



n° 9055

Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin

Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes

Prévisions objectives et quantitatives
des précipitations dans le bassin du
Rhin.

Etat de la question en 1982

Objektive, quantitative Niederschlags-
vorhersagen im Rheingebiet.

Stand 1982

D. Grebner
Versuchsanstalt für
Wasserbau, Hydrologie
und Glaziologie
ETH-Zürich



Secretariaat CHR | KHR
Hoofskade 1

Postbus 20907
2500 EX 's-Gravenhage
Pays-Bas | Niederlande

rapport no. I-1 de la CHR
Bericht Nr. I-1 der KHR

langue originale: allemand
Originalsprache: Deutsch

© 1982, CHR/KHR

PRÉFACE

La Décennie Hydrologique Internationale (DHI/IHD), conduite par l'UNESCO au cours des années 1965 à 1974, comptait parmi les objectifs principaux de son programme, celui d'améliorer la coopération internationale à l'échelle régionale, dans le domaine de l'hydrologie. Les Etats riverains du Rhin se sont groupés dans le cadre de ce programme, comme d'autres Etats l'ont fait dans d'autres régions, et ils ont fondé ensemble en 1970 la «Commission internationale de l'Hydrologie du bassin du Rhin» (CHR/KHR). Le Gouvernement des Pays-Bas s'est acquis la gratitude de ses partenaires en mettant à leur disposition un secrétariat permanent, chargé de la conduite des travaux. Aux côtés des Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, la France, l'Autriche et la Suisse collaborent aux travaux de la CHR. Le premier résultat concret de cette activité a été la publication en 1978 d'une «Monographie hydrologique», ouvrage monumental décrivant les aspects géographiques et hydrologiques du bassin du Rhin, au travers d'un texte richement illustré, accompagné de cartes et de diagrammes sous forme d'atlas. Les données hydrologiques les plus importantes, provenant de stations de mesure sélectionnées, sont présentées dans un volume annexé, sous forme de tableaux. La «Monographie» se veut un inventaire de tout ce qui a trait à l'hydrologie dans le bassin du Rhin.

Lors de sa réunion plénière à Boppard (RFA) en 1978, la Commission a pris la décision de poursuivre la coopération sur la base de cet inventaire. Elle désire se consacrer à des questions pratiques importantes et par dessus tout à l'amélioration des échanges d'information et de données au travers des frontières entre Etats. Un des projets mis sur pied dans ce sens est dédié aux problèmes liés à la prévision hydrologique et comprend les projets partiels suivants:

- prévisions opérationnelles des niveaux d'eau et des débits
- étude des rapports coûts-bénéfices des prévisions des étiages
- prévisions quantitatives des précipitations.

Un «groupe de contact» a été constitué en vue de l'exécution de ces tâches et un rapporteur a été désigné pour s'occuper de la question des prévisions quantitatives des précipitations. Depuis assez longtemps déjà, des modèles hydrologiques sont mis en œuvre pour la prévision des niveaux d'eau et des débits dans le bassin du Rhin. La plupart de ces modèles utilisent comme données d'entrée des valeurs de précipitation, ainsi que des valeurs de niveau et de débit relevées à des stations limnimétriques situées en amont.

Au moment où une prévision doit être établie, les données d'entrée nécessaires sont demandées par le sys-

VORWORT

Im Rahmen der in den Jahren 1965 bis 1974 von der UNESCO durchgeführten Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) galt einer der Schwerpunkte des Programms der Verbesserung der regionalen internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Hydrologie. Wie in anderen Regionen haben sich in diesem Programm auch die Rheinanliegerstaaten zusammgefunden und im Jahre 1970 die »internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets« (CHR/KHR) gegründet. Dabei stellte die niederländische Regierung dankenswerterweise ein ständiges Sekretariat für die Durchführung der Arbeiten zur Verfügung. Neben den Niederlanden arbeiten in der KHR die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Österreich und die Schweiz mit. Als erstes Arbeitsergebnis veröffentlichte die KHR im Jahre 1978 eine umfangreiche hydrologische Monographie, in der die geographischen und hydrologischen Verhältnisse im Rheingebiet in einem Kartenwerk und einem Textteil dargestellt sind. Die wichtigsten hydrologischen Daten von ausgewählten Meßstellen sind in einem der Monographie beigefügten Tabellenteil aufgeführt. Die Monographie versteht sich als Inventar.

Auf ihrer Plenarsitzung im Jahre 1978 in Boppard/Bundesrepublik Deutschland hat die KHR die Fortsetzung der Zusammenarbeit auf der Grundlage dieses Inventars beschlossen. Dabei will sie sich wichtigen praktischen Fragen widmen, um vor allem den Informations- und Datenaustausch über die Landesgrenzen hinweg zu verbessern. Eines der Projekte widmet sich dem Problemkreis der hydrologischen Vorhersagen mit den Teilprojekten:

- operationelle Wasserstands- und Abflußvorhersage
- Kosten-Nutzen Analyse von Niedrigwasservorhersagen
- quantitative Niederschlagsvorhersagen

Für diese Arbeiten wurde eine Kontaktgruppe eingerichtet, sowie ein Rapporteur zur Frage der quantitativen Niederschlagsvorhersagen benannt. Hydrologische Modelle zur Vorhersage des Wasserstandes und des Abflusses sind im Rheingebiet schon seit längerer Zeit im Einsatz. Die meisten dieser Modelle verwenden als Eingabedaten Niederschlagswerte, sowie Wasserstands- und Abflußwerte von im Oberlauf gelegenen Pegeln.

Zum Vorhersagezeitpunkt werden die benötigten Eingangsdaten eingeholt. Diese sind meist schon einige

tème. Celles-ci sont la plupart du temps déjà vieilles de quelques heures quand elles entrent dans le processus de calcul de la prévision. Il est bien connu que plus le laps de temps couvert par la prévision est court, plus exactes sont les prévisions. Une perte d'information est liée à la perte de temps que constitue la recherche des données. En outre, la plupart des modèles mathématiques sont conçus de façon à ce que les précipitations, qui interviendraient à partir du moment où s'établit la prévision, ne soient plus prises en considération. Jusqu'à ces derniers temps, les services météorologiques n'étaient pas en mesure d'établir des prévisions quantitatives des précipitations. A défaut de telles prévisions, il est préférable d'admettre que les dernières averses se poursuivent ou alors que la valeur moyenne des précipitations observées au cours du dernier intervalle de prévision est encore valable pour le suivant, plutôt que de supposer l'arrêt des précipitations à l'instant même où l'on établit la prévision. De telles valeurs moyennes de précipitations doivent alors être introduites dans le calcul prévisionnel. Confrontés à cette absence de prévisions quantitatives des précipitations, certains centres de prévision hydrologique se sont occupés eux-mêmes du problème et ont mis au point des modèles mathématiques simples qui, pour la plupart, décrivent les relations, établies par régression, qui peuvent exister entre les précipitations tombant dans le bassin versant et d'autres variables météorologiques mesurées aux stations synoptiques lointaines. Les prévisions quantitatives des précipitations ainsi établies ont occasionnellement pu trouver accès aux modèles de prévisions hydrologiques.

Entre-temps, des développements techniques nouveaux ont vu le jour et les services météorologiques ont maintenant à leur disposition de plus puissants ordinateurs, leur permettant de construire de grands modèles mathématiques de l'atmosphère, englobant généralement tout l'hémisphère nord. Avec ces modèles, des prévisions quantitatives des précipitations sont aujourd'hui possibles. Cependant la largeur des mailles qu'utilisent ces modèles est trop vaste pour permettre d'obtenir une précision suffisante pour les besoins de l'hydrologie. Néanmoins, la possibilité de pouvoir utiliser ces prévisions quantitatives représente un progrès considérable par rapport aux méthodes appliquées jusqu'ici, et il faut espérer qu'au cours du temps le maillage des modèles atteindra une densité satisfaisante et que les prévisions parviendront à une plus grande précision.

Le compte rendu préparé par le rapporteur de la CHR et qui vous est présenté ici, donne une vue d'ensemble des possibilités actuelles en matière de prévision des précipitations.

Le présent rapport est le premier d'une série de publications de la CHR (série I). Outre les publications officielles de la CHR, une deuxième série de rapports sera publiée sous l'égide de la CHR (série II).

PDoz. Dr. H. -J. Liebscher
Président de la CHR

Stunden alt, bevor sie in die Vorhersageberechnungen eingehen. Je kürzer der Vorhersagezeitraum ist, desto genauer sind bekanntlich die Vorhersagen. Mit dem Verlust der mit der Dateneinholung benötigten Zeit ist auch ein Informationsverlust verbunden. Ferner sind die meisten mathematischen Modelle so konzipiert, daß ab dem Vorhersagezeitraum fallende Niederschläge nicht mehr berücksichtigt werden. Die meteorologischen Dienste waren bis vor kurzem nicht in der Lage, quantitative Niederschlagsvorhersagen zu erstellen. Es ist bei Ermangelung quantitativer Niederschlagsvorhersagen möglicherweise besser, statt von der Annahme, daß ab dem Vorhersagezeitpunkt kein Niederschlag mehr fällt, davon auszugehen, daß der letzte Niederschlag oder der mittlere Niederschlag der letzten Vorhersageintervalle sich über den Zeitpunkt des Beginns der Vorhersageberechnung fortsetzt. Diese Werte sind in die Vorhersageberechnung mit einzubeziehen. In Ermangelung quantitativer Niederschlagsvorhersagen haben sich in einigen Fällen hydrologische Vorhersagezentralen mit quantitativen Niederschlagsvorhersagen befaßt und kleinere mathematische Modelle aufgestellt, die meist die Zusammenhänge zwischen Niederschlagswerten im Einzugsgebiet des Vorhersagepegels und anderen meteorologischen Meßwerten weit abgelegener synoptischer Stationen durch Regressionsbeziehungen beschreiben. Die mit diesen relativ einfachen Modellansätzen ermittelten quantitativen Niederschlagsvorhersagen fanden vereinzelt Eingang in die hydrologischen Vorhersagemodelle.

In der Zwischenzeit ist die Entwicklung weitergegangen und die Verfügbarkeit größter Rechenanlagen hat die meteorologischen Dienste in die Lage versetzt, große, meist die gesamte nördliche Hemisphäre umfassende mathematische Modelle aufzustellen. Mit diesen Modellen sind heute quantitative Niederschlagsvorhersagen möglich. Die Maschenweite dieser Modelle ist jedoch zu weit, um mit ihnen für hydrologische Zwecke befriedigend genaue quantitative Niederschlagsvorhersagen zu erhalten. Trotzdem stellt die Möglichkeit der Heranziehung dieser Vorhersagen gegenüber dem bisher praktizierten Methoden einen wesentlichen Fortschritt dar und es bleibt zu hoffen, daß im Laufe der Zeit die Maschenweite der Modelle eine befriedigende Dichte und die Vorhersage eine größere Genauigkeit erhält.

Der von dem KHR-Rapporteur über »quantitative Niederschlagsvorhersagen« erarbeitete Bericht gibt einen Überblick über die augenblicklichen Möglichkeiten der Vorhersagen von Niederschlägen.

Der vorliegende Bericht eröffnet eine Reihe (I) von KHR-Veröffentlichungen. Neben den offiziellen KHR-Veröffentlichungen wird eine zweite Reihe (II) von Berichten unter der Schirmherrschaft der KHR veröffentlicht.

PDoz. Dr. H. -J. Liebscher
Vorsitzender der KHR

TABLE DES MATIÈRES

Préface

1.	Introduction	5
2.	Processus de formation des précipitations	7
2.1	Formation des précipitations dans l'atmosphère	7
2.2	Modélisation des processus de formation des précipitations	8
2.2.1	Modèles statistiques synoptiques	8
2.2.2	Modèles dynamiques	10
2.2.3	Modèles statistiques dynamiques	14
3.	Répertoire des modèles	16
3.1	Modèles statistiques synoptiques	17
3.2	Modèles statistiques dynamiques	22
3.3	Modèles dynamiques	23
3.4	Indices de convection	31
3.5	Prévisions quant à la nature physique des précipitations	32
4.	Des prévisions et comparaisons entre modèles	33
5.	Développement futur des prévisions quantitatives de précipitations	37
6.	Recommandations	40
7.	Résumé (français, allemand, néerlandais, anglais)	42
	Bibliographie	45

INHALT

Vorwort

1.	Einleitung	5
2.	Niederschlagsprozeß	7
2.1	Niederschlagsprozeß in der Atmosphäre	7
2.2	Niederschlagsprozeß im Modell	8
2.2.1	Synoptisch-statistische Modelle	8
2.2.2	Dynamische Modelle	10
2.2.3	Dynamisch-statistische Modelle	14
3.	Verzeichnis der Modelle	16
3.1	Synoptisch-statistische Modelle	17
3.2	Dynamisch-statistische Modelle	22
3.3	Dynamische Modelle	23
3.4	Konvektionsindizes	31
3.5	Aggregatzustand von vorhergesagten Niederschlägen	32
4.	Verifikation, »Intercomparison«	33
5.	Künftige Entwicklung in der quantitativen Niederschlagsvorhersage	37
6.	Empfehlungen	40
7.	Zusammenfassung (französisch, deutsch, niederländisch, englisch)	42
	Literaturverzeichnis	45

1. INTRODUCTION

Dans le présent rapport, on a cherché à donner un aperçu sur l'état des procédés permettant d'établir des prévisions quantitatives concernant les précipitations. Une enquête par questionnaires de la Commission pour les Sciences de l'Atmosphère de l'OMM (CSA) effectuée en 1976 a eu le même but. Le résultat de cette enquête est résumé dans un rapport de l'OMM – «Operational Models of Quantitative Precipitation Forecasts for Hydrological Purposes and Possibilities of an Intercomparison» [BELLOCQ, 1980].

Les précieuses informations du rapport de l'OMM ont été reprises et complétées. Des procédés qui ne sont pas ou qui ne sont plus utilisés, mais qui peuvent constituer des solutions tout à fait praticables pour prévoir quantitativement des précipitations sont aussi discutés [FULKS, 1935; LETTAU, 1948; KUHN, 1953; WILSON, 1961; HARLEY, 1963; SCHÄFER, 1965; FRANKE et SIEBER, 1968]. On s'est toutefois limité à quelques exemples, le but étant de donner un aperçu du grand nombre de procédés, de procédés partiels et de propositions de procédés.

La bibliographie a été limitée aussi en ce sens que, d'une part, les modèles n'y figurent qu'avec une seule référence et que, d'autre part, on a renoncé dans toute la mesure du possible à répéter des informations contenues dans les publications existantes.

La récapitulation des modèles dans le chapitre 3 est précédée d'une courte description, dans le chapitre 2, de leur structure et de leurs propriétés. Ainsi, sont données, pour autant que cela soit nécessaire, outre les caractéristiques des modèles, en style télégraphique (chap. 3), une information supplémentaire sur les possibilités, actuelles et futures, en matière de prévisions quantitatives des précipitations. Peut-être cela servira-t-il aussi lors du rapprochement nécessaire entre l'offre possible de la météorologie et la demande de l'hydrologie [ROTH, 1979, remarques finales].

Les méthodes de prévisions quantitatives des précipitations à l'aide d'observations par satellites ou de sondages par radar prennent une position spéciale parmi les autres procédés car elles sont soumises à d'importantes restrictions (installations techniques, durée de la période de prévisions, portée du radar, signification de la relation entre l'information fournie par l'image, le signal et la quantité de précipitation, etc.) Pour ces raisons, elles ne figurent donc pas dans les descriptions qui suivent. Il faut constater aussi que ces méthodes ne sont pas contenues dans les réponses aux questionnaires de l'OMM [BELLOCQ, 1980, annexe III, pp. 1...40]. Des méthodes destinées à déterminer les indices d'instabilité qui servent à prévoir des précipitations convectives et dont les indications représentent en premier lieu une

1. EINLEITUNG

Im vorliegenden Bericht wird angestrebt, einen Überblick über den Stand der Verfahren für quantitative Niederschlagsvorhersagen zu geben. Dem gleichen Ziel diene eine Fragebogenaktion der »Commission for Atmospheric Sciences« der WMO (CAS) aus dem Jahr 1976. Das Ergebnis dieser Aktion ist in einem Bericht der WMO – »Operational Models of Quantitative Precipitation Forecasts for Hydrological Purposes and Possibilities of an Intercomparison« – [BELLOCQ, 1980] zusammengefaßt.

Die wertvollen Informationen des WMO-Berichtes werden übernommen und ergänzt. Dabei kommen auch Verfahren zur Sprache, die zwar nicht oder nicht mehr angewendet werden, aber durchaus praktikable Lösungen zur quantitativen Niederschlagsvorhersage darstellen können [FULKS, 1935; LETTAU, 1948; KUHN, 1953; WILSON, 1961; HARLEY, 1963; SCHÄFER, 1965; FRANKE und SIEBER, 1968]. Die Anzahl ihrer Beispiele ist jedoch gering gehalten. Sie sollen vor allem als Hinweis auf eine Vielzahl ähnlicher Verfahren, Verfahrensteile und Verfahrensvorschläge dienen.

Das Literaturverzeichnis wurde ebenfalls begrenzt gehalten indem einerseits Modelle nur mit einer Angabe erscheinen und andererseits indem auf die Wiederholung von bereits in den Artikeln vorhandenen Literaturangaben möglichst verzichtet wurde.

Der Zusammenstellung der Modelle in Kapitel 3 geht mit Kapitel 2 eine kurze Beschreibung über Aufbau und Eigenschaften voran. Damit besteht, sofern nötig, neben der stichwortartigen Modellcharakteristik (Kap. 3) eine zusätzliche Information über die gegenwärtigen und kommenden, prinzipiellen Möglichkeiten bei der quantitativen Niederschlagsvorhersage. Vielleicht hilft dies auch bei der notwendigen Annäherung zwischen möglichem Angebot der Meteorologie und Nachfrage der Hydrologie [ROTH, 1979, Schlußbemerkungen].

Methoden zur quantitativen Niederschlagsvorhersage mit Hilfe von Satellitenaufnahmen oder Radar-sondierungen nehmen unter den übrigen Verfahren eine Sonderstellung ein, da sie u.a. wesentlichen Einschränkungen unterliegen (technische Einrichtung, Länge der Vorhersageperiode, Reichweite des Radars, Signifikanz der Beziehung zwischen Bildinformation bzw. Signal und Niederschlagsmenge, usw.). Sie wurden deshalb in die folgenden Beschreibungen nicht aufgenommen. Es ist festzustellen, daß diese Methoden auch in den beantworteten Fragebogen der WMO nicht enthalten sind [BELLOCQ, 1980, Anlage III, Seiten 1...40]. Methoden zur Bestimmung von Labilitätsindizes, die zur Vorhersage von konvektiven Niederschlägen dienen und deren Aussagen in erster Linie eine »Ja-Nein-Ent-

«décision par oui ou par non», mais qui dans des conditions déterminées, peuvent aussi être quantifiées d'une manière plus subtile, ne sont mentionnées dans le chapitre 3 qu'à titre de complément. Ces méthodes n'apparaissent pas non plus dans les réponses aux questionnaires de l'OMM [BELLOCQ, 1980, annexe III, pp. 1...40].

Dans ce document l'intérêt se portait vers des méthodes qui sont applicables aussi universellement que possible, qui permettent des prévisions à courte échéance, c'est-à-dire de 1 à 4 jours environ et qui sont utilisées ou peuvent l'être dans la région du bassin versant du Rhin. Elles peuvent être classées dans les 3 catégories suivantes: modèles statistiques synoptiques; modèles dynamiques; modèles statistiques dynamiques [cf. BELLOCQ, 1980, annexe I, p. 9]. Le procédé mentionné dans le rapport de l'OMM sous la désignation de «dynamique-synoptique» n'a pas été repris ici. Il est cependant appliqué d'une manière opérationnelle pour la prévision des débits à court terme du Rhin à Rheinfelden et livre des résultats qui ne sont pas plus mauvais que ceux donnés par des méthodes complètement objectives [VAW, 1979]. Mais le procédé n'est pas totalement objectif, c'est-à-dire que son application dépend de la personne qui l'utilise; il sort donc du cadre des procédés universellement applicables.

Pour caractériser les modèles, il faut encore définir deux notions, les termes entre parenthèses étant ceux utilisés dans [BELLOCQ, 1980]:

- Portée de la prévision («validity of forecasts»): Intervalle de temps pour lequel la quantité de précipitations est prévue, exprimé en heures; on commence de compter les heures au moment où les données les plus récentes sont disponibles.
- Sous-périodes («period covered»): Subdivision de la portée de la prévision en intervalles de temps plus courts, par exemple 6 ou 12 heures, pour chacun desquels la somme des précipitations est prévue.

scheidung« darstellen, unter bestimmten Bedingungen aber auch feiner quantifizierbar sind, werden in Kapitel 3 nur als Ergänzung erwähnt. Diese Methoden erscheinen ebenfalls nicht in den beantworteten Fragebogen der WMO [BELLOCQ, 1980, Anlage III, Seiten 1...40].

Im Mittelpunkt des Interesses standen Methoden, die möglichst universell anwendbar sind, die Vorhersagen im Kurzfristbereich, d.h. für 1 bis etwa 4 Tage liefern, und die im Bereich des Rheineinzugsgebietes eingesetzt werden oder werden können. Sie lassen sich folgenden drei Kategorien zuordnen: synoptisch-statistische Modelle; dynamische Modelle; dynamisch-statistische Modelle [siehe auch BELLOCQ, 1980, Anlage, Seite 9]. Das im Bericht der WMO unter der Bezeichnung »synoptisch-dynamisch« geführte Verfahren wird hier nicht übernommen. Es steht zwar für die kurzfristigen Abflußprognosen für den Rhein bei Rheinfelden im operationellen Einsatz und liefert brauchbare, den rein objektiven Methoden nicht unterlegene Ergebnisse [VAW, 1979]. Das Verfahren ist aber nicht geschlossen objektiv, d.h. es ist in der Ausführung personenbezogen und fällt somit nicht in den Rahmen der universellen Anwendbarkeit.

Für die Charakterisierung der Modelle sind noch zwei Begriffe zu definieren, in den Klammern stehen die in [BELLOCQ, 1980] verwendeten Ausdrücke:

- Gültigkeitsdauer («validity of forecasts»): Zeitraum, für den Niederschlag quantitativ vorhergesagt wird, ausgedrückt in Stunden; die Zählung der Stunden beginnt mit dem Zeitpunkt, von dem die jüngsten Inputdaten stammen.
- Teilperiode («period covered»): Auflösung der Gültigkeitsdauer in kürzere Zeitabschnitte, z.B. 6 oder 12 Stunden, für welche die Niederschlagssumme vorhergesagt wird.

7. RÉSUMÉ

Les précipitations sont le résultat de processus complexes se déroulant dans l'atmosphère. De nombreuses variantes de modèles pour la prévision quantitative des précipitations ont été établies. Le grand nombre de ces variantes résulte de nos connaissances limitées sur les phénomènes physiques du milieu atmosphérique, et surtout de nos possibilités restreintes d'acquisition et de traitement de données sur l'état de l'atmosphère. Ces modèles peuvent être classés en trois groupes:

1. Les modèles statistiques synoptiques, qui utilisent des relations statistiques entre les phénomènes synoptiques et les quantités de précipitations.
2. Les modèles dynamiques, qui calculent les quantités de précipitations par simulation numérique des processus physiques aboutissant aux précipitations.
3. Les modèles statistiques dynamiques, qui utilisent des relations statistiques entre les résultats obtenus par les modèles dynamiques et les quantités de précipitations.

Des modèles appartenant à chacun de ces trois groupes existent pour le bassin du Rhin, modèles effectivement utilisés ou pouvant l'être sous certaines conditions. Ils sont présentés dans le présent rapport avec leurs principales caractéristiques. Dans ce rapport, les modèles dynamiques sont considérés comme les plus importants. Ils représentent l'état actuel de nos possibilités. Ce sont eux qui sont développés actuellement de la façon la plus intensive. Ils fournissent des prévisions quantitatives des précipitations ainsi que des données utilisables par les modèles des deux autres groupes.

Les modèles de précipitations se distinguent les uns des autres par le travail nécessaire à leur mise en œuvre opérationnelle, ainsi que par la finesse des résultats obtenus en ce qui concerne la quantité des précipitations et leur répartition dans l'espace et le temps. Les deux types de modèles statistiques sont liés à des bassins versants déterminés. Il n'est donc pas possible, d'une façon générale, de les comparer entre eux («intercomparaison»). Pour juger de la valeur des résultats fournis par des modèles particuliers (vérification), il faudrait se baser sur des critères dépendant de la sensibilité du modèle hydrologique à appliquer.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Niederschlag ist das Ergebnis komplexer Vorgänge in der Atmosphäre. Begrenzte Kenntnis der physikalischen Abläufe und vor allem begrenzte Möglichkeiten bei der Messung des Zustandes der Atmosphäre sowie bei der Beschaffung und Verarbeitung dieser Daten führten in der quantitativen Niederschlagsvorhersage zu zahlreichen Modellvarianten. Die Modelle lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

1. Synoptisch-statistische Modelle. Diese Modelle verwenden statistische Beziehungen zwischen synoptischen Phänomenen und Niederschlagsmengen.
2. Dynamische Modelle. Die Niederschlagsmenge wird hier durch numerische Simulation des physikalischen Niederschlagsprozesses berechnet.
3. Dynamisch-statistische Modelle. Diese Modelle verwenden statistische Beziehungen zwischen Ergebnissen aus dynamischen Modellen und Niederschlagsmengen.

Im Einzugsgebiet des Rheins lassen sich zu jeder Gruppe Modelle finden, die entweder betrieben werden oder unter bestimmten Bedingungen eingeführt werden könnten. Diese Modelle sind mit ihren wesentlichen Merkmalen im vorliegenden Bericht zusammengestellt worden. Den dynamischen Modellen kommt dabei die größte Bedeutung zu. Sie verkörpern den gegenwärtigen Stand der Möglichkeiten, sie erfahren die intensivste Weiterentwicklung, sie liefern selbst quantitative Niederschlagsvorhersagen und sie erzeugen Unterlagen, mit denen Modelle der beiden anderen Gruppen betrieben werden können.

Die Niederschlagsmodelle unterscheiden sich im Betriebsaufwand sowie in der mengenmäßigen, räumlichen und zeitlichen Auflösung ihrer Ergebnisse. Die beiden statistischen Modellgruppen sind auf bestimmte Einzugsgebiete festgelegt. Ein allgemeiner Modellvergleich («Intercomparaison») ist demzufolge nicht durchführbar. Die Beurteilung der Ergebnisse einzelner Modelle (Verifikation) sollte auf Kriterien basieren, die von der Empfindlichkeit des zu betreibenden hydrologischen Modelles abhängen.