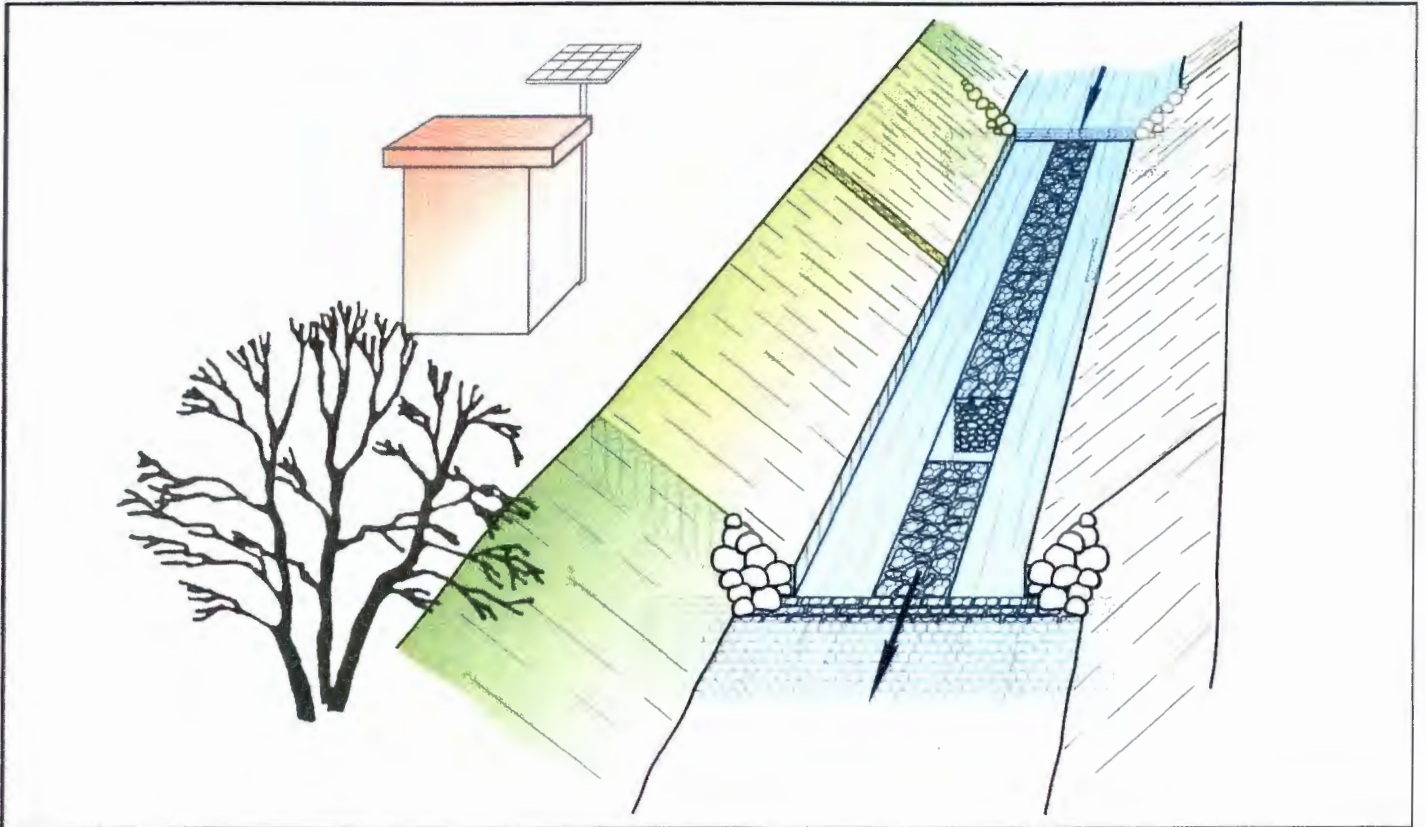




Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie



Meinhard Elsholz  
Peter Sellheim

## Pegel an kleineren Fließgewässern

- Anforderungen aus hydraulischer  
und fließgewässerökologischer Sicht -





Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie

Meinhard Elsholz  
Peter Sellheim

## Pegel an kleineren Fließgewässern

- Anforderungen aus hydraulischer  
und fließgewässerökologischer Sicht -

Herausgeber:

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Abt. 3: Wasserwirtschaft, Gewässerschutz  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim

Verfasser:

Meinhard Elsholz  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Dezernat 3.4: Hydrologie der oberirdische Gewässer

Peter Sellheim

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Dezernat 2.2: Landschaftsplanung, Eingriffsregelung

1. Auflage: Dezember 2000, 150 Stück

ISSN: 1434-2499

Schutzgebühr: 5,- DM zuzügl. Versandkostenpauschale z.Zt. 5,- DM

Bezug:

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
An der Scharlake 39  
31135 Hildesheim

Gestaltung:

Monika Wiedermann  
Liane Knöllke  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie

Gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Mit diesem Beitrag werden Möglichkeiten für einen fließgewässerökologisch verträglichen Ausbau der dringend zu sanierenden Pegel des neuen Pegelmessnetzes aufgezeigt.

# Inhaltsverzeichnis

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Einführung und Problemstellung .....   | 4  |
| 2   | Pegelwesen in Niedersachsen .....  | 5  |
| 2.1 | Entwicklung des Pegelwesens .....  | 5  |
| 2.2 | Hydrologische Bewertung der Abflusspegel .....   | 5  |
| 2.3 | Hydrologische Landschaften in Niedersachsen .....  | 5  |
| 2.4 | Messnetzkonzeption für das neue GÜN-Pegelmessnetz .....  | 5  |
| 2.5 | Messnetzstrategie für das neue GÜN-Pegelmessnetz .....   | 6  |
| 3   | Hydraulische Zusammenhänge und messtechnische Verfahren .....  | 7  |
| 3.1 | Umsetzen von Wasserstand in Abfluss .....  | 7  |
| 3.2 | Feste W-Q-Beziehung .....  | 7  |
| 3.3 | W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei stabilem Querschnitt,<br>aber systematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten .....                      | 8  |
| 3.4 | W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei instabilen Querschnitten<br>und unsystematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten - Problempegel - ..... | 11 |
| 4.  | Ansätze zur Problemlösung .....  | 14 |
| 4.1 | Stabile Messstromstrecken als Mindestanforderung für Abflusspegel .....  | 14 |
| 4.2 | Fließgewässerökologische Grundlagen und Anforderungen bei der Planung<br>von Abflusspegeln .....   | 15 |
| 4.3 | Gestaltungs- und Bemessungsvorschläge für ökologisch durchgängige Mess-<br>stromstrecken an Pegelanlagen .....   | 16 |
| 4.4 | Gestaltungsbeispiele .....   | 17 |
| 5.  | Zusammenfassung und Ausblick .....   | 18 |

# 1. Einführung und Problemstellung

Das Pegelmessnetz in Niedersachsen befindet sich derzeit in einer Phase der Umstellung. Von einem bisher flächendeckenden Erkundungsmessnetz mit großer Pegelanzahl wird auf ein Repräsentativmessnetz mit geringerer Pegelanzahl umgestellt. Ziel dieses neuen GÜN-Messnetzes ist es, hydrologische Daten zu sammeln und aufzubereiten, soweit dies zur Ordnung des natürlichen und des vom Menschen beeinflussten Wasserdargebots erforderlich ist. Die natürlichen Gegebenheiten und die Variabilität der Naturprozesse sind bei höchstmöglicher Zuverlässigkeit und Datenqualität repräsentativ abzubilden. Die Vorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRRL) werden somit erfüllt.

Durch Einsatz von Regionalisierungsverfahren wurden hierzu die hydrologisch repräsentativen Pegel identifiziert, die in Zukunft im neuen GÜN-Messnetz verbleiben sollen. Eine große Anzahl dieser Pegel entspricht jedoch messtechnisch nicht mehr den heutigen Anforderungen aus Wissenschaft und Verwaltung, weshalb ihre

Sanierung dringend erforderlich wird. Diese Sanierungen kann bei vielen Pegeln nur durch bauliche Stabilisierungsmaßnahmen des jeweiligen Gewässerabschnittes erreicht werden.

Bei diesen baulichen Eingriffen sind auch die fließgewässerökologischen Anforderungen vor allem hinsichtlich Sicherstellung der ökologischen Durchgängigkeit zu berücksichtigen, eine Zielsetzung, die auch den Inhalten des Niedersächsischen Fließgewässerprogramms entspricht.

Hauptanliegen dieses Papiers ist es, auf die besondere Problematik der Hydraulik und der Messtechnik bei Pegeln an kleineren Fließgewässern hinzuweisen und die daraus abgeleiteten Mindestanforderungen zur Sanierung dieser Pegel zu erläutern. Dabei werden praktische Problemlösungen unter Berücksichtigung sowohl der messtechnisch-hydraulischen, als auch der fließgewässerökologischen Anforderungen vorgeschlagen.

## 2 Pegelwesen in Niedersachsen

### 2.1 Entwicklung des Pegelwesens

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts werden Pegel in Niedersachsen betrieben. Diese frühen Pegel wurden für die Schifffahrt und den Hochwasserdienst errichtet, die Erfassung von Wasserständen war primäre Aufgabe. Erst Mitte des 20. Jahrhunderts, nach den ersten größeren Umweltschäden als Folge anthropogener Eingriffe in die Natur, setzte in Niedersachsen die flächendeckende hydrologische Erkundung ein. Oberstes Ziel war und ist es, über Wasserhaushaltsuntersuchungen die Zusammenhänge zwischen dem Niederschlag und den Abflüssen aufzuzeigen. (Weitere Pegelaufgaben in Stichworten: Bilanzierungen, wasserwirtschaftliche Strategien, zeitliche und räumliche Variabilität der Abflüsse, Niederschlag-Abflussgeschehen, Klimaänderungen, anthropogene Einwirkungen, hydrologische Modelle, Hochwasservorhersage, Überschwemmungsgebiete, Bemessungen von Bauwerken, wasserrechtlicher Vollzug, Einleitungen/Entnahmen, Mindestabflüsse, Frachten, usw.)

Der klassische Pegel bekam hierdurch eine völlig neue Aufgabenstellung, nicht mehr der Wasserstand war das Endprodukt, sondern der Abfluss, - eine Erweiterung etwa um den Faktor 10, gemessen am Personalaufwand.

Nahezu flächendeckend wurden in Niedersachsen seit etwa 1950 weit über 500 Abflusspegel eingerichtet und zum Teil bis heute hin betrieben.

### 2.2 Hydrologische Bewertung der Abflusspegel

In den Jahren 1998/99 wurden erstmalig landesweit die Daten aller Abflusspegel in einer Gesamtuntersuchung plausibilisiert und hinsichtlich ihrer Repräsentativität für das natürliche Geschehen beurteilt. Hierbei wurden in erster Linie langjährige mittlere Abflüsse den entsprechenden Mittelwerten des Niederschlages gegenübergestellt.

Von den über 400 einbezogenen Pegeln erwies sich etwa die Hälfte als annähernd repräsentativ, während die anderen Pegel zum Teil erhebliche Abweichungen zeigten. Eine mühselige Ursachenforschung hierzu ergab sowohl geogene als auch anthropogene Beeinflussungen, hoch war die Anzahl der Pegel, die wegen offensichtlich mangelhafter Messtechnik ausgesondert werden mussten.

### 2.3 Hydrologische Landschaften in Niedersachsen

Basierend auf den Daten der repräsentativen Pegel und den zugehörigen Niederschlagsdaten konnte über Regionalisierungsverfahren eine Untergliederung Niedersachsens in 32 Hydrologische Landschaften vorgenommen werden.

Diese Hydrologischen Landschaften differieren hinsichtlich Klima, Morphologie, Boden und dem resultierenden natürlichen Gebietsabfluss zum Teil erheblich. Innerhalb einer jeden Hydrologischen Landschaft liegen jedoch annähernd gleiche Bedingungen mit nur gering schwankenden Wasserhaushaltsparametern vor. Hieraus ergeben sich für jede Hydrologische Landschaft gebietstypische Richtwerte, die als Planungsgrundlagen für hydrologische Fragen aller Art herangezogen werden können.

### 2.4 Messnetzkonzeption für das neue GÜN-Pegelmessnetz

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde das GÜN-Pegelmessnetz neu konzipiert.

Danach sind in einer Hydrologischen Landschaft etwa 3 bis 5 repräsentative Pegel dauerhaft zu betreiben. Diese Hauptpegel repräsentieren das natürliche Geschehen in der Hydrologischen Landschaft, sie liefern die Eingangsdaten für wasserwirtschaftliche Untersuchungen jeglicher Art.

Ergänzungspegel erfassen zusätzlich überörtlich wirksame Beeinflussungen in der jeweiligen Landschaft. Daneben sind weitere, zumeist schon sehr lange beobachtete Hauptpegel an den großen Flüssen und Strömen im neuen GÜN-Pegelmessnetz vorgesehen. Die Abflüsse an den Pegeln dieser großen Gewässer setzen sich zusammen aus den jeweiligen Abflüssen aller angeschlossenen Hydrologischen Landschaften.

Im tidebeeinflussten Gebiet werden Abflüsse an Hauptpegeln durch Sielzugmessungen ermittelt, weitere Hauptpegel erfassen hier in erster Linie das natürliche Wasserstandsgeschehen.

Insgesamt sind im neuen GÜN Pegelmessnetz etwa 220 Hauptpegel und 60 Ergänzungspegel vorgesehen, etwa

---

*Anmerkung zu Abfluss und Durchfluss: Zur Vermeidung von Begriffsverwirrungen wird hier grundsätzlich der Begriff Abfluss benutzt. Auf die feinsinnige Differenzierung, wonach alle Abflüsse zunächst nur Durchflüsse heißen dürfen und erst bei Nachweis ihrer hydrologischen Repräsentativität zu Abflüssen werden, soll hier bewusst verzichtet werden.*

80 Pegel werden davon durch Dritte betrieben. An insgesamt etwa 230 Pegeln werden Abflüsse ermittelt, hiervon betreibt das Land Niedersachsen etwa 190 Abflusspegel. Bei der Umsetzung dieser Messkonzeption reduziert sich das bisherige Messnetz um etwa 120 nicht mehr im Landesdienst zu betreibende Pegel.

## 2.5 Messnetzstrategie für das neue GÜN-Pegelmessnetz

Mit der Messnetzstrategie für das neue GÜN-Pegelmessnetz sollen u. a. die oben beschriebenen Erkenntnisse aus der hydrologischen Bewertung und Plausibilisierung aller bisher betriebenen Pegel umgesetzt werden. Dies gilt in erster Linie für die große Gruppe der Pegel mit erkannten messtechnischen Mängeln, von denen etwa 70 Pegel weiterhin im neuen GÜN-Messnetz betrieben werden müssen, da gleichwertiger Ersatz nicht verfügbar ist, eine Stilllegung jedoch zu erheblichen Erkenntnislücken führen würde. Diese im Messnetz ver-

bleibenden etwa 70 Pegel müssen vordringlich saniert werden.

Die Messstrategie gibt daher Qualitätsziele für Ausstattung und Betrieb der Pegelanlagen vor.

Danach wird als Voraussetzung für eine zu erzielende hohe Datenqualität an den Haupt- und Ergänzungspiegeln eine gute hydraulische Funktionalität an den Messstellen gefordert. Insbesondere bei Pegeln an kleineren Gewässern sind veränderliche Sohle und Ufer zu vermeiden, Mindestvoraussetzung hierfür sind stabile Messstromstrecken.

Die stabile Messstromstrecke als Mindestvoraussetzung für den Betrieb von Pegeln an kleineren Gewässern wird nachstehend erläutert und begründet. Es wird dabei der Versuch unternommen, die komplexen hydraulischen und messtechnischen Zusammenhänge in komprimierter Form verständlich darzustellen, um so die fachlichen Voraussetzungen zu schaffen für gemeinsam von Naturschutz und Wasserwirtschaft zu vertretende Sanierungsvorschläge.



# 3 Hydraulische Zusammenhänge und messtechnische Verfahren

Die stabile Messstromstrecke als Mindestvoraussetzung für den Betrieb von Pegeln an kleineren Gewässern wird nachstehend erläutert und begründet. Es wird dabei der Versuch unternommen, die komplexen hydraulischen und messtechnischen Zusammenhänge in komprimierter Form verständlich darzustellen, um so die fachlichen Voraussetzungen zu schaffen für gemeinsam von Naturschutz und Wasserwirtschaft zu vertretende Sanierungsvorschläge.

## 3.1 Umsetzen von Wasserstand in Abfluss

Die Erfassung kontinuierlicher Wasserstände an Pegeln ist technisch weitgehend gelöst und mit relativ geringem Aufwand durchzuführen.

Die Ermittlung kontinuierlicher Abflüsse hingegen stellt trotz Einsatzes modernster Technik auch heute noch an vielen Pegeln ein erhebliches Problem dar.

Ziel ist es, für jedes erfasste Zeitintervall des Wasserstandes - zumeist Tagesmittelwerte - einen entsprechenden Abflusswert anzugeben, um auf diesem Wege zu einem Abflusskontinuum, zu einer Abflussganglinie zu gelangen.

In der Regel benutzt man hierfür eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung (W-Q-Beziehung), die aus Abflussmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen entwickelt wird.

$$f(W) = Q \quad W = \text{Wasserstand am Pegel} \quad Q = \text{Abfluss}$$

Mit dieser W-Q-Beziehung kann dann für jeden möglichen Wasserstand ein zugehöriger Abfluss angegeben werden.

Allerdings wird es nur bei wenigen Pegeln gelingen, eine straffe W-Q-Beziehung aufzustellen und dauerhaft anzuwenden, denn bei der Mehrzahl der Pegel an den naturbelassenen Gewässern in Niedersachsen streuen die Ergebnisse der Eichmessungen heftig; beim gleichen Wasserstand sind unterschiedliche Abflüsse von weit über 100% keine Seltenheit.

Diese Streuungen sind die Folge natürlicher, oder auch anthropogen verursachter fortlaufender Änderungen der hydraulischen Randbedingungen.

Die elementare hydraulische Formel besagt: der Abfluss Q ist das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit und der durchströmten Querschnittsfläche.

$$Q = F \cdot v$$

F = durchströmte Querschnittsfläche [m<sup>2</sup>]

v = Fließgeschwindigkeit [m/s]

Wenn also die hydraulischen Randbedingungen fortlaufenden Änderungen unterliegen, so ist es äußerst wichtig herauszufinden, ob die Querschnittsfläche oder die Fließgeschwindigkeit - oder gar beide Parameter? - diesen Veränderungen unterliegen und wodurch die Veränderungen hervorgerufen werden.

Hieraus ergeben sich die entscheidenden Merkmale zur Qualitätsbeurteilung eines Pegels, zur Auswahl der einzusetzenden Messmethode, für einzuleitende Sanierungsmaßnahmen oder gar die Entscheidung zur Aufgabe des Pegelstandortes.

Hierzu wird die W-Q-Beziehung mit den einzelnen Ergebnissen der Abflussmessungen einer systematischen Analyse unterzogen und eine Zuordnung zu einer der drei nachstehenden Gruppen versucht:

1. W-Q-Beziehung mit kaum streuenden Abflusswerten, Fließgeschwindigkeit und Querschnittsfläche stabil,
2. W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei stabilem Querschnitt, aber systematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten,
3. W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei instabilen Querschnitten und unsystematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten.

Nachstehend soll versucht werden, diese drei unterschiedlichen Gruppen von W-Q-Beziehungen zu erläutern.

## 3.2 Feste W-Q-Beziehung

Der Idealfall liegt vor, wenn die Ergebnisse der Abflussmessungen nur gering streuen und sich einer Funktion anpassen, die stetig ansteigt und die Ergebnisse hinreichend genau auflöst. Erweist sich diese Funktion auch noch als langjährig stabil, so haben wir es mit einem Glücksfall zu tun, der dem Gewässerkundlichen Landesdienst in Niedersachsen nur selten widerfährt.

In diesem Falle können in der o.g. hydraulischen Grundformel  $Q = F \cdot v$  die Parameter F und v als stabil betrachtet werden.

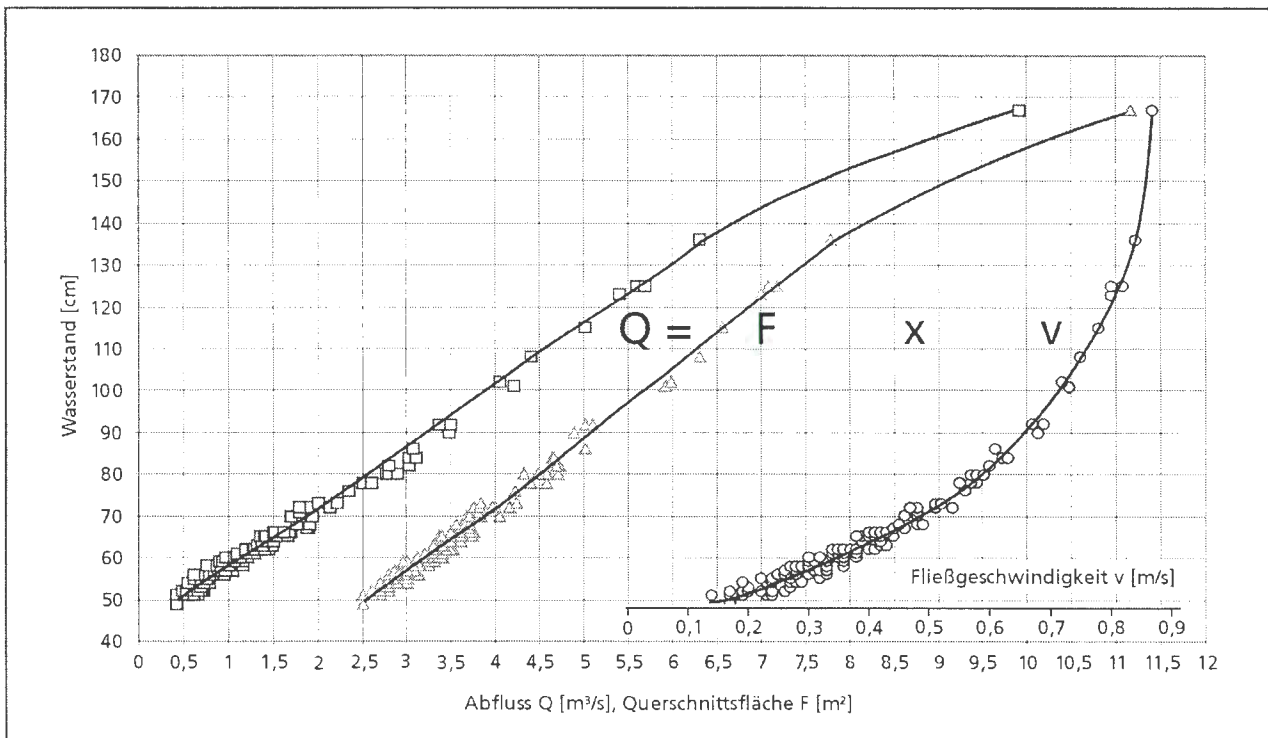


Abbildung 1: Stabile Verhältnisse bei Abfluss, Querschnittsfläche und Fließgeschwindigkeit an einem Pegel mit fester W-Q-Beziehung

Dieser seltene Glücksfall kommt in der Regel nur an großen Flüssen und Strömen ( $MQ > 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) vor, wo die naturbedingten Veränderungen im Messbereich relativ so gering sind, dass sie vernachlässigt werden können. Zumeist ist die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Betreiber dieser Pegel.

An den kleineren Gewässern im Zuständigkeitsbereich des GLD Niedersachsen sind feste Beziehungen die Ausnahme, es sei denn, ohnehin vorhandene Bauwerke mit befestigten Messstromstrecken und einem vorhandenen Sohlenabsturz können genutzt werden.

Wenn also der Einsatz einer festen W-Q-Beziehung möglich ist, so kann mit relativ geringem Aufwand langjährig eine zumeist gute Datenqualität erzielt werden.

In der hydraulischen Formel  $Q = F \cdot v$  verhält sich dann die Querschnittsfläche stabil, während die Fließgeschwindigkeit variabel ist.

### 3.3 W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei stabilem Querschnitt, aber systematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten

Sehr viel aufwendiger, aber im Ergebnis durchaus fachlich noch vertretbar gestaltet sich die Abflussmengenmittlung an Pegeln mit stark streuenden Abflussmesswerten bei (relativ) stabiler Querschnittsfläche, aber heftig streuenden Fließgeschwindigkeiten.

In der hydraulischen Formel  $Q = F \cdot v$  verhält sich dann die Querschnittsfläche stabil, während die Fließgeschwindigkeit variabel ist.

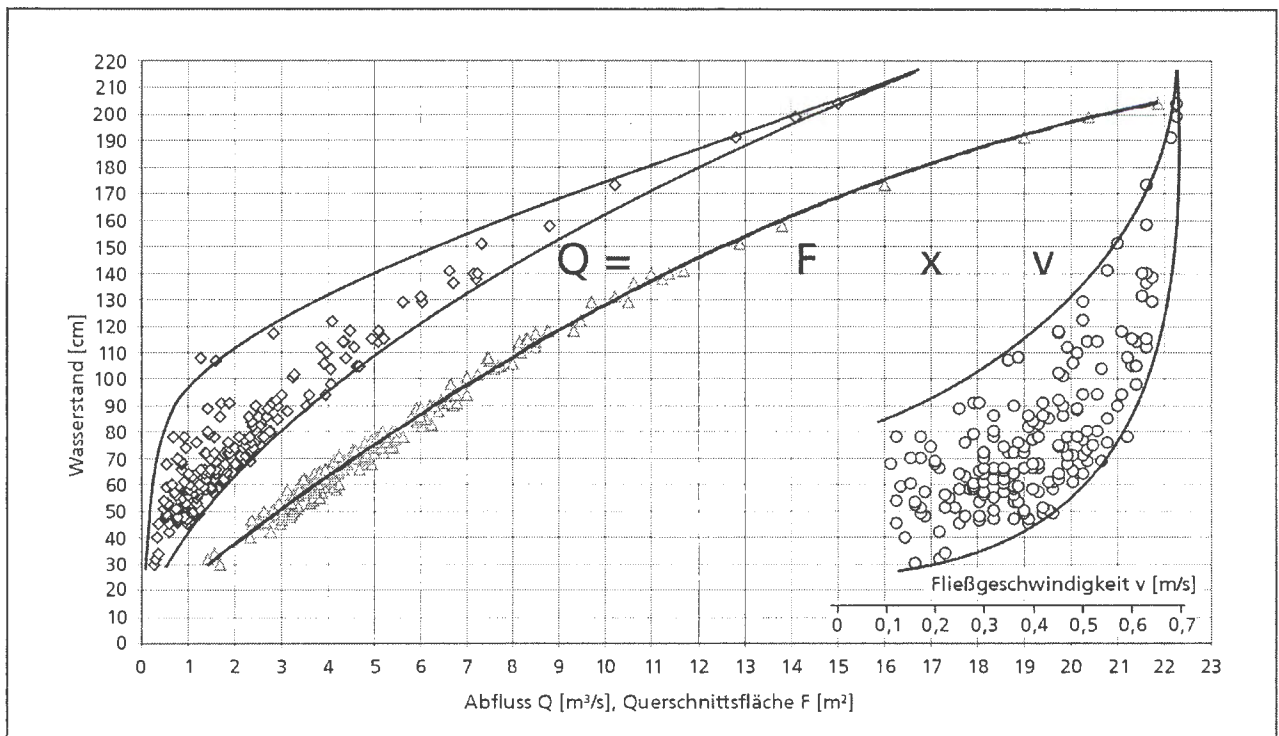


Abbildung 2: Streuungsbereiche von Abfluss, Querschnittsfläche und Fließgeschwindigkeiten an einem Eta-Pegel. Die starke Streuung der Abflusswerte ergibt sich aus den stark streuenden Fließgeschwindigkeiten, während die Querschnittsfläche als stabil betrachtet werden kann.

Unbedingte Voraussetzung hierbei ist jedoch neben der (relativ) stabilen Querschnittsfläche insbesondere eine nachvollziehbare Systematik bei der Änderung der Fließgeschwindigkeiten.

Im Regelfall trifft dies bei Krautwuchs in den Gewässern zu, aber auch bei bekannten und nachvollziehbaren Einflüssen aus dem Unterwasser, z.B. Wehre, Staue u.ä. treten ähnliche Verhältnisse auf.

Der Krautwuchs entsteht alljährlich wiederkehrend zum Sommer mit langsam und gleichmäßig zunehmendem Rückstau, die Fließgeschwindigkeit nimmt dabei langsam ab, der Wasserstand wird angehoben - häufig sogar bei geringer werdenden Abflüssen. Umgekehrt stirbt zum Winter hin das Kraut langsam ab, der Rückstau schwindet, die Fließgeschwindigkeit nimmt zu, die Wasserstände sinken - häufig sogar bei zunehmenden Abflüssen.

Beim gleichen Wasserstand kann also im Winter ohne Krautrückstau ein kleineres Hochwasser abgeführt werden, während im Sommer bei stärkstem Krautwuchs nur Niedrigwasser abfließt.

Speziell hierfür wurde das sogenannte Eta-Verfahren entwickelt. Es ermöglicht eine fortlaufende Anpassung der W-Q-Beziehung an die infolge Rückstau auftretenden Veränderungen der Fließgeschwindigkeiten, - eine relativ stabile Querschnittsfläche ist allerdings Voraussetzung.

Bei diesem Verfahren werden um den gesamten Streuungsbereich Umhüllende konstruiert, die beim jeweiligen Wasserstand den maximal möglichen und den minimal möglichen Abfluss angeben. Aus den zumeist monatlich durchgeführten Eichmessungen wird das Verhältnis des gemessenen Abflusses zu den Umhüllenden gebildet. Dieser sogenannte Eta-Wert (Hemmfaktor) stellt die aktuelle Abflusshemmung am Tage der Messung dar; aus der daraus entwickelten Eta-Ganglinie wird die saisonale Abhängigkeit erkennbar. Durch Interpolation zwischen den Messtagen wird die Abflusshemmung aller Tage ermittelt, mit der wiederum der gesuchte Tagesabfluss berechnet wird.

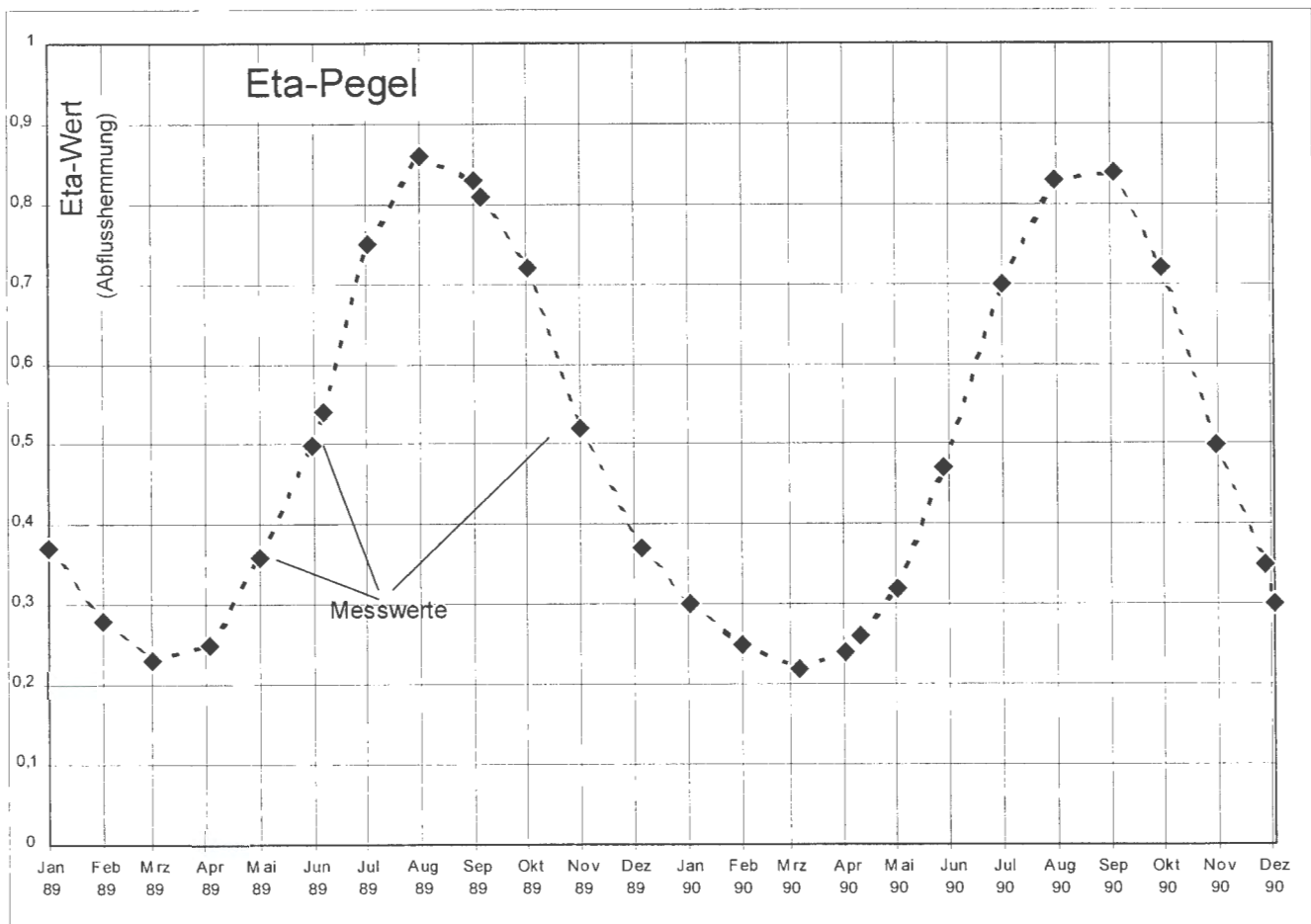


Abbildung 3: Eta-Ganglinie an einem Pegel mit stabiler Querschnittsfläche und systematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten. Erkennbar wird die saisonal bedingte langsame und gleichmäßige Veränderung der Abflusshemmung infolge Krautwuchs. Eine Interpolation zwischen den monatlich gemessenen Hemmwerten zwecks Ermittlung täglicher Hemmwerte erscheint in diesem Falle sinnvoll und richtig.

Sofern an einem Pegel nur diese Beeinflussung der Fließgeschwindigkeiten infolge Krautrückstau auftritt und die Querschnittsfläche stabil bleibt, liefert das Eta-Verfahren einigermaßen zufriedenstellende Werte.

Es sind allerdings mindestens monatlich personalintensive Abflussmessungen erforderlich, um die saisonalen Veränderungen einigermaßen zuverlässig zu erfassen. Zusätzlich müssen besondere Ereignisse wie Krautungen oder Hochwasser durch weitere Messungen belegt werden.

Wollte man einen derartigen Eta-Pegel sanieren mit dem Ziel, die exakte und weniger aufwendige feste W-Q-Beziehung einzusetzen, so müsste der temporäre Rückstau einfluss (streuende Fließgeschwindigkeiten) ausgeschaltet werden. Dies kann gelingen, wenn der Krauteinfluss (oder Wehreinfluss) vom Unterwasser her

eliminiert wird, z.B. durch Beschattung. Auch der Bau eines Sohlenabsturzes würde zum gewünschten Ergebnis führen. Aber, abgesehen von den Baukosten und abgesehen von Geländebedingungen, die nur selten eine derartige Absturzhöhe zulassen, würde ein derartiger Sohlenabsturz das natürliche ökologische Gleichgewicht des Gewässers massiv beeinträchtigen und die zu fordernde ökologische Durchgängigkeit unterbinden.

Große Erwartungen werden in diesem Zusammenhang in neue Messtechniken gesetzt, bei denen die Fließgeschwindigkeit kontinuierlich erfasst wird (Ultraschall bzw. Dopplerverfahren). Das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit und der Querschnittsfläche ergibt direkt den geforderten Abfluss, Voraussetzung ist aber eine stabile und jederzeit in allen Bereichen bekannte Querschnittsfläche.

### 3.4 W-Q-Beziehung mit streuenden Abflusswerten bei instabilen Querschnitten und unsystematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten - Problempegel -

Werden an einem Pegel stark streuende Abflussergebnisse, stark streuende - weil instabile - Querschnittsflächen und unsystematisch stark streuende Fließgeschwindigkeiten festgestellt, so besteht kaum eine Chance für einen sinnvollen Weiterbetrieb des Pegels.

Alles deutet auf eine Gemengelage unterschiedlichster temporärer Beeinflussungen mit jeweils unbekannter Wirkungsdauer und Wirkungsgröße hin. Hydraulisch bedeutet dies für die Formel  $Q = F \cdot v$  sowohl veränderliche Querschnittsflächen, als auch veränderliche Fließgeschwindigkeiten.

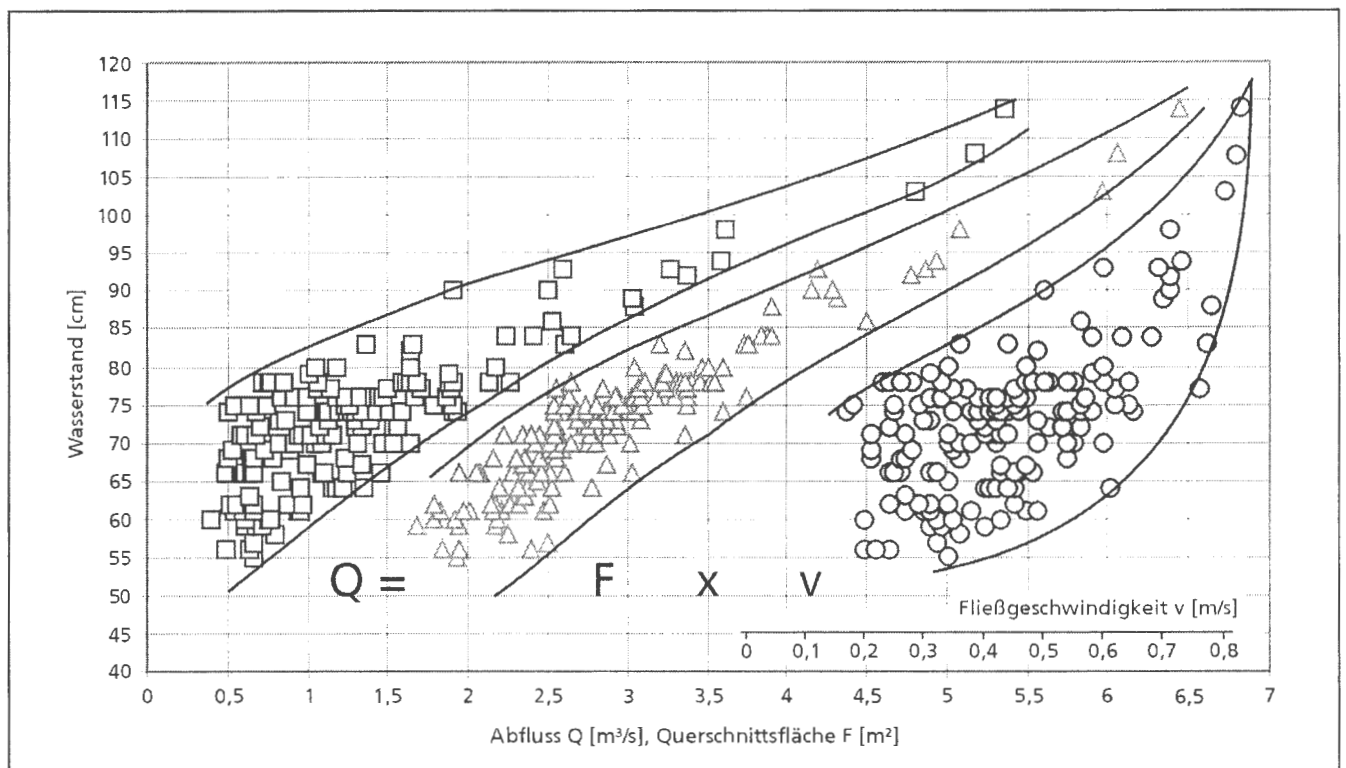


Abbildung 4: Streubereiche der Abflüsse, Querschnittsflächen und Fließgeschwindigkeiten an einem Problempegel. Die extremen Streuungen des Abflusses sind das Ergebnis extrem streuender instabiler Querschnittsflächen und extrem streuender unsystematischer Fließgeschwindigkeiten.

Betrachtet man zunächst nur die Querschnittsfläche so wird jedem, der kleinere naturbelassene Gewässer intensiver beobachtet hat, die Problematik bewusst:

- Die Gewässertiefe ändert sich fortlaufend, weil die Sohle ständig umgelagert wird, erodiert oder auf-landet, die Gewässerbreite wandelt sich ständig, weil Böschungen abreißen oder zulanden,
- Jeder anlandende Baumstamm, jeder eingebrachte größere Stein, jede Erosion, alles führt letztlich zu einer Veränderung der ursprünglichen Querschnittsfläche, selbst dann, wenn die Ablagerung oder die Erosion nicht direkt im Messquerschnitt sondern etliche Meter unterhalb desselben erfolgt,
- Bei grösseren Gewässern (  $MQ > 4-5 \text{ m}^3/\text{s}$  ) wirken sich diese üblicherweise auftretenden Einflüsse nicht mehr gravierend im Verhältnis zum Gesamtquerschnitt aus. Je kleiner jedoch das untersuchte Gewässer ist, desto schwerwiegender sind die Folgen dieser Querschnittsveränderungen, sehr schnell werden hier nicht mehr zu tolerierende Fehlerbereiche überschritten.

Bezieht man jetzt noch zusätzlich die unsystematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten in diese Betrachtung ein, so wird die Lage endgültig völlig verworren.

Denn jede oben beschriebene Veränderung des Quer-

schnittes hat aufgrund hydraulischer Gesetzmäßigkeiten eine Änderung der Fließgeschwindigkeit zur Folge. Tritt jetzt auch noch zusätzlich Rückstau (bzw. Sunk) aus dem Unterwasser infolge Kraut o. ä. auf, so vergrößert (verkleinert) sich erneut die Querschnittsfläche und erneut verändert sich damit die Fließgeschwindigkeit.

Unentwirrbar überlagern und beeinflussen sich an einem derartigen Pegel die unterschiedlichsten im Gewässer auftretenden Konstellationen. Messtechnisch ist dies kaum mehr erfassbar, zumal auch die Zeitpunkte für Beginn und Dauer dieser Veränderungen unbekannt sind und kaum mit monatlichen Messungen ermittelt werden können.

Dennoch wird an diesen Pegeln häufig das Eta-Verfahren eingesetzt, - ein Notbehelf, der oft sehr gefährlich sein kann. Denn die oben beschriebenen Veränderungen treten bei dieser Art Pegel nicht langsam und systematisch auf, sondern zumeist spontan und unsystematisch. Die auch hier mit monatlichen Eichmessungen ermittelte Hemmung kann nur völlig unzureichend die fortwährenden Veränderungen aller hydraulischen Parameter im Gewässer erfassen, schlimmer noch, das eingesetzte Rechenverfahren suggeriert häufig eine nicht vorhandene Datensicherheit, so dass kritische Plausibilisierungen zumeist unterbleiben.



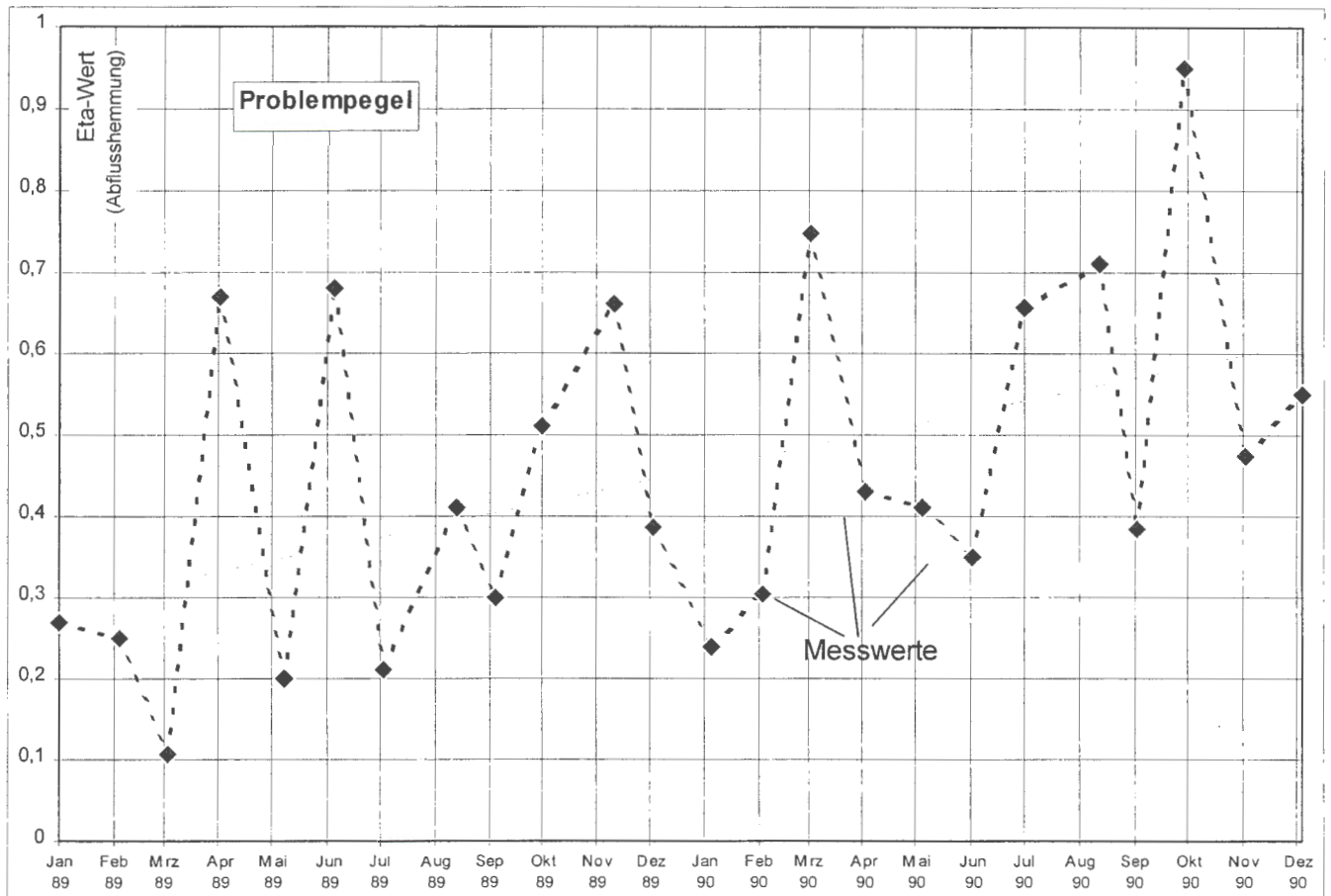


Abbildung 5: Eta-Ganglinie an einem Pegel mit instabilen Querschnittsflächen und unsystematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten. Erkennbar ist ein unregelmäßiger Gang als Gemengelage unterschiedlich ster temporärer Einflüsse mit jeweils unbekannter Wirkungsgröße und Dauer. Zusätzlich liegt hier sogar noch ein starker Trend vor. Eine lineare Interpolation zwischen den monatlichen Messungen zur Ermittlung täglicher Abflusshemmwerte erscheint kaum möglich

Es liegt also auf der Hand, dass die Daten derartiger Pegel voller Fehler stecken und nur mit äußerster Vorsicht verwendet werden können.

Im Prinzip könnte das Problem durch fortlaufende Abflussmessungen einschließlich fortlaufender Vermessung der Querschnittsflächen gelöst werden - nicht zuletzt wegen des hohen Personalaufwandes ist dies natürlich nicht realisierbar.

Auch die erwähnte neue Messtechnik mit Ultraschall ist bei derartigen Pegeln nicht sinnvoll einsetzbar, da zwar kontinuierlich die Fließgeschwindigkeit gemessen wird, die Querschnittsflächen aber variabel verbleiben.

Eine erfolversprechende Verbesserung der messtechnischen Bedingungen an diesen Problempegeln kann der-

zeit einzig durch Schaffung stabiler Querschnittsflächen erzielt werden.

Es werden dadurch (zunächst) Pegel mit stabilem Querschnitt, aber systematisch streuenden Fließgeschwindigkeiten (s. 3.3) geschaffen, - also mit dem Eta-Verfahren zu betreibende Pegel. Es besteht aber die begründete Hoffnung, dass nach der Sanierung noch weitergehende Verbesserungen eintreten, so dass schließlich feste W-Q-Beziehungen (s. 3.2) zum Einsatz kommen können. Denn viele dieser zu sanierenden Pegel erweisen sich bereits heute als krautfrei, des weiteren kann durch gezielte Beschattung der Krauteinfluss erheblich gemindert werden. Darüber hinaus bilden die sanierten Pegel mit ihren stabilen Messstromstrecken ideale Voraussetzungen für den Einsatz moderner Geräte zur kontinuierlichen Messung der Fließgeschwindigkeiten.

## 4. Ansätze zur Problemlösung

### 4.1 Stabile Messstromstrecken als Mindestanforderung für Abflusspegel

Die besonderen Merkmale des Problempegels sind instabile Verhältnisse aller hydraulischen Parameter. Wie oben gezeigt, haben dabei instabile Querschnitte einen dominierenden Einfluss auf die hydraulischen Vorgänge im Gewässer und somit auf die Genauigkeit bei der messtechnischen Ermittlung des Abflusses.

Hieraus folgt, dass ein Abflusspegel über einen stabilen Messquerschnitt verfügen muss, wobei dieser Messquerschnitt natürlich im gesamten auf die Messwerterfassung einwirkenden Gewässerbereich in gleicher Weise stabil sein muss, d.h. es ist eine genügend lange Messstromstrecke mit stabilen Verhältnissen zu schaffen.

Als Mindestanforderung wird dies mit der Messnetzstrategie für das neue GÜN-Pegelmessnetzes festgeschrieben.

Die Messstromstrecke muss folgende hydraulisch/messtechnische Anforderungen erfüllen:

- In Anpassung an die natürlichen Gegebenheiten ist ein stabiles Messgerinne zu schaffen, das durch hydraulisch günstige Profilierung eine in allen Wasserstands-bereichen hochsensible Bestimmung des zugehörigen Abflusses zulässt. Hierbei bilden neben den Abflusshauptwerten auch die von der Abflussmesstechnik vorgegebenen Sollwerte für Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe die wichtigsten Eingangsparmeter bei der hydraulischen Modellierung,
- Es sind sohlengleiche Übergänge im OW und UW vorzusehen. In der Messstromstrecke soll sich eine annähernd gleichmäßige Strömung ohne Wirbel und Wellen einstellen, Ablagerungen sollen vermieden werden,
- Je kleiner das Gewässer, um so gravierender wirken sich die üblichen zumeist naturbedingten Beeinflussungen aus, d.h. insbesondere an den kleinen Gewässern sind nahezu Laborbedingungen herzustellen,
- Bei größeren Gewässern mit einem mittleren Abfluss über 4 bis 5 m<sup>3</sup>/s wird der durch instabile Sohlen auftretende Fehler zumeist (relativ) gering, so dass hier auch wegen des erheblichen baulichen Aufwandes auf Sohlstabilisierungen verzichtet werden kann.



## 4.2 Fließgewässerökologische Grundlagen und Anforderungen bei der Planung von Abflusspegeln

Naturnahe Fließgewässerbiootope und ungestörte Gewässerprofile zeichnen sich im allgemeinen durch eine hohe Strukturvielfalt im Ufer- und Sohlenbereich mit einer ausgeprägten Breiten- und Tiefenvarianz und kleinräumig wechselnden Strömungsverhältnissen aus. Gerade eine vielfältig strukturierte Gewässersohle bildet mit ihrem Mosaik an Kleinlebensräumen und einem tiefgründig durchströmten Sohlsubstrat (Lückensystem = Interstitial) den Hauptlebensraum der naturraum- und standorttypischen Bach- und Flusslebensgemeinschaften. Dieser „Porenraum“ des Sohlsubstrates, der in ungestörten Gewässern sehr arten- und individuenreich besiedelt ist, wird oftmals tiefgründig durchströmt und steht zur Versorgung der hier lebenden Organismen mit Sauerstoff und z.T. auch mit Nahrung mit dem Oberflächenwasser in engem Kontakt.

Auch die v.a. aufwärts gegen die Strömung gerichteten Wanderungs- und Ausbreitungsbewegungen der aquatischen *Wirbellosenfauna* (u.a. zwecks Kompensation vorausgegangener Abdrift, Erschließen neuer Nahrungsquellen usw.) finden insbesondere in diesem nur leicht durchströmten Lückensystem des Gewässergrundes statt.

Darüber hinaus sind viele Jung- und Kleinfische der bachtypischen *Fischfauna* bei ihren Aufwärtswanderungen auf den Schutz eines vielgestaltigen Sohlsubstrates mit entsprechenden strömungsberuhigten Bereichen angewiesen.

Daher ist die Existenz eines standorttypischen, vielgestaltigen und durchgehenden Lückensystems im Bereich der Gewässersohle für die substratgebundene Fließgewässerfauna von entscheidender Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass viele (auch

kleinere) Bauwerke im Gewässerprofil mit den oftmals vorhandenen Sohlbefestigungen oder bereits kleine Absturzbauwerke mit nur geringen Absturzhöhen dieses idealerweise bestehende „Fließgewässerkontinuum“ verändern und die beschriebenen Wanderungsbewegungen erschweren bzw. verhindern können.

Es ist davon auszugehen, dass neben Sohlabstürzen, Wehranlagen, naturfernen Durchlassbauwerken, Verrohrungen usw. auch Pegelbauwerke bzw. Messstromstrecken mit ihren oft befestigten Sohlenbereichen - je nach Bauweise - als derartige *ökologische Sperren* wirken können, welche die ökologischen Funktionen des Gewässers beeinträchtigen und von vielen Gewässerbewohnern - wenn überhaupt - nur schwer überwunden werden können.

Die Beseitigung bzw. Umgestaltung solcher ökologischen Wanderungs- und Ausbreitungshindernisse und die „ökologische Optimierung“ bestehender Verbauungen und Bauwerke an unseren Gewässern ist ein grundsätzliches Anliegen des Fließgewässerprogramms - einem Renaturierungsprogramm des Landes Niedersachsen.

Dies gilt grundsätzlich - je nach Bauart - natürlich auch für Pegelanlagen und die entsprechenden Messstrecken.

Obwohl bei derartigen Pegelanlagen aus Gründen der Messgenauigkeit/-zuverlässigkeit ganz bestimmte messtechnische und hydraulische Kriterien erfüllt sein müssen (s.o.), lassen sich dennoch unter Berücksichtigung der kurz skizzierten fließgewässerökologischen Anforderungen umsetzbare Vorschläge und Hinweise zu Bau und (Um) Gestaltung derartiger Bauwerke machen - ohne an Messgenauigkeit zu verlieren.

## 4.3 Gestaltungs -und Bemessungsvorschläge für ökologisch durchgängige Messstromstrecken an Pegelanlagen

Entsprechend den Ausführungen zu Kreuzungsbauwerken (Inform. d. Naturschutz Niedersachs. 5/96) und gemäß den einschlägigen Richtlinien und Erfahrungen zum Bau von Pegelanlagen werden nachstehend umsetzbare Vorschläge und Hinweise zu Bau und (Um) Gestaltung von ökologisch durchgängigen stabilen Messstromstrecken an Pegelanlagen dargestellt, bei denen sowohl die fließgewässerökologischen als auch die messtechnisch/hydraulischen Anforderungen berücksichtigt werden können.

Zentrale Forderung aus ökologischer Sicht ist die biologische Durchgängigkeit, zentrale Forderung aus messtechnischer Sicht ist die stabile Messstromstrecke mit hydraulisch günstigen Abmessungen.

Kombiniert man jetzt diese Anforderungen beider Fachdisziplinen, so entsteht ein neuer Messstellentyp, der Pegel mit einer biologisch durchgängigen und stabilen, hydraulisch günstigen Messstromstrecke.

Zentrales Element bildet hierbei der „Wanderungskorridor“, -der mit ortstypischem Substrat befüllt- den ansonsten stabilisierten Sohlenbereich vom Ober- bis zum Unterwasser durchzieht und somit eine weitgehende Passierbarkeit auch für die aquatische Wirbellosenfauna erwarten lässt.

Die Realisierung einer derartigen durchgängigen Messstromstrecke erfordert bereits in der Planungsphase neben Berücksichtigung ingenieurmäßiger Aspekte der Hydraulik, Messtechnik, Stand- und Erosionssicherheit auch stets die Einbeziehung der ökologischen Aspekte durch gleichzeitige Prüfung aller konstruktiven Details oder gewählten Materialien auf ihre biologisch-ökologische Verträglichkeit und die angestrebte Durchgängigkeit.

Natürlich sind dabei die wasserbaulichen Grundsätze und Erfahrungen weiterhin anzuwenden, d.h. Sohle und Wandungen sind dauerhaft stabil auszubilden und die erosionsgefährdeten Übergänge zum OW und in besonderem Maße zum UW sind tiefgründig mit böschungseinbindenden sohlgleichen Quereinbauten zu sichern. Entscheidend ist dabei stets, dass die ökologische Durchgängigkeit sichergestellt wird.

Grundsätzlich gilt hierbei, dass sowohl die ökologischen als auch die messtechnisch/hydraulischen Anforderungen

in jedem Einzelfall in Abhängigkeit von der jeweiligen Gewässersituation zu betrachten sind, wobei auch die planungs- und genehmigungsrechtlichen Fragen berücksichtigt werden müssen.

### Länge der Messstromstrecke

Die Länge der Messstromstrecke ergibt sich (annähernd) aus der 4-fachen Gewässerbreite, jedoch > 8m, wobei der Messquerschnitt am Ende des ersten Drittels liegt.

### Abmessungen des Wanderungskorridors

Der Wanderungskorridor sollte etwa 1/3 der Sohlenbreite der Messstromstrecke einnehmen, jedoch mindestens 40 cm breit sein. Er sollte mit ortstypischem Sohlensubstrat gefüllt werden, oder – je nach Gewässerverhältnissen - aus einem Gemisch aus Fein-, Mittel- und Grobkies sowie einem kleineren Anteil an Steinen hergestellt werden. Anzustreben ist v.a. die Verwendung der Kornfraktion von 20 bis 30 mm Durchmesser. Die Substratmächtigkeit (Höhe) dieses Wanderungskorridors sollte 30 bis 40 cm betragen. Gegen Erosion ist der Wanderungskorridor mit durchlässigen Materialien sohlgleich zu sichern (z.B. Stahlnetz bzw. Gabionengeflecht).

### Gefälleverhältnisse

Die Gefälleverhältnisse innerhalb der Messanlage sollten sich grundsätzlich nicht wesentlich von den bestehenden Verhältnissen ober- und unterhalb des Bauwerkes unterscheiden.

Die hydraulische Berechnung mit nachstehenden Randbedingungen ergibt das Ausbaugesfälle der Messstromstrecke.

### Wassertiefe

Aus fließgewässerökologischer Sicht sollte innerhalb der Messstromstrecke eine durchgehende Mindestwassertiefe von 20 - 25 cm bei MQ nicht unterschritten werden.

Aus messtechnischen Gründen sollten alle Wassermengen bis zum MQ in einem Rechteckprofil erfasst werden. Eine Gliederung in unterschiedliche Profilarten kann

durch die messtechnisch erforderliche Mindestwassertiefe von 5 cm bei MNQ erforderlich werden. (Bei Einsatz von Ultraschallgeräten ist die Mindestwassertiefe des Herstellers zu beachten.

### Fließgeschwindigkeit

Grundsätzlich sollte sich die Fließgeschwindigkeit im Bereich der Messstromstrecke nicht wesentlich von den naturbelassenen Bereichen ober- und unterhalb des Bauwerkes unterscheiden.

Die Fließgeschwindigkeit bei MQ sollte aus messtechnischer Sicht etwa 0,4 bis 0,5 m/s (Schleppspannung, Ablagerungen) betragen. Fließgeschwindigkeiten >1 m/s bei MQ sind aus ökologischer Sicht zu vermeiden. Bei MNQ sollte die Fließgeschwindigkeit noch über 0,2 m/s liegen, um Flügelmessungen durchführen zu können.

### Messgenauigkeit

Um eine messtechnisch hinreichende Genauigkeit bei der Umsetzung von W in Q zu erzielen, sollte die Auflösung (Abflussänderung je cm W bei der zukünftigen Eichkurve) bei MNQ <15% und bei MQ <10% sein.

### Aufstau

Ein Aufstau im Oberwasser sollte grundsätzlich vermieden werden. In Abhängigkeit vom Einzelfall sollte er bei MQ < 5 cm und bei MHQ < 10 cm sein.

### Hochwasser

Ein HQ sollte nach Möglichkeit ohne Ausuferung messbar sein, wobei der gesamte Messbereich rückstaufrei und frei von Hindernissen aller Art sein sollte.

## 4.4 Gestaltungsbeispiele

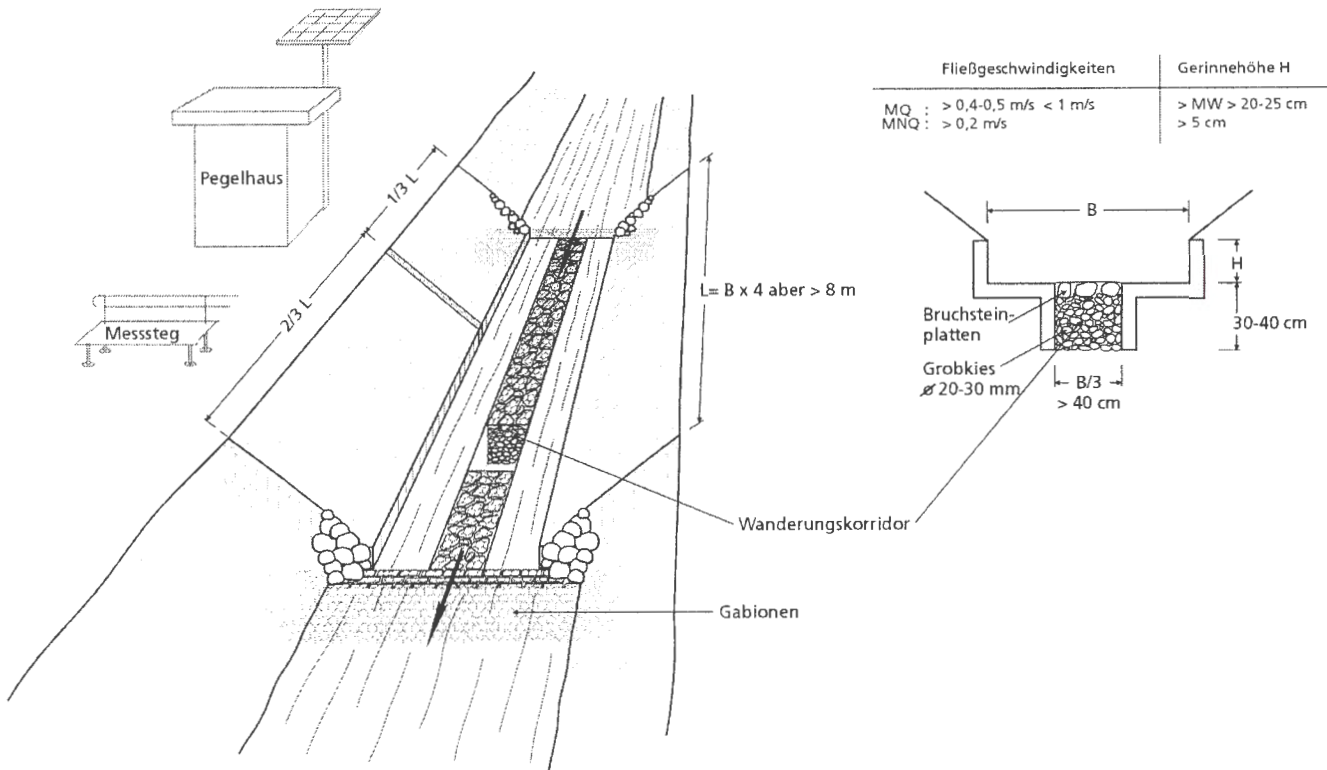
Konstruktiv bieten sich verschiedenste Lösungsmöglichkeiten an, die je nach Einzelfall und in Anpassung an die natürlichen örtlichen Gegebenheiten zu wählen sind.

Im nachstehenden Beispiel stabilisieren querliegende Steinkorbschwellen (Gabionen) die Übergangsbereiche der Messstromstrecke im Ober- und Unterwasser. Sie werden in Längsrichtung verbunden durch den "Wanderungskorridor", der ebenfalls als Steinkorb erstellt wird. Diese sohlengleich tiefgründig eingebauten und nur durch Stahlnetze zusammengehaltenen Schwellen aus geschichteten Bruchsteinen stehen mit dem aus ähnlichen durchgängigen Materialien befüllten Wanderungskorridor direkt in Verbindung, so dass auch der aquatischen Wirbellosenfauna eine Passierbarkeit der Messstromstrecke ermöglicht werden kann.

Bei der Materialwahl zur Stabilisierung der Messstromstrecke im Sohlenbereich ist im Idealfall eine möglichst naturnahe vielgestaltige Sohlstruktur anzustreben. Durchgehende oder abschnittsweise Betonierungen sollten nach Möglichkeit vermieden werden. Denkbar wären Naturpflastersteine oder Holzbohlen.

Die Rechteckböschungen könnten z.B. mit Pfahlreihen und/oder Holzpflechtzaun seitlich stabilisiert werden, die Trapezböschungen könnten durch geeigneten Bewuchs, oder ggf. mit Rasengittersteinen gesichert werden. Durch Beschattung kann der messtechnisch problematische Krautrückstau erheblich eingeschränkt werden.

## Gestaltungsvorschlag für ökologisch durchgängige Messstromstrecken an Pegelanlagen in kleinen Fließgewässern



### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Messnetzkonzeption für das neue GÜN-Pegelmessnetz soll eine Konzentration des Gewässerkundlichen Landesdienstes auf zentrale hydrologische Aufgaben ermöglicht werden. Eine Beschränkung auf zwingend notwendige Repräsentativpegel ist dabei vorgesehen.

Diese im GÜN-Messnetz verbleibenden Pegel erhalten aufgrund ihrer Repräsentativfunktion für eine gesamte Hydrologische Landschaft eine sehr viel höhere Wertigkeit mit einem sehr viel höheren Anspruch an die Datenqualität.

Allerdings erfüllt eine größere Anzahl dieser Pegel derzeit nicht die Qualitätsansprüche. Eine nachhaltige Verbesserung kann vielfach nur durch bauliche Sanierungsmaßnahmen erzielt werden.

Bei diesen in der Mehrzahl nur an Pegeln in kleineren

Fließgewässern durchzuführenden baulichen Maßnahmen, müssen fließgewässerökologische Anforderungen und messtechnisch, hydraulische Anforderungen berücksichtigt werden.

Ein Gestaltungsvorschlag zeigt hierzu Möglichkeiten auf. Insbesondere wird geteigt, wie die ökologische Durchgängigkeit mittels „Wanderungskorridor“ bei den zu errichtenden stabilen Messstromstrecken hergestellt werden kann.

Ein „Tauglichkeitsnachweis“ für diesen neuen Messstrelentyp steht allerdings noch aus. Erst aus den messtechnischen und funktionsökologischen Erkenntnissen und Erfahrungen, die mit der Errichtung derartiger Anlagen gewonnen werden, lassen sich weiterführende Verbesserungen ableiten.







