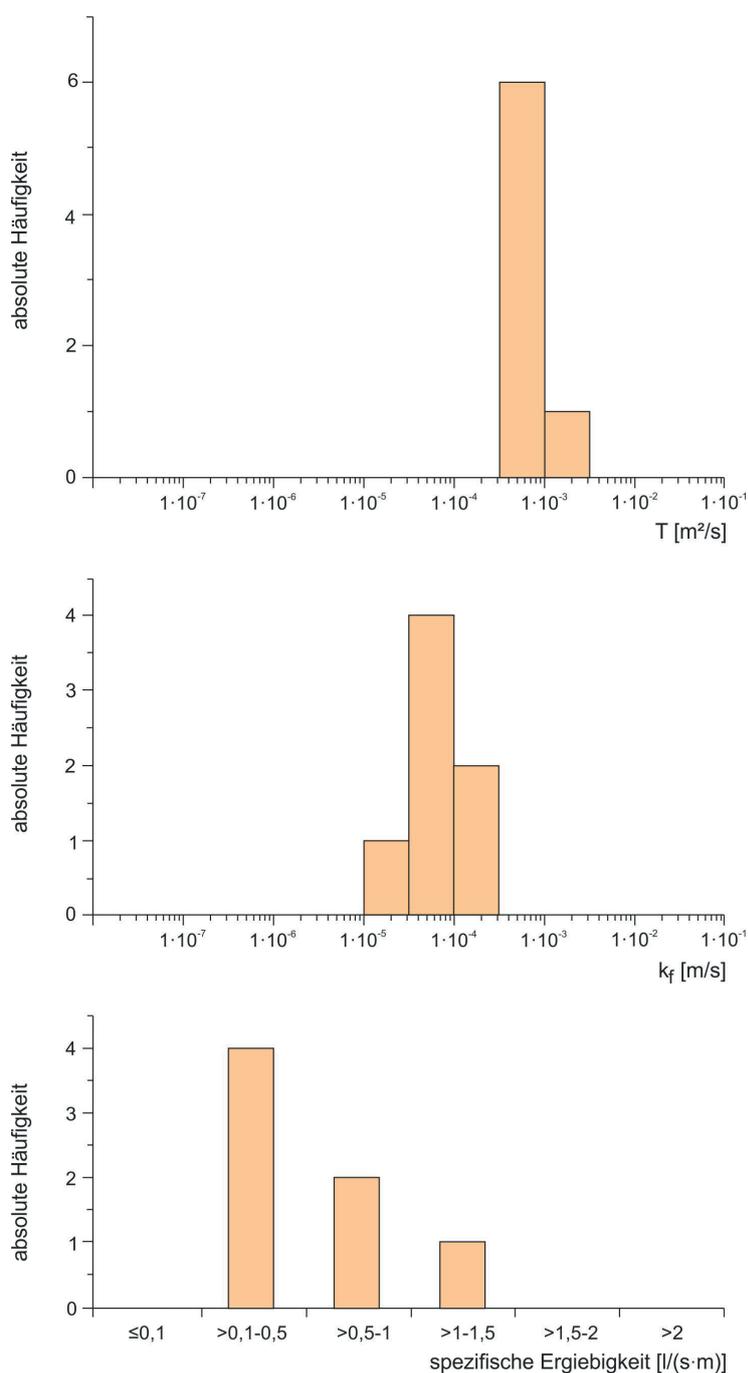


spezifische Ergiebigkeiten von mehr als  $2 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m})$  berechnet worden. Die auf Dauer gewinnbaren Wassermengen können jedoch nicht einfach über hohe Absenkungen extrapoliert werden, da wegen des ausgeprägten Reliefs die Einzugsgebiete relativ klein sind und das damit zur Verfügung stehende Grundwasserangebot das begrenzende Element ist.

### 5.2.5 Tertiäre Sedimente

Die sieben auswertbaren Pumpversuche in den grobklastischen tertiären Porengrundwasserleitern ergeben Transmissivitäten zwischen  $3\cdot 10^{-4}$  und  $1\cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  und  $k_f$ -Werte von  $1\cdot 10^{-5}$  bis  $2\cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Die spezifischen Ergiebigkeiten liegen zwischen 0,2 und  $1,1 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{m})$ . Da die Aquifermächtigkeiten meist nur wenige Meter betragen und somit keine größeren Absenkungen möglich sind, belaufen sich die zu fördernden Mengen nur auf 1 bis 5  $\text{l/s}$ .



**Abb. 5.14:**  
Häufigkeitsverteilung ( $n = 7$ ) der Transmissivität  $T$ , der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit  $k_f$  ( $T/M$ ) sowie der spezifischen Ergiebigkeit. (Tertiäre Sedimente)

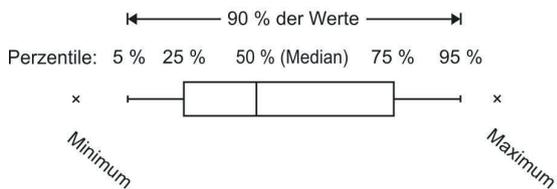
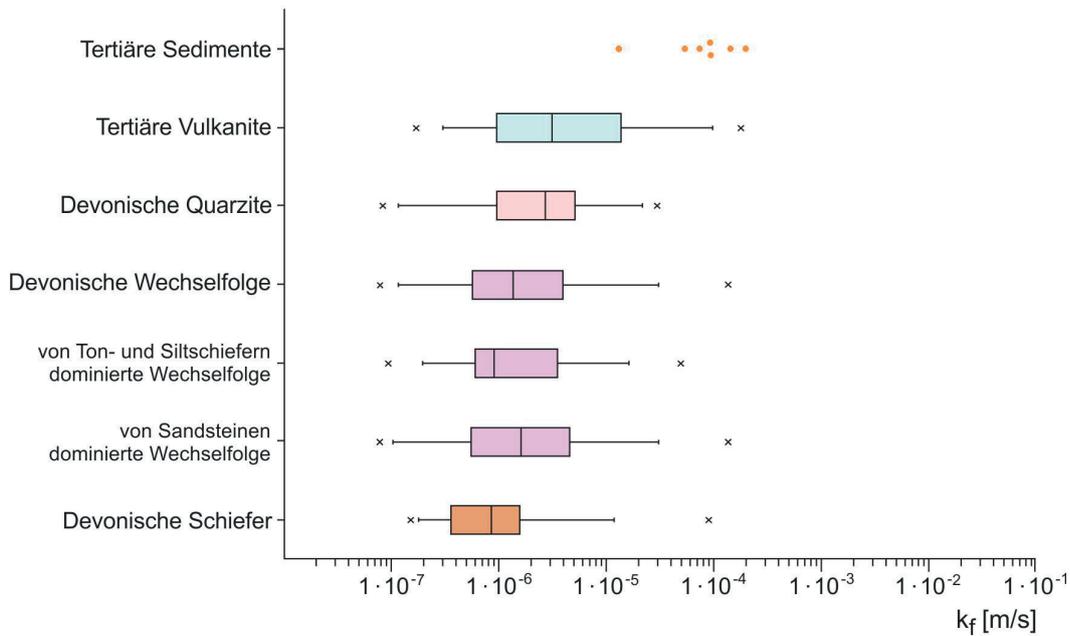
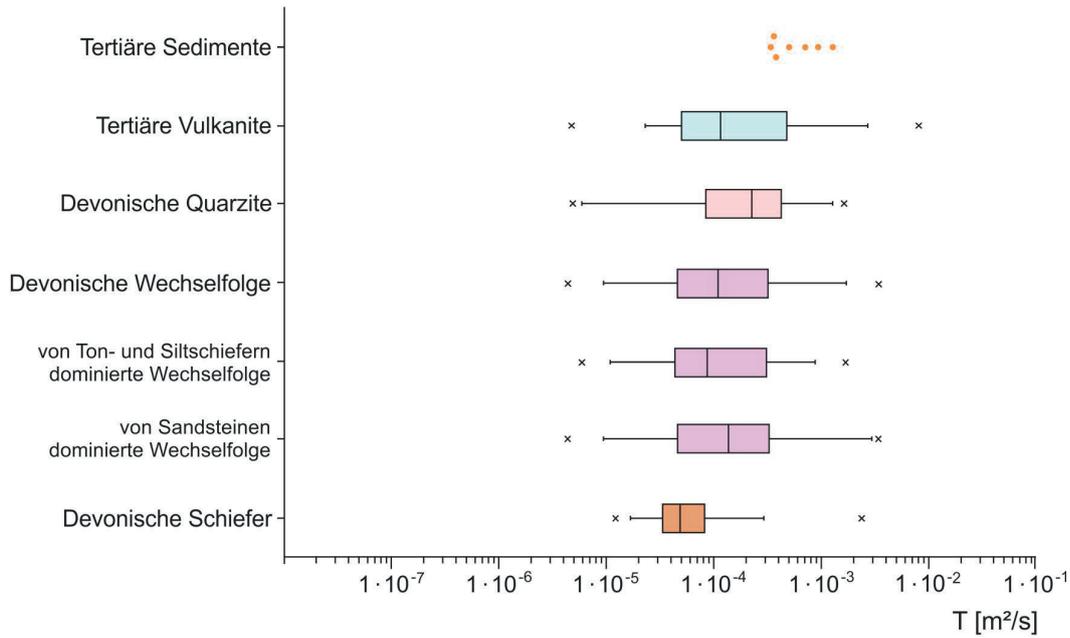


Abb. 5.15: Box-Whisker-Plots der Transmissivität  $T$  und der mittleren Gebirgsdurchlässigkeit  $k_f$  ( $T/M$ ), differenziert nach hydrogeologischen Einheiten.

## 5.3 Hydrologische Verhältnisse

### 5.3.1 Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (1979 bis 2008)

Der Darstellung der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen im Zeitraum 1979 bis 2008 liegen nach der Methode REGNIE (RAUTHE et al. 2013) regionalisierte Niederschlagshöhen zugrunde. Die Methode REGNIE bestimmt den räumlichen Ausgleich aktueller täglicher, monatlicher und jährlicher Niederschlagsverteilungen unter Verwendung regionalisierter Niederschlagsbezugswerte des Zeitraumes 1961 bis 1990. Die Werte liegen für ein Raster von 30 geographischen Sekunden längenparallel und 60 geographischen Sekunden breitenparallel für die gesamte Bundesrepublik Deutschland vor.

Dieser Ansatz (DWD 2009) geht davon aus, dass mit der durchgeführten Regionalisierung der Niederschlagsbezugswerte 1961 bis 1990 in Abhängigkeit von

- Höhe
- geographischer Länge und Breite
- Expositionsrichtung des Geländes und
- Hangneigung

bereits die wesentlichen klimatologischen Besonderheiten der Niederschlagsverteilung erfasst sind. Die verbleibenden Abweichungen in den aktuellen Niederschlagsmessungen an den Stationen werden demgegenüber als witterungsbedingt und nicht als klimatologisch eingestuft.

Die aktuellen Niederschlagshöhen an den Stationen können daher in Form von Relativwerten zum Niederschlagsbezugswert entfernungsabhängig interpoliert und auf das Raster übertragen werden (Hintergrund-Methode). Die für jedes Rasterfeld interpolierten Relativwerte werden anschließend durch Multiplikation mit den absoluten Niederschlagshöhen des Bezugsfeldes in mm-Angaben umgerechnet.

Als Hintergrundfelder für die Berechnung der aktuellen täglichen Niederschlagshöhen werden die entsprechenden mittleren monatlichen Niederschlagsbezugsfelder des Zeitraumes 1961 bis 1990 verwendet.

Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe im Westerwaldkreis liegt bei ca. 1030 mm (Anlage 9). Die Niederschlagsverteilung wird durch die dominierenden Westwindwetterlagen und die orographische Höhenstufung geprägt. Auf der Westerwälder Basalthochfläche, die mit einer mittleren Höhe von rund 520 m NN die am höchsten gelegene naturräumliche Teileinheit des Westerwaldes bildet, werden mit 1200 bis knapp 1300 mm die höchsten Jahressummen erreicht. Mittlere jährliche Niederschlagshöhen über 1200 m NN werden sonst nur noch im Dreifelder Weiherland erzielt. Im Südosten und Südwesten des Untersuchungsgebietes – in Höhenlagen um 300 m – liegt der mittlere Jahresniederschlag bei 800 bis 900 mm. Einzig auf der Montabaurer Höhe steigen die Jahressummen aufgrund der höher gelegenen Bereiche auf bis zu 1100 bis 1150 mm an.

### 5.3.2 Mittlere jährliche aktuelle Verdunstungshöhe (1979 bis 2008)

Unter Verdunstung (Evapotranspiration) wird der Übergang des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand verstanden. Dieser Phasenübergang vollzieht sich sowohl an belebten (Vegetationsdecke) als auch an unbelebten Oberflächen (Wasser, Fels, Boden) und wird von den aktuellen Wetterbedingungen und der Vegetation angetrieben. In die Wasserbilanz geht die Verdunstung als Verlustgröße ein und limitiert damit das nutzbare Wasserdargebot.

Eine verlässliche Ermittlung der Verdunstungshöhe ist besonders schwierig, da sie nicht direkt messbar ist und weil beim Verdunstungsvorgang neben rein physikalischen auch biologische Prozesse beteiligt sind. Zudem kann die Verdunstung räumlich und zeitlich stark variieren, was vor allem auf die häufig wechselnden Standorteigenschaften wie Topographie, Meereshöhe, Landnutzung oder Bodenbeschaffenheit und die klimatische Variabilität zurückzuführen ist.

Für das vorliegende Kartenblatt (Anlage 10) erfolgte die räumlich differenzierte Berechnung der mittleren jährlichen Verdunstungshöhe im Zeitraum 1979 bis 2008 mit dem Verdunstungsmodell TRAIN (MENZEL 1997, MENZEL & RÖTZER 2007). Die Struktur des Verdunstungsmodells ist in Abb. 5.16 dargestellt. Das Simulationsverfahren besteht aus einer Abfolge selbstständiger Teilmodelle. Im Folgenden werden die wichtigsten Komponenten kurz charakterisiert:

- Strahlungsberechnung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einstrahlungs- und Abschattungsbedingungen
- Angaben zu unterschiedlicher Landnutzung, wie z. B. Wuchshöhe, Blattflächenentwicklung, Albedo
- Schneedeckenaufbau, Schneeschmelze sowie Verdunstung von Schnee- und Eisflächen
- Interzeption und Interzeptionsverdunstung
- Verdunstung der Pflanzen (Transpiration) in Abhängigkeit des aktuellen Entwicklungszustandes der Vegetation, der Bodenfeuchte und der Witterungsbedingungen: Das Teilmodell zur Berechnung der Transpiration basiert auf der Penman-Monteith-Beziehung. Für die erforderliche Bereitstellung von Bestandswiderständen wird auf den Ansatz von MENZEL (1997) zurückgegriffen.
- Verdunstung der offenen Wasserflächen (Evaporation)
- Aktuelle Wasserverfügbarkeit im Boden: Im Boden-Teilmodell liegt der Schwerpunkt auf der möglichst realitätsnahen Prognose des für die Pflanzen und damit für die Transpiration nutzbaren Bodenwasser-Angebotes. Angaben zur nutzbaren Feldkapazität, bezogen auf die durchwurzelbare Tiefe, werden auf der Grundlage von Bodeninformationen des Landesamtes für Geologie und Bergbau bereitgestellt. In Abhängigkeit des Wasserspeichervermögens der Böden wird die Wasserleitfähigkeit zur Beschreibung der Perkolationsgeschwindigkeit im Boden festgesetzt. Kapillarer Aufstieg ist in der derzeit verwendeten Version von TRAIN noch nicht berücksichtigt.

Die zur Berechnung notwendigen Klimadaten entstammen dem Messnetz des Deutschen Wetterdienstes sowie der Messnetze von Agrarmeteorologie und Wasserwirtschaftsverwaltung Rheinland-Pfalz. Für die flächenhafte Interpolation der Klimadaten wurde das Programmpaket InterMet (DOBLER et al. 2004) genutzt. InterMet ist ein Programm zur Interpolation stündlicher und tagesbasierter meteorologischer Parameter. Es nutzt verschiedene Interpolationsmodelle auf Basis komplexer Hybridverfahren aus Geostatistik und Fuzzy-Theorie (HINTERDING et al. 2000). Als Eingangsdaten nutzt InterMet neben den meteorologischen Stationsdaten relevante flächendeckende Zusatzinformationen (wie z. B. die Geländehöhe). Weitere von TRAIN benötigte Datensätze sind die Landnutzung (ATKIS® (LVerGeo-RLP 2014)), das digitale Höhenmodell, davon abgeleitete Informationen zu Hangneigungen und Expositionen sowie die nutzbare Feldkapazität der Böden im durchwurzelten Bodenraum.

Die flächendifferenzierte Modellierung der Verdunstung erfolgte auf den Geometrien der landnutzungsbezogenen Bodendaten in täglicher Auflösung für den Zeitraum 1979 bis 2008.

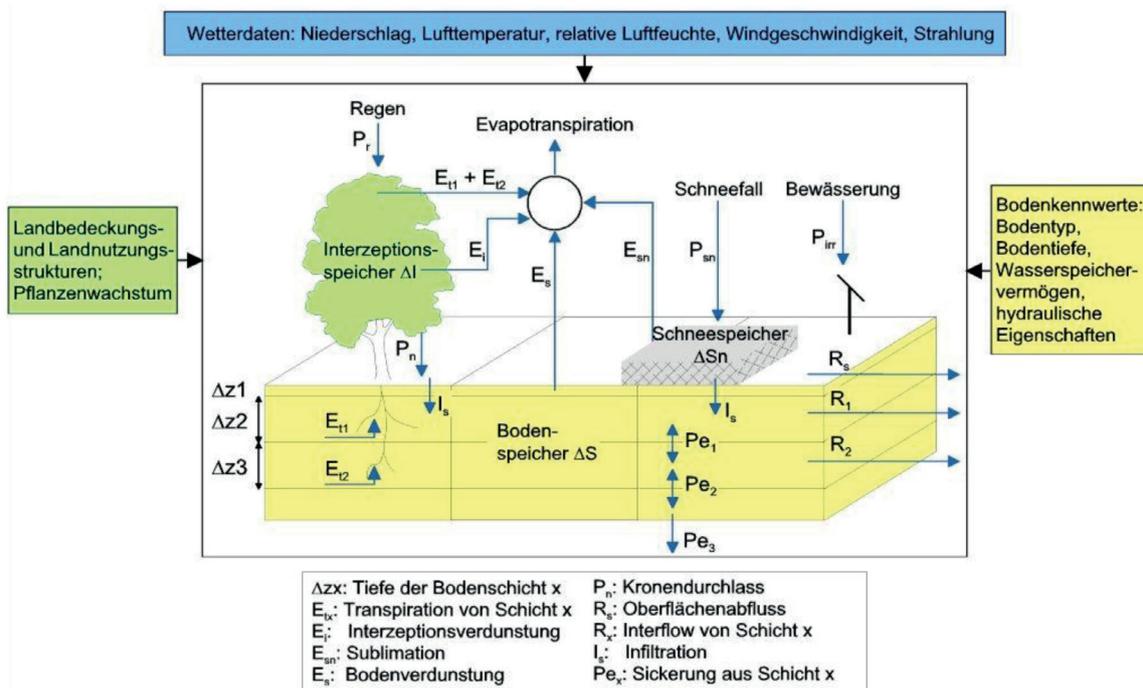


Abb. 5.16: Struktur des Verdunstungsmodells TRAIN (MENZEL 1997).

Die mittlere jährliche aktuelle Verdunstungshöhe im Projektgebiet liegt bei ca. 510 mm/a. Durch die Kombination der Einflüsse von Klima, Höhenlage, Exposition, Landnutzung sowie Bodenbeschaffenheit ergibt sich ein äußerst flächendifferenziertes Bild der Verdunstung. Wie für das gemäßigte Klima und die mittleren Höhenlagen im Untersuchungsgebiet zu erwarten, spiegelt die Verdunstung aber vor allem die unterschiedlichen Landnutzungen wider. So sind die hohen Verdunstungswerte der waldbestandenen Flächen (z. B. Montabauer Höhe oder Dreifelder Weiherland) deutlich erkennbar. In den landwirtschaftlich genutzten Flächen der Montabauer Senke liegen die Verdunstungshöhen häufig bei 400 bis 450 mm/a. Die von Siedlungen, Industrie und Verkehr beanspruchten Flächen heben sich dagegen durch vergleichsweise niedrige Verdunstungswerte heraus. Auf den ersten Blick fallen hier die Städte Montabaur und Ransbach-Baumbach auf.

### 5.3.3 Mittlerer jährlicher Abfluss (1979 bis 2008)

Zur Darstellung der Abflussverhältnisse wird eine Regionalisierung der mittleren Abflusswerte ausgewählter Pegel vorgenommen. Räumliche Grundlage für die Regionalisierung bilden die Teileinzugsgebiete entsprechend der Basisversion des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses von Rheinland-Pfalz mit 7991 Teileinzugsgebieten (LUWG 2005, vgl. Abb. 5.25, Kap. 5.4.2.2).

Diese Teileinzugsgebiete variieren hinsichtlich ihrer Gebietsgröße, im Mittel handelt es sich aber um Flächen zwischen 2 und 3 km<sup>2</sup>.

Die Datengrundlage für die Regionalisierung stellen die langjährigen Beobachtungsreihen der Abflüsse (Zeitreihe 1979 bis 2008) dar. Für die räumliche Verteilung werden der mittlere Niederschlag und die mittlere tatsächliche Verdunstung herangezogen. Damit sind implizit auch die klimatischen Verhältnisse, die Landnutzung und die Bodenverhältnisse berücksichtigt.

Die 30-jährigen Reihen (in der Regel 1979 bis 2008) folgender Pegel der rheinland-pfälzischen Wasserwirtschaftsverwaltung finden Verwendung:

- Arzbach/Hollerer-Wald Bach
- Burgen/Baybach\*
- Fahren/Wipperbach
- Heimborn/Nister
- Isenburg/Saynbach
- Kautenmühle/Eisenbach
- Kloster Arnstein/Dörsbach\*
- Lützelauer Mühle/Kleine Nister
- Nettegut/Nette\*
- Niederelbert/Niederelberter Bach
- Seelbach/Wied
- Seifen/Holzbach
- Weinähr/Gelbach
- Westerburg/Schafbach

\* Pegel außerhalb des Untersuchungsgebietes; Referenzpegel für regionale Übertragung

Die gesamten von den Pegeln erfassten Teileinzugsgebiete mit insgesamt 694 km<sup>2</sup> betragen damit etwa 70 % der Fläche des Untersuchungsgebietes von 990 km<sup>2</sup>.

Da die Daten der Pegel jeweils nur eine summarische Information für ihr Einzugsgebiet geben, werden die räumlich differenzierten Ergebnisse der Niederschlags- und Verdunstungskarten benutzt, um eine Flächendifferenzierung des mittleren Abflusses vorzunehmen.

Die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung lautet:

$$\text{Abfluss} = \text{Niederschlag} - \text{Verdunstung} \quad (A = N - V)$$

Alle Glieder dieser Gleichung sind, wie oben dargelegt, bekannt. Das räumliche Verteilungsmuster kann durch die Differenz von Niederschlag und Verdunstung beschrieben werden. Bei einer Aufsummierung der N-minus-V-Werte im jeweiligen Pegelinzugsgebiet kommt es naturgemäß zu gewissen Abweichungen von den gemessenen Pegelwerten. Da aber die gemessenen Pegelwerte maßgebend sind, wird ein linearer Abgleich der N-minus-V-Werte auf die Pegelwerte vorgenommen. Die anschließende Aggregation erfolgt entsprechend den Teileinzugsgebieten des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses (LUWG 2005).

Das sich daraus ergebende Verteilungsmuster führt zu einer den tatsächlichen Verhältnissen sehr nahe kommenden flächendifferenzierten Darstellung des mittleren Abflusses. Daher beschreibt die mittlere Abflussspende [ $l/(s \cdot km^2)$ ] bzw. die mittlere Abflusshöhe [ $mm/a$ ] den im Abschnitt (Elementarzelle des

Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses) entstehenden Abfluss (Anlage 11). Durch Kumulation der Abflüsse aus den gewässerkundlichen Elementarzellen entlang des Gewässerverlaufs wird unter Einbeziehung der Nebengewässer der mittlere Abfluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] an jeder Stelle des Gewässers abschätzbar (Anlage 12).

Aus der Karte der mittleren Abflüsse ist zu entnehmen, dass neben der nördlich gelegenen Nister vor allem die Wied (zu deren Einzugsgebiet auch der Holzbach gehört), der Saynbach, sowie der Gelbach und der Elbbach die großen Vorfluter bilden. Alle genannten Gewässer entspringen im Untersuchungsgebiet.

Die mittlere jährliche Abflusshöhe des Kartiergebietes beträgt gemäß des oben beschriebenen Regionalisierungsverfahrens 470 mm/a.

Deutlich zu erkennen ist eine Zweiteilung des Gebietes mit hohen Abflusshöhen im Norden, insbesondere Nordosten, und geringeren im Süden. Bei einer etwa gleichmäßigen Verdunstung im Gebiet, wobei die Waldanteile durch ihre erhöhte Verdunstung zu erkennen sind, pausen sich die unterschiedlichen Niederschlagshöhen im Abflussverhalten durch. Im Hohen Westerwald sowie dem Dreifelder Weierland liegt der durchschnittliche Niederschlagswert bei etwa 1150 mm. Dementsprechend liegt die mittlere Abflusshöhe in der Größenordnung von 550 bis 700 mm pro Jahr. In der südlichen Hälfte, der Montabaurer Höhe und Senke sowie Teilen des Kannebäcker Landes, beträgt der Niederschlag etwa 950 mm pro Jahr. Die Bewaldung der Montabaurer Höhe lässt hier weniger Niederschlag zum Abfluss kommen, er beträgt 300 bis 400 mm pro Jahr.

#### 5.4 Grundwasserneubildung aus Abflussdaten

Die Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate eines Gebietes aus Gewässerabflussdaten basiert auf der Möglichkeit, den an einem Gewässerpegel gemessenen Gesamtabfluss in einen Direktabfluss und einen Basisabfluss aufzuteilen (Abb. 5.17).

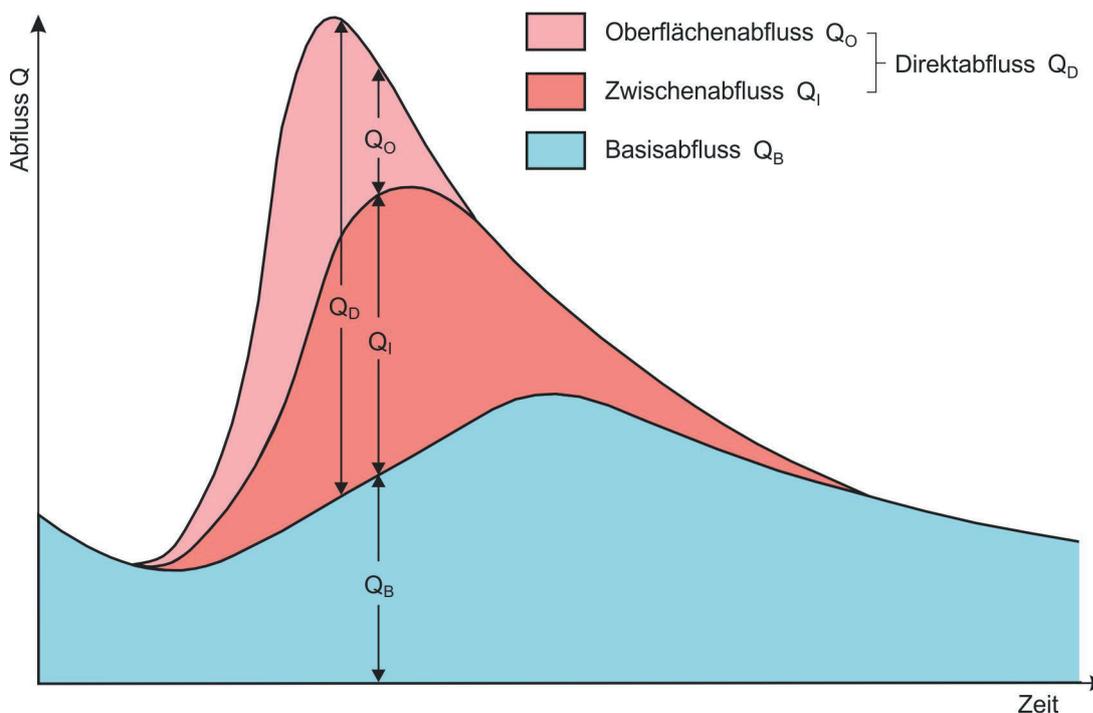


Abb. 5.17: Zusammensetzung einer Abflussganglinie.

Der Direktabfluss ist der Abflussanteil, der den Vorfluter nach Ende eines Niederschlagsereignisses mit nur geringer Zeitverzögerung erreicht. Dabei fließt der Oberflächenabfluss  $Q_o$  dem Vorfluter über die Bodenoberfläche zu, während der Zwischenabfluss  $Q_i$  als Deckschichtenabfluss sowie als Spitzenabfluss aus Quellstockwerken den Vorfluter speist. Der Basisabfluss  $Q_b$  ist der unter dem Direktabfluss befindliche Bereich der Abflussganglinie. Dieser Abflussanteil erreicht den Vorfluter erst mit einer zum Teil erheblichen Zeitverzögerung, die vom Speichervermögen der angeschlossenen Grundwasserleiter abhängt.

Die Separation des Basisabflusses vom Direktabfluss erfolgt entweder rein rechnerisch (z. B. nach WUNDT 1958 oder KILLE 1970) oder grafisch. Der Vorteil der rechnerischen Methoden liegt in der schnellen Auswertung von langen Zeitreihen. Der Nachteil ist, dass die regionalen hydrogeologischen Verhältnisse, die die Speicherung und Entleerung der Grundwasserleiter steuern, nicht berücksichtigt werden. Der Vorteil der grafischen Auswertungen liegt in einer besser an das individuelle Abflussgeschehen angepassten Separation des Basisabflusses, der Nachteil ist der größere zeitliche Aufwand.

Beide Verfahren werden im Folgenden angewendet, wobei bei der grafischen Auswertung ein mathematischer 2-Parameterfilter („Boughton two-parameter algorithm“, CHAPMAN 1999) eingesetzt wird, der zum einen die Auswertung langer Zeitreihen ermöglicht und zum anderen durch die Variation der zwei Filterparameter eine individuelle Anpassung an die Charakteristik der Abflussganglinie ermöglicht.

#### 5.4.1. Grundwasserneubildung nach BOUGHTON/CHAPMAN

Zur Erläuterung der Methode dient die Abb. 5.18. Dargestellt ist die Abflussganglinie des Pegels Westerburg/Schafbach mit der Schüttung der Quelle 6508 Winnen und dem Niederschlag an der Wetterstation in Guckheim. Niederschlag und Quellschüttung werden herangezogen, um den Basisabfluss vom Gesamtabfluss zu trennen. Hierfür werden die Filterparameter so lange variiert, bis der Basisabfluss in seiner Charakteristik mit der Schüttungsganglinie übereinstimmt.

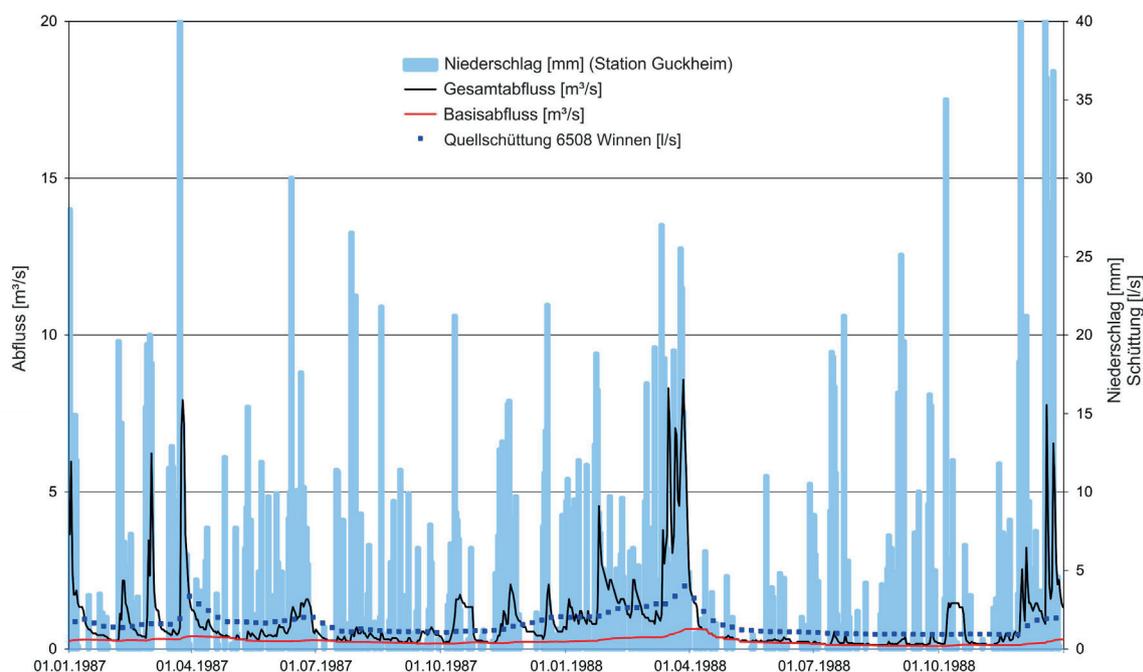


Abb. 5.18: Ermittlung der Grundwasserneubildung durch grafische Abtrennung des Basisabflusses am Beispiel des Pegels Westerburg/Schafbach.

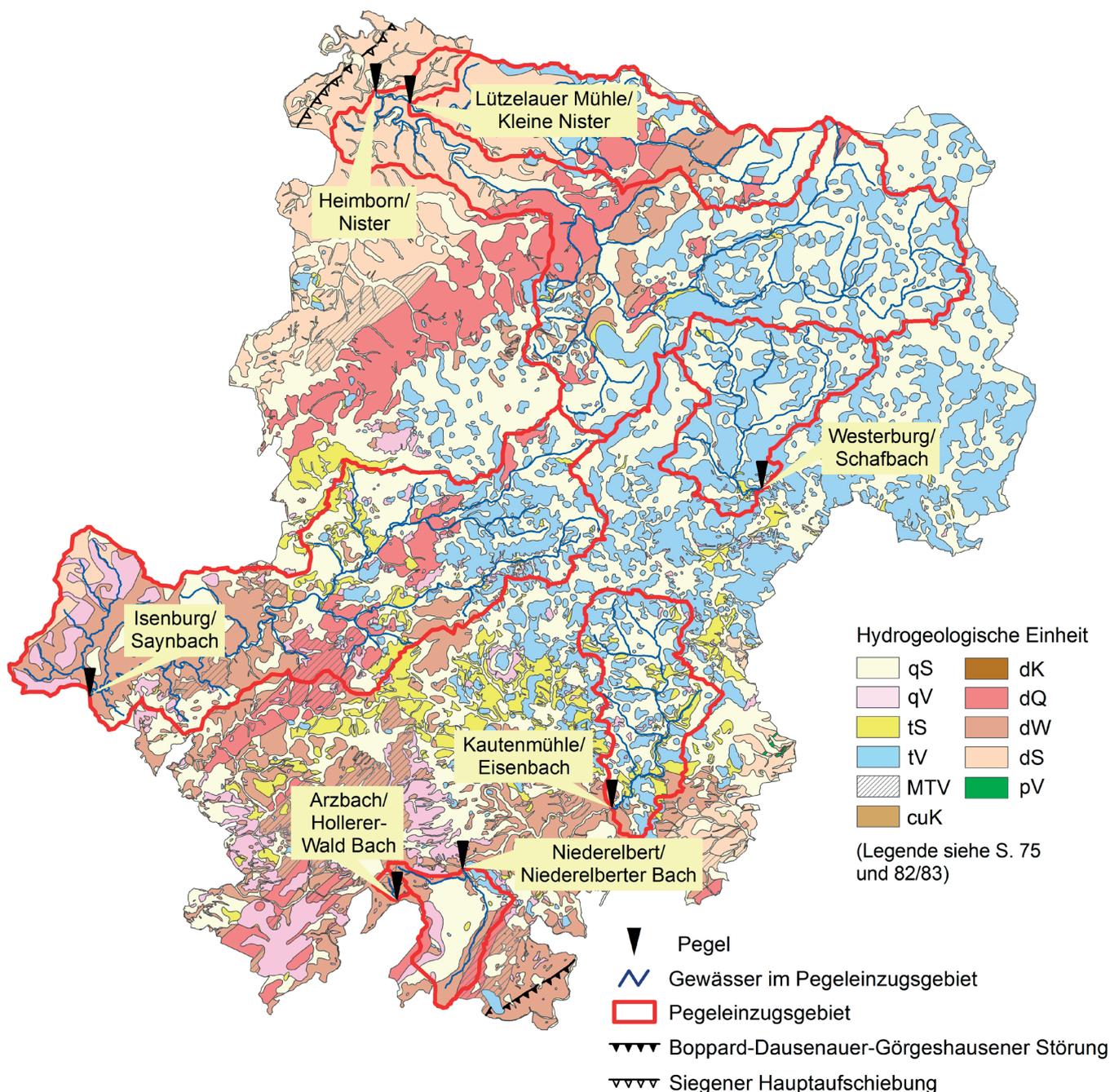


Abb. 5.19: Lage der Pegel und ihrer Einzugsgebiete auf der Basis einer vereinfachten Kartendarstellung der hydrogeologischen Einheiten.

Bei der Bestimmung der Grundwasserneubildung werden die Zeitreihen des Abflusses von 1979 bis 2008 analysiert. Die Abflusswerte werden um die wasserwirtschaftlichen Entnahmen (Wasserversorgung) bzw. Einleitungen (Kläranlagen) korrigiert. Die ausgewählten Pegel sind in Abb. 5.19 dargestellt und tragen die Bezeichnungen:

- Arzbach/Hollerer-Wald Bach
- Heimborn/Nister

- Isenburg/Saynbach
- Kautenmühle/Eisenbach
- Lützelauer Mühle/Kleine Nister
- Niederelbert/Niederelberter Bach
- Westerburg/Schafbach

Die mit dieser Methode ermittelten Grundwasserneubildungen für die Pegelinzugsgebiete sowie die zugehörigen Wasserbilanzen in diesen Gebieten sind in Tab. 5.3 aufgeführt bzw. in Abb. 5.20 dargestellt.

Tab. 5.3: Vieljährige Wasserbilanzen der Pegelinzugsgebiete (Reihe 1979 bis 2008).

| Pegelinzugsgebiet                | Niederschlag (mm/a) | Verdunstung (mm/a) | Gesamtabfluss (mm/a) | Basisabfluss (mm/a) |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| Arzbach/Hollerer-Wald Bach       | 1025                | 578                | 447                  | 97                  |
| Heimborn/Nister                  | 1134                | 491                | 643                  | 152                 |
| Isenburg/Saynbach                | 932                 | 597                | 335                  | 104                 |
| Kautenmühle/Eisenbach            | 921                 | 536                | 385                  | 129                 |
| Lützelauer Mühle/Kleine Nister   | 1153                | 588                | 565                  | 128                 |
| Niederelbert/Niederelberter Bach | 996                 | 562                | 434                  | 139                 |
| Westerburg/Schafbach             | 1106                | 586                | 520                  | 170                 |

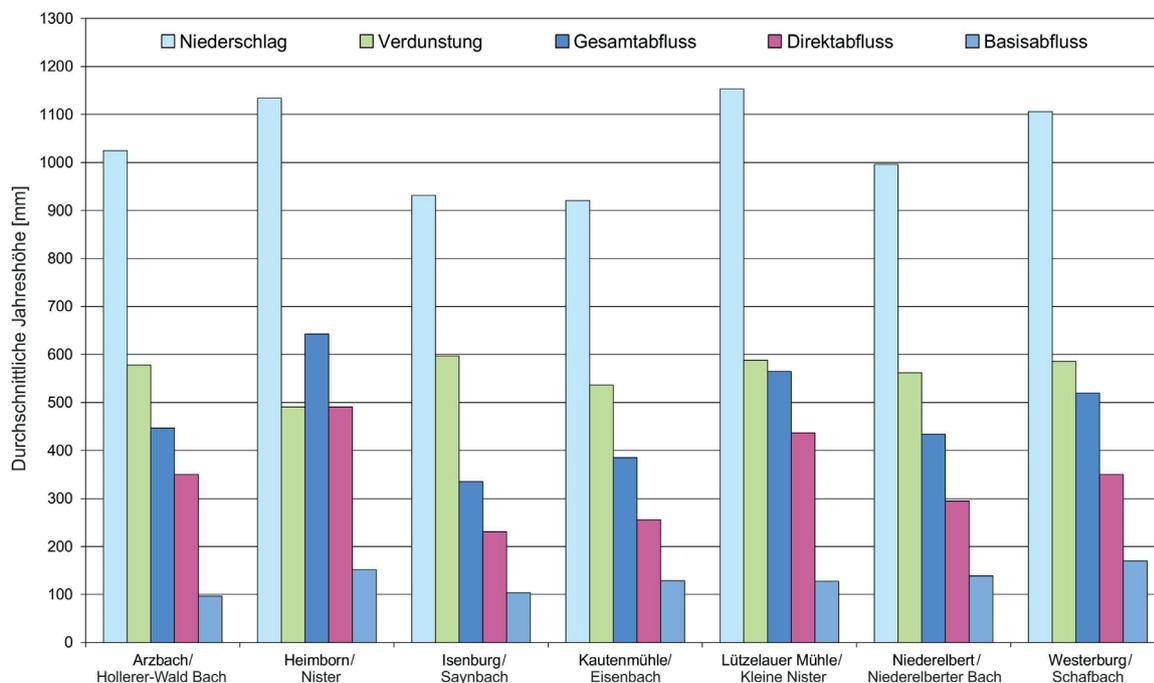


Abb. 5.20: Grafische Darstellung der vieljährigen Wasserbilanz der Pegelinzugsgebiete (Reihe 1979 bis 2008).