

Landesweite Darstellung der Mittel- und Niedrigwasserverhältnisse für hessische Gewässer im Hinblick auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie

GERHARD BRAHMER & SABINE ALTHOFF

1. Bedeutung der Kenngrößen MQ und MNQ

Die für hydrologische Pegel veröffentlichten Daten der gewässerkundlichen Hauptwerte MQ (hier: mittlerer langjähriger Jahresabfluss) und MNQ (arithmetisches Mittel aus den niedrigsten Werten der Tagesabflüsse mehrerer aufeinanderfolgender Abflussjahre) werden in der Wasserwirtschaft als aussagekräftige Kenngrößen zur Beschreibung des Wasserhaushalts und als Parameter zur Festlegung von Bemessungswerten hinsichtlich der quantitativen Nutzungsmöglichkeiten eines Gewässers herangezogen. Der Mittelwasserabfluss kennzeichnet als Wasserhaushaltsgröße das vorhandene Wasserdargebot im Hinblick auf die aktuelle Wassernutzung und ein zukünftiges Entwicklungspotenzial. Das Niedrigwasser (NQ) tritt oft zu Zeiten größten Wasserbedarfs auf und stellt i.d.R. den begrenzenden Faktor vieler wasserwirtschaftlicher Nutzungen dar.

In Bezug auf die EU-Wasserrahmenrichtlinie werden insbesondere Kennwerte zur Abschätzung der Belastbarkeit der Gewässer benötigt. Die aus dem MQ abgeleitete Größe der spezifischen Abflusspende (M_q) kommt in Modellen zur Untersuchung des diffusen Stoffeintrags in die Gewässer, der mittlere Abfluss (MQ) als Grundlage für Stofffrachtberechnungen und der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) als Grundlage zur Bewertung der Gewässerbelastung im Hinblick auf den Schmutzwasseranteil aus Kläranlagen und zur Quantifizierung von möglichen Wasserentnahmen zur Anwendung. Darüber hinaus werden die Kenngrößen in der wasserwirtschaftlichen Praxis für Bemessungsaufgaben für den Gewässerbau (Renaturierung, Anlage von Fischaufstiegsanlagen) und Plan- und Genehmigungsverfahren (Mindestwasserbemessung) benötigt.

2. Ermittlung der Bemessungsgrößen

Für die Ermittlung der Kennwerte für einen konkreten Gewässerabschnitt liegen in der Regel keine Pegelmessungen vor, so dass die Werte durch eine räumliche Übertragung von Angaben der in der Nähe befindlichen Pegel oder durch Modellrechnungen im Einzelfall zu ermitteln sind. Zur Beschreibung ganzer Wassereinzugsgebiete hinsichtlich der Darstellung der hydrologischen Grundlagen zur Bewertung der stofflichen Belastbarkeit des ganzen Gewässersystems werden räumlich hoch aufgelöste und nach einer einheitlichen Vorgehensweise ermittelte Daten benötigt.

2.1 Ermittlung des mittleren Abflusses (MQ)

Zur Ermittlung des MQ wurde ein einfaches Modell (vgl. Abb. 1), basierend auf der Wasserhaushaltsgleichung, unter Einsatz hochaufgelöster geographischer und klimatischer Daten eingesetzt. Als Randbedingungen waren die Nutzung vorliegender Daten einer einheitlichen Datengrundlage und die

GIS-Anbindung für die Datenbereitstellung an weitere Nutzer auf Grundlage der Gebietseinteilung nach dem gewässerkundlichen Flächenverzeichnis vorgegeben.

Als Einnahmeglied der Wasserhaushaltsgleichung liegt ein 1-km-Raster der langjährigen (1961–1990) mittleren Niederschlagshöhe (Mittelwert für Hessen 791 mm, bei einer Spanne von ca. 500 mm im Rheingau und im westlichen Hessischen Ried bis über 1 200 mm im Hohen Vogelsberg) des DWD vor. Ausgehend von einem 1-km-Raster der potenziellen Grasreferenzverdunstung (Gebietsmittel Hessen: 560 mm) und einem nach acht Nutzungsklassen klassifizierten 100 m-Raster der Landnutzungsdaten (CORINE) wurde ein 100 m-Raster der mittleren jährlichen potenziellen Landnutzungsverdunstung durch Verwendung von nutzungsabhängigen Verhältnisfaktoren und einer Höhenzonierung des Anteils an Laub-, Nadel- und Mischwald für Hessen berech-

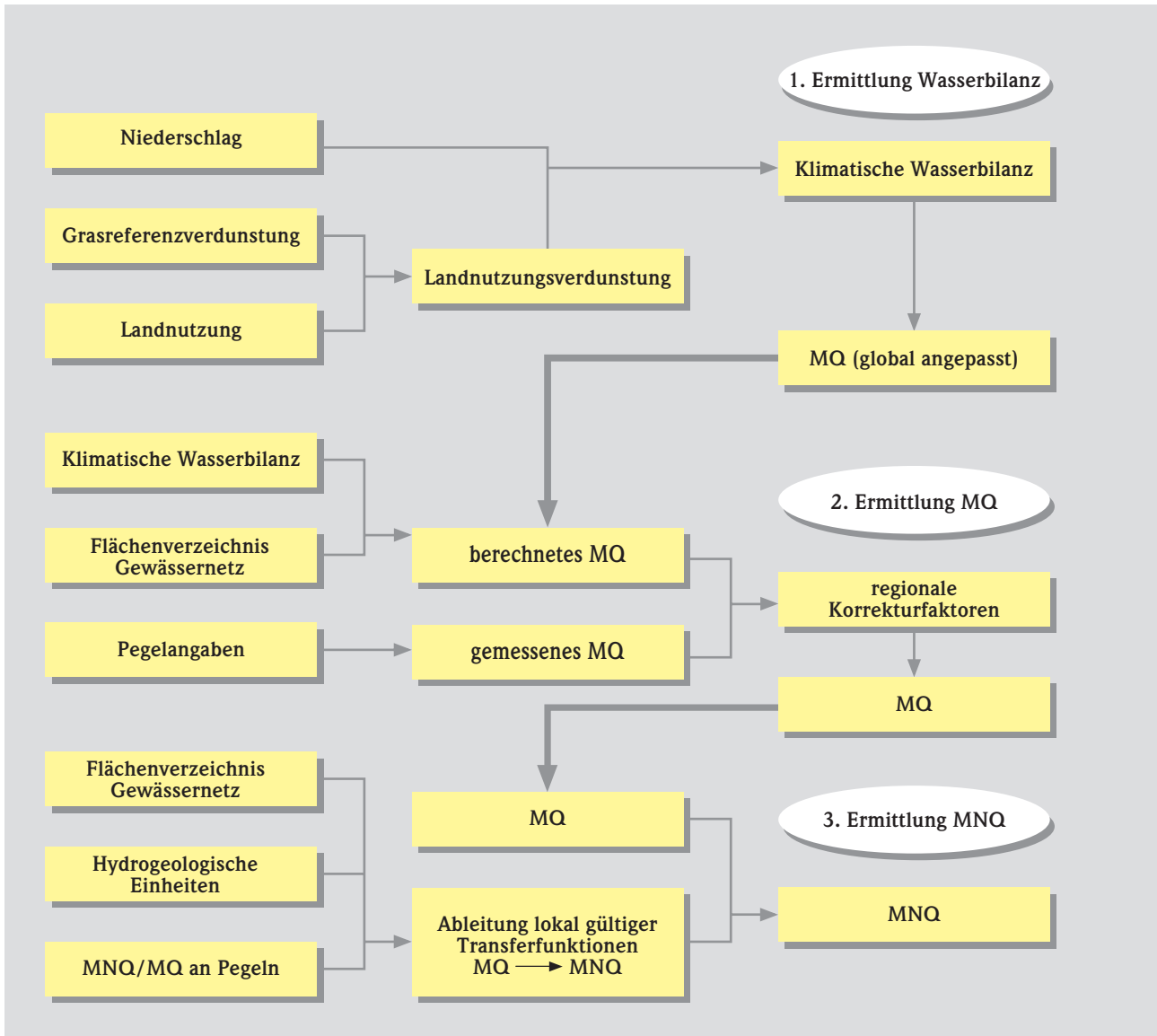


Abb. 1: Vorgehensweise bei der landesweiten Ermittlung von MQ und MNQ.

net. Für stark versiegelte City-Lagen ohne nennenswerten Bodenspeicher und mit Abfuhr eines großen Teils der Niederschläge über die Kanalisation wurde ein Verdunstungswert von 200 mm angehalten, der im Wesentlichen die Evaporation repräsentieren soll. Bei Siedlungsgebieten wurde für zwei Drittel der Fläche die Grasreferenzverdunstung angesetzt, während das restliche Drittel als versiegelt angenommen wurde. Freien Wasserflächen wurde ein Verdunstungswert von 630 mm zugeordnet.

Aus dem Niederschlag und der so ermittelten landnutzungsabhängigen potenziellen Verdunstung (Gebietsmittel für Hessen: 593 mm) ergibt sich rechnerisch eine Abflusshöhe von etwa 200 mm. Diese Wasserbilanzbetrachtung erfolgt jedoch einerseits mit unkorrigierten Niederschlägen und andererseits mit der potenziellen gegenüber der tatsächlichen Verdunstung und führt so zu einer Unterschätzung der Abflusshöhe. Aus diesem Grund wurde eine korrigierte Wasserbilanz aus der Differenz des Niederschlags und einer um 12 % verminderten Verdunstungshöhe berechnet. Dabei wurde für Rasterflächen mit einer negativen klimatischen Wasserbilanz eine minimale Abflusshöhe von 50 mm vorgegeben, die etwa der mittleren Angabe in Abflussspendenkarten für diese Gebiete entspricht. Die ermittelte Abflusshöhe entspricht mit 272 mm

net. Für stark versiegelte City-Lagen ohne nennenswerten Bodenspeicher und mit Abfuhr eines großen Teils der Niederschläge über die Kanalisation wurde ein Verdunstungswert von 200 mm angehalten, der im Wesentlichen die Evaporation repräsentieren soll. Bei Siedlungsgebieten wurde für zwei Drittel der Fläche die Grasreferenzverdunstung angesetzt, während das restliche Drittel als versiegelt angenommen wurde. Freien Wasserflächen wurde ein Verdunstungswert von 630 mm zugeordnet.

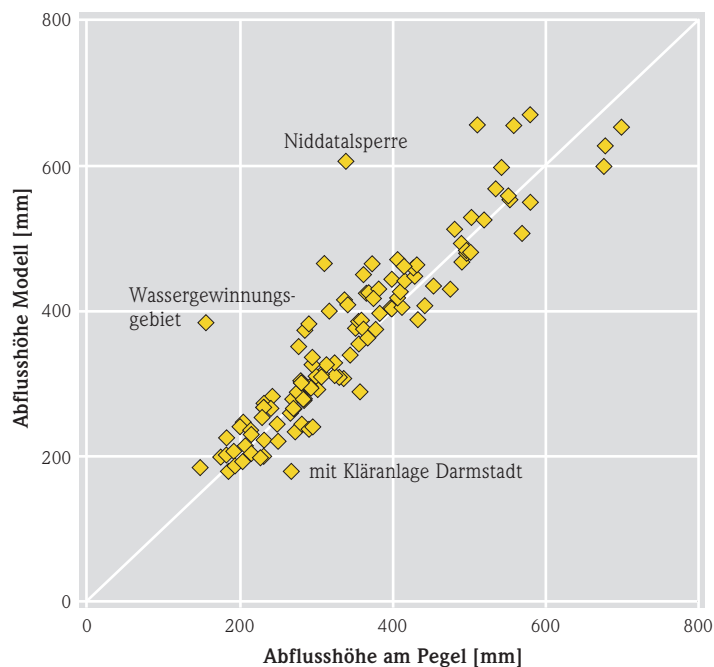


Abb. 2: Vergleich gemessener und berechneter Abflusshöhen für hessische Pegelinzugsgebiete vor der Feinkorrektur.

der an Pegeln ermittelten langjährigen mittleren Abflusshöhe für Hessen. Nach dieser globalen Korrektur (vgl. Abb. 2) erfolgte eine Feinkorrektur anhand der an den Pegeln ermittelten Abflusshöhen. Hierfür wurden die aus der Wasserbilanz ermittelten Raster der Abflusshöhen über die zugehörigen Pegelinzugsgebiete bzw. bei verschachtelten Pegeln über die Zwischeneinzugsgebiete aufsummiert und zu den Pegelwerten ins Verhältnis gesetzt. Durch Multiplikation der einzelnen Rasterzellen mit den entsprechenden Korrekturfaktoren und anschließender Aufsummierung aller Raster in den Basisflächen des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses ergeben sich die Abflussspenden für die Basisflächen des Flächenverzeichnisses (vgl. Abb. 3), wobei die Werte regional auf die Pegelkennwerte abgeglichen sind. Durch Aufsummierung aller (hydrologisch) oberhalb einer Basisfläche liegenden Teileinzugsgebiete ergibt sich ein MQ-Abflussband für alle im Flächenverzeichnis aufgeführten Gewässer mit direkten Abflussangaben für die jeweils am unteren Ende der Basisflächen befindlichen Gewässerstellen.

2.2 Ermittlung des mittleren Niedrigwasserabflusses MNQ

Das Auftreten von Niedrigwasser ist an einen komplexen Entstehungsmechanismus mit einem längeren Zeitraum ohne Niederschläge, den Wasseraufbrauch im Einzugsgebiet und vor allem an das hydrogeologi-

sche Entleerungsverhalten und den Grundwasservorrat des Grundwasserspeichers gebunden. Für die Pegel lassen sich Verhältniswerte von MNQ zu MQ ermitteln. Da nun das MQ flächendeckend vorliegt, wurde eine Übertragungsmethode gesucht, um vom MQ auf das MNQ zu schließen. Die gewählte Vorgehensweise orientiert sich im Ansatz an den Ausführungsvorschriften einer landesweiten „Regelung über den in einem Fließgewässer zu belassenden Mindestabfluss bei der Entnahme und Wiedereinleitung von Wasser“. Danach werden in Abhängigkeit von der Geologie im Einzugsgebiet, unterschieden nach Gebieten mit starker Schwankung im Abflussgeschehen und Gebieten mit ausgeglichenem Abflussverhalten, für verschiedene Bereiche gültige Werte für das Verhältnis MNQ/MQ vorgeschlagen.

Während die MQ-Ermittlung auf langjährige Mittel der hydrologischen Normalperiode 1961–90 basiert, wurde in Anbetracht des ab etwa 1980 vorliegenden hohen Anschlussgrades an Kläranlagen und der besseren Datenlage für die Kenngröße MNQ die 20jährige Bezugsperiode 1979–1998 gewählt. Für die Ermittlung der MNQ79–80 aus den MQ61–90 wurden die Verhältnisse entsprechend in Relation gesetzt.

Nach einer Voruntersuchung der MNQ/MQ-Verhältnisse an hessischen Pegeln ergab sich auf Grund einer nicht eindeutigen Beziehung und einem nicht-

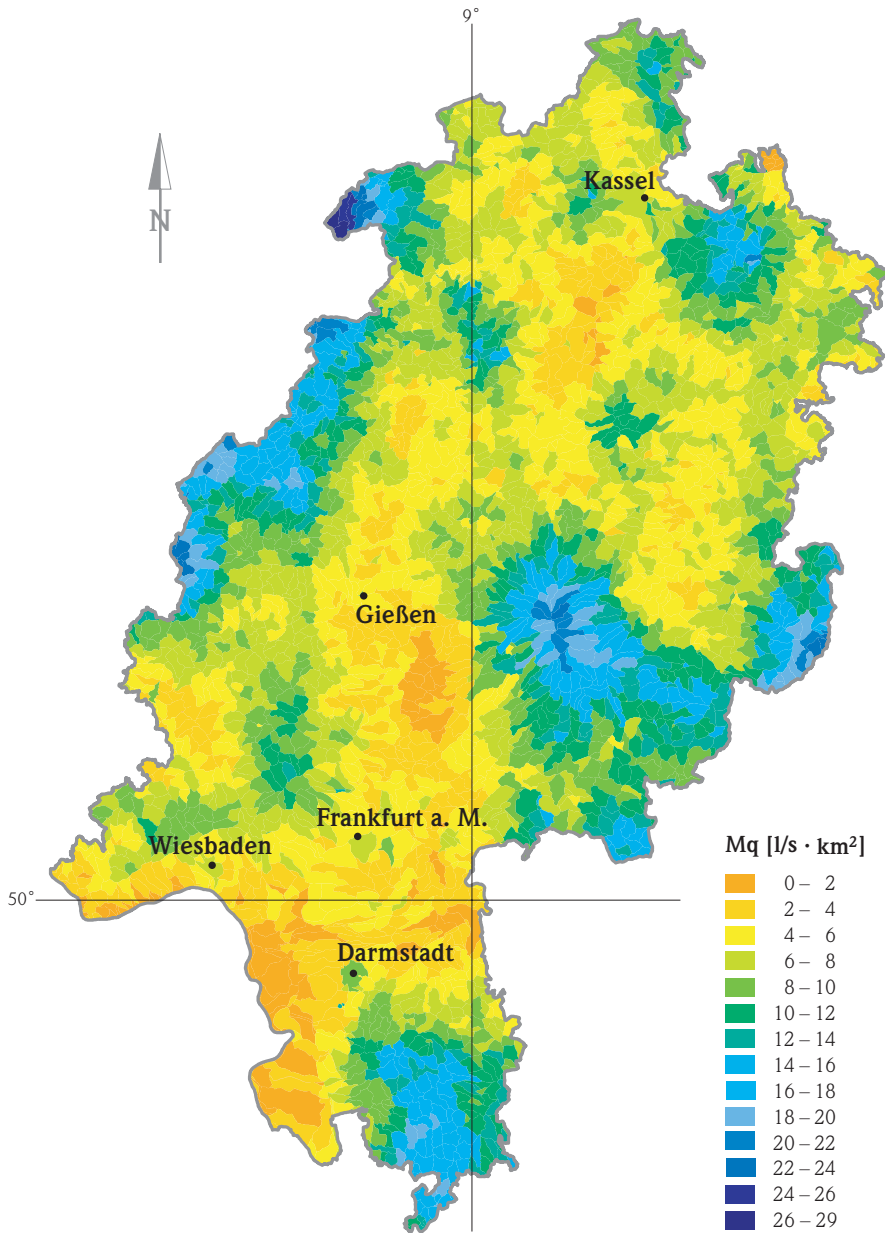


Abb. 3:
Langjährige mittlere Abflussspenden
Mq für Hessen.

linearen, regional unterschiedlichem Zusammenhang (vgl. Abb. 4) die Notwendigkeit der Aufstellung von regional gültigen Übertragungsfunktionen. Hierzu wurde die Abgrenzung von Gebieten mit ähnlichem Niedrigwasserverhalten über die hydrogeologischen Einheiten vorgenommen. Anhand der Pegelwerte wurden regional gültige Beziehungen in Abhängigkeit von den Pegeln, der Geologie und der Einzugsgebietsgröße in der Form

$$MNQ = v \times MQ$$

$$[v = a \times (A_{Eo})^b]$$

a, b = Regressionskoeffizienten = f (Geologie, Region, Pegel)

insbesondere für Gebiete im Rheinischen Schiefergebirge (z.B. Einzugsgebiete im Lahngebiet mit geringem Wasserspeichervermögen und entsprechend großem Unterschied zw. Mittel- und Niedrigwasserabfluss) aufgestellt. Für den Lahnhauptstrang und einige größere Nebengewässer wurden zusätzliche Beziehungen durch nichtlineare Interpolation der Verhältniswerte zwischen den Pegeln aufgestellt. Im hessischen Rheingebietsanteil bis zur Mainmündung und im Wesergebiet lässt sich der Einfluss der Einzugsgebietsgröße nicht mehr als beschreibendes Kriterium zur Ableitung eines Verhältniswertes heranziehen. Vielmehr scheint in den über-

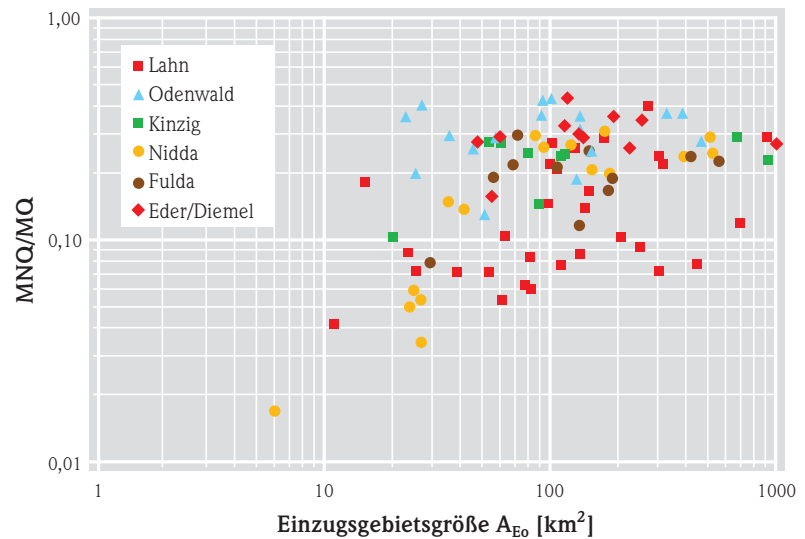


Abb. 4: Verhältnis MNQ/MQ für hessische Pegelinzugsgebiete.

wiegend durch mesozoische und gemischte hydrogeologische Untergrundeigenschaften geprägten Einzugsgebieten mit einem höheren Speichervermögen und entsprechend ausgeglichenem MNQ/MQ-Verhältnis ein gebietsweise konstanter Faktor vorzuherrschen, der sich lediglich in den Gewässeroberläufen in einem geringeren Verhältniswert aus-

drückt. Mit den aufgestellten Transferfunktionen oder den gebietsweise konstanten MNQ/MQ-Verhältnisfaktoren wurde nun für alle Schnittpunkte des Gewässernetzes mit dem gewässerkundlichen Flächenverzeichnis der MNQ-Wert für die jeweilige Gewässerstelle ermittelt und in Abb. 5 dargestellt.

3. Umsetzung der Vorgehensweise für Hessen

Die Berechnungen und Ermittlungen zur Darstellung der Mittelwasserkennwerte erfolgten sämtlich mittels des GIS Arc/Info durch mathematische Verknüpfung von Rasterdaten (Niederschlag, Verdunstung, Landnutzung) oder durch Anwendungen von AML-Scripts auf Vektordaten von Flächenverzeichnis, Gewässernetz und Abflusspende. Die Ermittlung der Niedrigwasserkenngröße durch Anwendung der regional gültigen Transferfunktionen erfolgte mittels eines externen FORTRAN-Programms.

Für ausserhessische Gebiete, die als hydrologische Oberlieger die hessischen Bemessungsgebiete beeinflussen, wurde für das Lahn-, Eder- und Diemelgebiet aufgrund vorliegender Daten analog zu den innerhessischen Gebieten vorgegangen. Für ausserhessische Anteile an Neckar, Main und Werra wurden MQ- und MNQ-Werte für dortige Pegel aus den gewässerkundlichen Jahrbüchern übernommen und als Startwerte bei den Berechnungen vorgegeben. Bereits vorliegende Ergebnisse zur MNQ-Darstellung

für die Gewässer Bracht und Gründau (Kinziggebiet) wurden in den Datenbestand importiert. Die Gewässer Bracht und Gründau verlaufen vor allem mit ihren Oberläufen in Gebieten mit „schwebenden Grundwasserstockwerken“ im Bereich des südlichen Vogelsbergs. Hier führt die Berücksichtigung von vorliegenden Längsschnitten von Niedrigwassermessungen lokal zu z. T. deutlichen Abweichungen im Vergleich zu einer modellhaften Ermittlung der Kennwerte.

Die Ergebnisdaten der o. a. Berechnungen wurden wiederum als Attribut-Tabelle an das gewässerkundliche Flächenverzeichnis (Basisflächen) im GIS angebunden. Als Ergebnis liegen die MQ- und die MNQ-Werte am Gebietsauslass der jeweiligen Basisfläche des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses vor. Über eine Intranet-Applikation können die Bemessungswerte direkt aus der kartographischen Darstellung durch „Anklicken“ der jeweiligen Basisfläche abgerufen werden.

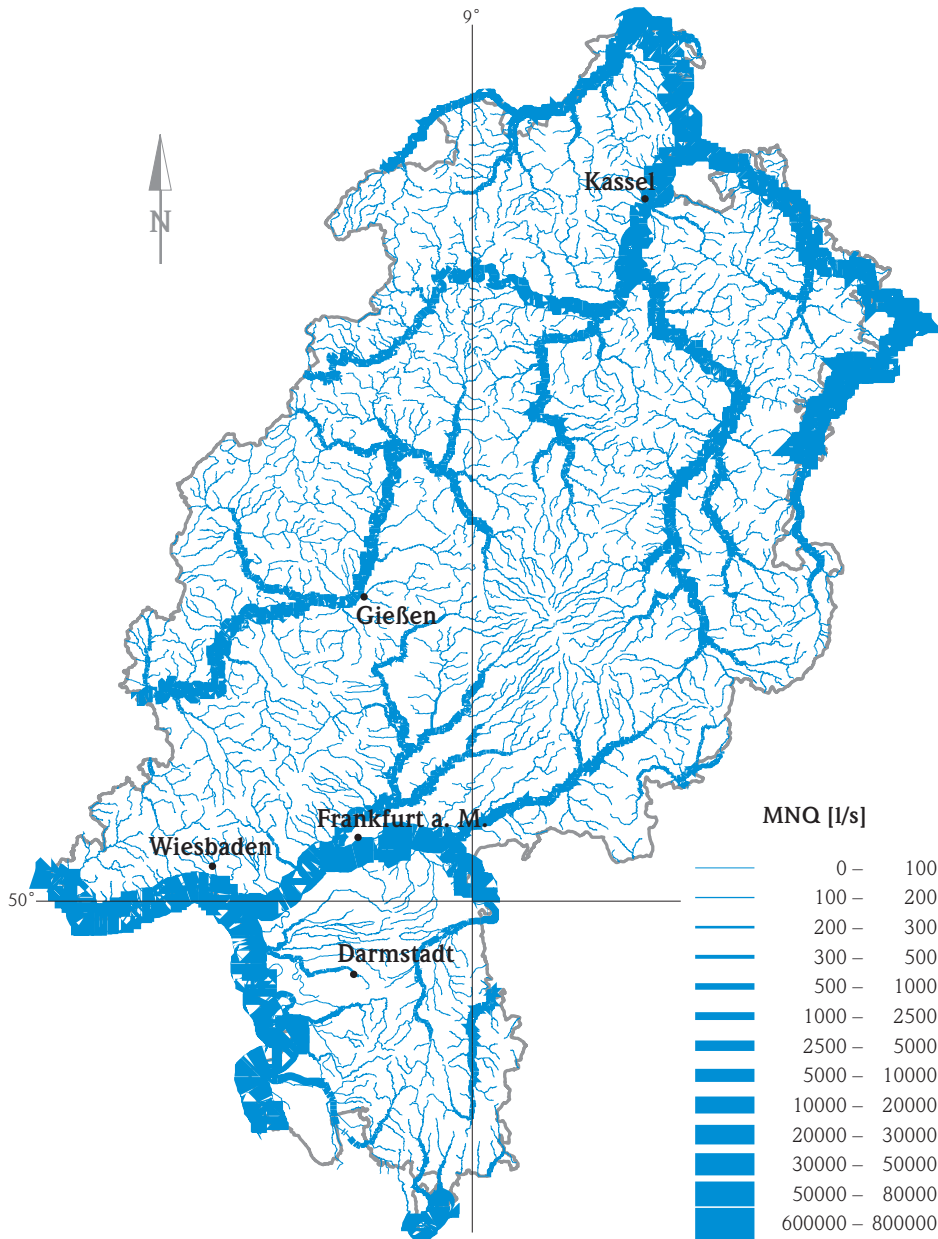


Abb. 5:
Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MNO für hessische Gewässer-
abschnitte.

4. Überprüfung der Ergebnisse und Anwendungsbereich

4.1 Überprüfung der Ergebnisse anhand von Pegelvergleich und Sondermessungen

Eine Überprüfung oder Plausibilisierung der Ergebnisse erfordert den Vergleich mit gemessenen Abflusswerten an Pegeln oder den Vergleich mit Sondermessungen. Die ermittelten MQ-Werte liefern durch die angewandte Vorgehensweise an den Pegeln die gemessenen Werte und entsprechen für die übrigen Bereiche den Angaben, wie sie sonst

durch die übliche hydrologische Bemessungspraxis über Gebietsinterpolation oder Gebietsübertragung abgeleitet werden.

Für das MNO werden an den Pegeln ebenfalls die gemessenen Werte erzeugt, ansonsten hängen die tatsächlichen MNO-Werte sehr stark von lokalen hydrogeologischen Verhältnissen ab. Eine mögliche Plausibilisierung der MNO-Werte kann durch die Gegenüberstellung von Niedrigwassermessungen

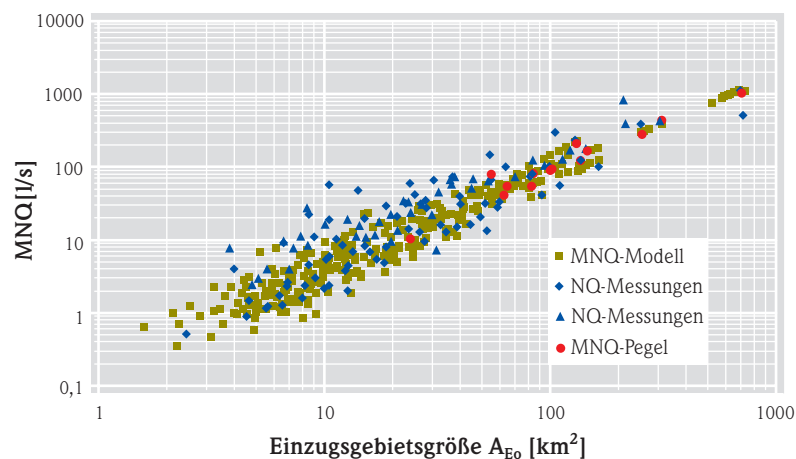


Abb. 6: Vergleich ermittelter MNQ-Werte mit vorliegenden Niedrigwassermessungen im unteren Lahngebiet.

aus dem hessischen Niedrigwassermessnetz erfolgen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Niedrigwassermessungen eine konkrete Abflusssituation widerspiegeln und nicht einem statistischen mittleren Niedrigwasserkennwert entsprechen. So dürften Messungen aus ausgeprägten Trockenjahren wie 1976 eher dem niedrigsten Niedrigwasser (NQ) entsprechen, während andere Messperioden oder Messungen in unterschiedlichen Gebieten eines Pegelinzugsgebietes nicht immer den Verhältnissen an einem Bezugspegel entsprechen und so über dem MNQ liegen können.

In Abb. 6 sind für das untere Lahngebiet Messungen aus dem Niedrigwassermessprogramm den Ergebnissen dieser Ermittlung in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße gegenübergestellt. An den Pegeln stimmen die jeweiligen Werte überein, während die Niedrigwassermessungen ansonsten einen weiten Streubereich zeigen, dem generellen Verlauf in Bezug zur Einzugsgebietsgröße aber folgen. Dabei ist auch zu beachten, dass die Niedrigwassermessstellen nicht immer mit den Knotenpunkten des Flächenverzeichnisses übereinstimmen. Insbesondere bei kleiner werdender Einzugsgebietsgröße zeigt sich eine breitere Streuung der Niedrigwassermesswerte, wobei dieser Bereich leider durch das Fehlen von Pegelwerten begleitet wird.

4.2 Anwendungsbereich für die ermittelten Kenngrößen

Aus den Ausführungen in 4.1 lässt sich generell folgern, dass die Anwendung der nach dieser Methode ermittelten Bemessungswerte um so sicherer ist, je größer die Einzugsgebietsgröße der jeweiligen Be-

messungsstelle ist. Insbesondere auf Grund der geringen Anzahl von Referenzpegeln mit einer Einzugsgebietsgröße von weniger als 20 bis 25 km² ist für die Heranziehung der Bemessungswerte für solche Gebiete eine Überprüfung der lokalen Verhältnisse angezeigt. Für eine abschätzende Beschreibung der landesweiten Gewässerbelastung sind die Bemessungswerte für Gebiete größer 20–25 km² als geeignet anzusehen, während bei kleineren Gebieten insbesondere durch mögliche lokale hydrogeologische Besonderheiten oder anthropogene Einflüsse eine nähere Betrachtung der Verhältnisse im Einzugsgebiet erfolgen sollte. Schwebende Grundwasserleiter im Bereich des Vogelsbergbasalts und hohe Wasserentnahmen in Wassergewinnungsgebieten seien als Beispiele für solche Beeinflussungen genannt.

Für Bemessungsstandorte, die innerhalb einer Basisfläche des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses liegen, kann die Festlegung der Bemessungswerte durch eine Interpolation mit dem Bemessungswert am Gebietsauslass und dem Bemessungswert der hydrologisch oberhalb liegenden Basisfläche erfolgen. Hierbei ist die Flächenzunahme und gegebenenfalls die Einmündung von Seitengewässern zu berücksichtigen. Zur einfachen konservativen Abschätzung insbesondere für den MNQ-Wert kann i. d. R. der Bemessungswert der oberhalb liegenden Basisfläche (entspricht dem Zufluss zur betrachteten Basisfläche) herangezogen werden.

Die hier ermittelten Bemessungswerte entsprechen den Verhältnissen an den zu Grunde liegenden Referenzpegeln, stellen also den durch anthropogene Maßnahmen (Kläranlageneinläufe, Wasserentnahmen) überprägten Zustand der hydrologischen Verhältnisse dar, soweit diese durch Pegel erfasst sind.

5. Ausblick

Eine weitere Möglichkeit zur Ableitung der MQ-Werte stellt die Aufstellung eines landesweiten komplexeren deterministischen Wasserhaushaltsmodells dar. Hierbei ist insbesondere die Möglichkeit gegeben, durch Berücksichtigung von Wassereinleitungen und -entnahmen oder auch durch Ersetzung der anthropogen veränderten Landnutzungen durch naturnahe Landnutzungsformen die hydrologischen Kennwerte für unbeeinflusste oder potenziell natürliche Verhältnisse darzustellen. Auch zukünftige Auswirkungen von Veränderungen der Niederschlags- und Verdunstungsverhältnisse aufgrund von klimatischen Veränderun-

gen können durch Eingabe solcher Szenarien beleuchtet werden.

Für eine Fortschreibung der Niedrigwasserkennwerte MNO bietet sich die weitere Einbeziehung des zur Zeit überarbeiteten hessischen Niedrigwassermessnetzes an. Die Übertragung der aus diesem Messnetz bei einer einheitlichen Messkampagne gewonnenen Ergebnissen über das Verhältnis von Messwerten an den Referenzpegeln zu den dort vorliegenden langjährigen MNO-Werten lässt dann eine Verbesserung bezüglich der räumlichen Repräsentanz der Niedrigwasserkennwerte erwarten.