

3.5 Mittlere jährliche Abflusshöhe

Das Wasservolumen, das je Zeiteinheit einen bestimmten Gerinnequerschnitt durchfließt, wird als *Durchfluss* bezeichnet. Messeinheit ist üblicherweise m³/s bzw. l/s. Wird der an einem bestimmten Querschnitt beobachtete Durchfluss auf die Fläche des zugehörigen Einzugsgebietes bezogen, bezeichnet man diese Größe als *Abflussspende* in l/s·km² bzw. *Abflusshöhe* in mm/Zeiteinheit.

Abbildung 1 zeigt die Faktoren, die das Abflussgeschehen im Gebiet und damit den Durchfluss im Vorfluter (Atlasstafel 3.9) bestimmen.

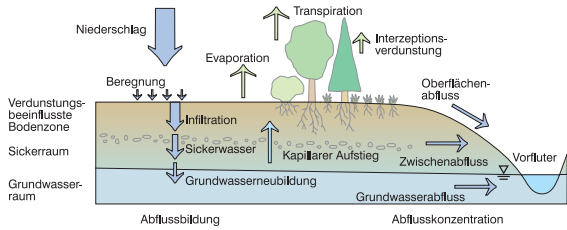


Abb. 1 Abflussbildung und Abflusskonzentration

Der Niederschlag wird durch Benetzung von Pflanzenoberflächen zwischengespeichert (Interzeption), fließt als Oberflächenabfluss in den Vorfluter oder infiltriert direkt in den Untergrund. Ein Teil des infiltrierten bzw. gespeicherten Wassers kann durch Evaporation vom Boden, Transpiration von den Pflanzen bzw. Interzeptionsverdunstung von den Oberflächen in die Atmosphäre zurück gelangen, der Rest versickert.

Das Sickerwasser, das an weniger durchlässigen Schichten gestaut wird, tritt abhängig vom Gefälle als Zwischenabfluss an der Oberfläche oder in einem Vorfluter wieder aus. Zur Grundwasserneubildung (Atlasstafel 5.5) trägt nur der Anteil des Sickerwassers bei, der in den Grundwasserraum eintritt (Atlasstafel 4.5). Der Grundwasserabfluss speist letztlich den Vorfluter auch in niederschlagsarmen Zeiten. Der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasserraum kann zur verbesserten Wasserversorgung der Vegetation auf grundwasserernahen Standorten beitragen.

Im mehrjährigen Mittel wird für gewählte Flächeneinheiten die Differenz der hydrometeorologischen Größen „korrigierte Niederschlagshöhe P_{kor} minus tatsächliche Verdunstungshöhe ETa“ der *Gesamtabflusshöhe* R unterhalb des verdunstungsbeeinflussten Bereichs gleichgesetzt (Abflussbildung). Beregnung auf landwirtschaftlichen Bewässerungsflächen wird an den entsprechenden Stellen dem Niederschlag zugeschlagen. Vorratsänderungen im Wasserspeicher werden nicht berücksichtigt.

$$R = P_{kor} - ETa \quad (\text{in mm/a}) \quad (1)$$

Bei Flächeneinheiten von 1 km² Größe kann davon ausgegangen werden, dass Landoberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss weitgehend in der Gesamtabflusshöhe des Flächenelements enthalten sind. Die mittlere Abflusshöhe an der Messstelle des Vorfluters ergibt sich als arithmetisches Mittel der Werte der Gesamtabflusshöhe aller Flächeneinheiten des zugehörigen Einzugsgebietes.

Der Abfluss lässt sich mit Niederschlag-Abfluss-Modellen räumlich und zeitlich (bis zu Tagesintervallen) modellieren. Die variabel simulierte Gesamtabflusshöhe mit den Komponenten Landoberflächenabfluss, Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss entspricht nach Abflusskonzentration im Einzugsgebiet dem zeitlich variablen Gerinneabfluss des Vorfluters, der an der Messstelle erhoben wird. Das Wasservolumen, das dem einzelnen Gebiet zu- oder abfließt, kann nur näherungsweise geschätzt werden, da der Grundwasserabstrom in den Grundwasserleitern messtechnisch nicht erfassbar ist. Dieser Fehler wird mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes vernachlässigbar klein.

In Deutschland stehen gegenwärtig über 4000 Pegel zur Verfügung, an denen der Wasserstand bzw. der Durchfluss ermittelt wird (Atlasstafel 3.1). Aus diesen lässt sich für das gesamte Einzugsgebiet die Summe aller Einwirkungen auf den Durchfluss erkennen. Hingegen liefert eine differenziertere flächenmäßige Darstellung der Abflusshöhe R, wie sie in Karte 3.5 für Rasterfelder von 1 km² Ausdehnung als mittlere Jahressumme durchgeführt wurde, eine detailliertere Aussage zur *Gesamtabflussbildung*.

Über mehrere Jahre gesehen gibt der Gesamtabfluss das potenzielle Wasserangebot wieder. Die Nutzbarkeit ist durch viele Faktoren wie Ergiebigkeit, Beschaffenheit, ökologische Aspekte, Speichermöglichkeit eingeschränkt. Die Werte sind u. a. jedoch relevant für die Untersuchung des Wasserangebots kleiner Räume wie z. B. Einzugsgebiete von Wasserwerken und Talsperren.

Die Gesamtabflusshöhe wird durch den korrigierten Niederschlag begrenzt. In niederschlagsarmen Gebieten und in Bereichen flurnahen Grundwassers kann die Verdunstung den korrigierten Niederschlag übertreffen, so dass negative Abflusswerte auf Zehrgebiete hinweisen.

Zur Methodik

Die Bestimmung mittlerer jährlicher Werte der Abflusshöhe durch Bilanzierung der Größen Niederschlag und Verdunstung setzt die genaue Ermittlung dieser Eingangsgrößen voraus. Für den Niederschlag, der im wesentlichen aus Messwerten regionalisiert wurde, werden die für Karte 2.5 vorliegenden korrigierten Werte genutzt. Die tatsächliche Verdunstung wird nach dem in Atlasstafel 2.13 dargestellten, auf der Modifikation der Bagrov-Beziehung basierenden Verfahren BAGLUA bestimmt, wobei am Standort abgeleitete Beziehungen auf das Gebiet übertragen wurden (GLUGLA et al. 2002).

Abbildung 2 zeigt, welche Kartengrundlagen und Informationsebenen des HAD für die Erstellung von Karte 3.5 mit einbezogen wurden. Sie macht auch deutlich, wie eng die maßgeblichen Parameter verknüpft sind und dass mit ihnen die zentralen Einflussgrößen berücksichtigt wurden, die die Verdunstungs- und Abflusshöhen bestimmen.

Zur Verifizierung des Verfahrens wurden die nach Gleichung (1) bestimmten Werte der mittleren jährlichen Abflusshöhe in Einzugsgebieten unterschiedlicher Größe, Landnutzung, Bodeneigenschaften sowie geomorphologischer und klimatischer Bedingungen den am entsprechenden Pegel ermittelten Abflusshöhen gegenübergestellt (Abb. 3).

Bei der Berechnung der Abflusshöhe wird die Differenz zweier in einigen Gebieten annähernd gleich großer Werte gebildet, deren Einzelfehler sich addieren können, was bei entsprechend geringen Abflusswerten zu einem großen relativen Fehler führen kann. Die Streuung der berechneten Abflusshöhen relativ zu den aus Messungen ermittelten Werten ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Abweichungen liegen im Mittel unter 5 %, können aber in einigen Gebieten z. B. aufgrund anthropogener Beeinflussung (Ein- und Überleitungen, Entnahmen, Beregnung) und Problemen bei der Einzugsgebietsordnung bis zu 30 % erreichen (JANKIEWICZ & GLUGLA 2002).

Die Abgrenzung des Landoberflächenabflusses (schnelle Abflusskomponente) wurde in dem vorliegenden Verfahren als kleinräumig auftretendes Phänomen nicht explizit berücksichtigt. Ein großer Teil des vor allem in höheren Lagen relevanten Landoberflächenabflusses kommt in den Talauen wieder zur

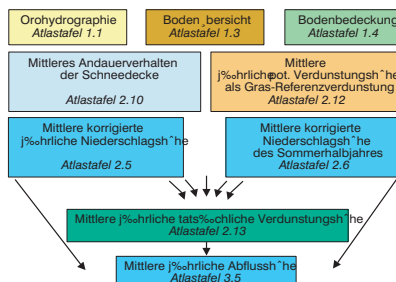


Abb. 2 Nutzung von HAD-Daten zur Ermittlung der mittleren jährlichen Abflusshöhe

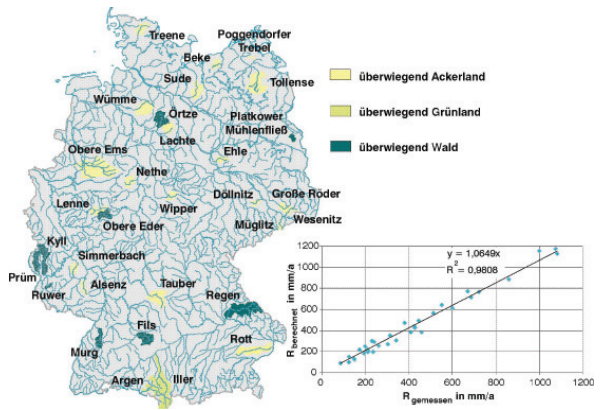


Abb. 3 Ausgewählte Einzugsgebiete

Abb. 4 Berechnete und aus Messungen ermittelte Abflusshöhen von Einzugsgebieten

Versickerung. Nicht berücksichtigt ist der Einfluss der vertikalen als auch lateralen zeitlichen Verzögerung infolge Schneefalls bzw. Schneeschmelze auf das Abflussverhalten.

Bei der angewandten Methodik handelt es sich um ein für Gesamtdeutschland einheitliches Verfahren. Im Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland (1978) basierte die Karte der Abflusshöhe auf einem Regressionsansatz. In dem für die DDR erstellten N-A-U-Atlas („Niederschlag-Abfluss-Unterschied“ (= Verdunstung) 1958) wurde ebenfalls auf Jahresabflussreihen zurückgegriffen. Der Genauigkeitsanspruch der vorliegenden Neubearbeitung ist wesentlich höher, was in der stärkeren Variation der Abflussbildung von einem Rasterfeld zum nächsten – abhängig von Landnutzung und Boden – deutlich wird. Ein direkter Vergleich der berechneten Abflusshöhenwerte ist jedoch durch die unterschiedliche Methodik einschließlich verbesserter Eingangsdaten nicht möglich.

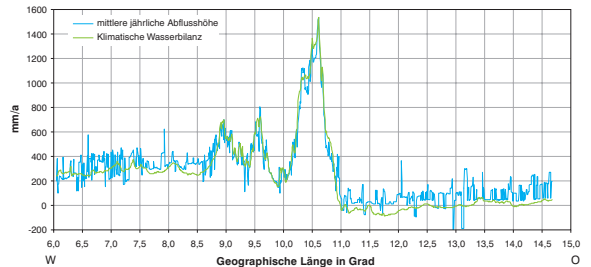


Abb. 5 West-Ost-Schnitt mittlerer jährlicher Werte der Abflusshöhe und der Klimatischen Wasserbilanz des Bezugszeitraums 1961–1990 in 51° 50' nördlicher Breite

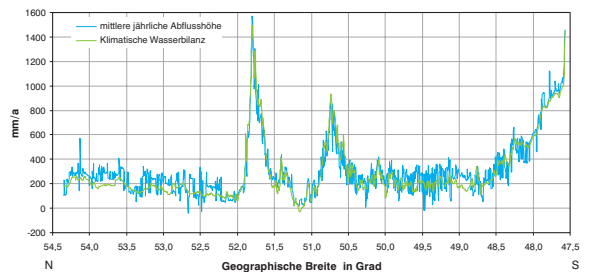


Abb. 6 Nord-Süd-Schnitt mittlerer jährlicher Werte der Abflusshöhe und der Klimatischen Wasserbilanz des Bezugszeitraums 1961–1990 in 10° 10' östlicher Länge

Zur Kartendarstellung

Karte 3.5 zeigt die mittlere jährliche Abflusshöhe als Rasterfelddarstellung in der Auflösung 1 km² bezogen auf den Zeitraum 1961–1990. Die Werte liegen unter 100 mm/a im Nordosten Deutschlands und über 2000 mm/a in den Hochlagen der Alpen. Die dargestellten Klassenreihen betragen 50 mm/a für die Werte unter 200 mm/a, 100 mm/a für die Werte bis 1000 mm/a und 500 mm/a für die Werte darüber.

Trotz der auf engem Raum stark variierenden Werte der tatsächlichen Verdunstungshöhe ETa (Karte 2.13) prägen die großräumigen Unterschiede der korrigierten Niederschlagshöhe P_{kor} (Karte 2.5) das Gesamtbild der Abflusshöhe. Deutlich wird dieses vor allem an den hohen Werten in den Kammlagen der Mittelgebirge und des Alpenraums mit seiner besonderen Stellung durch Schneedeckung und teilweise fehlender Vegetation. Innerhalb der Gebiete geringer Abflusswerte im niederschlagsarmen Nordosten Deutschlands, wo beispielsweise in den Urstromtälern die Grundwasserneubildung im Lockergestein durch die Abflusshöhe begrenzt wird und hier bei flurnahem Grundwasser häufig Grundwasserzehrung auftritt, zeichnen sich urbane Flächen als „Inseln“ hoher Abflusswerte ab. Im Lee der Mittelgebirge (östlich des Harzes, Thüringer Becken) wird der klimatische Einfluss (geringe Niederschlagshöhen bei hohen Werten der Gras-Referenzverdunstung) auf die Abflussbildung deutlich sichtbar.

Für die Landesfläche Deutschlands ergibt sich folgende Bilanz:

$$R \text{ (327 mm/a)} = P_{kor} \text{ (859 mm/a)} - ETa \text{ (532 mm/a)}$$

Die maximale Schwankungsbreite von R reicht von -258 mm/a in den Zehrgebieten im Nordosten Deutschlands bis 3344 mm/a in den Hochlagen der Alpen.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen analog zu den Darstellungen in Atlasstafel 2.13 West-Ost- bzw. Nord-Süd-Schnitte für Rasterfelder der Abflusshöhe und der Klimatischen Wasserbilanz (Atlasstafel 2.14); der Schnittpunkt der beiden Profillinien ist der Gipfel des Harzes. Die Abflusshöhen zeichnen insbesondere im Nord-Süd-Schnitt die Klimatische Wasserbilanz KWB = korrigierter Niederschlag P_{kor} – Gras-Referenzverdunstung ET, nach und schwanken abhängig von Landnutzung und Bodeneigenschaften um diesen Wert. Im West-Ost-Schnitt macht sich der kontinentale Klimaeinfluss im Lee des Harzes in der Klimatischen Wasserbilanz bemerkbar, die zum Teil negativ ist. Auch die Abflusshöhen weisen hier die niedrigsten Werte auf.