


Ergebnisse österreichischer Aktivitäten im Internationalen Hydrologischen Programm (IHP) 1981–1990			Redaktion: Walter Kollmann & Albert Daurer		
	Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.	ISSN 0253-097X ISBN 3-912-300312-84-2	Band 14	S. 21–33	Wien, Februar 1993

Langfristige Entwicklung des Wasserhaushalts von Österreich*)

Von OSKAR BEHR**)

Mit 8 Abbildungen

*Österreich
Wasserhaushalt
Wasserbilanz*

Inhalt

Zusammenfassung	21
Abstract	22
1. Einleitung	22
2. Zielsetzung	22
2.1. Problemstellung	22
2.2. Durchführungskonzept	22
3. Rechentechnisches System	23
3.1. Gesamtkonzeption und Datenerfordernisse	23
3.1.1. Gebietsorientiertes digitales Wasserhaushaltsmodell	23
3.1.2. Erforderliche hydrologische und meteorologische Meßwerte	24
3.1.3. Erforderliche Gebietskennwerte	24
3.1.4. Software	24
3.2. Bilanzerstellung	24
3.2.1. Vorgangsweise	24
3.2.2. Gebietskenngrößen	24
3.2.3. Wasserbilanzelemente für Gebiete	25
3.2.4. Gerasterte Wasserbilanzelemente	25
3.3. Gebietsspezifische Festlegungen	26
3.4. Operationelle Hinweise	26
3.5. Auswertung und Analyse der Wasserbilanz	27
3.5.1. Sensitivität der Ermittlung von Wasserbilanzelementen	27
3.5.2. Analyse auf Widerspruchsfreiheit und Plausibilität	27
3.5.3. Wasserbilanz für Pegeleinzugsgebiete und Flußgebiete	27
3.5.4. Abhängigkeit zwischen Wasserbilanzelementen und Gebietskenngrößen	27
3.5.5. Visualisierung der Ergebnisse	28
4. Ausgewählte Ergebnisse	28
4.1. Ausgewählte bundesweite Ergebnisse	28
4.2. Ausgewählte Einzelauswertungen	28
4.2.1. Gebietsniederschläge	28
4.2.2. Schneerückhalt	28
4.2.3. Verdunstungsauswertungen	30
5. Zusammenfassung und Ausblick	30
Literatur	33

Zusammenfassung

Die Erfassung des Wasserhaushalts ist in den letzten Jahren nicht zuletzt auf Grund der aktuellen Problematik der Klimaentwicklung als vordringlich erkannt worden. Dabei wird auch zunehmend deutlich, daß ein laufendes Monitoring des Wasserhaushalts mit jeweils aktuellen Daten erforderlich ist. Diese Grundauswertung ist notwendige Voraussetzung für die Simulation möglicher Zukunftsszenarien.

Geoinformationssysteme sind nicht speziell für die Wasserhaushaltsrechnung ausgestattet, sodaß eigene Softwareentwicklungen notwendig werden. Die diesbezüglich durchgeführten Forschungsarbeiten werden im ersten Abschnitt beschrieben.

Da eine detaillierte Darstellung des nationalen Wasserhaushalts im vorliegenden Rahmen nicht möglich ist, werden anschließend einige Gesamtergebnisse sowie charakteristische Einzelauswertungen dargestellt, die im Hinblick auf künftige Entwicklungen von Bedeutung sind.

*) Auszug aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Langfristentwicklung des Wasserhaushaltes in Österreich“ im Rahmen des Forschungsprogramms „Hydrologie Österreichs“ der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

**) Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. techn. OSKAR BEHR, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien.

Long-term Development of Water Balance in Austria

Abstract

Because of probably forthcoming climate development the assessment of the national water budget has become an even more urgent task. At the same time it becomes obvious that this should be done as a process of continuously monitoring the water balance. This basic task is essential for simulating future scenarios.

Geographical information systems available are not especially designed to solve this question and thus special software developments are required. The research carried out in this field is described in the first chapter.

As a detailed description of the national water budget within this report is not possible, some general results are presented. Additionally, some selected investigations are described which should reveal the problems of future development.

1. Einleitung

Seit einigen Jahren wurden die ersten konkreten Hinweise über mögliche Ausmaße künftiger Klimatendenzen aus den verfügbaren Daten und Unterlagen greifbar. Das etwa zu diesem Zeitpunkt begonnene Forschungsprojekt konnte sich auf keine vergleichbaren bereits vorhandenen Auswertungen stützen.

Schon erste einfache Überlegungen zeigen, daß die Auswirkungen verschiedener entworfenen Klimaszenarien auf den Wasserhaushalt sehr weitreichend sind:

- ◆ Die Auswirkungen können quantitativ ein Vielfaches der durch die Veränderung von Klimagrößen (etwa der Mitteltemperatur) angedeuteten Größenordnung erreichen.
- ◆ Obwohl Klimaszenarien derzeit mangels anderer Möglichkeiten für Großräume entwickelt werden, sind die Auswirkungen selbst auf kleinstem Raum äußerst individuell; es besteht keine Möglichkeit, Ergebnisse von einem Gebiet ohne weiteres auf ein anderes Gebiet zu übertragen. Es gibt wohl methodische Erkenntnisse allgemeiner Art, nicht jedoch von vorneherein örtlich übertragbare Aussagen. Dies gilt in besonderem Maße für die komplizierte Orographie von Österreich, wobei noch dazu – hauptsächlich durch den Alpenhauptkamm getrennt – zwei unterschiedlich reagierende Klimabereiche vorliegen.
- ◆ Die vorhersehbaren Zukunftsszenarien, bei denen es stets notwendig ist, Änderungen klimatischer, ökologischer und wasserwirtschaftlicher Art gemeinsam zu betrachten, können sich zeitlich so entwickeln, daß es nicht möglich ist, mit der Erstellung der erforderlichen Methodik und Datengrundlage Schritt zu halten. Es sind daher vorausschauende Maßnahmen anzustreben.
- ◆ Die „natürliche“ Variabilität des Wasserhaushalts ist, wie sich aus der Aufarbeitung historischer Beobachtungen ergibt, größer als die in der praktischen Wasserwirtschaft derzeit verwendeten Szenarien. Wie historische Reihen zeigen, können dabei Tendenzänderungen auch ziemlich unvermittelt eintreten.
- ◆ Die ökonomischen Implikationen möglicher Änderungen wasserwirtschaftlicher Rahmenbedingungen sind enorm. Es ist daher eine vorausschauende Planung erforderlich; die mögliche Variabilität muß als Planungsgrundlage systematisch herangezogen werden.

Die nachfolgende Darstellung erläutert die methodischen Aspekte der Analyse des Wasserhaushalts auf nationaler Basis. Sie fußt auf den praktischen Erfahrungen bei der Durchführung dieser Aufgabe für das Bundesgebiet von Österreich für eine längere Jahresreihe.

2. Zielsetzung

2.1. Problemstellung

Für eine sachgerechte Behandlung möglicher Szenarien künftiger Entwicklungen des Wasserhaushalts ist es wesentlich, den vergangenen und gegenwärtigen Zustand des Wasserhaushalts zu erfassen und zu analysieren.

Vor die Frage einer Untersuchung des nationalen Gebietswasserhaushalts eines Landes für einen längeren Zeitabschnitt gestellt, ergibt sich nach dem derzeitigen Stand der Möglichkeiten die zeitliche und örtliche Auflösung fast zwangsläufig. Man ist praktisch genötigt, die Gebietseinheiten nach den längerfristig vorhandenen Abflußmeßstellen festzulegen und die zeitliche Auflösung in Monatsschritten vorzunehmen.

2.2. Durchführungskonzept

Die Analyse der Problemstellung sowie der einzelnen zu lösenden Aufgaben ergab folgendes:

- ◆ Die Behandlung der Aufgabe im Rahmen eines der marktüblichen Geoinformationssysteme ist nicht zielführend; neben der Tatsache, daß eine Reihe von notwendigen Teilauswertungen durch die vorhandene Software nicht oder methodisch unzureichend abgedeckt ist, ist auch die gleichzeitige Verwendung unterschiedlicher logischer Datenstrukturen (ortsbezogene Daten und relativ lange Zeitreihen von Beobachtungsdaten) in solchen Systemen schwierig.
- ◆ Während also für die eigentliche Wasserhaushaltsrechnung eine problemorientierte Neuentwicklung notwendig ist, können für die Evidenzhaltung der erforderlichen Beobachtungsdaten hydrologische und wasserwirtschaftliche Datenbanken und für die raumbezogenen Daten Geoinformationssysteme wirtschaftlich genutzt werden. Ebenso können nach Vorliegen der Ergebnisse Geoinformationssysteme zur Visualisierung und Einbringung der Ergebnisse in andere Fragestellungen günstig genutzt werden.

Das Grunderfordernis an die Betriebsweise eines Wasserhaushalts-Rechensystems ist die jahresweise laufende Nachführung der Wasserhaushaltsrechnung, die bei entsprechend raschem Datenfluß der hydrologischen und meteorologischen Beobachtungsdaten auch näher an den aktuellen Zeithorizont herangeführt werden könnte.

Für den Aufbau des Wasserhaushalts-Datenbestandes und die laufende jährliche Nachführung sind umfangreiche Rechenarbeiten nötig, für die der interaktive Betrieb keine Vorteile bietet. Die selektive Analyse der Ergebnisse ist jedoch für interaktive Betriebsweise besonders geeignet. Auch ist zu erwähnen, daß zufolge der Kombinations-

möglichkeiten verschiedener Auswerteooptionen eine größere Anzahl von unterschiedlichen Auswertungen möglich wird. Diese sollten sinnvollerweise nicht in großem Umfang durchgeführt und „auf Lager gelegt“ werden, sondern sind bei Bedarf gezielt zu benutzen. Sinnvoll ist hier lediglich die routinemäßige Durchführung gewisser Grundaufgaben, die dem aktuellen Überblick dienen.

3. Rechentechnisches System

3.1. Gesamtkonzeption und Datenerfordernisse

3.1.1. Gebietsorientiertes digitales Wasserhaushaltsmodell

Die Komplexität der erforderlichen Auswertungen benötigt eine stufenweise, strukturierte Vorgangsweise. Grundlage ist zunächst die gebietsorientierte Auswertung. Die Einteilung der Gebiete ist nicht frei wählbar, sondern ist durch die Meßorte an den Oberflächengewässern vorgegeben. Da mit einer zeitlichen Variabilität der Meßorte gerechnet werden muß, sind im Sinne eines operablen Systems Hintergrunddaten zu schaffen, die eine rasche Adaptierung an das aktuelle Beobachtungsnetz erlauben. Auch die künstlichen Beeinflussungen des Abflußsystems, soweit sie die summarischen Vorgänge der Gebiete betreffen, sind laufend zu adaptieren. Dies zeigt, daß für die operative Wartung eines nationalen

Wasserhaushaltsmodells auch die ortsbezogenen Daten nachgeführt werden müssen. Solche Anforderungen sind nur realistisch, wenn diese Daten auch für möglichst viele andere Zwecke genutzt werden können.

Die gebietsorientierte Auswertung erfordert gleichzeitig auch flächenhafte Auswertungen, die eine Verarbeitung gerasterter Daten voraussetzen. Diese müssen entweder aus Punktmessungen gewonnen werden (z. B. Niederschlag), oder von vorneherein gerastert eingebracht werden (z. B. Gelände, Bodennutzung).

Die hydrologischen und meteorologischen Eingangsdaten beziehen sich auf koordinativ gegebene Meßorte und besitzen eine laufend größer werdende Zeitreihe.

Die angeführten Datengruppen besitzen unterschiedliche logische Struktur und benötigen sehr unterschiedliche Erfordernisse der zeitlichen Nachführung.

Um die Wasserhaushaltsrechnung effizient durchführen zu können, wurde das nachfolgend dargestellte Wasserhaushalts-Rechensystem entwickelt (Prinzipiskizze Abb. 1). Dieses System setzt noch näher zu erläuternde Daten als Eingangsgrößen voraus.

Die aus den Eingangsdaten stammenden Informationen werden in der „Wasserhaushaltsdatei“ („Datenkernsystem“) entwickelt und verwaltet. Dieser Datenbestand ist physisch in Key-adressierten Records fixer Länge abgelegt, die entweder parametrisierte Gebietsinformation oder Wasserbilanzelemente (Monatswerte für einen 10-Jahresabschnitt) enthalten.

Eine Verwendung von Datenspeicherorganisationen in geographischen Informationssystemen wird bewußt um-

gangen, um nicht die Abhängigkeit von einem speziellen Softwaresystem einzuführen. Sehr sinnvoll ist hingegen eine Schnittstelle zwischen der Wasserhaushaltsdatei und geographischen Informationssystemen zur Analyse und Weiterverarbeitung der Daten.

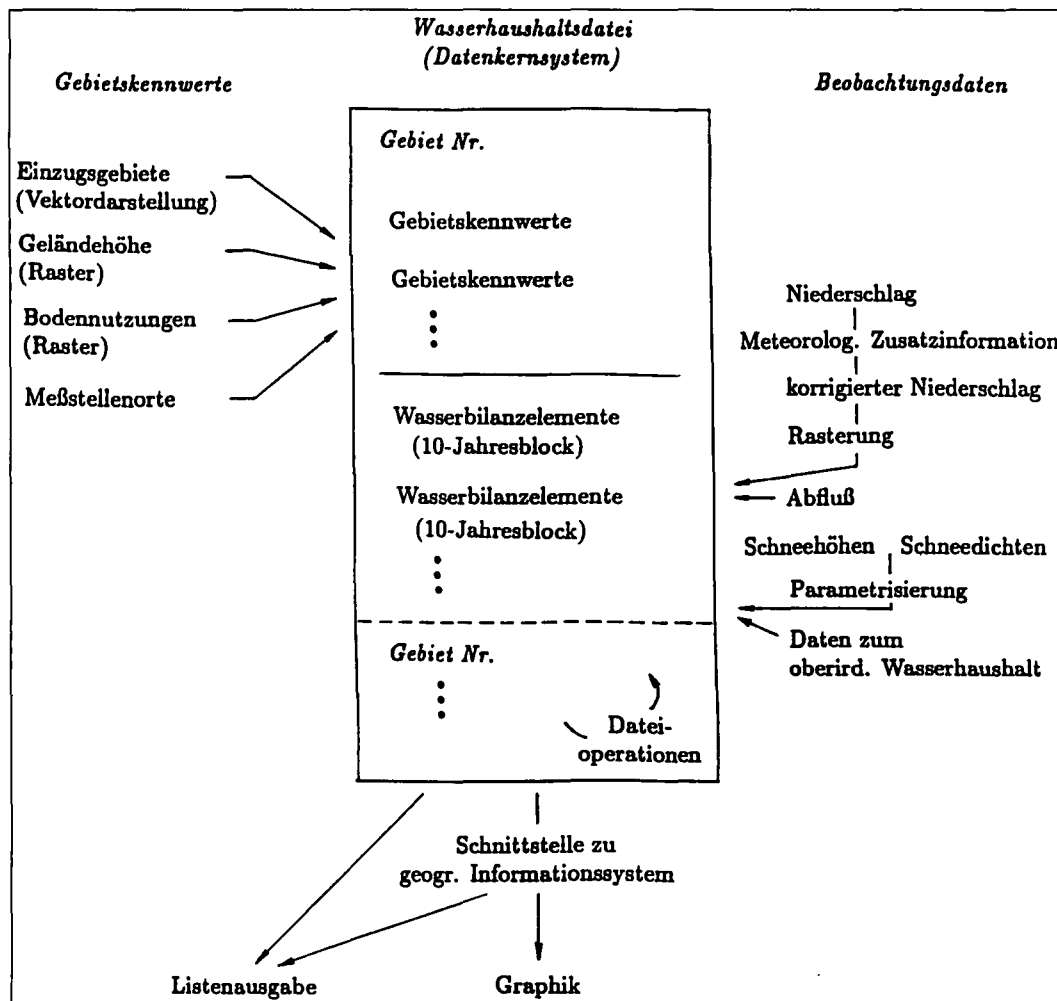


Abb. 1. Prinzipiskizze zum Rechensystem „Wasserhaushalt“.

3.1.2. Erforderliche hydrologische und meteorologische Meßwerte

Die für die Wasserbilanzrechnung nötigen hydrologischen und meteorologischen Meßwerte sind als Monatswerte erforderlich. Eine Ausnahme bilden die Schneehöhen bzw. Schneedichten, die als Differenzen von Terminwerten zu verarbeiten sind.

3.1.3. Erforderliche Gebietskennwerte

Als Gebietskennwerte sind zumindest die Begrenzungspolygone der Einzugsgebiete sowie gerasterte Geländedaten erforderlich.

Für Österreich liegt ein bundesweites Geländemodell mit 250 m-Rasterung vor. Für die Wasserbilanzrechnung wird derzeit ein etwas gröberes Modell (500 m Maschenweite) verwendet. Ebenso wird ein Übersichts-Bodennutzungsmodell (1000 m Maschenweite) herangezogen.

Weitere gerasterte Modelle für hydrologisch relevante Größen können eingebracht werden. Interessant wäre auch die – derzeit auf Grund der digital vorliegenden Daten bereits mögliche – Einbeziehung von Gewässernetzparametern. Hier käme wohl in erster Linie die Gewässernetzdichte als Kenngröße in Frage.

3.1.4. Software

Für die Durchführung der einzelnen spezifischen Aufgaben, die für die Erstellung der Grundlagen und die eigentliche Wasserbilanzrechnung erforderlich sind, dienen modulare Bausteine.

Es sind die nachfolgenden Einzelaufgaben zu bearbeiten, die teils Operationen außerhalb des Datenkernsystems darstellen, teils Informationen in das Datenkernsystem setzen oder zur Gänze innerhalb des Datenkernsystems ablaufen:

Externe Datenoperationen

- Agglomeration von täglichen Beobachtungswerten (Jahresblockstruktur) in Monatswerte (10-Jahresblockstruktur) einschließlich Setzen von Meßstellen-Grundinformation; laufende Nachführung, Dokumentation, automatisierte Datenlückenfüllung
- Rechnerische Korrektur der systematischen Beobachtungsfehlbeträge des Niederschlags unter Verwendung täglicher Niederschlagswerte und Klimadaten; Resultat ist eine modifizierte Datei monatlicher Niederschläge (10-Jahresblockstruktur).

Setzen von Gebietsinformation in das Datenkernsystem

- Setzen von Grundinformation über die Bilanzgebiete (Pegelstellen, Ober- und Unterliegergebiete etc.) in das Datenkernsystem
- Extraktion von Einzugsgebietsgrenzen aus dem Oberflächenentwässerungssystem und Generalisierung der Grenzen
- Ermittlung von Geländeparametern unter Verwendung generalisierter Einzugsgebietsgrenzen aus dem Datenkernsystem; Setzen der Ergebnisse in das Datenkernsystem
- Setzen von Bodennutzungsgrößen in das Datenkernsystem
- Ermittlung von Solarstrahlungsparametern.

Setzen von Meßwertinformation in das Datenkernsystem

- Ermittlung von Gebietsniederschlägen unter Verwendung monatlicher Niederschläge (korrigiert oder unkorrigiert), Gebietsgrenzen aus Datenkernsystem und digitalem Geländemodell; Einsetzen der Werte in Datenkernsystem
- Ermittlung monatlicher Schneeretention aus täglichen Schneehöhen, Schneedichten und agglomerierter Geländeinformation aus dem Datenkernsystem
- Bilanzbildung aus monatlichen Abflußwerten und Einsetzen in das Datenkernsystem.

Auswertungen

- Bilanzbildung für Bilanzgebiete, Pegelinzugsgebiete, Flußgebiete oder das Staatsgebiet (monatliche Werte einer Jahresreihe) und/oder tabellarische (graphische) Ausgabe
- Regressionsanalyse zwischen Bilanzgrößen und Gebietskennwerten bzw. weiteren Bilanzgrößen
- Simulationsrechnungen.

3.2. Bilanzerstellung

3.2.1. Vorgangsweise

Bei der Ersterstellung der Wasserbilanzdatei muß zunächst das Netz der Bilanzgebiete entworfen werden. Dabei zu berücksichtigende Gesichtspunkte sind in Abschnitt 4 näher ausgeführt. Als nachfolgende Schritte sind die Gebietskenngrößen der festgelegten Gebiete zu ermitteln. Dies ist im Prinzip nur einmal bei der Ersterstellung durchzuführen. Es können sich jedoch im Laufe der Zeit Wartungsarbeiten ergeben (siehe Abschnitt 3.5.).

Die Wasserbilanzelemente der Gebiete, die laufend nachgeführt werden müssen, werden für Abfluß und Niederschlag, Schneerückhalt, Überleitungen und diverse Retentionsglieder direkt als Monatswerte in die Datei eingeführt. Dies erfolgt grundsätzlich in – mehr oder minder aufwendigen – Einzelschritten.

Einige Elemente (z. B. Abfluß) können direkt aus externen Datenbeständen übernommen werden, für andere (z. B. Niederschlag, Schneerückhalt) muß zunächst eine Rasterung oder Parameterisierung vorgenommen werden.

Die Aufteilung der zunächst nur als langjähriger Mittelwert berechenbaren Verdunstung mittels Parameterisierung kann erst nach Vorliegen aller anderen Wasserbilanzelemente vorgenommen werden.

3.2.2. Gebietskenngrößen

In der Wasserbilanzdatei werden vektorielle Größen (Gebietsgrenzen) und – zumeist aus Rastermodellen gewonnene – numerische Kenngrößen verwendet. Alle ortsbezogenen Größen sind im Lambertschen konformen Kegelkoordinatensystem dargestellt. Dieser Ortsbezug ist auch für die verwendeten Rastermodelle erforderlich.

Rastermodelle werden durch Verschnitt mit den digitalen Gebietsgrenzen verfügbar gemacht. Ein jedenfalls erforderlicher Auswertungsschritt ist die Erstellung der hypographischen Kurve sowie die Ermittlung verschiedener orographischer Parameter für die Bilanzgebiete (Neigungs- und Orientungsverhältnisse).

3.2.3. Wasserbilanzelemente für Gebiete

Abfluß Abflußhöhe (Gebietsabfluß) für die Bilanzgebiete ist in der Regel als Differenz aus mehreren Zufluß- und Abflußgrößen an Oberflächengewässern zu ermitteln. Die dadurch implizierten Genauigkeitseffekte werden später noch besprochen. Unterirdische Wasserbilanzelemente werden nicht berücksichtigt. Hier wird die Abflußhöhe der Bilanzgebiete als gegeben vorausgesetzt.

Niederschlag

Grundlage für die Ermittlung der Gebietsniederschläge sind die Beobachtungen in den Niederschlagsstationen. Auf Grund dieser Werte wird unter Heranziehung digitaler Geländeinformation eine gerasterte Niederschlagsverteilung erstellt.

Im Prinzip besteht das Verfahren darin, vom Niederschlag einen seehöhenabhängigen Anteil abzuspalten und diesen mittels eines Geländerrasters auszuwerten.

Der verbleibende Restbetrag in den Beobachtungsstationen wird mittels eines Flächenausgleichs auf die Rasterpunkte umgerechnet und dem seehöhenabhängigen Anteil hinzugezählt.

Schneerückhalt

Der Wasserrückhalt im Schnee während eines Bilanzmonats ist als Differenz des gespeicherten Wasseräquivalents zu Monatsende und Monatsbeginn zu ermitteln. Als Daten stehen die Schneehöhenbeobachtungen, Schneedichtemessungen und digitale Geländehöhen zur Verfügung.

Es zeigt sich, daß die Schneehöhen in einer in diesem Zusammenhang ausreichenden Genauigkeit mit regional differenzierten linearen Seehöhenabhängigkeiten dargestellt werden können.

Bezüglich der Schneedichten zeigt sich im Mittel eine – ebenfalls regionale differenzierte – Abhängigkeit von der Seehöhe und dem Jahresverlauf. Auf diesen Grundlagen läßt sich der Schneerückhalt für Einzelmonate mit der Seehöhe parametrisieren, für die Rasterpunkte des Geländemodells ermitteln und gebietsweise auswerten.

Speicherglieder und Überleitungen

Der Wasserrückhalt in den stehenden Oberflächengewässern kann aus gemessenen Spiegeldifferenzen gewonnen werden. Der Einfluß kleiner Seen muß geschätzt werden.

Flußüberleitungen haben zumeist nur lokalen Charakter, können dort aber wesentlichen Einfluß haben, der selbstverständlich zu berücksichtigen ist.

Verdunstung

Die langjährige mittlere Verdunstung in den Bilanzgebieten ergibt sich unter Vernachlässigung der Retentionsunterschiede zwischen Beginn und Ende der Periode aus der Differenz zwischen Niederschlag und Abfluß.

Es entsteht nun die Aufgabe, diese Gesamtverdunstung auf die Einzelmonate der betrachteten Jahresreihe aufzuteilen. Dazu wird der Verdunstungsgang an Repräsentativstationen aus Globalstrahlung und Lufttemperatur ermittelt und anschließend mit der Seehöhe parametrisiert.

Nach Ermittlung dieser monatlichen „Vergleichsverdunstungswerte“ für die Bilanzgebiete werden diese proportional so verändert, daß sie der vorgegebenen langjährigen Verdunstung aus der Wasserbilanz entsprechen.

Weitere Glieder des Wasserhaushalts

Weitere Glieder des Wasserhaushalts, wie etwa Massenänderung der Gletscher oder unterirdische zu- und Abflüsse, werden zur Zeit nicht berücksichtigt.

3.2.4. Gerasterte Wasserbilanzelemente

Neben dem Gebietswasserhaushalt, d.h. den auf mehr oder weniger große Gebietseinheiten bezogenen Wasserhaushaltskomponenten, ist selbstverständlich die örtliche Verteilung der Wasserhaushaltskomponenten von großem Interesse. Solche Verteilungen wurden früher üblicherweise als Isolinien dargestellt, sind jedoch heute zum Zwecke der digitalen Weiterverwertung besser als Rastermodelle zu erstellen.

Gerasterte Niederschlagsmodelle sind bereits für die Behandlung des Gebietswasserhaushalts erforderlich. Die dafür verwendete Methodik wurde bereits dargestellt.

Von den Verteilungen der beiden übrigen Größen, Abfluß und Verdunstung, wird zunächst die Verdunstungshöhe ermittelt. Ausgangspunkt sind die Gebietsverdunstungshöhen. Wie sich zeigt (Abb. 7), sind die langjährigen mittleren Verdunstungshöhen mit guter Näherung (mit etwas regionaler Differenzierung) aus den Seehöhen allein ableitbar.

Das Einsetzen der Beziehungen für jeden Rasterpunkt unter Verwendung der Geländehöhe liefert eine Rohfassung des gerasterten Verdunstungsmodells. Berechnet man aus diesem Rastermodell rückwirkend die Gebietsverdunstung, so ergibt sich für jedes Gebiet ein Restfehler.

Eine mit der beschriebenen Methodik ermittelte Verdunstungsverteilung berücksichtigt wesentliche örtliche Einflußfaktoren nicht, wie etwa Exposition und Vegetation. Es kann daher keine „örtlich richtige“, sondern lediglich eine Vergleichsverteilung erzeugt werden, die örtlich geglättet ist. Unter diesen Umständen ist auch eine etwas pragmatische Vorgangsweise beim Ausgleich der Restfehler zweckmäßig.

Der Ausgleich der Restfehler kann in einem iterativen Prozeß mit übergreifender Mittelwertbildung erfolgen. Bringt man die Differenzbeträge im Gebietswasserhaushalt gebietsweise auf die einzelnen Rasterpunkte des Gebiets auf, so ergibt sich eine Stufenfläche. Diese kann durch mehrmalige übergreifende Mittelwertbildung an den Rändern der Bilanzgebiete stetig gemacht werden. Dadurch ergeben sich wieder – allerdings wesentlich geringere – Restfehler der Bilanzgebiete. Je nach angestrebter Genauigkeit muß der Vorgang daher wiederholt werden. Er konvergiert jedoch sehr rasch.

Die endgültige Verdunstungsverteilung ergibt sich durch Überlagerung der aus der Höhenabhängigkeit gewonnenen Verteilung und der ausgeglichenen Restfehlerverteilung.

Die Verteilung der Abflußhöhen (siehe Abb. 4) ist schließlich als Differenzbetrag aus Niederschlagshöhe und Verdunstungshöhe leicht zu gewinnen. Die Einhaltung der Gebietsabflüsse ist dabei automatisch gewährleistet und die Bilanzgleichung ist für jeden Rasterpunkt erfüllt.

Eine Ermittlung der Abflußhöhenverteilung aus den Gebietsabflüssen allein kann kaum zu brauchbaren Ergebnissen führen, da hierbei wesentliche Informationen, wie etwa die orographischen Besonderheiten der Niederschlagsverteilung, unberücksichtigt bleiben müssen.

3.3. Gebietsspezifische Festlegungen

Die verwendete Gebietsstruktur für die Wasserbilanz Österreichs ist der Abb. 2 zu entnehmen. Es ergeben sich 271 Teilgebiete.

Ein Problem entsteht durch die nicht gegebene Übereinstimmung zwischen Staatsgrenzen und Grenzen der Wasserbilanzgebiete. Die durch die Pegelstellen festgelegten Gebiete (ohne Berücksichtigung der Pegel in Nachbarländern) überschreiten teils die Staatsgrenze, teils bleiben auch Teilgebiete entlang der Staatsgrenze ohne zugehöriges Gebiet. Es empfiehlt sich, nicht von vorneherein Pegel im Ausland – deren Daten aktuell oft nicht kurzfristig zu beschaffen sind – einzubeziehen und damit die Möglichkeit offenzuhalten, nötigenfalls auch mit den nationalen Daten allein auf das Staatsgebiet bezogenen Wasserbilanzen bilden zu können. Deshalb sind „Restgebiete“ zu bearbeiten, die

- Teile von Wasserbilanzgebieten sind, die nicht vollständig in Österreich liegen;
- innerhalb von Österreich liegen, aber zu keinem Wasserbilanzgebiet gehören.

Die „Restgebiete“ erfordern eine etwas andere Bearbeitung als die regulären Wasserbilanzgebiete. Insbesondere muß der Abfluß aus Analogien geschätzt werden. Für die Abgrenzung der „Restgebiete“ müssen zweckmäßigerweise gewisse Generalisierungen vorgenommen werden, da sonst sehr viele kleine Gebietseinheiten entstehen würden. Nach diesen Überlegungen ergaben sich 61 Restgebiete unterschiedlicher Größe (in Abb. 2 nicht dargestellt).

Die mittlere Gebietsgröße der verwendeten Wasserbilanzgebiete beträgt etwa 310 km². Das kleinste Gebiet hat eine Fläche von 11 km², das größte Gebiet besitzt 2500 km². Die Gebietsgrenzen stammen aus Karten zum „Flächenverzeichnis“ des Hydrographischen Dienstes von Österreich im Maßstab 1 : 200.000.

Für die Auswertung gerasterter Größen wird eine Maschenweite von 500 m verwendet.

3.4. Operationelle Hinweise

Das Rechensystem ist auch für Teilauswertungen nach Maßgabe der vorliegenden Daten geeignet. Charakteristisches Beispiel dafür ist die Ermittlung von Gebietsniederschlägen.

Substantielle Probleme in der Nachführung entstehen bei Veränderungen betreffend jener Pegelstellen, die zur Bilanzierung herangezogen wurden. Der vollständige Wegfall einer Pegelstelle zwingt zur Auflassung von Sub-Unterteilungen von Gebieten. Da stets ein flächendeckender Satz von Gebieten mit vollständigen Daten der gesamten Jahresreihe vorhanden sein sollte, empfiehlt sich folgende Vorgangsweise:

- Bei Wegfall einer Pegelstelle wird das nächstgrößere Gebiet zum Hauptbilanzgebiet; die Bilanz dieses Gebiets wird rückwirkend für die gesamte Jahresreihe installiert; das wegfallende Bilanzgebiet bleibt als temporär bestehendes Gebiet im Datenbestand erhalten.
- Bei Hinzukommen einer Pegelstelle kann ein neues Bilanzgebiet eingeführt werden. Dieses bleibt in Bezug auf die gesamte Jahresreihe jedoch ein temporär vorhandenes Gebiet. Bei Vorliegen einer längeren Jahresreihe für dieses neue Gebiet kann versucht werden, die Daten rückwirkend für die gesamte Jahresreihe zu generieren; solche Daten sind jedoch als nicht gleichwertig zu kennzeichnen.

Die beschriebene Handhabung der Bilanz gestattet es, auch bei naturgemäß variablem Pegelnetz stets flächendeckende Bilanzen für das Gesamtgebiet und die gesamte behandelte Jahresreihe aufzustellen. Außerdem kann für jedes Pegelzugsgebiet für die gesamte Beobachtungsperiode ebenfalls bilanziert werden.

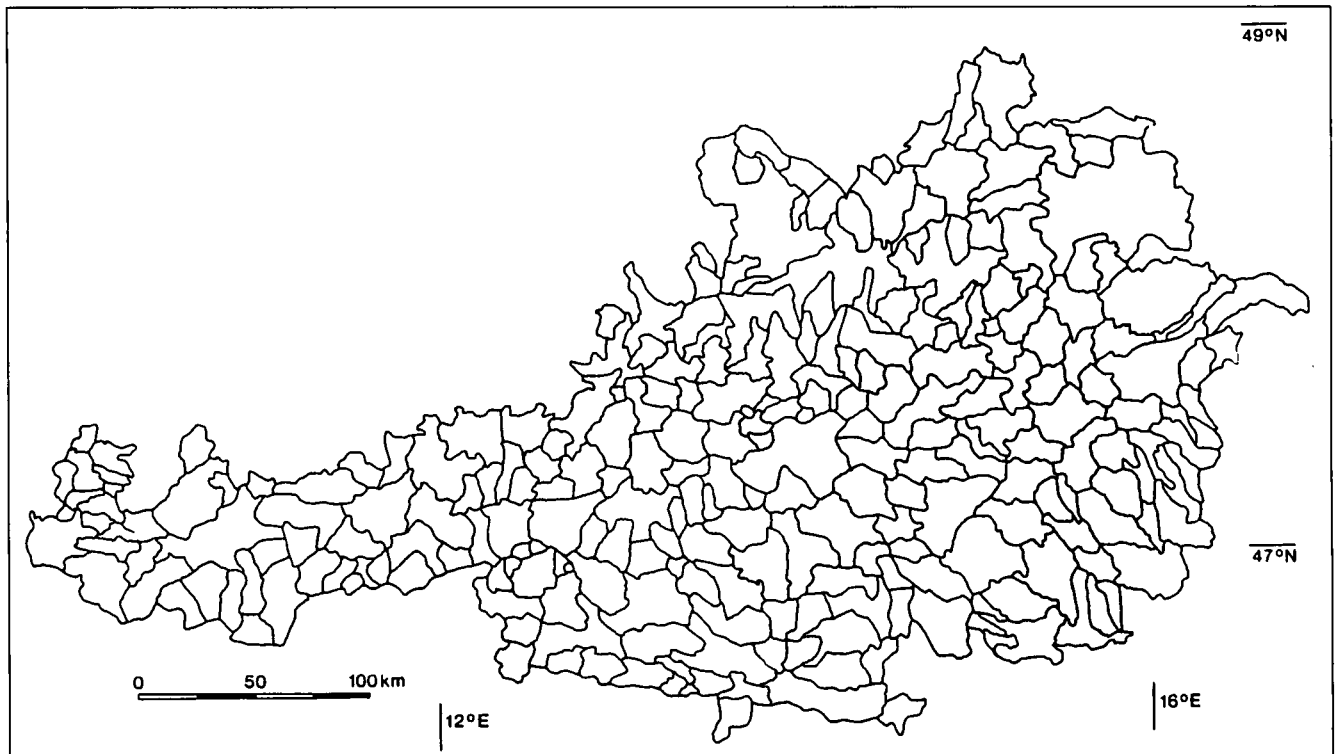


Abb. 2. Wasserhaushaltsmodell von Österreich – Bilanzgebiete.

Die Wartungsarbeiten an den Gebietsdaten des Wasserbilanz-Rechensystems sind eher gering. Erforderliche Gebietsabgrenzungen können (im Falle Österreichs) aus dem wesentlich detaillierteren Satz der vorhandenen Einzugsgebietsgrenzen gewonnen werden.

3.5. Auswertung und Analyse der Wasserbilanz

3.5.1. Sensitivität der Ermittlung von Wasserbilanzelementen

Zur Genauigkeit der Gebietsmittel der Wasserbilanzelemente ist folgendes zu bemerken:

- Der Abfluß (Abflußhöhe) ist wohl das in den meisten Fällen am genauesten erfaßbare Wasserbilanzelement. Schwierigkeiten entstehen hauptsächlich
 - wenn der nur ungenau erfaßbare Hochwasserabfluß einen größeren Teil der Abflußfracht ausmacht,
 - wenn die Abflußfracht des Bilanzgebiets aus der Differenz von zwei oder mehreren Abflußreihen gebildet werden muß, besonders dann, wenn die Abflußwerte hoch und die Differenz gering ist,
 - wenn ungenau erfaßte Überleitungsmengen, die zeitlich stark variabel sind, ins Spiel kommen.
- Der Niederschlag (Niederschlagshöhe) ist zufolge des Problems der systematischen Beobachtungsfehlbeträge entsprechend ungenau. Der Gebietsniederschlag ist in den Niederungen relativ genauer, da die Fehlbeiträge geringer sind und die Verteilung gleichmäßiger ist. Die Unsicherheiten sind im Winter größer als im Sommer.
- Die Verdunstung ist zunächst nur in ihrem langjährigen Mittelwert mit Wasserbilanzmethoden erfaßbar. Die Aufgliederung in Zeitreihen von Monatswerten kann nur indirekt durch Parameterisierung und somit ungenau erfolgen.
- Bei den Retentionsgliedern der Oberflächengewässer ist zwischen stehenden und fließenden Gewässern zu unterscheiden.
 - Der Rückhalt in natürlichen oder künstlichen Seen wäre bei Wasserstandsmessung genau erfaßbar. Dies ist in der Regel für alle größeren Seen und Speicher gegeben. Der Rückhalt in kleineren Seen muß geschätzt werden. Die Bedeutung für den Wasserhaushalt kann bei Betrachtung kleinerer Gebiete dominierend sein. Für größere Gebiete hängt die Wirkung vom zeitlichen Zusammenspiel der Einzelspeicher ab, ist aber jedenfalls für den Wasserhaushalt nicht zu vernachlässigen.
 - Der variable Rückhalt in den Fließgewässern ist bei Betrachtung kleinerer Gebiete praktisch zu vernachlässigen. Bei größeren Gebieten gewinnt er zunehmend an Bedeutung, da das Wasser verstärkt mit variabler Speicherung durch Gebiete hindurchtransportiert werden muß, aus denen es nicht stammt.
- Die Schneeretention kann für größere Gebiete durch Parameterisierung mit Schneehöhe, Seehöhe und Wasserwert der Schneedecke erfolgen. Die Genauigkeit erreicht höchstens jene des Gebietsniederschlags.
- Die Massenänderung der Gletscher ist relativ genau ermittelbar und in der Regel gut erforscht. In der Wasserbilanz spielt sie eher nur eine lokale, keine übergeordnete Rolle.
- Die unterirdische Retention ergäbe sich als Restglied der Wasserbilanz. Es ist jedoch eher zu erwarten, daß

die so ermittelten Speicherglieder den „Restfehler“ der Wasserbilanz widerspiegeln. Es ist daher nach Überprüfungsmöglichkeiten zu suchen. In erster Linie bieten sich hier Auswertungen zum Trockenwetterabfluß an.

- Der Einfluß der Siedlungswasserwirtschaft auf die Wasserbilanz ist im allgemeinen als gering einzustufen. Die hierdurch hervorgerufene zusätzliche Verdunstung liegt unterhalb der erzielbaren Genauigkeit bei der Ermittlung der Gebietsverdunstung.

3.5.2. Analyse auf Widerspruchsfreiheit und Plausibilität

Der große Vorteil der Wasserbilanzrechnung besteht in der gegenseitigen Kontrolle der Wasserbilanzelemente, sodaß unter Ausnutzung der Bilanzgleichung zusätzliche Information gewonnen werden kann, die bei Auswertung von Einzelementen der Wasserbilanz nicht vorliegt.

Zweckmäßigerweise geht man bei der Kontrolle zunächst von langjährigen Mittelwerten aus. Damit kann man den Einfluß der variablen Glieder des Wasserrückhalts vernachlässigbar gering halten.

Betrachtet man entsprechend der Dateistruktur 10-jährige Mittelwerte der nunmehr relevanten Größen Niederschlag, Abfluß und Verdunstung der Gebiete, so treten nachweisbare Widersprüchlichkeiten zunächst hauptsächlich auf Grund der unkorrigierten Niederschläge auf. Dies führt in höheren Regionen zu Gebieten, in denen der Abfluß den Niederschlag erheblich übertrifft. Das Einsetzen von korrigierten Niederschlägen beseitigt das Problem weitgehend. Die unkorrigierten Gebietsniederschläge sollten jedoch zu Dokumentationszwecken in der Wasserhaushaltsdatei gespeichert bleiben.

Plausibilitätskontrollen ergeben sich auch bei Betrachtung der monatlichen Wasserhaushaltskomponenten. Besonders das auf indirektem Wege gewonnene Restglied der monatlichen Wasserbilanz, das sinngemäß auch als unterirdischer Rückhalt interpretiert werden kann, muß sich innerhalb physikalisch plausibler Grenzen bewegen.

3.5.3. Wasserbilanz für Pegeleinzugsgebiete und Flußgebiete

Bei der Einteilung der Bilanzgebiete ergeben sich in vielen Fällen Zwischeneinzugsgebiete, die durch zwei oder mehrere Pegelstellen abgegrenzt sind (siehe auch Abb. 2). Bei Auftreten von Unstimmigkeiten in der Bilanz können oft durch Betrachtung der Nachbargebiete zusätzliche Aufschlüsse gewonnen werden, die für die Fehlerbereinigung außerordentlich nützlich sind.

Durch einfache Dateioperationen können die Zwischeneinzugsgebiete zu Pegeleinzugsgebieten zusammengefaßt werden. Dies ist sowohl für die Bilanzelemente als auch für Gebietsparameter möglich. Auf diese Weise können die Informationen für Flußgebietseinheiten sowie auch letztendlich für das Bundesgebiet hergestellt werden.

3.5.4. Abhängigkeit zwischen Wasserbilanzelementen und Gebietskenngrößen

Als Instrument zur Analyse der Wasserbilanz wird die schrittweise lineare Mehrfachregression verwendet. Mit dem bestehenden Programmmodul können Datenelemente der Wasserbilanzdatei miteinander verknüpft

werden. Dies ist besonders nützlich, um die Bilanzelemente Abfluß und Verdunstung mit orographischen Parametern, Bodennutzung etc. in Verbindung zu bringen.

3.5.5. Visualisierung der Ergebnisse

Die graphische Darstellung ist für den Überblick und die Analyse der Ergebnisse von großer Bedeutung. Nach Herstellung entsprechender Schnittstellen kann die graphische Analyse innerhalb verschiedener geographischer Informationssysteme erfolgen. Es ergeben sich etwa die folgenden Gruppen graphischer Darstellung:

- Zeitreihendarstellung von Wasserbilanzelementen
- Auf Bilanzgebiete bezogene Darstellungen unter Verwendung der Einzugsgebietsgrenzen; solche Darstellungen können auch mit anderen Flächenparametern kombiniert werden.
- Rasterdarstellungen oder Isolinien Darstellungen gerasterter Größen; diese Darstellungen kommen für Niederschlagshöhe, Abflußhöhe, Verdunstungshöhe, Abflußbeiwert oder gerasterte Gebietskenngrößen in Frage.

4. Ausgewählte Ergebnisse

4.1. Ausgewählte bundesweite Ergebnisse

Als Beispiel einer Gesamtauswertung durch Agglomeration von Teilauswertungen mit Hilfe des Rechensystems (siehe 3.5.3.) sind in Abb. 3 die mittleren Wasserbilanzelemente einer längeren Jahresreihe für das Bundesgebiet von Österreich in ihrem Jahresverlauf dargestellt. Der Auswertung liegt der Zeitabschnitt 1951–1980 zugrunde.

Der Niederschlag und die Verdunstung erreichen ihr Maximum im Juli, während der Abfluß seinen höchsten Wert bereits im Juni besitzt. Interessant ist die während der einzelnen Monate stattfindende Retention, die als Speicherung positiv, als Verbrauch negativ dargestellt ist. Es zeigt sich, daß ab Oktober bis März ein Speicherzuwachs, in den übrigen Monaten ein Verbrauch stattfindet. Es ist weiters auch zu erkennen, daß in den Monaten Mai bis Juni der Abfluß etwa zur Hälfte aus der Auflösung des Wasserrückhalts gespeist wird. In den Monaten Dezember und Jänner übersteigt die Rücklagenbildung sogar den Abfluß.

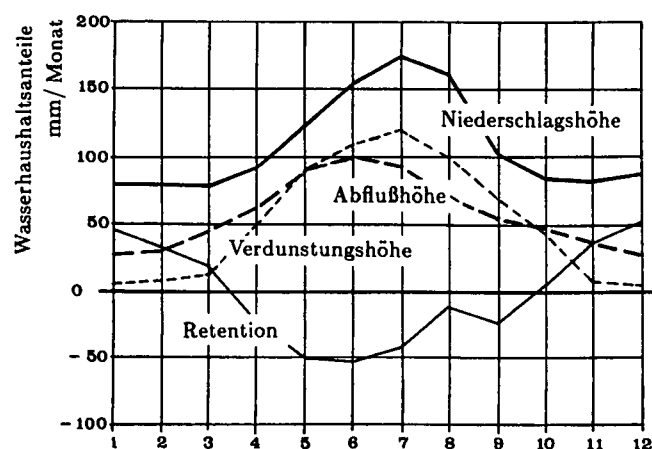


Abb. 3. Jahresverlauf der mittleren langjährigen Wasserbilanzelemente in Österreich.

Der Wasserrückhalt wird in Österreich wesentlich durch die Speicherung im Schnee beeinflusst. In dieser Größe ist jedoch auch der Rückhalt in den natürlichen Seen und Speichern sowie das unterirdische Wasser enthalten.

Der Jahresverlauf der Wasserhaushaltskomponenten läßt auch erkennen, mit welcher Problematik Österreich hinsichtlich möglicher Klimatendenzen konfrontiert ist. Eine Änderung der Temperaturverhältnisse muß durch eine Verringerung der Schneeretention zu einer grundlegenden Umgestaltung der Abflußverhältnisse führen. Weiters wirkt jede Temperaturveränderung auch im Sinne einer Veränderung der Verdunstung. Gleichzeitig muß jedoch auch eine Umgestaltung des Niederschlags einhergehen, die ihrerseits wieder auf die Verdunstung einwirkt.

Zusätzlich zu den oben angeführten komplexen Zusammenhängen ist eine beachtliche regionale Differenzierung des Wasserhaushaltes zu verzeichnen. In Abb. 4 ist zur Veranschaulichung dessen ein Ausschnitt aus der Karte der Abflußhöhen von Österreich dargestellt. Diese erstmals für Österreich durchgeführte Auswertung (siehe 3.2.4.) läßt erkennen, welche unterschiedlichen regionalen Auswirkungen auf Grund verschiedener Klimaszenarien zu erwarten sind.

4.2. Ausgewählte Einzelauswertungen

4.2.1. Gebietsniederschläge

Für die Ermittlung von Gebietsniederschlägen wird ein Verfahren verwendet, das die Abhängigkeit der Niederschlagsverteilung von den Geländeverhältnissen berücksichtigt (siehe 3.2.3.). In Abb. 5 sind die so berechneten Gebietsniederschläge für das Bundesgebiet von Österreich für die Jahresreihe 1951–1980 dargestellt.

Für die Berechnung der Gebietsniederschläge werden die Daten des gesamten Beobachtungsnetzes herangezogen. Interessant für die Fragestellung des Projekts ist die große Variabilität des Niederschlags. Der höchste Wert der berechneten Jahresreihe wird im Jahre 1965 mit ca. 1380 mm/Jahr erreicht, der niedrigste ist 1971 mit etwa 850 mm/Jahr gegeben. Selbst im zehnjährlichen Mittel sind noch beträchtliche Unterschiede vorhanden. Es ist also auch unter „natürlichen“ Verhältnissen nicht mit einem auch nur annähernd konstanten Niederschlagsangebot zu rechnen.

4.2.2. Schneerückhalt

Für die Wasserhaushaltsrechnung ist zur Ermittlung des Wasserrückhalts im Schnee im Falle der Diskretisierung in Monatswerten das Schneewasseräquivalent der Einzelmonate jeweils zu Monatsbeginn zu ermitteln. Eine Parameterisierung erfolgt mittels Schneehöhe und Schneedichte, die beide mit der Seehöhe, im Falle der Dichte noch zusätzlich regional differenziert mit dem Jahresverlauf in Relation gesetzt werden.

Als Beispiel einer solchen Auswertung ist in Abb. 6 der Verlauf des Wasseräquivalents für das Salzbachgebiet (6236 km²) für ausgewählte Kalendermonate dargestellt.

Neben der an sich beachtlichen Größe des Rückhalts ist die schon im Niederschlag gegebene jährliche Schwankung besonders evident. Weiters ist zu beachten, daß eine beträchtliche Speicherung zu Ende des Winters praktisch in jedem Jahr zu verzeichnen ist. Dies bekräftigt die bereits getroffene Feststellung, daß eine Änderung des Temperaturregimes, die in einer Änderung der Schneeretention resultiert, die Abflußverteilung grundlegend ver-

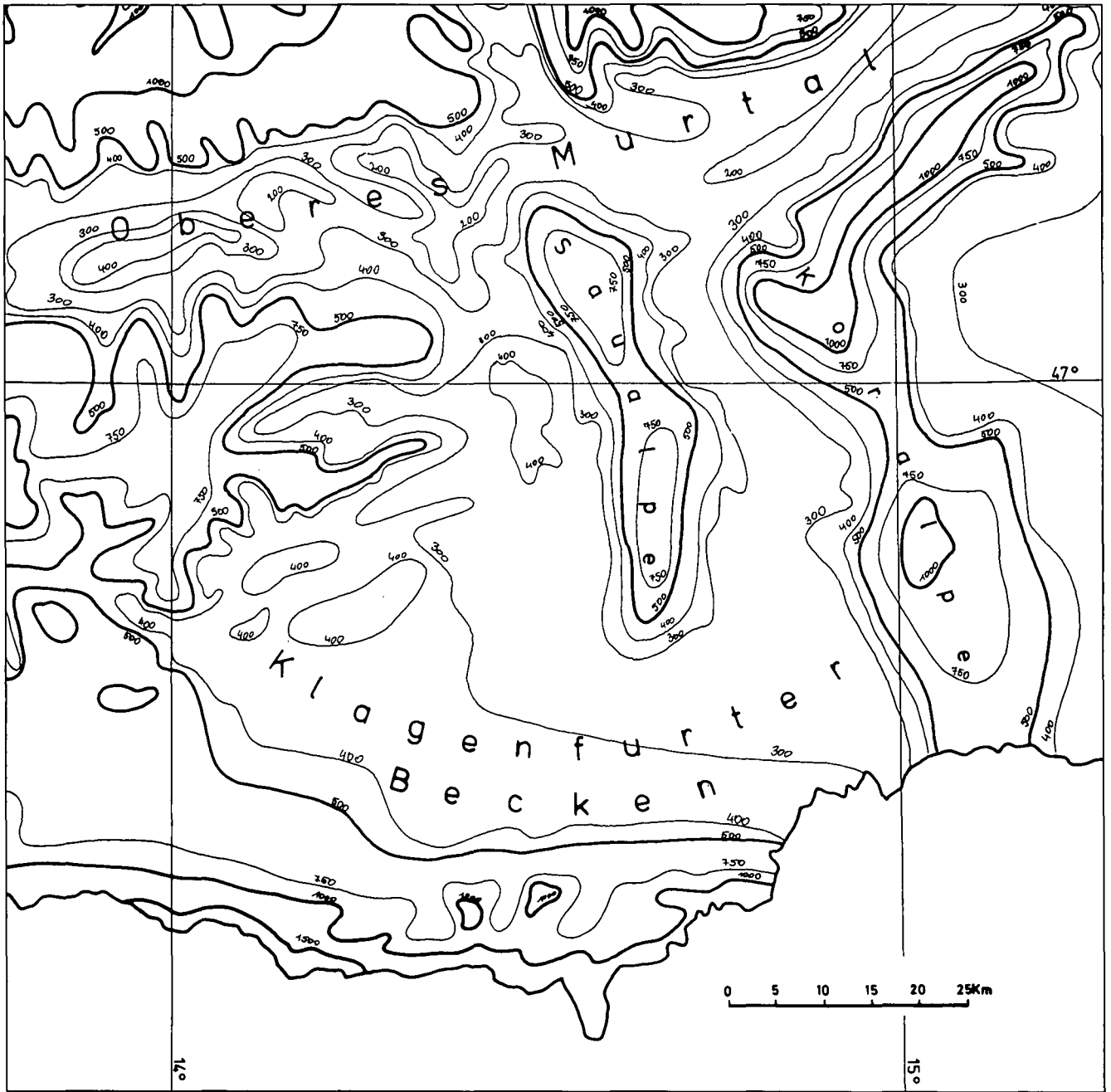


Abb. 4. Ausschnitt aus der Karte der Abflußhöhen von Österreich (Mittelwert 1951–1980).

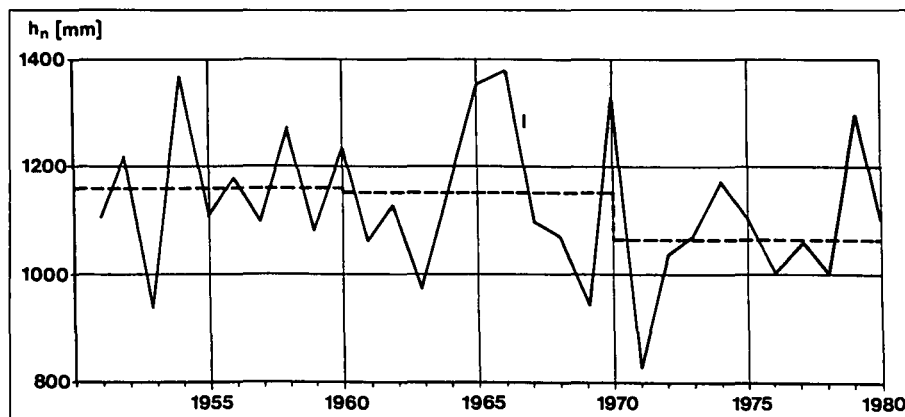


Abb. 5. Jahresreihe der Gebietsniederschläge von Österreich.
 ----- Mittelwert der Dekaden.

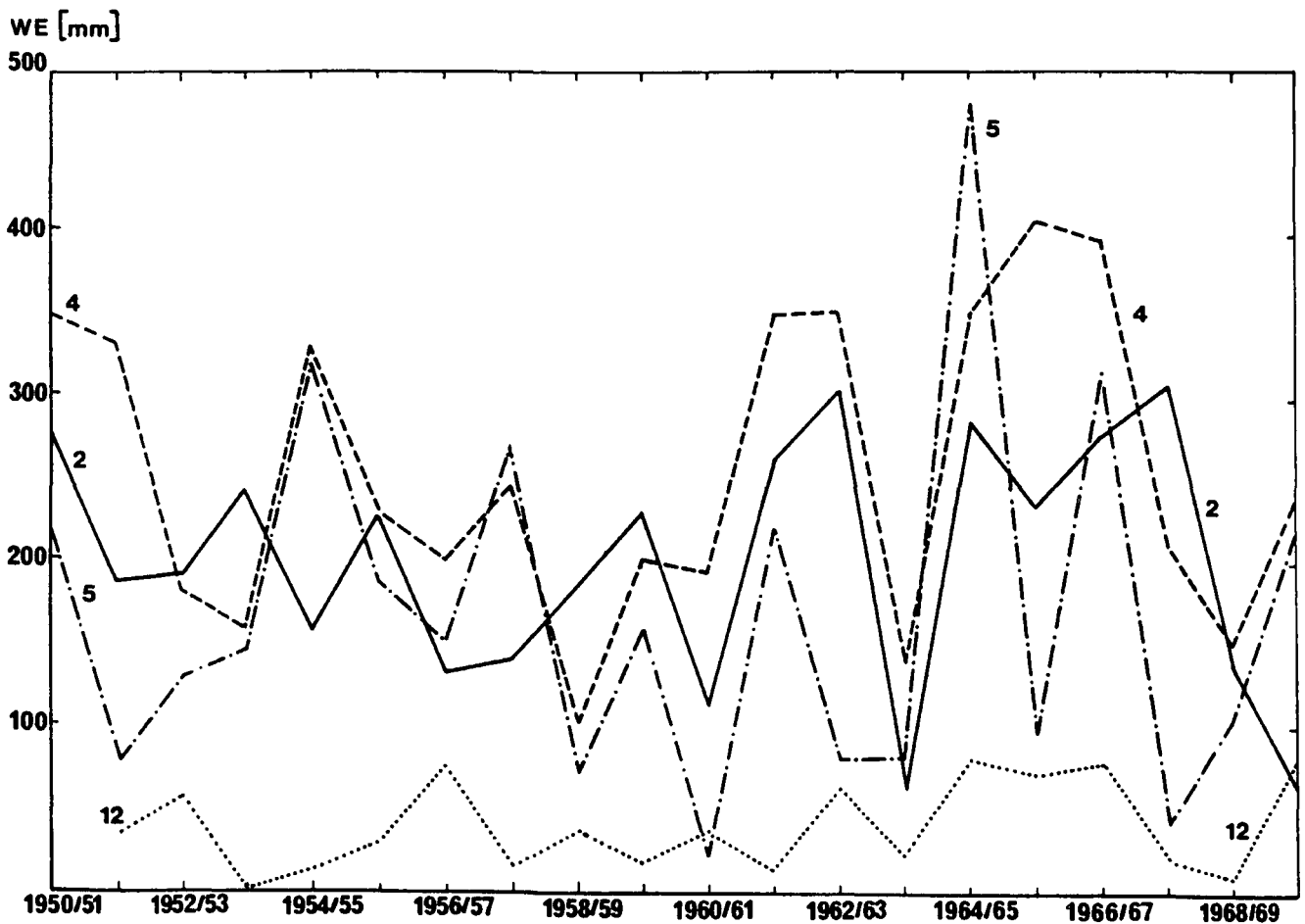


Abb. 6.
Gebietsmittel des Wasseräquivalents der Schneedecke im Salzachgebiet für ausgewählte Kalendermonate.

ändern muß. Durch Minderung der Schneeretention allein würde zwar eine Vergleichmäßigung des Abflusses auftreten; gleichzeitig müßte aber eine Verschärfung der Hochwassersituation in den Wintermonaten und die Gefahr von Niedrigabflüssen schon im Frühsommer erwartet werden.

4.2.3. Verdunstungsauswertungen

Die aus dem langjährigen Mittel ableitbaren Gebietswerte der Verdunstung in Abhängigkeit von der Seehöhe sind in Abb. 7 dargestellt. Es zeigt sich, daß bereits mit der Seehöhe allein bei Beachtung regionaler Differenzierungen eine passable Parameterisierung möglich ist.

Ein Vergleich mit berechneten Verdunstungswerten an den Klimastationen unter Verwendung von Lufttemperatur und Globalstrahlung zeigt beträchtliche Übereinstimmung (siehe Abb. 7), sodaß gute Voraussetzungen bestehen, Einzelmonatswerte der Verdunstung in Zukunft unter Heranziehung dieser Größen in die langjährigen Mittel einzureichen. Deshalb wurde im Rahmen des Projekts auf räumlich detaillierte Strahlungsschätzung großer Wert gelegt.

In Abb. 8 ist ein Beispiel des mit dem in diesem Zusammenhang entwickelten Solarstrahlungsmodell ermittelten Strahlungsverlaufs für ein Wasserbilanzgebiet dargestellt. Die dort wiedergegebenen Geländeparameter sind Teil einer flächendeckend für Österreich durchgeführten Auswertung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Strukturierung des Rechensystems gestattet es, monatliche nationale Wasserbilanzen in übersichtlichen Einzelschritten aufzubauen und laufend nachzuführen.

Als nützliche Nebeneffekte der laufenden Bilanzrechnung können die durchgreifende Kontrolle der hydrologischen und meteorologischen Daten und die Beurteilung des Beobachtungsnetzes im Hinblick auf die Tauglichkeit zur Wasserbilanzfassung genannt werden.

Als wesentlicher Mangel muß derzeit die Nichteinbeziehung der Lufttemperaturverhältnisse in die Wasserbilanzrechnung angesehen werden. Nach Vorliegen entsprechender umfassender digitaler Datenbestände für Österreich könnten wesentliche Verbesserungen in der Parameterisierung von Verdunstung und Schneerückhalt erzielt werden.

Als zielführende Weiterentwicklung in der Analyse des bestehenden Zustands des Wasserhaushalts kann die über die Rasterung der Wasserbilanzelemente mögliche Zuordnung der Ergebnisse auf das Gewässernetz angesehen werden. Mit dem Vorliegen eines detaillierten digitalen Gewässernetzes von Österreich (BEHR, 1989) sind dafür gute Voraussetzungen vorhanden. Erst der Übergang vom Gebietswasserhaushalt zum Wasserhaushalt der Oberflächengewässer macht die Ergebnisse wasserwirtschaftlich voll nutzbar.

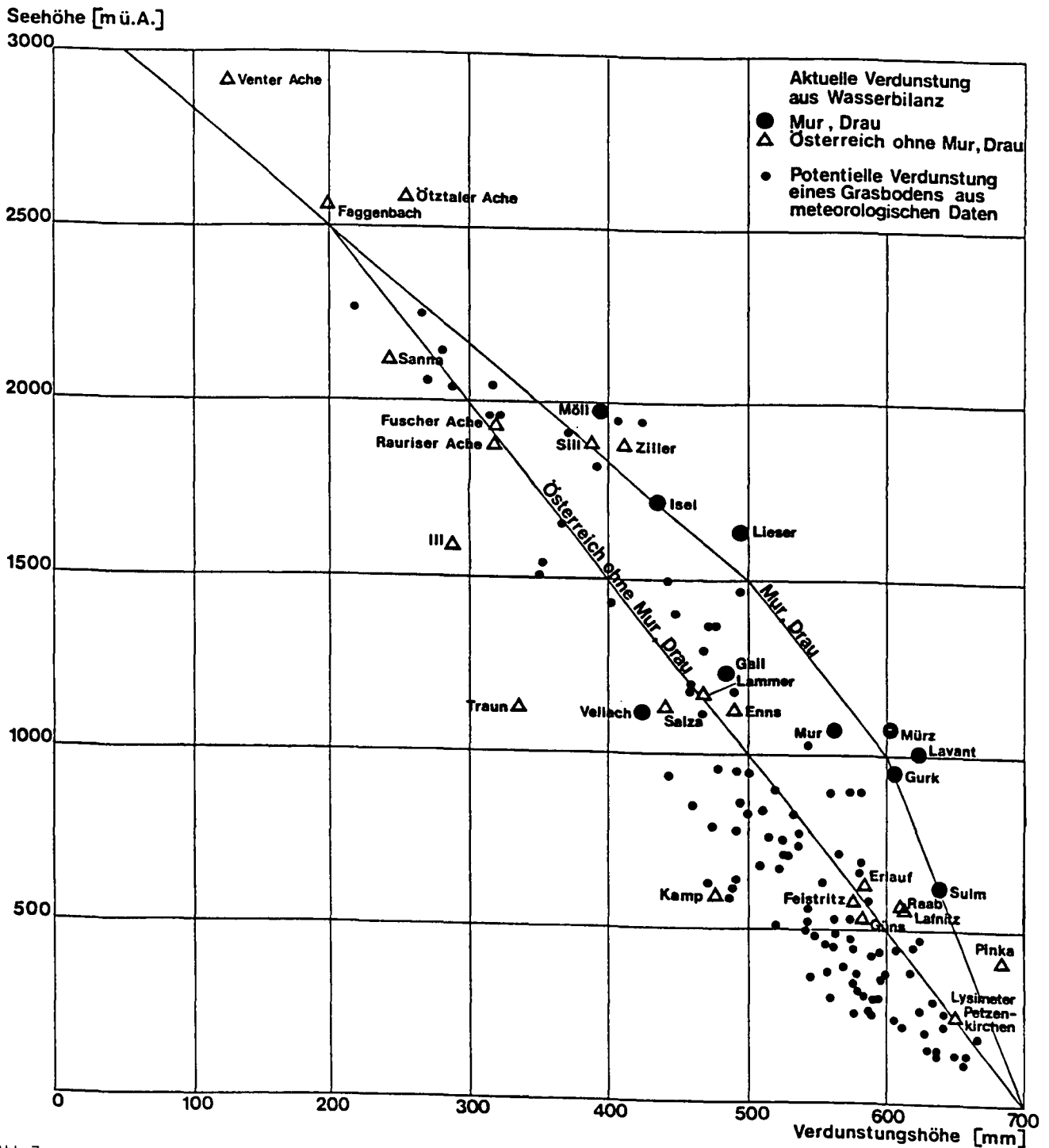


Abb. 7. Seehöhenabhängigkeit der Verdunstung in Österreich.

Die wesentlichste Zielrichtung der Entwicklung ist jedoch jedenfalls die Schaffung von Simulationsmöglichkeiten für denkbare Zukunftsszenarien des Wasserhaushalts. Im Falle von Österreich zeigt sich an Hand des Jahresverlaufs der Wasserhaushaltskomponenten drastisch, welche tiefgreifenden Änderungen im Wasserhaushalt möglich sein können. Es ist somit festzuhalten, daß im Falle von Klimatendenzen Österreich wesentlich stärker als andere Länder betroffen wäre.

Wenn auch derzeit keine abgesicherten Angaben über Zukunftsszenarien von Lufttemperatur und Niederschlag vorliegen – zumindest nicht über regionale Verhältnisse – ist dennoch mit dem Rechensystem und der vorhandenen Datenbasis die Möglichkeit gegeben, verschiedene plausible Annahmen hinsichtlich anthropogener Einwirkung und Klimaentwicklung auf ihre Auswirkungen hin zu untersuchen. Als nötige Basis dafür ist die laufende operationelle Durchführung der Wasserhaushaltsrechnung in jeweils aktuellen Jahresschritten dringend erforderlich.

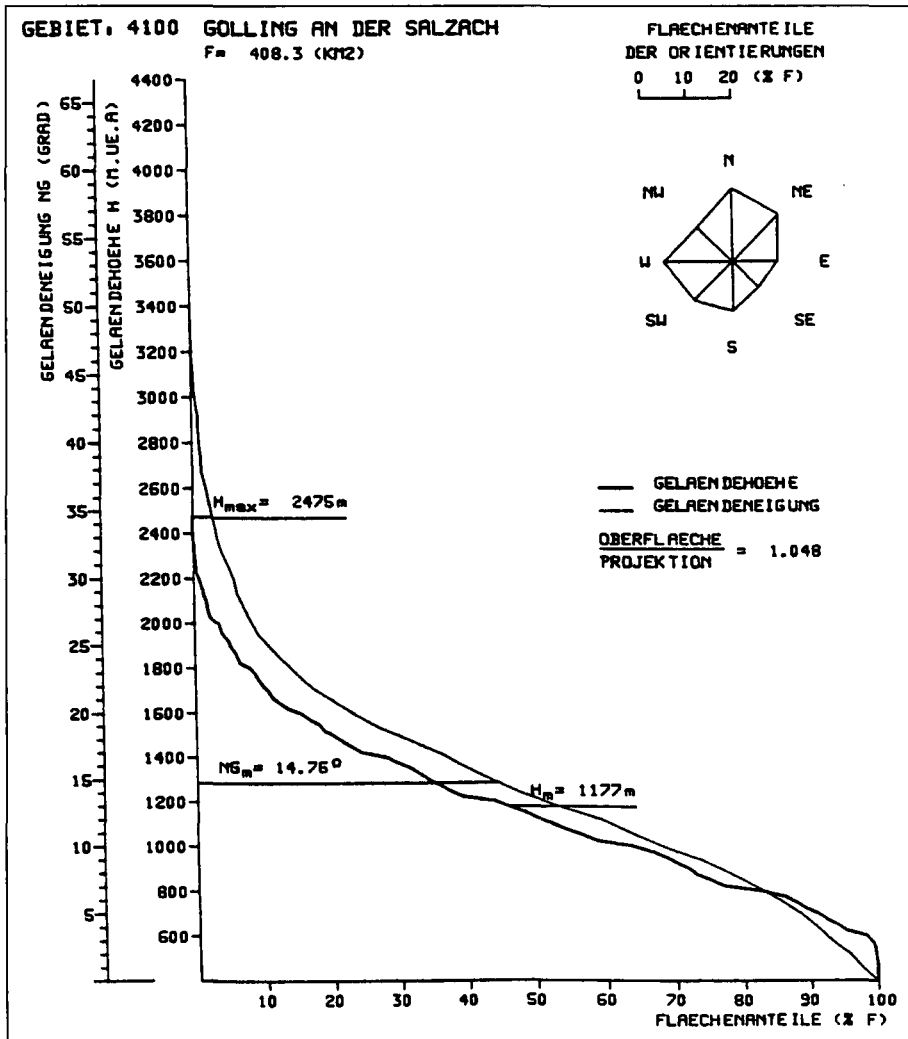


Abb. 8.
 Jahresgang der langjährigen mittleren Globalstrahlung des Einzugsgebietes Golling/Salzach.

- a) Charakteristische Geländeparameter.
- b) Jahresgang der langjährigen mittleren Globalstrahlung.
- c) Häufigkeitsverteilung von Monatswerten der langjährigen mittleren Globalstrahlung.

Gebiet: Salzach zwischen den Pegelstellen Golling und St. Johann ohne Lammer und Fritzbach.

Datengrundlage: Langjährige Beobachtungswerte der Sonnenscheindauer und der Globalstrahlung an den Klimastationen; Albedo konstant mit 0,2 angenommen.

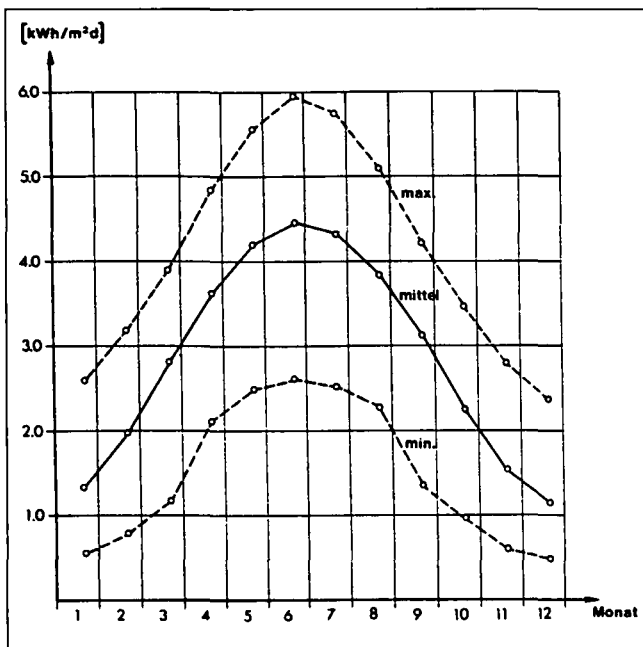
Maschenweite des Modells: 250 m.
 Anzahl der Rasterelemente: 6530 → eine Fläche von 408,1 km².

Umgebungsabstand für die Schlagschattenberechnung im Minimum 37 Rastereinheiten (= 9,25 km).

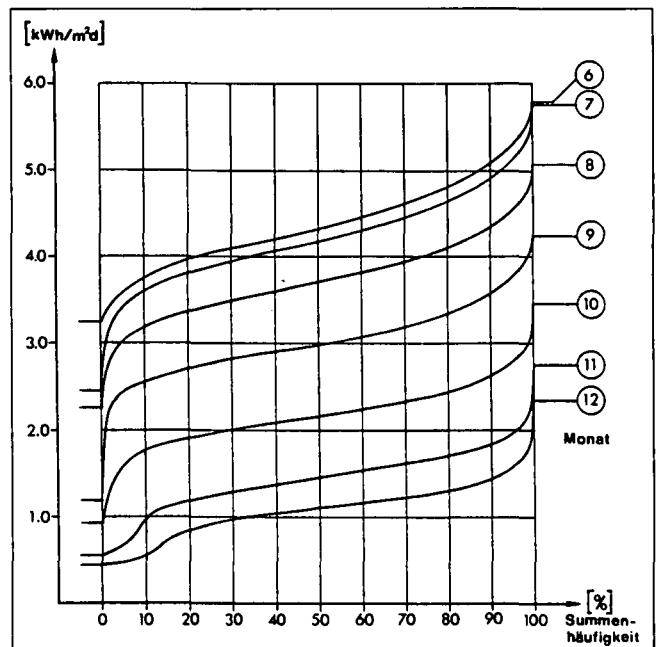
Geländemodell: Übersichts-Geländemodell von Österreich; 250-m-Raster in Gauß-Krüger-Projektion.

▲ a)

▼ b)



▼ c)



Literatur

- BEHR, O.: Digitales Modell des Oberflächenentwässerungssystems von Österreich. – Forschungsbericht Nr. 11 des Instituts für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, T. U. Wien (Eigenverlag), 70 S., 11 Abb., Wien 1989.
- BEHR, O.: Methodik zur regionalen Analyse und Simulation des Wasserhaushalts. – Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. **64**, 73–83, 4 Abb., Wien 1991.
- BEHR, O.: Erfassung hydrometeorologischer Elemente in Österreich im Hinblick auf den Wasserhaushalt. – Wiener Mitteilun-
gen Wasser – Abwasser – Gewässer, **98**, 250 S., 71 Abb., Wien 1991.
- BEHR, O. & HOCHSTÖGER, F.: Digitales Oberflächenentwässerungssystem von Österreich. – Geowissenschaftliche Mitteilungen, Tagungsband GeoLIS II (Eigenverlag), 8 S., Wien 1989.
- DOMOKOS, M: Das Forschungsprojekt „Wasserhaushalt von Österreich“. – Übersetzt ins Ungarische, Vizügyi Közlemények LXIX, 576–592, Budapest 1987.