

3.9 Mittlerer jährlicher Durchfluss und Durchflussvariabilität

Der Begriff Durchfluss bezeichnet in Hydrologie und Wasserwirtschaft das Wasservolumen, das je Zeiteinheit einen definierten Querschnitt in einem Fließgewässer durchfließt. Als Maßeinheiten werden je nach Größe der Flüsse und Bäche m³/s oder l/s verwendet. Wird der Durchfluss auf die zugehörige Fläche des Einzugsgebietes bezogen, ergibt sich die Maßeinheit der Abflusspende (l/s·km²) oder der Abflusshöhe (mm/a), die mit den Größen Niederschlag und Verdunstung der Wasserhaushaltsgleichung direkt vergleichbar ist.

Das Abflussgeschehen in den Oberflächengewässern hat sich nachhaltig verändert. Dies betrifft sowohl die räumliche Verteilung als auch den zeitlichen Ablauf von Abflussereignissen. Die Ursachen liegen in den vielfältigen Wassernutzungen und den wasserbaulichen Eingriffen in die natürlichen Fließgewässersysteme begründet; bekannte Beispiele sind Talsperren, Flussbegradigungen, Deichbau, Flächenversiegelungen und der Wassertransfer über natürliche Einzugsgebietsgrenzen hinweg.

Das regionale Verteilungsmuster des mittleren jährlichen Durchflusses (MQ) bietet eine wertvolle Basisinformation über die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser für den öffentlichen, industriellen, landwirtschaftlichen und privaten Wasserverbrauch sowie für die Schifffahrt. Allerdings ist das mittlere Durchflussvolumen räumlich und zeitlich ausgesprochen variabel. Im Verlauf von Abflussereignissen hoher Wasserführung (Hochwasser) durchströmen große Wasservolumina die Gewässer, ohne dass sie für wasserwirtschaftliche Nutzungen herangezogen werden könnten. Intensiv Wasser nutzende Großanlagen und Siedlungen benötigen desweiteren Informationen darüber, ob die Versorgung mit dem von ihnen benötigten Wasservolumen ohne längere Ausfallgefährdung gewährleistet ist. Maßzahlen der Durchflussvariabilität, gebildet aus den Quotienten von Durchflusshauptwerten (MHQ/MNQ oder HHQ/NNQ), sind bei diesen Abhängigkeiten wichtige Indikatoren. Um die gewässer-kundlichen Hauptwerte für eine Pegelstation (Tab. 1) bestimmen zu können, werden vielfäh-rige Pegelmessungen benötigt.

Tab. 1	Gewässerkundliche Hauptwerte für eine Pegelstation (Entsprechendes gilt für die Abflusspenden NNq, Nq usw.)
NNQ	Niedrigster überhaupt bekannter Durchfluss
NQ	Niedrigster Durchfluss gleichartiger Zeitabschnitte (Monat, Halbjahr, Jahr) im Beobach-tungszeitraum
MNQ	Mittel der niedrigsten Durchflusswerte gleichartiger Zeitabschnitte (Monat, Halbjahr, Jahr) der einzelnen Jahre im Beobachtungszeitraum
MQ	Mittelwert täglicher Durchflusswerte der einzelnen Jahre im Beobachtungszeitraum
MHQ	Mittel der höchsten Durchflusswerte gleichartiger Zeitabschnitte (Monat, Halbjahr, Jahr) der einzelnen Jahre im Beobachtungszeitraum
HQ	Höchster Durchfluss gleichartiger Zeitabschnitte (Monat, Halbjahr, Jahr) im Beobach-tungszeitraum
HHQ	Höchster überhaupt bekannter Durchfluss

Zur Methodik

Als Datenbasis der Kartendarstellung wurden alle verfügbaren Durchflusshauptwerte heran-gezogen, die an den rund 1 000 Durchflusssmessstellen bzw. Pegelstationen erhoben werden (Atlatafel 3.1). Die Pegelwerte werden regelmäßig im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch (DGJ) veröffentlicht. Um eine Bänderdarstellung der mittleren jährlichen Durchflüsse generie-ren zu können, müssen die an den Pegeln gültigen statistischen Hauptwerte entlang des Gewäs-sers regionalisiert werden. Der verwendete Regionalisierungsalgorithmus folgt zwei einfachen Regeln: Zunächst wurden die an den Pegeln bestimmten Werte flussauf und flussab gemäß der halben Strecke zum nächsten Pegel auf den Gewässerlauf übertragen. Daraufhin wurden die regionalen Werte nach hydrologischen Gesichtspunkten überarbeitet. In diesem Kontext wur-den insbesondere bei Zusammenflüssen von Gewässern die Durchflusssummen der Bänderdar-stellung zugrunde gelegt. In den Tidegebieten ist eine unbeeinflusste Durchflussbestimmung kaum möglich. Hier wird in der Regel nur der Wasserstand erfasst, so dass in diesen Gebieten keine Stützwerte zur Bändergenerierung einbezogen wurden.

Zur Kartendarstellung

In der Karte sind die mittleren jährlichen Durchflüsse (MQ) ausgewählter Fließgewässer in einer Bänderdarstellung wiedergegeben, wobei die Bandbreiten festgelegte Maßeinheiten für die Was-serführung in den Gewässerabschnitten bilden. Durch diese Darstellung kommen Unterschiede in der Wasserführung anschaulich zum Ausdruck. Die farbliche Füllung der Durchflussbänder beschreibt die regionale Variabilität des Durchflussgeschehens. Die Durchflussvariabilität ist für diese Kartendarstellung berechnet als Quotient aus dem mittleren höchsten und mittleren niedrigsten Durchfluss (MHQ/MNQ). Alle thematisch bedeutsamen Durchflusssmessstellen sind durch Pegelsignaturen dargestellt. Die Durchflusshauptwerte der 15 namentlich ausgewiesenen Pegel sind in Tabelle 2 aufgeführt. Hier erscheint zusätzlich die Verhältniszahl der Extremwerte, die sich aus dem Quotienten der höchsten und niedrigsten jemals beobachteten Durchflüsse (HHQ/NNQ) ergibt. Diese ist numerisch höher – zum Teil mehr als eine Größenordnung – als die in der Atlaskarte dargestellte Verhältniszahl der mittleren höchsten und niedrigsten Durch-flüsse. Entlang der Nordseeküste sind die tidebeeinflussten Gebiete flächenhaft dargestellt. In einigen Fließgewässern – insbesondere in den großen Strömen – wird die Tidegrenze durch Wehre und Sperrwerke künstlich festgelegt und zur Seeseite hin vorverlegt.

Mittlerer Durchfluss

Bei den im humiden Klimagebiet liegenden Flüssen der Bundesrepublik Deutschland nimmt der Durchfluss mit zunehmender Einzugsgebietsgröße und Lauflänge zu. Diese Zunahme kommt in der Bänderdarstellung der Karte gut zum Ausdruck. In hydrologischen Längsschnitten (Abb. 2) wird dieser Sachverhalt noch verdeutlicht. Diese beinhalten – bezogen auf die Flusslänge – die Darstellung des mittleren Durchflusses (MQ), des mittleren Niedrigwasserdurchflusses (MNQ), des mittleren Hochwasserdurchflusses (MHQ) sowie der mittleren Hochwasserabflusspende (MHq). Die Abflusspenden nehmen meist in Fließrichtung ab, korrespondierend mit der Abnahme der Abflussbildung mit zunehmender Einzugsgebietsgröße und auf Grund meteorolo-gischer und gebietspezifischer Eigenschaften. Stellenweise kann der Durchfluss sprunghaft ansteigen, wenn wasserreiche Nebenflüsse in den Vorfluter einmünden. Dies zeigt das Diagramm (Abb. 2) für die Einmündungen von Aare und Mosel in den Rhein. Der mittlere Durchfluss der Donau wird durch die Einmündung des Inn mehr als verdoppelt: der mittlere Durchflusswert der Donau beträgt an der Konfluenzstelle etwa 665 m³/s, der des Inn liegt bei etwa 765 m³/s.

Der hydrologische Längsschnitt des Rheins unterhalb des Bodensees beschreibt beispielhaft das Durchflussgeschehen eines Fließgewässers (Abb. 2). Die angegebenen Werte im Abfluss-Längsschnitt basieren auf der Zeitreihe 1931–1990 und wurden dem Deutschen Gewässer-kundlichen Jahrbuch (DGJ) entnommen. Das Einzugsgebiet des Rheins beträgt bei Konstanz 10 922 km², der mittlere Durchfluss liegt bei etwa 350 m³/s und die mittlere Abflusspende bei über 30 l/s·km². Bis zur Aare-Mündung steigt der mittlere Durchfluss auf 451 m³/s. Der Durch-

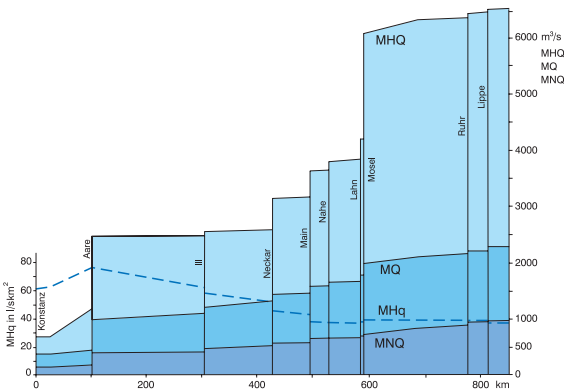


Abb. 2 Abfluss-Längsschnitt des Rheins unterhalb des Bodensees bis zur niederländischen Grenze (Jahresreihe 1931–1990)

fluss (MQ) verdoppelt sich durch den Zufluss der Aare annähernd und erreicht einen Wert von etwa 1000 m³/s. Im südlichen Oberrheingraben zwischen Aare und Neckar sind keine erheblichen Zuwächse des mittleren Durchflusses zu verzeichnen. Auf der ca. 325 km langen Strecke steigt der Durchfluss auf etwa 1220 m³/s an, die mittlere Abflusspende erreicht an der Neckar-mündung den Betrag von 22,5 l/s·km². Zwischen der Neckar- und Mainmündung findet eben-falls nur eine geringfügige Erhöhung des Durchflusses statt. Mit seiner mittleren Wasserführung von etwa 160 m³/s erhöht der Main den mittleren Durchfluss des Rheins auf 1550 m³/s.

Während an der Moselmündung der mittlere Durchfluss in Relation zur Größe des Mosel-einzugsgebietes wächst, erfolgt ein unverhältnismäßig großer Anstieg des mittleren Hoch-wasserdurchflusses: er steigt von etwa 4250 m³/s auf etwa 6000 m³/s. Dieser Wert weist auf das hohe Hochwasser-Gefährdungspotenzial hin, das vom Mosel-einzugsgebiet für den Rhein-unterlauf ausgeht. Die Hochwasseranfälligkeit der Mosel ist wesentlich durch das starke Relief und die geringe Durchlässigkeit der Gesteine im Mittelgebirgsteil ihres Einzugsgebietes begrün-det. Unterhalb der Moselmündung findet nur noch ein geringfügiger Zuwachs des Durchflusses statt. Bei Emmerich nahe der deutsch-niederländischen Grenze hat das Einzugsgebiet des Rheins eine Größe von 159 784 km² und einen mittleren Durchfluss von etwa 2300 m³/s erreicht, was einer mittleren Abflusspende von ca. 14 l/s·km² entspricht.

Tab. 2 Ausgewählte Hauptwerte einiger Pegel und Variabilität des Durchflusses (Werte gerundet)

Einzugsgebiet (Pegelstation)	Fläche (km²)	Reihe (Jahre)	MQ (m³/s)	HHQ (m³/s)	NNQ (m³/s)	Verhältnis HHQ/NNQ	MHQ (m³/s)	MNQ (m³/s)	Verhältnis MHQ/MNQ
Mulde (Golzern)	5442	87	61	1740	1	1243	497	13	38
Mosel (Cochem)	27088	65	315	4170	10	417	2060	60	34
Neckar (Rockenau)	12710	46	135	2690	18	146	1209	36	33
Ruhr (Hattingen)	4118	54	71	1850	2	1189	524	18	29
Main (Kleinheubach)	21505	38	158	1800	11	164	790	48	16
Inn (Eschelbach)	13354	66	368	2900	82	35	1460	127	11
Weser (Intschede)	37720	57	324	3500	59	59	1250	125	10
Unstrut (Laucha)	6218	53	91	363	5	79	105	11	9
Saale (Calbe-Grözehe)	23719	66	115	680	12	59	379	44	10
Elbe (Neu-Darchau)	131950	72	712	3840	128	30	1670	274	7
Havel (Rathenow)	19288	44	92	295	3	98	165	25	7
Rhein (Rheinfelden)	34550	66	1030	4270	267	16	2760	453	6
Rhein (Ries)	159300	65	2280	12200	590	21	6620	1040	6
Donau (Hofkirchen)	47496	96	636	4470	165	27	1670	302	6
Oder (Hohensaaten-Finow)	109564	54	521	3480	111	31	1220	259	5

Durchflussvariabilität

Die großen Ströme in Deutschland zeichnen sich in der Regel durch eine recht ausgeglichene Wasserführung aus. In den Oberläufen der kleineren Nebengewässer treten hingegen höhere Durchflussvariabilitäten auf, was auf der Karte an dem häufigeren Auftreten der blauen und roten Farbsignaturen zu erkennen ist. Besonders hoch sind die Variabilitäten in den Quell-regionen der Mittelgebirge, wie z. B. dem Rheinischen Schiefergebirge, dem Schwarzwald und dem östlichen Teil des Erzgebirges. Das entspricht der generellen Tendenz, dass die Durchfluss-variabilität mit zunehmender Einzugsgebietsgröße abnimmt, denn je größer das Einzugsgebiet, um so stärker der Ausgleich von lokalen Sonderbedingungen. Der genannte Trend ist auch aus den Verhältniszahlen der Extremwerte (HHQ/NNQ) abzulesen (Tab. 2). Die großen Fluss-systeme Rhein, Elbe, Donau und Oder haben niedrige Durchflussvariabilitäten, während die kleinflächigeren Mittelgebirgseinzugsgebiete (z. B. Ruhr, Mulde) sehr hohe Durchflussvari-abilitäten aufweisen.

Die Karte und die Hauptwerte aus Tabelle 2 zeigen weitere regionale Besonderheiten der hydro-logischen Struktur Deutschlands. Obwohl die Pegelstationen Eschelbach (Inn), Kleinheubach (Main), Cochem (Mosel) und Rathenow (Havel) mit Flächen weit über 10 000 km² vergleichbar große Einzugsgebiete haben, unterscheiden sich ihre Durchflussvariabilitäten erheblich. Der Inn zeigt eine recht geringe Variabilität; hier macht sich der Einfluss des Alpenvorlandes mit den mächtigen glazifluvialen Schotterdecken bemerkbar, die den Durchflusgang mittels reicher Grundwasservorräte ausgleichen. Ähnlich reagiert die Havel mit ihrem in glazialen und glazi-fluvialen Lockersedimenten entwickelten Einzugsgebiet. Die Rolle der großen Grundwasser-speicher des Alpenvorlandes spiegelt sich auch im Variabilitätsverhalten der Donau wider. Ihr Oberlauf und die nördlichen Zuflüsse tragen Mittelgebirgscharakter mit relativ hohen Durch-flussvariabilitäten, während die südlichen Zuflüsse aus dem Alpenvorland einen zunehmenden Ausgleich des Durchflussgeschehens bedingen.

Die Mittelgebirgsflüsse (Main, Mosel) weisen wesentlich höhere Durchflussvariabilitäten auf als die grundwasserbestimmten Flachlandflüsse. Die Mittelgebirgseinzugsgebiete werden von unterschiedlich stark verfestigten Gesteinen mit vielfach niedrigen Speicherkapazitäten unter-lagert. Die Mosel zeigt bei den größeren Mittelgebirgseinzugsgebieten eine besonders hohe Durchflussvariabilität, da der Untergrund des Rheinischen Schiefergebirges im wesentlichen aus undurchlässigen, für die Grundneuewasserbildung ungünstigen Schiefen besteht. Ähnliches Verhalten zeigen die meisten Gewässer in den variskischen und kristallinen Gebirgskomple-xen, was im Maßstab kleinerer Einzugsgebiete durch die Beispiele von Ruhr und Mulde ver-deutlicht wird. Gerade in diesen Gebieten mit hoher Durchflussvariabilität musste in den natü-rlichen Wasserhaushalt durch Talsperrenbau eingegriffen werden, um die Hochwassergefahr der Unterlieger zu reduzieren und um die Wasserstände bei Niedrigwasser zu erhöhen (Atlatafel 7.4 „Hochwasserschutz“).



Abb. 1 Ruhr bei Hoch- und Niedrigwasser