Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze

Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet des réseaux hydrométriques

J.W. van der Made †

CHR
KHR

Bericht Nr. II-5 unter Schirmherrschaft der KHR
Rapport no. II-5 sous l'égide de la CHR

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze

J.W. van der Made †
Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren Den Haag

CHR
KHR

Secretariaat CHR|KHR
Maerlant 16

Postbus 17
NL-8200 AA Lelystad
Niederlande

Bericht Nr. II-5 unter Schirmherrschaft der KHR

Originalsprache: englisch

ISBN 90-70 98-014-2

Kosten-baten beschouwingen ten behoeve van het ontwerpen van hydrologische meetnetten

Nederlandstalige gedeelten:
Samenvatting: blz. 65
Bijzonderheden CHR: blz. 70

Cost-benefit considerations for the design of hydrometric networks

English texts:
Summary: p. 65
Particulars CHR: p. 70

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Made, J.W. van der

Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze = Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet des réseaux hydrométriques / J.W. van der Made ; [übers. aus dem Englischen von E. Arnold ... et al.]. - Lelystad : CHR/KHR. - Ill. - (Bericht Nr. II-5 unter Schirmherrschaft der KHR = Rapport no. II-5 sous l'égide de la CHR)
Vert. van: Cost-benefit considerations for the design of hydrometric networks. - Geneva : World Meteorological Organization, 1990. - Tekst in het Duits en Frans.- Met lit. opg.
ISBN 90-70980-14-2
Trefw.: hydrologie ; Rijn.

Vorwort

Die Messung hydrologischer Parameter bildet die notwendige Grundlage für die operationelle Bewirtschaftung unserer Wasservorkommen, den Schutz dieser Wasservorkommen vor Übernutzung und Verschmutzung und den Schutz des Menschen vor schädigenden Wirkungen des Wassers. Einerseits kosten diese Messungen Geld, müssen doch vielfach Meßstationen gebaut und betrieben, Meßgeräte installiert und die erhobenen Daten bearbeitet und ausgewertet werden. Andererseits können die Wasserressourcen viel effizienter bewirtschaftet werden und die wasserbaulichen Schutzbauten kostengünstiger und umweltschonender erstellt werden, was sich in nichtmonetären Nutzen und monetären Nutzen äußert. Die Frage nach den Nutzen und Kosten der Erhebung hydrologischer Erhebungen ist deshalb international auch heute ein sehr aktuelles Thema. In den Anliegerstaaten des Rheins, wo hydrologische Meßnetze seit Jahrhunderten resp. mindestens seit Jahrzehnten betrieben werden, stellt sich diese Frage etwa in der Form: "Welche Meßstationen müssen im Minimum betrieben werden, um die gewünschten Informationen mit der benötigten Genauigkeit zu liefern?"

Leider gibt es heute hierzu noch keine allgemein gültige Patentlösung. Dr. J.W. van der Made zeigt im vorliegenden Bericht am Beispiel der Wasserstände ein erfolgversprechendes Vorgehen zur Beantwortung obiger Fragestellung auf. Anstelle von Nutzen und Kosten als Entscheidungsgrößen, die schwierig monetär zu quantifizieren sind, wählt er ein Vorgehen über die Bestimmung der Genauigkeiten von Messungen und Schätzwerten von Wasserständen als Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung. Das Meßnetz soll dabei so optimiert werden, daß an jeder Stelle des Einzugsgebietes der Wasserstand so genau abgeschätzt werden kann, daß der Standardfehler dieser Schätzung nicht größer ist als derjenige der Messungen an einer Meßstation. Anhand theoretischer Überlegungen und Herleitungen sowie an Fallbeispielen wird das Vorgehen und die Möglichkeiten der Abschätzung aufgezeigt.

Die Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) ist überzeugt, daß das vorgeschlagene Verfahren einen wertvollen Beitrag zur Lösung des Problems der Meßnetzoptimierung liefert. Der Wert der vorliegenden Publikation wird unserer Ansicht nach noch dadurch erhöht, daß die dargestellte Verfahren und Überlegungen weitgehend auf andere hydrologische Parameter übertragbar sind und somit der Anwendungsbereich erheblich ausgeweitet wird.

Die KHR dankt den Übersetzern und dem Sekretariat für ihre aufwendige Arbeit. Sie bedauert es sehr, daß Herr Dr. J.W. van der Made das Erscheinen dieses Berichtes nicht mehr erleben darf. Am 6. Oktober 1991 ist der verdienstvolle ehemalige Sekretär der Kommission leider viel zu früh verschieden. Sein Werk wird jedoch in der Welt der Hydrologen weiterleben.

M. Spreafico
Präsident der KHR

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungen

1. EINLEITUNG

Der Entwerfende eines Meßstellennetzes für Messungen hydrologischer Elemente braucht ein gewisses Kriterium, auf das die räumliche Meßnetzgestaltung aufbauen soll. In vielen Fällen ist solch ein Meßnetz mehr oder weniger beliebig im Laufe der Jahre gewachsen. Meßstellen wurden hinzugefügt, wenn vor Ort ein Bedarf bestand. Solch ein Meßnetz wird aber wahrscheinlich nicht über eine optimale Effizienz verfügen. Aus diesem Grund wurde gelegentlich ein bestimmter Wert ermittelt, der Fehler in interpolierten Werten nicht überschreiten darf, oder in jedem Fall nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit. Es hat sich aber herausgestellt, daß solch ein Wert kein objektives Kriterium ergab, es war wieder eine subjektive Bewertung, oft als "Ersatzkriterium" bezeichnet.

Ein besserer Weg, um ein optimales Meßnetz zu erhalten, ist die Anwendung sozialwirtschaftlicher Erwägungen. Ein Versuch zu einem solchen Ansatz wird in den nächsten Abschnitten besprochen.

2. BESTANDTEILE VON MESSNETZKOSTEN

Die Kosten eines Meßstellennetzes lassen sich aus den folgenden Komponenten zusammengesetzt sehen:

1) den Informationsverlustskosten, im Vergleich zu den Ergebnissen eines imaginären Universalmeßsystems;
2) den Einrichtungs-, Unterhaltungs-, Betriebs- und Datenverarbeitungskosten des Meßnetzes.

Der Punkt 1 erfordert eine Erläuterung. Ein imaginäres Universalmeßsystem (UMS) soll ein Meßsystem zu sein, das für jede Stelle in dem Gebiet, welches das Meßnetz umfaßt, Daten produzieren könnte, in solch einer Weise, daß die resultierenden Fehler so minimal wie möglich sind. Jede andere Meßnetzgestaltung würde zu größeren Fehlern führen als zu denen, die vom UMS produziert werden. Die Differenz zwischen den Fehlern in den Daten irgendeines Meßnetzes und denen in den UMS-Daten ist ein Maß für den Informationsverlust. Es ist üblich, die Fehler als Standardfehler, d.h. als Quadratwurzel aus der Summe von Quadraten aller Fehler, auszudrücken.

Um die Kosten für den Informationsverlust zu berechnen, sollte ein bestimmter Wert einem Einheitswert des Standardfehlers für eine Einheit des Gebietes, welches das Meßnetz umfaßt, zuerkannt werden. Wenn es zum Beispiel ein Meßnetz für die Messungen von Wasserständen, ausgedrückt in Längeneinheiten, z.B. in cm, betrifft und wenn die Meßstellen an eindimensionalen Wasserstraßen liegen, dann wird der Einheitsinformationsverlust in der Geldsumme pro Längeneinheit-Standardfehler und pro Längeneinheit der Wasserstraße ausgedrückt. Die gesamten Informationsverlustskosten folgen aus Multiplikation des Einheitsinformationsverlustes mit der Differenz zwischen den beiden Standardfehlern und mit der Gesamtlänge des vorliegenden Wasserstraßensystems. Der Einheitsinformationsverlust wird durch die Größe C_i dargestellt; seine Dimension ist $M \bullet l^{-2}$, wobei M in USD (US-Dollars), UKP (UK-Pfunden), hfl (holländischen Gulden) oder in irgendeiner anderen Währung angegeben wird und l eine Längeneinheit ist. Der Informationsverlust pro Längeneinheit (oder Gebietseinheit) A_i ergibt sich zu:

$$A_i = C_i \bullet \Delta\sigma \tag{2-1}$$

worin $\Delta\sigma$ die Differenz der genannten Standardfehler ist.

Im allgemeinen ist es schwierig, einen konkreten Wert von C_i zu ermitteln. Es hängt stark von örtlichen Verhältnissen ab, und die wirklichen Werte können oft kaum erkannt werden. In vielen Fällen wird ein eingehendes, sozialwirtschaftliches Studium erforderlich sein. In Kapitel 7 wird versucht, ein spezielles Beispiel zu geben.

Die Kosten, die für die Einrichtung und Verwaltung des Meßnetzes erforderlich sind, d.h. die unter Punkt 2 aufgeführten Kosten, können leichter bestimmt werden. Es soll hervorgehoben werden, daß alle betreffenden Kosten hier miteinbezogen werden sollen, d.h. die Erstellungs-, Unterhaltungs- und Betriebskosten der Meßstellen, aber auch die Kosten, verbunden mit Übertragung, Verarbeitung, Qualitätskontrolle, Veröffentlichung und Speicherung der Daten. Die Größe, durch die diese Kosten in den Kosten pro Meßstelle ausgedrückt werden, wird durch C_s dargestellt. Die gesamten Kosten dieser Komponente belaufen sich auf nC_s, wenn n die Anzahl der Meßstellen ist. Bei einer gesamten Länge des gemessenen Wasserstraßensystems von L sind die Unterhaltungskosten A_m (im weitesten Sinne) des Meßnetzes pro Längeneinheit:

$$A_m = \frac{n}{L} \bullet C_s \tag{2-2}$$

Der Abstand z zwischen zwei Meßstellen ist:

$$z = \frac{L}{n} \tag{2-3}$$

wodurch

$$A_m = \frac{C_s}{z} \tag{2-4}$$

Die wirtschaftlichste Lösung ergibt sich, wenn die Summe $A = A_i + A_m$ minimalisiert wird. Wir folgen diesem Ansatz, um ein optimales Meßnetz zu erlangen.

3. VERHALTEN DER STANDARDFEHLER

Das Verhalten der Standardfehler in bezug auf den Abstand zwischen den Meßstellen ist von wesentlicher Bedeutung für die Ermittlung des Informationsverlustswertes.

Wir betrachten eine Meßstelle, für die Wasserstände berechnet werden, die auf halbem Weg zwischen zwei anderen Meßstellen gelegen ist, wie in Abb. 1 gezeigt wird. Wir verwenden die Daten dieser äußeren Meßstellen.

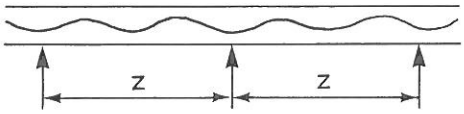

Abb. 1 Meßstelle auf halbem Weg zwischen zwei anderen Meßstellen

In der Nähe dieser Stelle erreichen die Modellfehler ihren maximalen Wert entlang der Strecke zwischen den Stationen.

Der Standardfehler der Differenz zwischen gemessenen und berechneten Werten wird definiert als:

$$\sigma^2 \Delta y = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\Delta y_i)^2}{N - 1} \tag{3-1}$$

wobei

$$\Delta y_i = \hat{y}_i - \underline{y}_i \tag{3-2}$$

$\hat{y}_i$ = ein geschätzter (oder berechneter) Wasserstand für die Meßstelle auf halbem Wege;
$\underline{y}_i$ = ein gemessener Wasserstand an der Meßstelle auf halbem Wege;
N = die Anzahl berechneter Werte in der Zeitreihe.

Meßfehler werden zunächst nicht berücksichtigt. Die verbleibenden Fehler sind auf die Inkorrektheit des Interpolationsmodells zurückzuführen.

Es kann bewiesen werden, daß sich der Standardfehler in diesem Fall berechnen läßt aus [Van der Made, 1988]:

$$\sigma^2\Delta y = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho(z) & \rho(2z) \\ \rho(z) & 1 & \rho(z) \\ \rho(2z) & \rho(z) & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho(2z) \\ \rho(2z) & 1 \end{vmatrix}} \sigma_y^2$$

$$= \frac{1 - 2\rho^2(z) + 2\rho^2(z) \bullet \rho(2z) - \rho^2(2z)}{1 - \rho^2(2z)} \sigma_y^2 \qquad (3\text{-}3)$$

wobei: $\rho(z)$ = der Korrelationskoeffizient zwischen den Wasserständen bei Abstand z;
$\rho(2z)$ = id., bei Abstand 2z;
σ_y = die Gesamtstandardabweichung des Wasserstandes y.

Die Beziehung zwischen den Korrelationskoeffizienten zwischen zwei Wasserständen und dem Abstand zwischen den Stellen, wo diese eintreten, hängt stark von den örtlichen Verhältnissen ab. Es ist angemessen, diese Beziehung, wenn möglich, in irgendeiner mathematischen Funktion auszudrücken. In vielen Fällen kann gezeigt werden, daß eine negative quadratische Exponentialfunktion eine gute Näherung ergibt.

Meßfehler wieder vernachlässigend, kann man dies schreiben als:

$$\rho(z) = \exp\left(\frac{-z^2}{D^2}\right) \qquad (3\text{-}4)$$

wenn D ein parametrisierter Abstand ist, der als Korrelationslänge bezeichnet wird. Dieser Abstand ist ein Maß für den Abbau der Korrelation bezogen auf den Abstand: ein großer D-Wert impliziert einen langsamen Abbau, also eine starke Korrelation der Wasserstände entlang der Wasserstraße. Mit einem kleinen D-Wert nimmt die Korrelation schnell ab.

Substitution der Gleichung (3-4) für z und für 2z in Gleichung (3-3) ergibt:

$$\sigma^2\Delta y = \frac{1 - 2\exp\left(\frac{-2z^2}{D^2}\right) + 2\exp\left(\frac{-6z^2}{D^2}\right) - \exp\left(\frac{-8z^2}{D^2}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-8z^2}{D^2}\right)} \sigma_y^2 \qquad (3\text{-}5)$$

Die Taylorentwicklung zu $\frac{z^2}{D^2}$ im Zähler und im Nenner führt, wenn höhere Ordnungsterme vernachlässigt werden, zu:

$$\sigma^2 \Delta y = \frac{16\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^3}{8\left(\frac{z^2}{D^2}\right)} \sigma_y^2 = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 \tag{3-6}$$

und

$$\sigma \Delta y = \sqrt{2}\left(\frac{z^2}{D^2}\right)\sigma_y \tag{3-7}$$

Dies bedeutet, daß bei den oben erwähnten Annahmen die Beziehung zwischen Standardfehler und Stationsabstand eine Funktion zweiten Grades ist, wenigstens für verhältnismäßig kleine Abstände in bezug auf D. Unser Interessengebiet fällt in diesem Bereich, da in praktischen Fällen D in der Größenordnung von einigen Hunderten von Kilometern liegt, während die von z einige Zehner von Kilometern beträgt.

4. MINIMALISIERUNG DER GESAMTKOSTEN

Wenn Meßfehler vernachlässigt werden, kann von UMS-Daten, (siehe Abschnitt 2), angenommen werden, daß sie einen Standardfehler von 0 haben. Dann kann die Differenz $\Delta\sigma$ der Gleichung (2-1) durch die Gleichung (3-7) ausgedrückt werden. Die Informationsverlustskosten können also entsprechend Abschnitt 2 dargestellt werden durch:

$$A_i = \sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z^2}{D^2}\right) \sigma_y \tag{4-1}$$

Die gesamten Kosten A des Meßnetzes ergeben sich aus der Summe von A_i und A_m (Gleichung 2-4), also:

$$A = \sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z^2}{D^2}\right) \sigma_y + \frac{C_s}{z} \tag{4-2}$$

Das Minimum wird ermittelt durch die Bedingung:

$$\frac{dA}{dz} = 0 \tag{4-3}$$

also:

$$2\sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z_o}{D^2}\right) \sigma_y - \frac{C_s}{z_o^2} = 0 \tag{4-4}$$

oder

$$z_o^3 = \tfrac{1}{4}\sqrt{2}\, \frac{C_s}{C_i} \bullet \frac{D^2}{\sigma_y} \tag{4-5}$$

Dieser Ausdruck für den optimalen Stationsabstand führt zu den folgende Schlußfolgerungen:

1. Der optimale Abstand z_o nimmt mit den Kosten pro Meßstelle (C_s) und mit der Korrelationslänge D zu, also mit der Größe der räumlichen Korrelation.
2. Der optimale Abstand z_o nimmt mit der sozialwirtschaftlichen Bedeutung ab, ausgedrückt durch C_i, und auch mit der gesamten Variabilität des vorliegenden Phänomens, gekennzeichnet durch σ_y.

Diese Schlußfolgerungen scheinen einleuchtend. Aber jetzt wurde gezeigt, daß sie durch Berücksichtigung der Grundtatsachen erklärt werden können.

5. EINFLUSS DER MESSGENAUIGKEIT

Bis hierher wurden Meßfehler als nicht existierend angenommen. Wenn sie berücksichtigt werden, sollte die Gleichung (3-6) wie folgt komplettiert werden:

$$\sigma^2 \Delta y = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2 \tag{5-1}$$

wobei:

ϵ = der Standardmeßfehler

Der letzte Term von Gleichung (5-1) ist die Summe der örtlichen Varianz der Messung ϵ^2 und der der betreffenden Stelle auf halbem Weg übermittelten Meßfehler der beiden angrenzenden Meßstellen, d.h.:

$$(\tfrac{1}{2}\epsilon)^2 + (\tfrac{1}{2}\epsilon)^2 = \tfrac{1}{2}\epsilon^2$$

Wenn wir eine Herleitung wie in Abschnitt 4 folgen, finden wir:

$$A = \sqrt{2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2 \bullet C_i} - \epsilon\sqrt{\frac{3}{2}} \bullet C_i + \frac{C_s}{z} \tag{5-2}$$

und, mit $\frac{dA}{dz} = 0$, führt dies nach einigen Umformungen zu:

$$\left[16\left(\frac{z_o^5}{D^4} \bullet \frac{C_i}{C_s}\right)^2 \sigma_y^2 - 2\frac{z_o^4}{D^4}\right]\sigma_y^2 = \frac{3}{2}\epsilon^2 \tag{5-3}$$

Dies ist eine Gleichung zehnten Grades für z_o, und es ist nicht möglich, einen expliziten Ausdruck für z_o abzuleiten. Deshalb soll sein Verhalten durch ein numerisches Beispiel erklärt werden.

Setzen wir z.B. die Korrelationslänge auf D = 100 km und die Gesamtstandardabweichung σ_y auf 1 m. Weiter berücksichtigen wir einen Kosten-Nutzen-Koeffizienten:

$$\alpha = \frac{C_s}{C_i} \tag{5-4}$$

Für mehrere Werte der Standardmeßfehler ϵ gibt es dann eine Beziehung zwischen α und dem optimalen Stationsabstand, wie in Abb. 2 gezeigt wird.

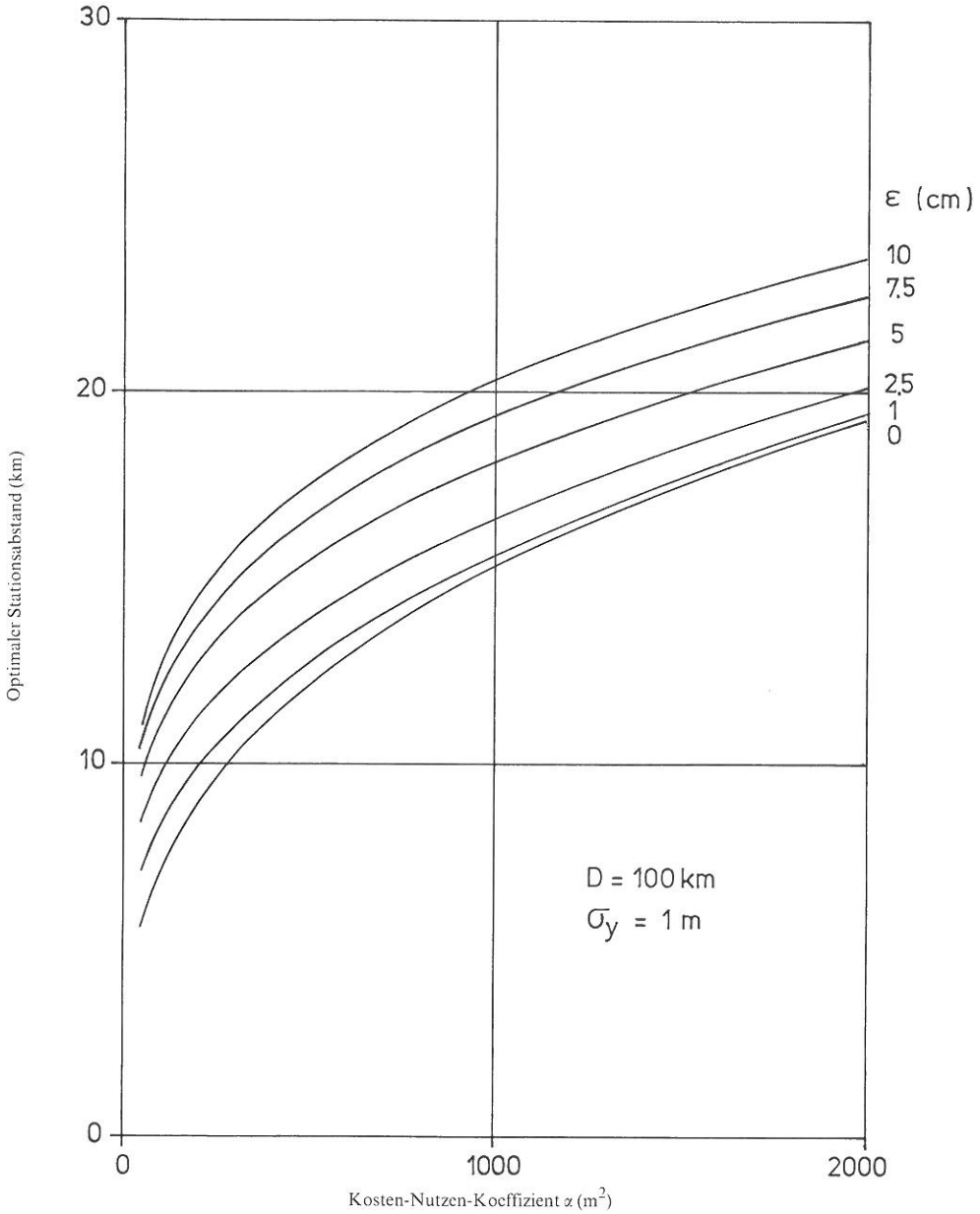

Abb. 2 Optimaler Stationsabstand vs. Kosten-Nutzen-Koeffizient α

Wenn z.B. die jährlichen Kosten einer Meßstelle, als eines Teiles des Meßnetzes, auf $ 20.000,-- veranschlagt werden und der Einheitsinformationsverlustswert auf $ 20,-- (pro mm Standardfehler und pro km Flußlänge, oder, was zu demselben Betrag führt, einfach pro m^2), dann gibt es einen Kosten-Nutzen-Koeffizienten von $\alpha = 1000\ m^2$. Bei einem Standardmeßfehler von $\epsilon = 5$ cm, wird dies zu einem optimalen Stationsabstand von $z_o = 18$ km führen.

In der Praxis könnte das anzuwendende Verfahren wie folgt aussehen. Zuerst sind die Werte σ_y und D zu ermitteln. Dies kann man durch eine statistische Auswertung der Daten in Zeit und Raum machen. Dann ist ein gemessener Wert des Standardmeßfehlers ϵ (in der Regel nicht kleiner als 2,5 cm) zu schätzen. Jetzt kann eine Kurve des Typs, wie in Abb. 2 gezeigt, konstruiert werden.

Für die Ermittlung des α-Koeffizienten müssen zuerst die jährlichen oder, wenn gewünscht, die kapitalisierten Kosten pro Meßstelle des Meßnetzes berechnet werden. Es handelt sich um alle Kosten im weitesten Sinne, z.B. Erstellungs-, Unterhaltungs- und Betriebskosten, aber auch um die Kosten, die mit der Übertragung, Verarbeitung, Qualitätskontrolle, Speicherung, Veröffentlichung und Weitergabe der Daten verbunden sind. Es ist ein intensives Studium erforderlich, aber zuverlässige Ergebnisse können erzielt werden.

Die Untersuchung des Einheitsinformationsverlustswertes ist eine viel schwerere Aufgabe. Sie erfordert ein Studium der Anwendungen der Daten (und der Anwender) und der Bedeutung, die die Daten wirklich besitzen. Wahrscheinlich könnte man am besten eine Situation mit den zur Zeit verfügbaren Daten vergleichen mit einer Situation mit überhaupt keinen Daten, und dann überlegen, welche zusätzlichen Kosten gemacht werden sollten. Auch empfiehlt es sich Ober- und Untergrenzen zu untersuchen, um die Sensitivität eines Ergebnisses abzuschätzen. Wenn z.B. im aufgeführten Beispiel sich der Informationsverlust auf Werte zwischen $ 15,-- und $ 25,-- beläuft, dann wird der α-Koeffizient zwischen 1333 und 800 variieren. Dies führt zu einem optimalen Stationsabstand zwischen 17 und 19 km, wobei die Unsicherheiten in den anderen Variablen nicht berücksichtigt sind.

Man kann diese Untersuchung des Meßnetzes für ein ganzes Land oder für einzelne Teilgebiete anstellen, z.B. für nicht tide- oder für tidebeeinflußte Fließgewässer und für Küstenbereiche. Der letztere Ansatz kann zu detaillierteren Ergebnissen führen, wenn die Eingabedaten für einzelne Gebiete ermittelt werden können. Wenn dies nicht möglich oder nicht zuverlässig ist, dann könnte bevorzugt der umfassende Ansatz angewendet und angenäherte Ergebnisse hingenommen werden.

6. DISKUSSION

Das in den vorhergehenden Abschnitten beschriebene Verfahren ist auf ein Meßnetz für Wasserstände in Flüssen, Mündungstrichtern und Küstenbereichen gerichtet. Es handelt sich um ein eindimensionales System. Im Prinzip kann die Technik auch auf Netze für andere hydrologische Variablen angewandt werden.

Ein eindimensionaler Ansatz ist anwendbar auf Meßnetze für Wasserführung, Wassertemperatur, Sedimenttransport und im allgemeinen auf alle Variablen, die mit einem Fluß oder Strom verbunden sind. Für wasserbilanzorientierte Variablen, wie Niederschlag, Abfluß, Evapo(trans)piration oder Grundwasserspeicherung sollte ein zweidimensionaler Ansatz erwogen werden. Dies hat eine gewisse Komplikation zur Folge, aber sie ist nicht unüberwindbar.

Das Verfahren ist ganz allgemein beschrieben worden. Jeder, der es anwenden will, sollte spezielle Information des betreffenden Landes oder Gebietes benutzen. Diese Daten werden hier nicht angegeben. Es ist der örtliche Betreiber eines Meßnetzes, der am besten die Informationen sammeln und weitergeben kann. Das Kapitel 7 enthält ein Beispiel eines praktischen Falles (aber nicht mehr als dies!). Es handelt sich um das Wasserstandsmeßnetz in den Niederlanden.

7. DAS WASSERSTANDSNETZ IN DEN NIEDERLANDEN

Abb. 3 Wasserstandsmeßstellen in den Niederlanden

Das Meßnetz umfaßt die großen Flüsse, das Deltagebiet im Südwesten des Landes und die Küstengewässer in den Niederlanden, wie in Abb. 3 angegeben. Meßnetze in Einzugsgebieten von Nebenflüssen und Poldergebieten werden hier nicht miteinbezogen.

Das Wasserstandsregime an den einzelnen Meßstellen ist stark wechselnd; es variiert von einer halbtägigen Gezeitenbewegung an der Küste und in den Gezeitenflüssen bis zu einem Flußregime in den oberen Flußläufen. Im letzten Fall unterscheidet man Flüsse mit ungestauter Wasserführung und kanalisierte Flüsse mit Stauanlagen. Wenn man auf den Zeitmaßstab verzichtet, kann man behaupten, daß der Mittelwert für die Gesamtstandardabweichung der Wasserstände annähernd 1 m beträgt. Weiter wurde festgestellt, daß der Standardmeßfehler auf etwa 2,5 cm geschätzt werden kann [Van der Made, 1988, Kap. 3].

Das derzeitige Meßnetz besteht aus etwa 100 Meßstellen, die an einem Wasserstraßensystem von etwa 2000 km stationiert sind. Dies impliziert einen mittleren Stationsabstand von 20 km. Statistische Studien haben gezeigt, daß mit den Daten dieser Meßstellen sich der Wasserstand an jeder Stelle berechnen läßt, wenn man eine mehrfache, lineare Regressionstechnik anwendet, mit einer Standardfehlerschätzung von nicht mehr als 2,5 cm, die dem Standardmeßfehler enspricht. Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Werten haben also eine Variation von $2{,}5^2 + 2{,}5^2 = 12{,}5\ \text{cm}^2$.

Die Korrelationslänge D ist auch von Ort zu Ort und von Gebiet zu Gebiet verschieden. Durch Anwendung von Gleichung (5-1) wurde ein ungefähr mittlerer Wert geschätzt:

$$\sigma^2 \Delta y = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2$$

mit den folgenden Daten:

$$\begin{aligned}
\sigma^2\Delta y &= 12{,}5\ \text{cm}^2 = 0{,}00125\ \text{m}^2 \\
\epsilon &= 2{,}5\ \text{cm} = 0{,}025\ \text{m} \\
\sigma_y &= 1\ \text{m} \\
z &= 20\ \text{km} = 20.000\ \text{m}
\end{aligned}$$

dies führt zu:

$$D = 178\ \text{km}$$

In einer konkreten Untersuchung [Van der Made, 1988] wurde für die Westerschelde ein Wert von 139 km ermittelt, aber für nicht tidebeinflußte Flußregime sind größere Werte zu vermuten. Für das gesamte Land erscheint der genannte Wert auf D = 180 km aufgerundet zur weiteren Verwendung annehmbar.

Jetzt werden die wirtschaftlichen Variablen C_s und C_i erörtert. Für die jährlichen Kosten wurde folgendes errechnet (in holländischen Gulden):

Investition für eine Meßstelle	hfl 0,2 Millionen	
Investition für 100 Meßstellen	20 Millionen	
Computer + Datenübertragungssystem	2 Millionen	
	hfl 22 Millionen	
d.h. jährlich, zu 5% Zinssatz		hfl 1,1 Millionen
Abschreibung auf 20 Jahre mit 3,5% [1]		0,8 Millionen
10 Mitarbeiter zu hfl 100.000,--		1,0 Millionen
	annähernd	hfl 3 Millionen

oder C_s = hfl 30.000,-- pro Meßstelle pro Jahr.

Zur Abschätzung des Wertes der Daten wurde ein Unterschied in den verschiedenen Anwendungen gemacht. Einige Werte konnten mit einem ziemlich hohem Grad der Zuverlässigkeit ermittelt werden, aber für andere konnte nur eine versuchsweise Näherung angegeben werden. Das Ergebnis ist wie folgt:

- Schiffahrt
  a) Frachtverschiffung: Genauere Wasserstandsdaten ermöglichen es, Lastkähne tiefer zu beladen. Der Gewinn wurde auf hfl 400.000,.-- pro cm Standardfehler/Jahr geschätzt [Van der Made, 1988, Abschnitt 2.2].
     Für den Fall, daß das ganze Meßnetz den Standardfehler um 1 m reduziert, bedeutet dies, daß der Wert dieses Gewinns auf 100 x hfl 400.000,-- = hfl 40 Millionen geschätzt werden kann.

  b) Zeitverlust durch länger andauernde Schleusungen aus Mangel an Wasserstandsinformationen
     Annahme: 10 Minuten Verlust pro Tag pro Schiff, und N Schiffe pro Tag sind beteiligt. Dies bedeutet einen Verlust von 3000 N Minuten/Jahr.
     1 Minute kostet für 3 Leute = 1/20 Stundenlohn = 1/20 x hfl 40,-- = hfl 2,--
     was zu hfl 6000,-- N/Jahr führt.
     In den Niederlanden sind etwa 20.000 Binnenschiffe registriert, von denen ein Drittel still liegt, sich ein Drittel im Ausland (Deutschland, Belgien, Frankreich) aufhält und ein Drittel niederländische Gewässer befährt, d.h. = 7000 Schiffe + 1000 ausländische Schiffe = 8000 Schiffe. Die Hälfte dieser Schiffe befährt die großen Flüsse, so daß N = 4000, was zu einem Wert von b) von hfl 6000,-- x 4000 = hfl 24 Millionen führt.

  c) Aus Informationsmangel auf Grund gelaufen. Angenommene Dauer des Ausfalls: 1 Tag.
     Kosten:

8 St. x Stundenlohn x 3 Leute	
8 St. x hfl 40,--/St. x 3	hfl 960,--
Miete Schlepper	500,--
	hfl 1.500,--
Gesperrte Durchfahrt für 0,1 N Schiffe:	
0,1N x 8 St. x hfl 40,--/St. x 3	hfl 385.000,--
Für 10 Ausfälle jährlich Wert c)	hfl 4 Millionen

  d) Ausfälle von Fähren
     Wert d) geschätzt — hfl 2 Millionen
     Schiffahrt: Gesamtwert a + b + c + d = — hfl 70 Millionen pro Jahr

[1] Da $(1 + 0{,}035)^{20} - 1 = 1$ wird ein Prozentsatz von 3,5% für eine Abschreibungsperiode von 20 Jahren angewandt.

- Sicherheit
  Bemessungshöhen von Schüttdämmen können anhand von Messungen während 50 Jahren bestimmt werden. Wenn das Meßnetz den Standardfehler um 1 m (d.h. 2σ um 2 m) reduziert, dann können die Schüttdämme 2 m niedriger ausgeführt werden. Dies entspricht einem Schüttdammquerschnitt von 200 m^2, was für 1000 km Schüttdämme bedeutet:

  100.000 x 200 m^3 = $200 \cdot 10^6$ m^3 (siehe Abb. 4).

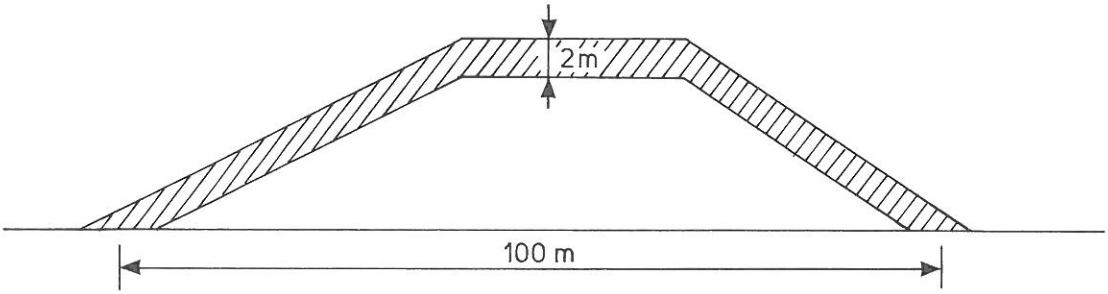

Abb. 4 Einfluß von Schüttdammhöhe auf ihre Querschnittsfläche

Zum Preis von hfl 5,--/m^3 bedeutet dies:

hfl 5,-- x 200 Millionen = hfl 1000 Millionen	
Über 50 Jahre verteilt:	
jährliche Kosten:	hfl 20 Millionen
Verminderung von sozialwirtschaftlichen Werten (geschätzt)	hfl 10 Millionen
Sicherheitsnutzen des Meßnetzes	hfl 30 Millionen pro Jahr

- Wasserwirtschaft
  Die Wasserhaushaltspolitik, entsprechend dem kürzlich erschienenen Bericht über Wasserhaushalt [Rijkswaterstaat, 1985] zufolge, wird einen geschätzten jährlichen Nutzen von hfl 125 Millionen produzieren. Zuverlässige Daten sind eine Grundbedingung um dies zu erreichen. Auf dieser Grundlage und aufgrund ständiger Anwendung der Daten wird der jährliche Wert der Daten für die Wasserwirtschaft auf **hfl 25 Millionen** geschätzt. Für derartige Anwendungen werden Wasserstände zur Abflußermittlung anhand von Abflußkurven benutzt.

- Überschwemmung der Vorländer über eine Länge von 1000 km
  Dies könnte einen Verlust von 1% von 10.000 Rindern verursachen zu einem Einheitspreis von hfl 3000,--, d.h. hfl 300.000,--. Weitere geschätzte Kosten können für Erholung, Campingplätze hfl 700.000,-- betragen. Gesamt jährlich **hfl 1 Million**.

- Wasserversorgungsunternehmen
  Produktionskosten hfl 500 Millionen pro Jahr. Der Wert der Daten wird auf 1% = **hfl 5 Millionen** pro Jahr geschätzt.

- Industrie
  Räumung überfluteter Lager auf Kaianlagen auf **hfl 5 Millionen** pro Jahr geschätzt.

- Ungenügende Kenntnisse von Flußrauhigkeitsdaten (K-Werten) wichtig für Flußprojekte, grob geschätzt auf **hfl 5 Millionen** pro Jahr.

Jährlicher Gesamtwert:

Schiffahrt	hfl 70	Millionen
Sicherheit	30	"
Wasserwirtschaft	25	"
Überschwemmte Vorländer	1	"
Wasserversorgung	5	"
Industrie	5	"
Flußprojekte	5	"
Sonstiges	9	"
	hfl 150	Millionen

Dieser Wert impliziert den Informationsverlust für eine Standardabweichung von 1 m und über eine Länge von etwa 2000 km = $2 \cdot 10^6$ m. Ein Einheitsinformationsverlust läßt sich jetzt bestimmen zu:

$$C_1 = \frac{150 \cdot 10^6}{1x2 \cdot 10^6} = 75\ hfl \cdot m^{-2}$$

Dies führt zu einem Verhältnis, wie in Gleichung (5-4) angegeben:

$$\alpha = \frac{C_s}{C_1} = \frac{30.000}{75} = 400\ m^2$$

Anwendung von Gleichung (5-3), um den wirtschaftlichen, optimalen Meßstellenabstand zu berechnen, führt zu:

z_o = 20,7 km

was fast der derzeitige, mittlere Stationsabstand ist. Bei einer Wasserstraßenlänge von 2000 km bedeutet dies 97 Meßstellen.

Jetzt soll untersucht werden, inwieweit dieses Ergebnis empfindlich für Abweichungen von der aufgeführten Schätzung ist. Abb. 5 zeigt den optimalen Stationsabstand:

A. vs. den Kosten-Nutzen-Koeffizienten α
B. vs. den Standardmeßfehler ϵ
C. vs. die Korrelationslänge D
D. vs. die Gesamtstandardabweichung σ_y

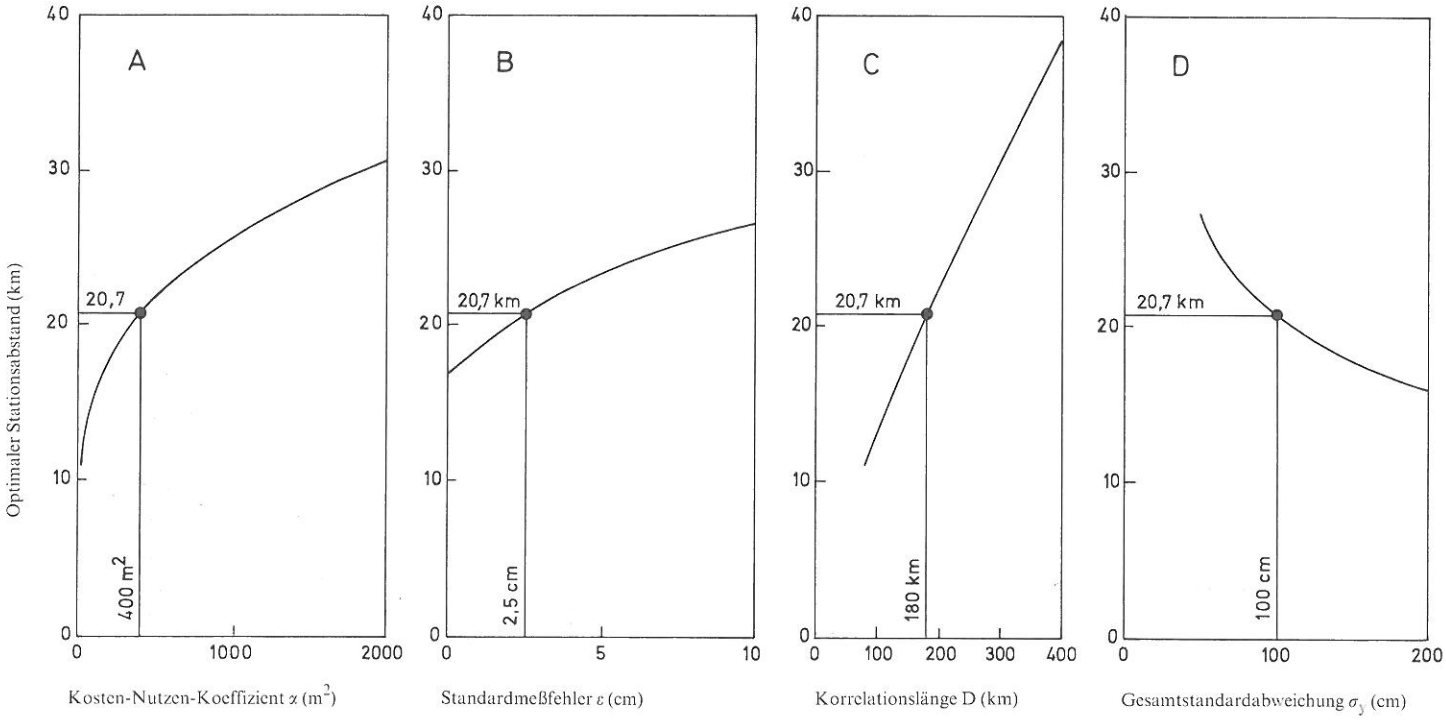

Abb. 5 Empfindlichkeit des optimalen Meßstellenabstandes vs. verschiedene Parameter

Der optimale Meßstellenabstand ist am empfindlichsten gegenüber der Korrelationslänge D und nicht gegenüber den wirtschaftlichen Faktoren ausgedrückt durch α. Andere α-Werte würden zu den folgenden optimalen Abständen führen:

α = 200 m^2; z_o = 17,8 km (112 Meßstellen)
α = 800 m^2; z_o = 24,3 km (82 ")

Sogar eine wesentliche Änderung von α wird nur eine eingeschränkte Wirkung auf den optimalen Meßstellenabstand haben, also auf die optimale Anzahl von Meßstellen. Dasselbe trifft für den Standardmeßfehler ϵ (Abb. 5-B) und für die Gesamtstandardabweichung σ_y (Abb. 5-D) zu. Die Korrelationslänge D (Abb. 5-C) hat eine größere Auswirkung, so daß diesem Parameter viel Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte. Im vorliegenden Fall ist das kein Problem, da die Korrelationsstruktur durch örtliche Untersuchung des Meßnetzes genügend berücksichtigt worden ist. Aber im allgemeinen erfordert ihre Ermittlung ein sorgfältiges Studium.

8. SCHLUSSFOLGERUNG

Wir können zu der Schlußfolgerung gelangen, daß das derzeitige Wasserstandsmeßnetz in den Niederlanden ziemlich gut dem wirtschaftlichen Optimum entspricht. Mögliche Preisschwankungen werden das Ergebnis nicht erheblich beeinflussen, da die Währungselemente, d.h. die Variablen C_i und C_s, sich auf ihr Verhältnis, α, gleich auswirken. Außerdem ist der Einfluß dieses Koeffizienten kleiner als der Einfluß der Korrelationsstruktur der Daten. Dies ist ein glücklicher Umstand im Hinblick auf die Probleme, die die Abschätzung des wirtschaftlichen Wertes mit sich bringt.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Ein Meßstellennetz hat den Zweck, Informationen über eine hydrologische Variable bereit zu stellen. Einerseits wäre es möglich, durch ein sehr dichtes, und dadurch kostspieliges Netz ein Maximum an Informationen zu erhalten. Andererseits würde ein weniger dichtes Netz zu einem gewissen Informationsverlust, aber zu niedrigeren Kosten führen. Das Problem wird der besten Lösung zugeführt, wenn die Summe aus Informationsverlust und Meßnetzkosten auf ein Minimum reduziert wird. Die Dichte eines solchen optimierten Meßnetzes ist von vier Faktoren abhängig:

1. dem sozialwirtschaftlichen Wert der Daten;
2. den Kosten eines Einheitsmeßnetzes;
3. der Korrelationsstruktur des vorliegenden Phänomens;
4. der zeitlichen Variabilität des Phänomens.

Die Faktoren 1 und 4 neigen zur Zunahme der Dichte, die Faktoren 2 und 3 zur Verringerung.

Ein Wasserstandsmeßnetz wird in einem Beispiel erörtert.

LITERATURVERZEICHNIS

MADE, J.W. VAN DER (1988): Analysis of some criteria for design und operation of surface water gauging networks. Rijkswaterstaat Communications. Nr. 471/1988, Den Haag.

RIJKSWATERSTAAT (1985): De waterhuishouding van Nederland 1984. (Watermanagement in the Netherlands 1984). Den Haag.

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet des réseaux hydrométriques

J. W. van der Made †
Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren Den Haag

Secretariaat CHR|KHR
Maerlant 16

Postbus 17
NL-8200 AA Lelystad
Pays-Bas

Rapport no. II-5 sous l'égide de la CHR

Langue originale: anglais

ISBN 90-70 98-014-2

Kosten-baten beschouwingen ten behoeve van het ontwerpen van hydrologische meetnetten

Cost-benefit considerations for the design of hydrometric networks

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Made, J.W. van der

Kosten-Nutzen-Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze = Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet des réseaux hydrométriques / J.W. van der Made ; [übers. aus dem Englischen von E. Arnold ... et al.]. - Lelystad : CHR/KHR. - Ill. - (Bericht Nr. II-5 unter Schirmherrschaft der KHR = Rapport no. II-5 sous l'égide de la CHR)
Vert. van: Cost-benefit considerations for the design of hydrometric networks. - Geneva : World Meteorological Organization, 1990. - Tekst in het Duits en Frans.- Met lit. opg.
ISBN 90-70980-14-2
Trefw.: hydrologie ; Rijn.

Préface

La mesure de paramètres hydrologiques constitue la base indispensable, aussi bien à la gestion opérationnelle de nos ressources en eau, qu'à leur protection contre la surexploitation ou contre la pollution. Mais en même temps, la mesure de ces paramètres hydrologiques est tout aussi indispensable quand il s'agit de nous protéger contre certains effets dévastateurs des eaux. D'une côté, évidemment, ces mesures coûtent de l'argent, il faut construire et entretenir des stations de mesure, y installer des instruments, élaborer et exploiter les données obtenues. Mais d'un autre côté aussi, les ressources en eau peuvent être gérées de façon beaucoup plus efficientes et les ouvrages de protection fluviaux construits de façon plus économique et moins agressive vis-à-vis de l'environnement. Même si, comme pour ce dernier point, certains avantages obtenus ne s'expriment pas toujours facilement en termes monétaires, la question de l'analyse des coûts et bénéfices de données hydrologiques est un thème suscitant actuellement un large intérêt sur le plan international. Dans les pays riverains du Rhin, où des réseaux de mesures hydrologiques sont en services depuis plusieurs décennies quand ce n'est pas plusieurs siècles, la question se pose plutôt dans les termes suivants: "Quel ensemble minimum de stations doit être maintenu en service, pour continuer d'obtenir l'information souhaitée, avec la précision nécessaire?".

Bien qu'il n'existe malheureusement toujours pas de solution idéale à ce problème, J.W. van der Made nous a indiqué dans le présent ouvrage une voie prometteuse devant permettre de répondre au type de questions évoquées ci-dessus, en prenant pour exemple les niveaux d'eau. Au lieu de s'en tenir aux notions habituelles de coûts et bénéfices, qui impliquent une quantification monétaire souvent délicate, il a choisi une procédure utilisant des déterminations de la précision des mesures ou évaluations des niveaux d'eau, jouant le rôle de valeurs auxiliaires dans la prise de décision. Le réseau de mesure doit alors être optimisé de façon à ce que partout dans le bassin versant, le niveau d'eau puisse être estimé avec une précision telle que l'erreur-type de l'estimation ne dépasse pas celle des mesures à une station. A l'aide de considérations et de dérivations théoriques, tout en s'appuyant sur des cas pratiques, l'auteur expose le procédé et ses possibilités d'application.

La Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin (CHR) est persuadée que la méthode ainsi proposée constitue une contribution très valable à la solution du problème de l'optimisation des réseaux. L'intérêt de la présente publication est, selon nous, encore accru du fait que la méthode et les considérations exposées ici sont dans une grande mesure transférables à d'autres paramètres, ce qui en élargit considérablement le domaine d'application.

La CHR exprime sa gratitude aux traducteurs ainsi qu'au secrétariat pour leurs travaux très étendus. La CHR regrette infiniment qu'il n'ait pas été donné à Monsieur J.W. van der Made de voir paraître ce rapport. Le destin en a voulu autrement, ce remarquable ancien secrétaire de la Commission a en effet disparu, bien prématurément, le 6 octobre 1991. Il ne fait aucun doute que son oeuvre lui survivra dans le monde des hydrologues.

M. Spreafico
Président de la CHR

TABLE DES MATIÈRES

Figures

1. INTRODUCTION

La planification d'un réseau de stations hydrométriques requiert un certain ensemble de critères sur lequel baser la configuration spatiale du réseau. Dans beaucoup de cas, un tel réseau s'est développé plus ou moins arbitrairement, au cours des années, et des stations y ont été ajoutées selon les besoins. Cependant, il se peut qu'un réseau ne présente pas toujours un optimum d'efficacité. C'est pourquoi on a parfois accepté certaines valeurs, dont les erreurs d'interpolation ne pouvaient excéder un certain niveau acceptable, ou bien, du moins, avec une probabilité faible. Mais, il est apparu qu'une telle valeur ne donnait pas le vrai critère, mais constituait de nouveau une acceptation arbitraire, souvent indiquée comme un "critère succédané".

Une meilleure manière d'obtenir un réseau optimal réside dans l'application de considérations socio-économiques. On discutera d'une telle approche dans les chapitres suivants.

2. LES ÉLÉMENTS DES FRAIS DE RÉSEAU

Les frais d'un réseau de stations hydrométriques dépendent des éléments constitutifs suivants:

1) Les frais de la perte d'information, si on les compare aux résultats d'un système imaginaire universel de mesure.
2) Les frais de construction, de maintenance et d'opération et d'intégration des données du réseau.

Le premier élément requiert une explication. Un système imaginaire universel de mesure (SIUM) est présumé être un système pouvant produire, pour tout endroit de la région couverte par ce réseau, des données avec comme résultat un minimum d'erreurs possibles. Toute autre configuration de réseau mènerait à plus d'erreurs que celles produites par SIUM. La différence entre les erreurs des données d'un réseau quelconque et celles des données de SIUM est une mesure de la perte d'information. Il convient d'exprimer les erreurs en écart-type, c'est à dire la racine carrée de la somme de toutes les erreurs individuelles au carré.

Pour calculer les frais de la perte d'information, une valeur monétaire doit être affectée à une unité d'écart-type et à une unité géographique de ce réseau. Si, par exemple, il s'agit d'un réseau de mesure de niveaux d'eau, exprimés dans des unités de longueur, par exemple en centimètres, et si les stations sont situées le long de voies d'eau uni-dimensionnelles, alors l'unité de perte d'information est exprimée par la somme d'argent par unité d'écart-type de niveau et par unité de longueur de voie d'eau. Les frais totaux de la perte d'information s'obtiennent par la multiplication de la perte d'information d'unité (différence dans les écart-types) par la longueur totale du système de voie d'eau considéré. L'unité de perte d'information est donnée par l'expression C_i; la dimension est $M \bullet l^{-2}$, où M est donné en dollars américains, livres anglaises, florins hollandais ou toute autre monnaie et l est l'unité de longueur. La perte d'information par unité de longueur (ou d'aire) A_i est donnée par:

$$A_i = C_i \bullet \Delta\sigma \tag{2-1}$$

où $\Delta\sigma$ est la différence des écarts-types mentionnées.

En général, il est difficile de trouver une valeur concrète de C_i. Cela dépend fortement des conditions locales et souvent c'est à peine si on parvient à connaître les valeurs réelles. Dans beaucoup de cas, il sera nécessaire de faire une étude socio-économique détaillée. Au chapitre 7 nous ferons une tentative dans ce domaine en donnant un exemple.

Les frais nécessaires pour établir et gérer le réseau, c'est à dire les frais mentionnés en 2) peuvent être déterminés plus facilement. Il faut insister sur le fait que tous les frais en question doivent être pris en considération ici, c'est à dire ceux de la construction, de la maintenance et du fonctionnement des stations, mais aussi ceux de transfert des données, d'intégration des données, du contrôle de la qualité, de la publication et du stockage. L'unité par laquelle ces coûts seront exprimés dans les coûts d'une station, est donnée par C_s. Les frais totaux de cette catégorie sont exprimés par nC_s, où n est le nombre de stations. Avec une longueur totale du système de voie d'eau mesurée L, les frais de maintien A_m (dans l'acception la plus large du terme) du réseau par unité de longueur sont:

$$A_m = \frac{n}{L} \bullet C_s \tag{2-2}$$

La distance moyenne z entre deux stations est:

$$z = \frac{L}{n} \tag{2-3}$$

alors

$$A_m = \frac{C_s}{z} \tag{2-4}$$

La solution la plus économique est trouvée lorsque la somme $A = A_i + A_m$ est minimale. Cette approche-là sera suivie afin d'arriver à un réseau optimal.

3. LE COMPORTEMENT DES ÉCARTS-TYPES

Le comportement des écarts-types en relation avec la distance entre les stations est d'importance essentielle pour estimer la valeur de la perte d'information.

Considérons une station, pour laquelle des niveaux ont été calculés, située à mi-chemin entre deux autres stations de jaugeage comme montrée dans la figure 1. Nous utilisons les données des deux stations voisines.

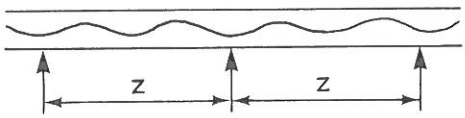

Fig. 1 Une station de jaugeage à mi-chemin entre deux autres stations de jaugeage

Près de cet endroit, les erreurs du modèle prennent leur valeur maximale le long du champ entre les stations.

L'écart-type de la différence entre valeurs mesurées et valeurs calculées est définie comme:

$$\sigma^2 \Delta y = \frac{\sum_{i=1}^{N} (\Delta y_i)^2}{N - 1} \tag{3-1}$$

où

$$\Delta y_i = \hat{y}_i - y_i \tag{3-2}$$

$\hat{y}_i$ = niveau estimé (ou calculé) pour la station à mi-chemin
y_i = niveau mesuré pour la station à mi-chemin
N = nombre de valeurs calculées dans les séries chronologiques

Dans un premier temps, les erreurs de mesure ne sont pas prises en considération. Les erreurs qui subsistent sont dues à l'inexactitude du modèle d'interpolation.

On peut prouver que dans ce cas, l'écart-type peut être calculé comme suit [Van der Made, 1988]:

$$\sigma^2\Delta = \frac{\begin{vmatrix} 1 & \rho(z) & \rho(2z) \\ \rho(z) & 1 & \rho(z) \\ \rho(2z) & \rho(z) & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & \rho(2z) \\ \rho(2z) & 1 \end{vmatrix}} \sigma_y^2$$

$$= \frac{1 - 2\rho^2(z) + 2\rho^2(z) \bullet \rho(2z) - \rho^2(2z)}{1 - \rho^2(2z)} \sigma_y^2 \qquad (3\text{-}3)$$

où $\rho(z)$ = coefficient de corrélation entre les niveaux à distance z;
$\rho(2z)$ = idem, à distance 2z;
σ_y = écart type total du niveau y.

La relation entre les coefficients de corrélation des deux niveaux d'eau et la distance entre les lieux où cela se produit, dépend largement des conditions locales. On peut exprimer cette relation par une quelconque fonction mathématique. Dans beaucoup de cas, on peut montrer qu'une fonction négative quadratique exponentielle donne une bonne approximation.

En négligeant de nouveau les erreurs de mesure on peut écrire:

$$\rho(z) = \exp\left(\frac{-z^2}{D^2}\right) \qquad (3\text{-}4)$$

où D est une distance paramétrisée, nommée longueur de corrélation. Cette distance caractérise la corrélation sur la distance: une grande valeur D implique une dénivellation lente, donc une corrélation forte des niveaux le long de la voie d'eau. Avec une petite valeur D, la corrélation diminue rapidement.

La substitution de l'équation (3-4) pour z et pour 2z dans l'équation (3-3) donne:

$$\sigma^2\Delta y = \frac{1 - 2\exp\left(\frac{-2z^2}{D^2}\right) + 2\exp\left(\frac{-6z^2}{D^2}\right) - \exp\left(\frac{-8z^2}{D^2}\right)}{1 - \exp\left(\frac{-8z^2}{D^2}\right)} \sigma_y^2 \qquad (3\text{-}5)$$

Le développement Taylor en $\frac{z^2}{D^2}$ du numérateur et du dénominateur mène à (si l'on néglige des termes d'ordre plus élevé):

$$\sigma^2 \Delta y = \frac{16\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^3}{8\left(\frac{z^2}{D^2}\right)} \sigma_y^2 = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 \tag{3-6}$$

et

$$\sigma \Delta y = \sqrt{2}\left(\frac{z^2}{D^2}\right)\sigma_y \tag{3-7}$$

Cela signifie que sous les hypothèses mentionnées ci-dessus, la relation entre l'écart-type et la distance entre stations est une fonction quadratique, du moins pour des distances relativement petites à l'égard de D. Notre domaine d'intérêt tombe dans ce cas en effet dans les cas pratiques, D est de l'ordre de quelques centaines de kilomètres, tandis que z se mesure en quelques dizaines de kilomètres.

4. MINIMALISATION DES FRAIS TOTAUX

Si on néglige les erreurs de mesure, on peut considérer que les données SIUM mentionnées au paragraphe 2 ont un écart-type zéro. Alors la différence $\Delta\sigma$ de l'équation (2-1) peut être exprimée par l'équation (3-7). Les frais de la perte d'information peuvent alors être donnés par (en accord avec le paragraphe 2):

$$A_i = \sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z^2}{D^2} \right) \sigma_y \tag{4-1}$$

Les frais totaux A du réseau sont la somme de A_i et A_m (équation 2-4), donc:

$$A = \sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z^2}{D^2} \right) \sigma_y + \frac{C_s}{z} \tag{4-2}$$

Le minimum s'obtient par la condition:

$$\frac{dA}{dz} = 0 \tag{4-3}$$

suit:

$$2\sqrt{2}\, C_i \left(\frac{z_o}{D^2} \right) \sigma_y - \frac{C_s}{z_o^2} = 0 \tag{4-4}$$

ou

$$z_o^3 = \tfrac{1}{4}\sqrt{2}\, \frac{C_s}{C_i} \bullet \frac{D^2}{\sigma_y} \tag{4-5}$$

Cette expression de la distance optimale entre stations mène aux conclusions suivantes:

1. La distance optimale entre stations z_o augmente avec les frais de station (C_s) et avec la longueur de corrélation D, donc avec une corrélation spatiale plus grande.
2. La distance optimale entre stations z_o diminue avec l'importance socio-économique, exprimée par C_i, et aussi avec la variabilité totale du phénomène mesuré, donné par σ_y.

Ces conclusions-là semblent évidentes. Mais il est démontré maintenant qu'elles s'expliquent entièrement à partir des conditions de base.

5. L'INFLUENCE DE L'EXACTITUDE DES MESURES

Jusqu'ici, on a supposé qu'il n'y avait pas d'erreurs de mesure. Si maintenant elles sont prises en considération, l'expression de l'équation (3-6) devrait être complétée ainsi:

$$\sigma^2 \Delta y = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2 \tag{5-1}$$

ou:

ϵ = écart-type des mesures

Le dernier terme de l'équation (5-1) est la somme de la variance locale des mesures ϵ^2 et des erreurs cumulées des mesures des deux stations voisines à mi-chemin de la station considérée, c'est à dire:

$$(\tfrac{1}{2}\epsilon)^2 + (\tfrac{1}{2}\epsilon)^2 = \tfrac{1}{2}\epsilon^2$$

En suivant le même raisonnement qu'au paragraphe 4, nous trouvons:

$$A = \sqrt{2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2 \bullet C_1} - \epsilon\sqrt{\frac{3}{2}} \bullet C_1 + \frac{C_s}{z} \tag{5-2}$$

et avec $\frac{dA}{dz} = 0$ cela conduit, après quelques transformations, à:

$$\left[16\left(\frac{z_o^5}{D^4} \bullet \frac{C_1}{C_s}\right)^2 \sigma_y^2 - 2\frac{z_o^4}{D^4}\right]\sigma_y^2 = \frac{3}{2}\epsilon^2 \tag{5-3}$$

C'est une équation du dixième degré en z_o, ce qui ne se transforme pas en une expression explicite de cette variable. C'est pourquoi son comportement sera explicité par un exemple numérique.

Fixons la longueur de corrélation à D = 100 km et l'écart type total à σ_y = 1 m. Ensuite considérons un coefficient coûts-bénéfices:

$$\alpha = \frac{C_s}{C_1} \tag{5-4}$$

Pour plusieurs valeurs d'écart-type des mesures ϵ, il y a une relation entre α et la distance optimale des stations, comme montré dans la figure 2.

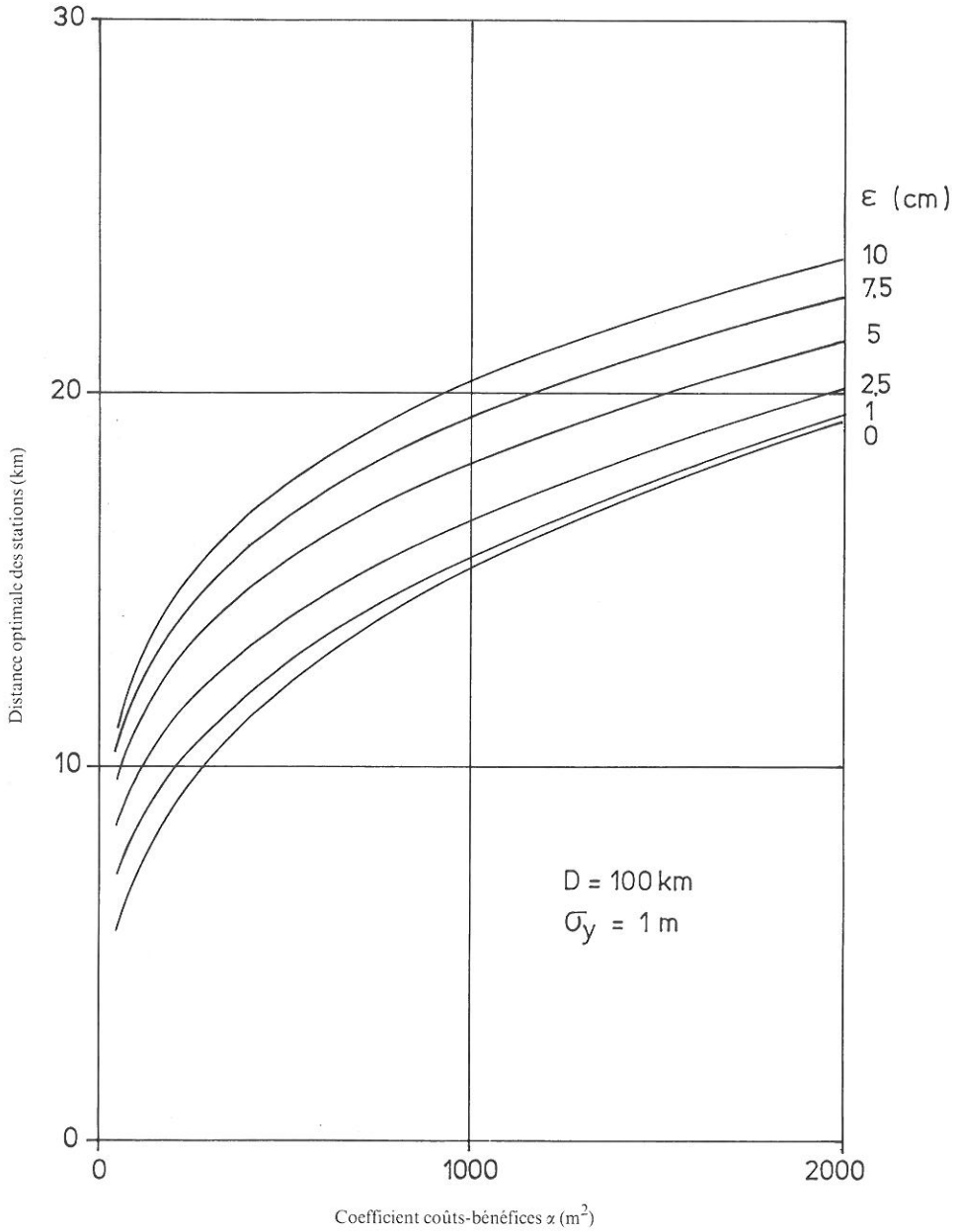

Fig. 2 Distance optimale des stations en fonction du coefficient coûts-bénéfices α

Si, par exemple, les coûts annuels d'une station, faisant partie du réseau, sont estimés à \$ 20.000,-- et la valeur de la perte d'information par unité à \$ 20,-- (par mm écart-type et par km longueur de rivière, ou bien, ce qui revient au même, montant par m^2, simplement), alors le coefficient coûts-bénéfices sera α = 1000 m^2; avec un écart-type des mesures de ϵ = 5 cm, cela mènera à une distance optimale de station de z_o = 18 km.

Dans la pratique, la méthode appliquée peut être la suivante. Déterminer d'abord les valeurs de σ_y et de D, par une étude statistique des données dans le temps et l'espace. Estimer alors une valeur raisonnable de l'écart-type des mesures, ϵ, en règle générale, pas inférieure à 2,5 cm. Une courbe du type donné dans la figure 2 peut alors être construite.

En ce qui concerne la détermination du coefficient α, il faut d'abord calculer les coûts annuels, ou, si on le désire, les coûts capitalisés d'une telle station du réseau. Il s'agit de tous les coûts, au sens large, c'est à dire ceux de la construction, de la maintenance et du fonctionnement, mais aussi ceux de la transmission et de l'intégration des données, du contrôle de la qualité, du stockage, de la publication et de la distribution. Cela demande une étude intensive, mais des résultats fiables peuvent être ainsi obtenus.

Il est plus difficile de rechercher la valeur de la perte d'information unitaire. Cela demande une étude de l'usage (et des usagers) des données et de l'importance réelle de ces données. En comparant une situation avec les données présentes disponibles avec une situation sans aucune donnée, on peut définir quels coûts additionnels ont été réalisés. Il est recommandé d'examiner aussi les limites supérieures et inférieures afin d'estimer la sensibilité d'un résultat. Si, par exemple, la perte d'information dans l'exemple mentionné ci-dessus s'élève à des valeurs entre \$ 15,-- et \$ 25,-- alors le coefficient α variera entre 1333 et 800. Ce qui conduit à une distance optimale des stations entre 17 km et 19 km, les incertitudes dans les autres variables n'étant pas prises en considération.

On peut appliquer cette recherche au réseau d'un pays entier ou à des domaines particulières, par exemple à des fleuves sans marée, des fleuves à marée et à des zones littorales. La dernière approche peut conduire à des résultats plus détaillés, pourvu que les données d'entrée puissent être déterminées pour des régions distinctes. Si cela n'est pas possible ou n'est pas fiable, il pourrait être préférable d'appliquer l'approche complète et se contenter de résultats approximatifs.

6. DISCUSSION

La méthode décrite dans les chapitres ci-dessus peut s'appliquer à un réseau de mesures de niveaux d'eau de fleuves, d'estuaires ou calanques et de zones littorales. Cela concerne un système uni-dimensionnel. En principe, la technique peut aussi être appliquée à des réseaux comportant d'autres variables hydrologiques.

Une approche uni-dimensionnelle est appliquable à des réseaux en ce qui concerne le débit des fleuves, la température d'eau, le transport de sédiments et, en général, toutes les variables liées à une rivière ou un fleuve. Il faut envisager une approche à deux dimensions pour des variables qui concernent le bilan hydrique comme les précipitations (atmosphériques), l'écoulement, l'évapotranspiration ou le stockage de la nappe phréatique. Cela implique certaines complications, mais ce n'est pas un problème insurmontable.

La description en a été donnée en termes généraux. Pour l'appliquer, on doit se servir de l'information spécifique du pays ou de la région considéré. Ces données ne figurent pas ici: le gestionnaire local d'un réseau est mieux placé pour acquérir et transmettre l'information. L'exemple d'un cas pratique (mais rien de plus!) est décrit au chapitre 7. Cela concerne le réseau de mesure des niveaux d'eau aux Pays-Bas.

7. LE RÉSEAU DE MESURE DES NIVEAUX D'EAU AUX PAYS-BAS

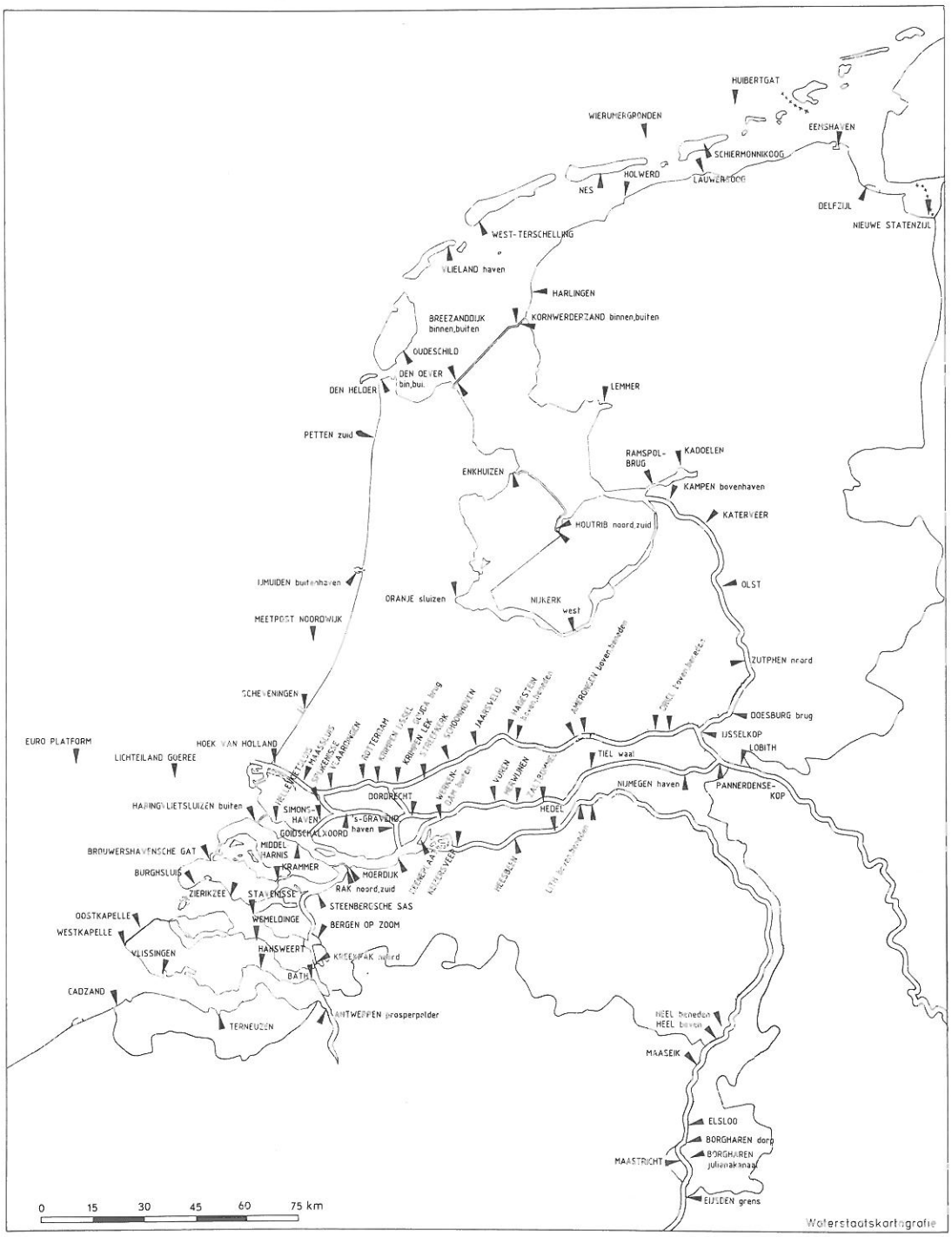

Fig. 3 Les stations de mesure du niveau d'eau aux Pays-Bas

Le réseau concerne les fleuves les plus importants, la région du Delta dans le Sud-Ouest du pays et les eaux côtières des Pays-Bas, tel qu'indiqué à la figure 3. Les réseaux dans les bassins des affluents et dans les régions des polders ne sont pas pris en considération.

Le régime des niveaux d'eau diffère fortement selon les stations; il passe d'un mouvement à marée semi-quotidien le long de la côte et dans les fleuves à marée, à un régime fluvial dans les cours supérieurs pour lesquels une distinction peut être faite entre des rivières coulant librement et des rivières canalisées avec barrages. Quand on fait abstraction de l'échelle de temps, on peut constater que la valeur moyenne de l'écart type total des niveaux d'eau s'élève approximativement à 1 mètre. On a constaté également que l'erreur-type peut être estimée à environ 2,5 cm [Van der Made, 1988, chap. 3].

Le présent réseau comprend environ 100 stations, situées le long d'un système de voies d'eau d'environ 2000 km ce qui implique une distance moyenne entre stations de 20 km. Des études statistiques ont montré qu'on peut calculer le niveau d'eau à n'importe quel endroit avec les données de ces stations, en utilisant une technique de régression linéaire multiple avec une erreur-type estimée ne dépassant 2,5 cm, ce qui équivaut à l'écart-type des mesures. Alors les différences entre les valeurs mesurées et calculées ont un écart de $2{,}5^2 + 2{,}5^2 = 12{,}5\ \text{cm}^2$.

La longueur de corrélation D varie aussi d'endroit en endroit et de région à région. Une valeur approximative moyenne pour le pays est estimée en utilisant l'équation (5-1):

$$\sigma^2 \Delta y = 2\left(\frac{z^2}{D^2}\right)^2 \sigma_y^2 + \frac{3}{2}\epsilon^2$$

avec les données suivantes:

$$\begin{aligned}
\sigma^2\Delta y &= 12{,}5\ \text{cm}^2 = 0{,}00125\ \text{m}^2 \\
\epsilon &= 2{,}5\ \text{cm} = 0{,}025\ \text{m} \\
\sigma_y &= 1\ \text{m} \\
z &= 20\ \text{km} = 20.000\ \text{m}
\end{aligned}$$

ce qui conduit à:

$$D = 178\ \text{km}.$$

Pour l'Escaut occidental, une valeur de 139 km est trouvée dans l'étude d'un cas réel [Van der Made, 1988], quant aux zones du régime fluvial, de plus grandes valeurs sont probables. Pour le pays pris dans son ensemble, la valeur ci-dessus, arrondie à D = 180 km, semble convenable dans les applications.

Considérons maintenant les variables économiques C_s et C_i. Pour les coûts annuels on a fait la somme suivante (en florins hollandais):

Investissement par station	fl. 0,2 million	
Investissement pour 100 stations	20 millions	
Ordinateur et système de transfert	2 millions	
	fl. 22 millions	
C'est à dire par an, avec un intérêt de 5%		fl. 1,1 millions
et un amortissement de 3,5%[1] en 20 ans		0,8 million
10 cadres supérieurs à fl. 100.000,--		1,0 million
	environ	fl. 3 millions

ou C_s = fl. 30.000,-- par station et par an.

Pour l'estimation de la valeur des données, une distinction doit être faite pour des usages différents. Certaines informations ont pu être déterminées avec un degré raisonnable de fiabilité, mais en ce qui concerne d'autres informations on n'a pu obtenir qu'une approximation provisoire. Ce qui suit en est le résultat.

- Navigation

a) Transport par eau: des données de niveau d'eau plus précises permettent aux bateaux d'être chargés davantage. Le bénéfice était estimé à fl. 400.000,-- par cm écart-type par an (Van der Made, 1988 paragraphe 2.2).
En supposant le réseau comme un tout réduisant l'écart-type à 1 m, cela signifie que la valeur de ce bénéfice peut être estimée à 100 x fl. 400.000,-- = fl. 40 millions.

b) Perte de temps due à des éclusées retardées à cause d'un manque d'information du niveau d'eau. Par exemple: une perte de 10 minutes par jour et par bateau et N bateaux par jour courant ce risque, signifie une perte de 3000 N minutes par an.
Coût d'une minute pour 3 personnes = 1/20 du salaire horaire = 1/20 x fl. 40,-- = fl. 2,--.
Cela mène à fl. 6000,-- N par an.
Aux Pays-Bas environ 20.000 bateaux de navigation intérieure sont enregistrés, dont un tiers est amarré, un tiers est à l'étranger (Allemagne, Belgique, France) et un tiers navigue sur les voies d'eau hollandaises, c'est à dire 7000 bateaux + 1000 bateaux étrangers = 8000 bateaux. La moitié d'entre eux se trouve sur les fleuves les plus importants de sorte que: N = 4000, mène à une valeur pour b) de fl. 6000,-- x 4000 = fl. 24 millions.

c) Echouement dû à un manque d'information. La durée d'obstruction est supposée être une journée.
Coûts:

le personnel	
8h x salaire horaire x 3 personnes	
8h x fl. 40,--/h x 3	fl. 960,--
prix de la location du bateau remorqueur	500,--
	fl. 1.500,--
passage d'obstruction de 0,1 N bateaux:	
0,1N x 8h x fl. 40,--/h x 3	fl. 385.000,--
Pour 10 obstructions par an: Valeur c)	fl. 4 millions

[1] Comme $(1 + 0{,}035)^{20} - 1 = 1$, un pourcentage de 3,5% doit être appliqué pour une période d'amortissement de 20 ans.

d) Obstructions de bacs
valeur d) estimée — fl. 2 millions
Navigation: la valeur totale a + b + c + d = — fl. 70 millions par an

- Sécurité
Les projets des niveaux de digue peuvent être fixés grâce à 50 ans d'observation. Si le réseau de jaugeage réduit l'écart-type à 1 m (c'est à dire 2σ pour 2 m), alors les digues peuvent être construites 2 m plus bas. Cela correspond à une coupe transversale de digue de 200 m^2, ce qui implique pour 1000 km de digues:

100.000 x 200 m^3 = 200 $\cdot 10^6$ m^3 (voir fig. 4).

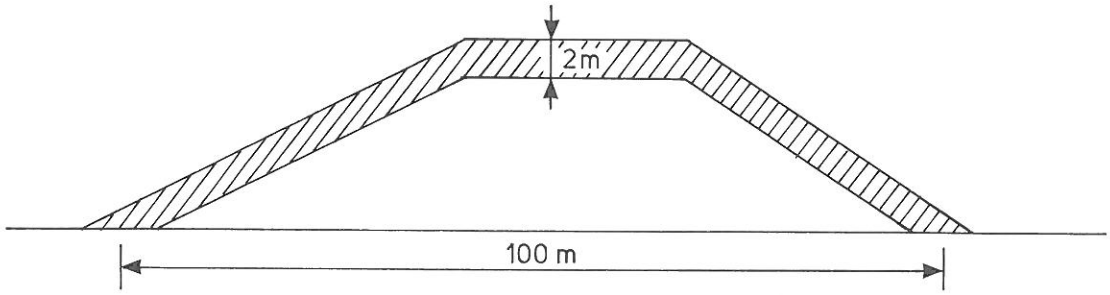

Fig. 4 L'influence de la hauteur de digue sur sa région de coupe transversale

A un prix de fl. 5,--/m^3 cela signifie:

fl. 5,-- x 200 millions = fl. 1000 millions
Répartis sur 50 ans:
Coûts annuels: — fl. 20 millions
Dommage social et économique (estimé) — fl. 10 millions

Bénéfice de sécurité du réseau — fl. 30 millions par an

- Régulation hydraulique
La politique de gestion des eaux selon un rapport sur la régulation hydraulique aux Pays-Bas [Rijkswaterstaat, 1985] produira un bénéfice estimé annuel de fl. 125 millions. Des données fiables sont une condition essentielle d'obtention de ce bénéfice. En prenant cela comme point de départ et pour l'usage courant, la valeur annuelle des données hydrométriques est estimée à **fl. 25 millions**. Pour de tels usages, les niveaux d'eau sont utilisés pour la détermination des débits des fleuves à l'aide de courbes de tarage niveau-débit.

- Inondation de laisses d'une longueur de 1000 km
Cela peut causer une perte de 1% de 10.000 têtes de bétail; à fl. 3000,-- par unité, cela donne fl. 300.000,--. D'autres frais estimés pour les loisirs, les campings peuvent être évalués à fl. 700.000,--. Au total **fl. 1 million** par an.

- Services de distribution d'eau
Frais de production fl. 500 millions par an. La valeur des données est estimée à 1% = **fl. 5 millions** par an.

- Industrie
  Des évacuations du stockage inondé sur des quais, estimées à **fl. 5 millions** par an.

- Connaissance insuffisante des données de la rugosité hydraulique (valeurs C)
  Les données sont d'importance pour des projets fluviaux, estimée approximativement à **fl. 5 millions** par an.

Valeur totale annuelle:

navigation	fl. 70 millions
sécurité	30 "
régulation hydraulique	25 "
laisses inondées	1 "
approvisionnement en eau	5 "
industrie	5 "
projets fluviaux	5 "
frais imprévus	9 "
	fl. 150 millions

Cette valeur implique la perte d'information en ce qui concerne un écart-type de 1 m et une longueur d'environ 2000 km = $2 \bullet 10^6$ m. Maintenant une perte d'information par unité peut être déterminée ainsi:

$$C_1 = \frac{150 \bullet 10^6}{1x2 \bullet 10^6} = 75\ fl. \bullet m^{-2}$$

Ceci conduit, suivant la relation donnée par l'équation (5-4):

$$\alpha = \frac{C_s}{C_1} = \frac{30.000}{75} = 400\ m^2$$

L'application de l'équation (5-3) pour calculer la distance optimale économique entre stations donne:

z_o = 20,7 km

Ce qui est presque la distance moyenne présente entre les principales stations. Pour une longueur de voies d'eau de 2000 km, cela implique 97 stations.

Examinons maintenant dans quelle mesure ce résultat est sensible à une variation de l'estimation mentionnée ci-dessus. Figure 5 montre la distance optimale entre stations:

A. en fonction du coefficient coût-bénéfice α
B. en fonction de l'écart-type des mesures ϵ
C. en fonction de la longueur de corrélation D
D. en fonction de l'écart-type total σ_y

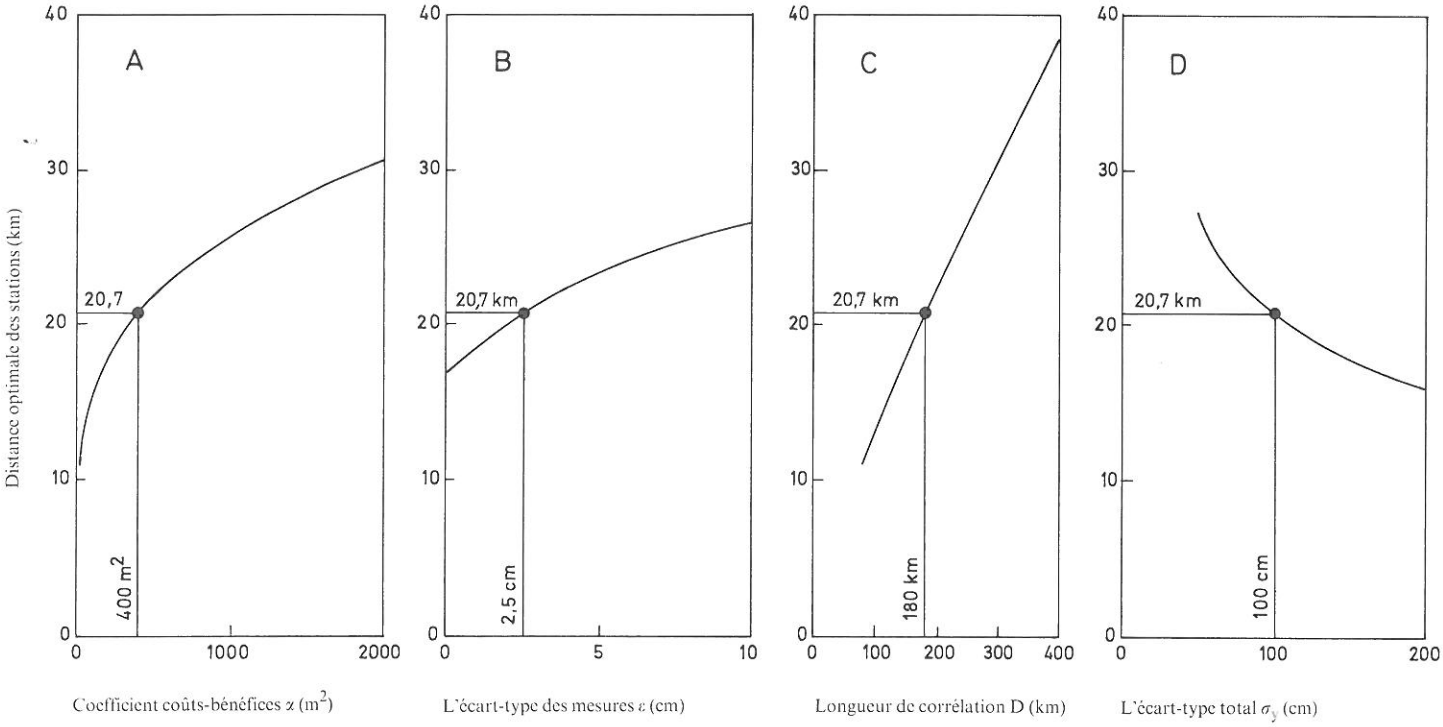

Fig. 5 Sensibilité de la distance entre les stations optimale par rapport à plusieurs paramètres

La distance optimale entre les stations est très sensible à la longueur de corrélation D et pas aux facteurs économiques exprimés par α. D'autres valeurs α mèneraient aux distances optimales suivantes:

α = 200 m^2; z_o = 17,8 km (112 stations de mesure)
α = 800 m^2; z_o = 24,3 km (82 stations de mesure)

Même un changement excessif de α ne peut avoir qu'un effet réduit sur la distance optimale entre les stations, donc sur le nombre optimal des stations. La même chose est valable pour l'écart-type des mesures ϵ (fig. 5-B) et pour l'écart type total σ_y (fig. 5-D). La longueur de corrélation D (fig. 5-C) a un plus grand effet, il faudrait donc prêter beaucoup d'attention à ce paramètre. Dans le cas considéré cela ne pose pas de problèmes, parce que la structure de corrélation est suffisamment prise en considération par l'examen local du réseau. Mais en général, sa détermination demande une étude précise.

8. CONCLUSION

On peut conclure que le réseau de mesure des niveaux d'eau installé actuellement aux Pays-Bas convient raisonnablement bien à l'optimum économique. L'influence d'un changement possible de prix n'aura pas d'effets considérables sur le résultat, parce que les éléments monétaires, c'est à dire les variables C_i et C_s agissent à travers leur rapport α. D'ailleurs l'influence de ce coefficient est plus faible que celle de la structure de corrélation des données. C'est une circonstance favorable à l'égard des problèmes relatifs à l'estimation de la valeur économique de l'information.

9. RÉSUMÉ

Le but d'un réseau de stations de jaugeage est de fournir des informations concernant une variable hydrologique. D'un côté il pourrait être possible d'obtenir un maximum d'information en réalisant un réseau très dense, mais en même temps très coûteux. D'autre part, un réseau moins dense mènerait à une certaine perte d'information, mais alors à moindres frais. Quand la somme de la perte d'information et des frais du réseau présentera un minimum, on aura trouvé la meilleure solution à ce problème. La densité d'un tel réseau optimal dépend de quatre facteurs:

1. la valeur socio-économique des données;
2. les frais de réseau;
3. la structure de corrélation du phénomène considéré;
4. la variabilité dans le temps du phénomène.

Les facteurs 1 et 4 tendent à faire augmenter la densité, tandis que les facteurs 2 et 3 tendent à la faire diminuer.

Nous avons pris comme exemple un réseau de stations hydrométriques.

BIBLIOGRAPHIE

MADE, J.W. VAN DER (1988): Analysis of some criteria for design and operation of surface water gauging networks. Rijkswaterstaat Communications. Nr.471/1988, Den Haag.

RIJKSWATERSTAAT (1985): De waterhuishouding van Nederland 1984 (Watermanagement in the Netherlands, 1984). Den Haag.

SAMENVATTING

Het doel van een hydrologisch meetnet is informatie verschaffen over een hydrologische variabele. Het zou mogelijk zijn om een maximum aan informatie te verkrijgen door middel van een zeer dicht en dus zeer kostbaar meetnet. Aan de andere kant zal een minder dicht meetnet weliswaar goedkoper zijn, maar leiden tot verlies van informatie. Men bereikt de beste oplossing door de som van het verlies aan informatie en de meetnetkosten tot een minimum terug te brengen. De dichtheid van een dergelijk geoptimaliseerd meetnet hangt af van vier factoren:

1. de sociaal-economische waarde van de gegevens
2. de kosten van een eenheids-meetnet
3. de correlatiestructuur van het beschouwde verschijnsel
4. de variatie in de tijd van het verschijnsel

De factoren 1 en 4 zorgen voor een toename van de dichtheid, de factoren 2 en 3 juist voor een afname.

Een waterstandsmeetnet wordt bij wijze van voorbeeld besproken.

SUMMARY

The aim of a network of gauging stations is to produce information about a hydrological variable. It might be possible to arrive at a maximum information content by a very dense, thus expensive network. On the other hand, a less dense network will lead to a certain loss of information, but at lower cost. The best solution is found when the sum of information loss and network costs shows a minimum. The density of such an optimum network depends on four factors:

1. the socio-economic value of the data;
2. the costs of a unit network;
3. the correlation structure of the phenomenon under consideration;
4. the variability in time of the phenomenon.

The factors 1 and 4 tend to increase the density, and the factors 2 and 3 tend to decrease it.

A water level gauging network is discussed as an example.

KHR-VERÖFFENTLICHUNGEN **PUBLICATIONS DE LA CHR**

CHR/KHR (1978): Das Rheingebiet, Hydrologische Monographie. Staatsuitgeverij, Den Haag/ Le bassin du Rhin. Monographie Hydrologique. Staatsuitgeverij, La Haye. ISBN 90-1201-775-0

Berichte der KHR **Rapports de la CHR**

I-1 GREBNER, D. (1982): Objektive quantitative Niederschlagsvorhersagen im Rheingebiet. Stand 1982 (nicht mehr lieferbar)/
Prévisions objectives et quantitatives des précipitations dans le bassin du Rhin. Etat de la question en 1982 (édition épuisée)

I-2 GERHARD, H.; MADE, J.W. VAN DER; REIFF, J.; VREES, L.P.M. DE (1983): Die Trocken- und Niedrigwasserperiode 1976. (2. Auflage 1985)/
La sécheresse et les basses eaux de 1976 (2ème édition, 1985). ISBN 90-7098-001-0

I-3 HOFIUS, K. (1985): Hydrologische Untersuchungsgebiete im Rheingebiet/
Bassins de recherches hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-002-9

I-4 BUCK, W.; KIPGEN, R.; MADE, J.W. VAN DER; MONTMOLLIN, F. DE; ZETTL, H.; ZUMSTEIN, J.F. (1986): Berechnung von Hoch- und Niedrigwasserwahrscheinlichkeit im Rheingebiet/
Estimation des probabilités de crues et d'étiages dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-003-7

I-5 TEUBER, W.; VERAART, A.J. (1986): Abflußermittlung am Rhein im deutsch-niederländischen Grenzbereich/
La détermination des débits du Rhin dans la région frontalière germano-hollandaise. ISBN 90-7098-004-5

I-6 TEUBER, W. (1987): Einfluß der Kalibrierung hydrometrischer Meßflügel auf die Unsicherheit der Abflußermittlung. Ergebnisse eines Ringversuchs/
Influence de l'étalonnage des moulinets hydrométriques sur l'incertitude des déterminations de débits. Résultats d'une étude comparative. ISBN 90-7098-005-3

I-7 MENDEL, H.G. (1988): Beschreibung hydrologischer Vorhersagemodelle im Rheineinzugsgebiet/
Description de modèles de prévision hydrologiques dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-006-1

I-8 ENGEL, H.; SCHREIBER, H.; SPREAFICO, M.; TEUBER, W.; ZUMSTEIN, J.F. (1990): Abflußermittlung im Rheingebiet im Bereich der Landesgrenzen/
Détermination des débits dans les régions frontalières du bassin du Rhin. ISBN 90-7098-001-x

I-9 CHR/KHR (1990): Das Hochwasser 1988 im Rheingebiet/
La crue de 1988 dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-011-8

I-10 NIPPES, K.-R. (1991): Bibliographie des Rheingebietes/
Bibliographie du bassin du Rhin. ISBN 90-7098-013-4

Katalog/Catalogue 1 SPROKKEREEF, E. (1989): Verzeichnis der für internationale Organisationen wichtigen Meßstellen im Rheingebiet/
Tableau de stations de mesure importantes pour les organismes internationaux dans le bassin du Rhin. ISBN 90-7098-008-8

Berichte unter der Schirmherrschaft der KHR **Rapports sous l'égide de la CHR**

II-1 MADE, J.W. VAN DER (1982): Quantitative Analyse der Abflüsse (nicht mehr lieferbar)/
Analyse quantitative des débits (édition épuisée)

II-2 GRIFFIOEN, P.S. (1989): Alarmmodell für den Rhein/
Modèle d'alerte pour le Rhin. ISBN 90-7098-007-x

II-3 SCHRÖDER, U. (1990): Die Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983/
Les crues sur les bassins du Rhin et de la Moselle en avril et mai 1983. ISBN 90-7098-009-6

II-4 MAZIJK, A. VAN; VERWOERDT, P.; MIERLO, J. VAN; BREMICKER, M.; WIESNER, H. (1991): Rheinalarmmodell Version 2.0 - Kalibrierung und Verifikation/
Modèle d'alerte pour le Rhin version 2.0 - Calibration et vérification. ISBN 90-7098-012-6
II-5 MADE, J.W. VAN DER (1991): Kosten-Nutzen Analyse für den Entwurf hydrometrischer Meßnetze/
Analyse des coûts et des bénéfices pour le projet d'un réseau hydrométrique. ISBN 90-7098-014-2

Einige Informationen über die:

INTERNATIONALE KOMMISSION FÜR DIE HYDROLOGIE DES RHEINGEBIETES (KHR)

Gründung

1970 Im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) der UNESCO.

1975 Fortsetzung der Arbeiten im Rahmen des Internationalen Hydrologischen Programms (IHP) der UNESCO und des Operationellen Hydrologie-Programms (OHP) der WMO.

1978 Unterstützung der Arbeiten der Kommission durch Austausch einer Verbal-Note zwischen den mitarbeitenden Ländern.

Aufgaben

- Förderung der Zusammenarbeit hydrologischer Institutionen und Dienste im Einzugsgebiet des Rheins.
- Durchführung von Untersuchungen über die Hydrologie des Rheingebietes und Austausch der Ergebnisse diesbezüglicher Studien.
- Förderung des Austausches von hydrologischen Daten und Informationen im Rheingebiet (z.B. aktuelle Daten, Vorhersagen).
- Entwicklung von standardisierten Verfahren für die Sammlung und Bearbeitung hydrologischer Daten in den Rheinanliegerstaaten.

Mitarbeitende Länder

Schweiz, Österreich, Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande

Arbeitssprachen

Deutsch und Französisch

Organisation

Ständige Vertreter (Sitzungen 2mal pro Jahr) unterstützt von einem ständigen Sekretariat. Die Bearbeitung von Projekten wird von Rapporteuren und internationalen Arbeitsgruppen durchgeführt.

Quelques informations sur la:

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'HYDROLOGIE DU BASSIN DU RHIN (CHR)

Institution

1970 Dans le cadre de la Décennie Hydrologique Internationale (DHI) de l'UNESCO.

1975 Poursuite des travaux dans le cadre du Programme Hydrologique International (PHI) de l'UNESCO et du Programme d'Hydrologie Opérationnelle (PHO) de l'OMM.

1978 Appui des travaux de la Commission par l'échange d'une note verbale entre les pays concernés.

Tâches

- Encourager la coopération entre les instituts et les services actifs dans le bassin du Rhin.
- Réalisation d'études hydrologiques dans le bassin du Rhin et échange de résultats des études concernées.
- Encourager l'échange de données et d'informations hydrologiques dans le bassin du Rhin (p.ex. données actuelles, prévisions).
- Elaboration de méthodes standardisées pour la collecte et le traitement des données hydrologiques dans les Etats riverains du Rhin.

Pays participants

la Suisse, l'Autriche, la République Fédérale d'Allemagne, la France, le Luxembourg, les Pays-Bas

Langues de travail

allemand et français

Organisation

Les représentants permanents (réunions deux fois par an) sont soutenus par le secrétariat permanent.
Les études sont réalisées par des rapporteurs et des groupes de travail internationaux.

Auswahl der laufenden Arbeiten

»Änderungen im Abflußregime«
- Beschreibung des Einflusses der menschlichen Aktivitäten auf die Rheinabflüsse.
- Bestimmung der Auswirkungen von Bodennutzungs- und Klimaänderungen auf das Abflußregime des Rheins.
- Untersuchungen über Auswirkungen des Waldes auf den Wasserhaushalt.

»Fließzeiten«
- Ermitteln von Fließzeiten und Stofftransport im Rhein zur Verbesserung des Rheinalarmmodells (in Zusammenarbeit mit der IKSR).

»Sediment«
- Verbesserung und Standardisierung der Verfahren zur Messung von Schwebstoffgehalten und Bodentransport des Sediments.
- Beschreibung des Sedimenthaushaltes im Fluß.

»Fortschreibung der Monographie«
- Übersicht hydrologischer Daten über die Perioden 1971-1980 und 1981-1990 als Fortsetzung der im Jahre 1978 veröffentlichten Monographie »Das Rheingebiet«.

Fertiggestellte Arbeiten
sie Publikationsliste, Seite 66

Principaux thèmes en cours

«Changements dans le régime des débits»
- Description de l'impact des activités humaines sur le débit du Rhin.
- Détermination des effets des changements du climat et de l'utilisation du sol sur le régime des débits du Rhin.
- Etude de l'influence du forêt sur l'hydrologie.

«Temps d'écoulement»
- Détermination des temps d'écoulement et de transport des substances dans le Rhin pour l'amélioration du modèle d'alerte du Rhin (en collaboration avec la CIPR).

«Sédiments»
- Amélioration et standardisation des méthodes pour la mesure des matières en suspension et du charriage de fond.
- Description de la situation de la sédimentation dans le fleuve.

«Actualisation de la Monographie»
- Données hydrologiques sur les périodes 1971-1980 et 1981-1990 complétant celles de la monographie hydrologique «le Bassin du Rhin» publiée en 1978.

Travaux effectués
voir la liste de publications, page 66

Enige gegevens betreffende de:

INTERNATIONALE COMMISSIE VOOR DE HYDROLOGIE VAN HET RIJNGEBIED (CHR)

Oprichting

1970 In het kader van het Internationaal Hydrologisch Decennium (IHD) van de UNESCO.

1975 Voortzetting van de werkzaamheden in het kader van het Internationaal Hydrologisch Programma (IHP) van de UNESCO en het Operationeel Hydrologisch Programma (OHP) van de WMO.

1978 Ondersteuning van het werk van de Commissie door een nota-uitwisseling tussen de samenwerkende landen.

Taken

- Bevordering van samenwerking tussen hydrologische instituten en diensten in het stroomgebied van de Rijn.
- Uitvoeren van hydrologische studies in het Rijngebied en uitwisseling van de onderzoeksresultaten.
- Bevorderen van de uitwisseling van hydrologische gegevens en informatie in het Rijngebied (bijv. actuele gegevens, voorspellingen).
- Ontwikkeling van standaardmethoden voor het verzamelen en bewerken van hydrologische gegevens in de Rijnoeverstaten.

Deelnemende landen

Zwitserland, Oostenrijk, Bondsrepubliek Duitsland, Frankrijk, Luxemburg, Nederland

Voertalen

Duits en Frans

Organisatie

Vaste vertegenwoordigers (vergaderingen tweemaal per jaar) ondersteund door een permanent secretariaat. Onderzoeken worden door rapporteurs en internationale werkgroepen uitgevoerd.

Some information on the:

INTERNATIONAL COMMISSION FOR THE HYDROLOGY OF THE RHINE BASIN (CHR)

Foundation

1970 Within de framework of UNESCO's International Hydrological Decade (IHD).

1975 Continuation of activities in the framework of UNESCO's International Hydrological Programme (IHP) and the Operational Hydrology Programme (OHP) of WMO.

1978 Support of the Commission's activities by exchange of a verbal note between the participating countries.

Tasks

- Support of co-operation between hydrological institutes and services active in the catchment area of the Rhine.
- Executing hydrological studies in the Rhine basin and exchange of research results.
- Promoting the exchange of hydrological data and information in the Rhine basin (e.g. current data, forecasts).
- Development of standardized methods for collecting and processing hydrological data in the Rhine riparian states.

Participating countries

Switzerland, Austria, Federal Republic of Germany, France, Luxemburg, the Netherlands

Working languages

German and French

Organization

Permanent representatives (meetings twice a year) supported by a permanent secretariat. Studies are carried out by rapporteurs and international working groups.

Belangrijkste lopende onderzoeken

„Veranderingen in het afvoerregime"
- Beschrijving van de invloed van menselijke activiteiten op de Rijnafvoeren
- Bepaling van de invloed van veranderingen in bodemgebruik en klimaat op het afvoerregime van de Rijn.
- Onderzoek naar de invloed van bos op de waterhuishouding.

„Stroomtijden"
- Bepaling van de stroomtijden en stoftransport in de Rijn ter verbetering van het alarmmodel voor de Rijn (in samenwerking met de IRC).

„Sediment"
- Verbetering en standaardisering van meetmethoden voor gehalten aan zwevend materiaal en bodemtransport.
- Beschrijving van de sedimenthuishouding in de rivier.

„Voortzetting Monografie"
- Overzicht van hydrologische gegevens over de perioden 1971-1980 en 1981-1990 als voortzetting van de in 1978 uitgegeven hydrologische monografie „Het stroomgebied van de Rijn".

Afgesloten onderwerpen
zie lijst van publikaties, blz. 66

Selection of current subjects

'Changes in the discharge regime'
- Description of the impact of human activities on the Rhine discharges.
- Determination of the effect of changes in land use and climate on the discharge regime of the Rhine.
- Research into the effects of forest on the hydrology of the basin.

'Travel times'
- Determination of the travel times and constituent transport in the Rhine for the improvement of the alarm model for the Rhine (in co-operation with CIPR/IKSR).

'Sediment'
- Improvement and standardization of methods to measure suspended load and bed-load transport.
- Description of sediment characteristics of the river.

'Continuation of the Monograph'
- Hydrological data for the periods 1971-1980 and 1981-1990 as a continuation of the hydrological monograph 'The Rhine basin' published in 1978.

Completed projects
see list of publications, p. 66