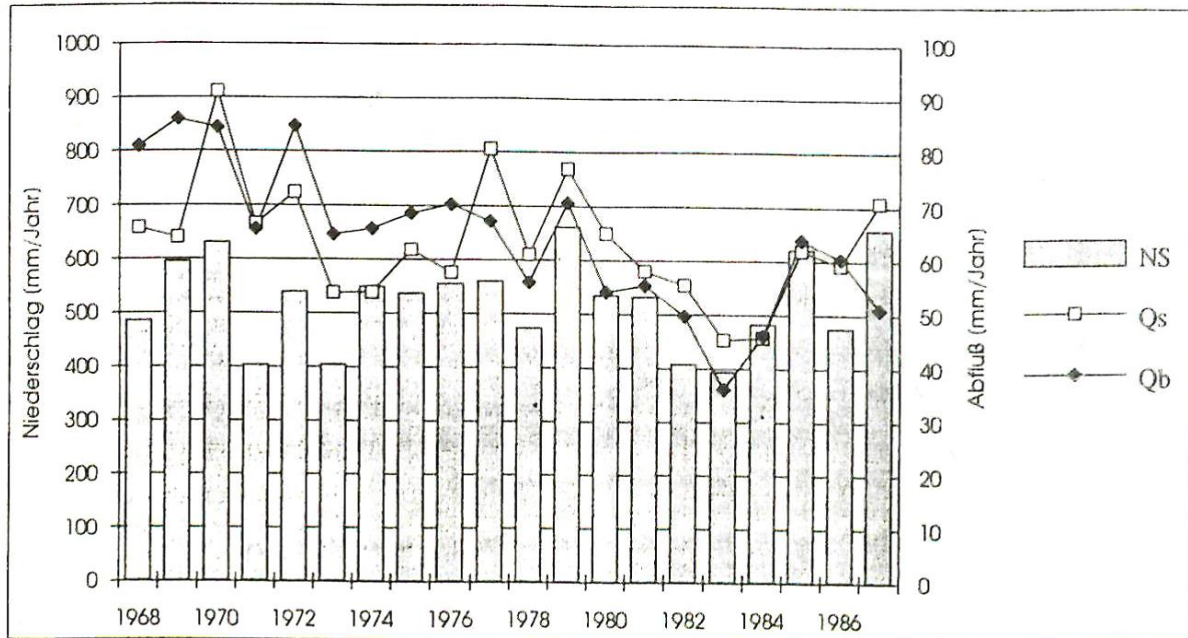


Abb. 15: Gegenüberstellung der Jahreswerte des Niederschlages Qb (beobachtet)-Qs (simuliert)

Die heute wie schon vor 200 Jahren vorherrschende Nutzungsart im Gebiet ist der Ackerbau. Die landwirtschaftlichen Flächen in den betroffenen Ortsgemeinden werden seit langem zu 80 - 90% ackerbaulich genutzt, wobei die Produktion deutlich erhöht wurde. Vergleicht man die Nutzung der restlichen Flächen im Einzugsgebiet, so fällt auf, daß die Verteilung der Waldflächen im Untersuchungsgebiet in den letzten zweihundert Jahren so gut wie keiner Veränderung unterworfen war (KATZMANN et. al., 1990). Ebenso blieb der Anteil und die Lage, der als Weingärten genutzten Flächen mehr oder minder unverändert. Anders verhält sich mit den in den alten Landesaufnahmen noch eingezeichneten Weiden und Wiesenflächen entlang der Bachläufe, die heute nur mehr in sehr geringem Ausmaß vorhanden sind.

Die Steigerung der Biomasseproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen war in den letzten 50 Jahren ganz beträchtlich. Betrachte man den Zeitraum von Mitte der dreißiger Jahre bis Ende der achtziger Jahre, so waren im österreichischen Durchschnitt, je nach Fruchtart, Steigerungen der Kornerträge um das 2,6 bis 3,2fache pro Hektar zu verzeichnen (siehe Abb. 16)

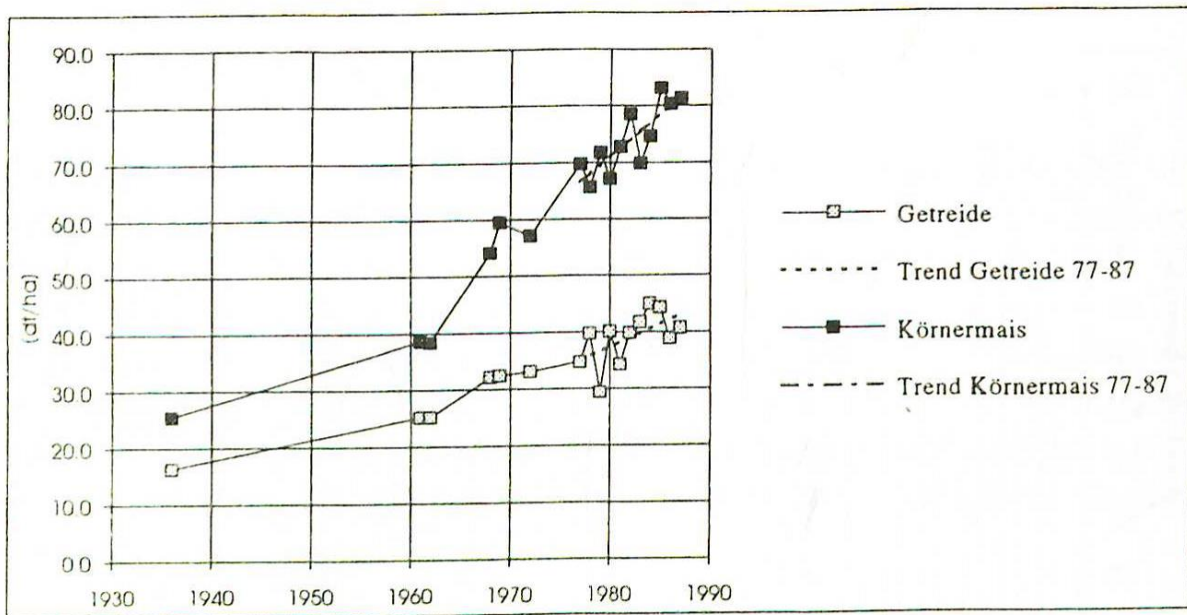


Abb. 16 Steigerung des Kernertrages von Getreide und Körnermais von 1934 bis 1987

In der Folge wurde ein Szenario simuliert, bei welchem der Zunahme der Erträge seit Mitte der dreißiger Jahre Rechnung getragen werden soll. Damit soll der Einfluß der Steigerung der Biomasseproduktion auf den Wasserhaushalt im Gebiet über einen längeren Zeitraum abgeschätzt werden.

Im Simulationsmodell wird die Produktion der Biomasse von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, eine Möglichkeit das Wachstum der Pflanzen zu beeinflussen ist die Veränderung des maximalen Blattflächenindex (BLAI). Mit dieser Größe verändert sich gleichzeitig die simulierte Transpiration der Pflanzen. Damit besteht auch im Modell ein Zusammenhang zwischen der Änderung der Biomasseproduktion und der Veränderung der Transpiration.

Durch die Annahme einer Steigerung der Hektarertäge im Kalibrierungszeitraum 1968 bis 1987 konnte die Abnahme der Abflüsse in diesem Zeitraum besser als mit gleichbleibender Biomasseproduktion angepaßt werden. Somit erscheinen die getroffenen Annahmen zumindest für den Zeitraum ab 1968 als gerechtfertigt. Insgesamt geht eine Steigerung der Biomassenproduktion durch eine Zunahme der Transpiration in der Simulation zu Lasten des nutzbaren Bodenwassergehaltes. In der Folge gehen auch die Abflußsummen stark zurück. Im Jahresgang der Bodenfeuchte ergeben sich auf

einem geringen Niveau größere Schwankungen, da der Bodenwasserhaushalt im Sommer früher und steiler abfällt und im Frühjahr später ein Maximum erreicht.

Zusammenfassende Beurteilung des Wasserhaushaltes des Weidenbaches

Zielsetzung der Studie war es, längerfristige hydrologische Veränderungen in einem kleinen, teils bewaldeten Gebiet zu untersuchen. Dabei wurde zwischen klimatischen und anthropogenen Einflüssen auf den Wasserhaushalt unterschieden.

Das Verhalten der zeitlich veränderlichen Klimavariablen Niederschlag und Temperatur im Untersuchungsgebiet läßt sich für den untersuchten Zeitraum 1923-1992 dahingehend beschreiben, daß es vorrangig ist in der Vegetationsperiode zu einer Abnahme der Niederschläge bei einer gleichzeitigen Zunahme der Temperatur gekommen ist. Bei der Temperatur nahmen die Tagesmaxima stärker zu als die Tagesminima und bei den Niederschlägen lassen sich die geringeren Jahreswerte, die in den letzten 20 Jahren besonders deutlich waren, vor allem durch ein Ausbleiben von niederschlagsreichen Tagen im Sommerhalbjahr erklären.

Die Trockenheit Anfang der siebziger und achtziger Jahre zeigt sich auch deutlich in den beobachteten Systemgrößen Abfluß und Grundwasserstand. Beide Zeitreihen weisen einen signifikant negativen Trend und ein ausgeprägtes Minimum im Jahr 1983 bzw. 1984 auf. Diese Minimalwerte können unter anderem mit besonders geringen Niederschlag in Jahren 1982 und 1983 begründet werden.

Das geänderte Verhalten der Klimagrößen führte auch in der Simulation zu einem signifikanten negativen Trend bei den von Weidenbach abgeführten Wassermengen. Eine Ursache für diese Abnahme ist neben dem Rückgang der Niederschlagsmengen eine Zunahme der Evapotranspiration im Verhältnis zum Niederschlag im Frühjahr und im Sommer. Diese führt zu einem im Mittel geringeren Bodenwassergehalt und in der Folge zu geringeren Abflüssen. Eine Bemessung einer Abwassereinleitung an Hand einer Abflußreihe von gut 20 Jahren würde daher systematisch falsche Werte, egal welche Stichprobe aus der Reihe genommen wird.

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In diesem Beitrag wurde der Wasserhaushalt zweier Einzugsgebiete im nördlichen Niederösterreich untersucht um eine Klassifizierung der Fließgewässer im Hinblick auf ihre Niederwasserabflüsse und ihre Belastbarkeit mit Kläranlagenabwässern zu erreichen. Es wurden zuerst die grundlegenden hydrologischen Parameter definiert und erläutert. Ausgehend von Meßreihen an Reinzelpunkten wurde die Problematik der Regionalisierung der Information behandelt, wobei empirische Verfahren, statistische und modellbasierte Methoden beschrieben wurden.

Bei der Beurteilung der hydrologischen Leistungsfähigkeit eines Gewässers als Vorfluter für Kläranlagenabwässer ist insbesondere bei Kleingewässern Vorsicht geboten, da

- die Datenbasis meist sehr begrenzt ist
- die anthropogenen Effekte aus der Landnutzung im Abflußgeschehen deutlich wirksam werden und zu Instationaritäten führen
- neben den rein hydrologisch, statistischen Auswertungen auch die Resistenz des Gewässers für die Beurteilung wichtig ist.

Unter Resistenz wird hier die Leistungsfähigkeit des Gewässers verstanden, externen Belastungen zu widerstehen. Als Indikatoren dienen der morphologische Zustand des Gewässers und seine Einbettung in das Umland. Vielfältig strukturierte Gewässer mit einem breiten Gehölzsaum erbringen eine höhere Abbauleistung.

Betrachtet man die Klimareihen der letzten Jahrzehnte, daß sind doch deutlich abweichende Werte zu beobachten. Unabhängig davon, ob es sich um anthropogen bedingte Effekte handelt oder nur eine mittelfristige Drift vorhanden ist, ist die Instationarität der hydrologischen Parameter zu berücksichtigen. _

Literatur

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (Hrsg.): Trockenperioden 1992 und 1993 in der Steiermark. Amt d. Stmk. Landesreg., Fachabteilung IIIa - Wasserwirtschaft, März 1995, Graz.
- Ang A.H.S. & W.H. Tang (1975) Probability Concepts in Engineering Planning and Design, J. Wiley & Sons.
- Apollov, B.A., Kalinin, G.P., Komarov, V.D. (1964): Hydrological Forecasting. Translation from Russian. Israel program for scientific translations, Jerusalem. U.S. Dep. of. Commerce, Washington D.C.
- Aschwanden, H. (1993): Die Abflußmenge Q_{347} . Bestimmung und Abschätzung. Empfehlungen der Landeshydrologie und -geologie. wasser, energie, luft 85 (3/4), 53-55.
- Balco, M. (1965): Die Trockenwetterganglinie und ihre Verwendung bei den Vorhersagen der Durchflüsse in der Trockenperiode. 3.Konferenz der Donauländer für hydrologische Vorhersagen, Bukarest, 1965.
- Becker, A. (1986): Neue Anforderungen und Lösungen bei der großflächigen hydrologischen Modellierung. Wasserwirtschaft - Wassertechnik 36. 150-152.
- Carlston C.W. (1693) Drainage density and streamflow. Geol. Survey Prof. Paper, 422-C. WSDA
- Demuth S. (1993) Untersuchung zum Niedrigwasser in Westeuropa. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Univ. Freiburg, Breisgau.
- DVWK (1992): Niedrigwasseranalyse. Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasserabflusses. DVWK-Regel 120/1983, Verlag Paul Paray.
- DVWK (1992): Niedrigwasseranalyse. Teil II: Statistische Untersuchung der Unterschreitungsdauer und des Abflußdefizits. DVWK-Regel 121/1992, Verlag Paul Parey, 23 S.
- Fuchs L. und H. Rubach (1983) Niedrigwasseranalyse unter Berücksichtigung einer regionalen Aussage. Wasser und Boden, H. 1, S. 13, 1983.
- Gerabek, K.(1947) Grundwasserverhältnisse und Quellen Niederösterreichs und ihre Bedeutung für die Wasserwirtschaft. Diss.schrift an der Univ.f.Bodenkultur, Wien.
- Glos, E. und D. Lauterbach (1972) Regionale Verallgemeinerung von Niedrigwasserdurchflüssen mit Wahrscheinlichkeitsaussagen. Mitt. des Inst. für Wasserwirtschaft, Heft 37, Berlin, 1972.
- Jensen, H., Lang, H. (1989): Über die Vorhersage von Niederwasserabflüssen. In: Niederwasser: Bestimmung, Nutzung und Erhaltung. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie. Kümmerly+Frej, Bern, 59-74.
- Katzmann, W., Kux, S., Treytl, T. (1990) Wald. Hrsg. ÖBIG. Fric und Manz Verlag Wien.
- Krausnecker, P. (1975): Extreme Trockenwetter - Niedrigwasser. Wiener Mitteilungen Bd. 18, E1-E27.
- Kresser, W., Kirnbauer, R., Nobilis, F. (1985): Überlegungen zur Ermittlung von Niederwasserkenngößen: Mitteilungsblatt des Hydrograph. Dienstes in Österreich. Nr. 54, 13-47.
- Kunsch, I. (1965): Einige Daten betreffend die Vorhersage der Durchflüsse nach den Trockenwetterabflußlinien im Donaubecken. 3.Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen, Bukarest 1965.

- Lang H. & P. Waldingbrett (1994) Identifikation und Quantifizierung hydrologischer Veränderungen an typischen Eichenstandorten Österreichs. Diplomarbeit am IHW, Univ. f. Bodenkultur)
- Leibundgut, Ch. (1989): Schätzung des Niederwassers. In: Niederwasser: Bestimmung, Nutzung und Erhaltung. Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie, Kümmerly+Frey, Bern, 43-58.
- Nachtnebel, H.P. (1981): Hydrologische Vorarbeiten für die Planung von Kleinwasserkraftwerken. In: Inst.f. Wasserwirtschaft, Univ. Bodenkultur (Hrsg.): Kleinwasserkraftwerke, Projektierung+Entwurf. Beitrag zum „Symposium on Projekt Design and Installation of Small Hydropower Plants, Wien“, 57-75.
- Nutbrown, D.A., Downing, R.A. (1976): Normal-mode analysis of the structure of base flow-recession curves. *J. Hydrol.* 30, 327-340.
- ÖWWV (1984): Leitfaden für den natur- und landschaftsbezogenen Schutzwasserbau an Fließgewässern. Regeln d. Österr. Wasserwirtschaftsverbandes, ÖWWV-Regelblatt 301, Wien 1984.
- Pereira, L.S., Keller, H.M. (1982): Recession characterization of small mountain basins, derivation of master recession curves and optimization of recession parameters. In: Glen, J.W. (ed.): Hydrological Aspects of Alpine and High Mountain Areas. IAHS Publ. No. 138, 243-255.
- Prellberg D. (1977) Ermittlungen von Niedrigwasserperioden. Mitt. des Leichtweiß-Institutes für Wasserbau der TU Braunschweig, Heft 57.
- Riggs, H.C. (1963): The base-flow recession curve as an indicator of groundwater. IAHS Publ. No. 63, 352-363.
- Schaffernak, F. (1960): Hydrographie. Akad. Druck- u. Verlagsanst. Graz.
- Singh, K.P. (1966): On theoretical baseflow curves. *J. Hydraul. Div., Proc.Am.Soc.Civ.Eng.* 95 (HY6), 2029-2048.
- Widmoser, P. (1974) Extremabflüsse auf vierzig kleinen Einzugsgebieten der Schweiz, Schweizer Bauzeitung, Hft 32, S. 575, 1974.
- Wundt, W. (1953): Gewässerkunde. Springer Berlin, Göttingen, Heidelberg.

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. H.-P. Nachtnebel

Institut f. Wasserwirtschaft und Hydrologie
Universität für Bodenkultur
Nußdorfer Lände 11
1190 Wien

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. D. Gutknecht

Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft
TU - Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien