

1.2 Gewässernetzdichte

Mit der Karte der Gewässernetzdichte wird ein neuer Weg zur Darstellung einer morphometrischen Größe in der Hydrologie begangen. Sie berücksichtigt, daß das Netz der Oberflächengewässer nicht nur die Fließgewässer (Flüsse, Bäche, Kanäle und Gräben), sondern auch die Stehenden Gewässer (Seen, Stauseen, Teiche, Weiher, zusammenfassend im folgenden „Seen“ genannt) umfaßt. Die hier ausgewiesene Gewässernetzdichte beinhaltet neben der konventionellen *Flußdichte* (ohne Trockentaldichte) zusätzlich einen Wert für die Seen. Die *Flußdichte* ist bestimmt als „Summe der Fließgewässerslängen pro Bezugsfläche“; die „Seedichte“ wird hier als „Summe der Seedurchmesser pro Bezugsfläche“ betrachtet – dies im Unterschied zur üblichen Definition, die die Seedichte als Summe der Seeflächen pro Bezugsfläche beschreibt (s. Atlastafel 3.3 „Übersicht Stehende Gewässer“). Beide Werte sind in der Einheit km/km^2 angegeben. Sie werden zur Gewässernetzdichte aufaddiert, um das regional auftretende Mißverhältnis niedriger *Flußdichte* bei gleichzeitig hoher Seedichte vor allem in einigen reliefarmen Gebieten zu mindern. Diesem Vorgehen liegt die Hypothese zugrunde, daß sich Seen hydrologisch ähnlich auswirken wie Teilschnitte des Flußnetzes. Beide Gewässertypen haben Funktionen der Vorrat und der Retention (Rückhalt), wobei jedoch bei Seen die Retentionswirkung im Vordergrund steht.

Dennoch bleibt auch in Karte 1.2 die *Flußdichte* naturgemäß der wichtigste Bestandteil in der Darstellung der Gewässernetzdichte. Sie stellt als Parameter für die Abflußbildung eine integrierte und gebietstypische Größe dar und prägt den Wasser- und Stoffhaushalt eines Raumes. Als Index zur quantitativen Beschreibung von Fließgewässernetzen beschreibt sie Größen wie den mittleren Abstand zum nächsten Gewässer oder die Verzahnung von Land- und Wasserflächen bzw. im weiteren Sinne auch von Grund- und Oberflächenwasser. Die *Flußdichte* beeinflusst die Abflußbildung und -konzentration und ist mitverantwortlich für die unterschiedlichen Reaktionen von (Teil-) Einzugsgebieten auf Niederschlagsereignisse.

Flußdichte und hydrologische Forschung

Die *Flußdichte* als charakteristische Größe für die Gebietsentwässerung nimmt seit jeher in der geomorphologischen und hydrologischen Forschung eine wichtige Stellung ein. Die Ursachen, die zur Ausbildung verschieden dichter Gewässernetze führen, sind komplex und noch nicht vollständig erforscht. Für die *Flußdichte* können gänzlich andere Faktoren wirksam sein als für die Seedichte.

Die Größe der *Flußdichte* D_f wird unter den humidgemäßigten Klimabedingungen Deutschlands hauptsächlich von den Niederschlags- und den Untergrundbedingungen gesteuert. Weitere Faktoren wie Relief, Grundwasserflurabstand, Vegetationsdichte, Landnutzung, Bodeneigenschaften und menschliche Eingriffe wie Gräben und Kanäle zur Be- und Entwässerung beeinflussen den Wert der *Flußdichte* und mindestens teilweise auch die Seedichte. In welcher Weise die einzelnen Faktoren auf die *Flußdichte* Einfluß nehmen, kann qualitativ der Abbildung 1 entnommen werden. Die Spannweite der Betrachtung reicht vom großräumigen (bis globalen) bis hinunter zum kleinräumigen (regionalen bis lokalen) Einfluß einzelner Faktoren. Darüber steht die Zeit als Haupteinflussfaktor, da die Erdoberfläche und die Gewässer ständige Weiterentwicklung unterworfen sind und die Faktorenkonstellationen in geologischen Zeiträumen wechseln.

Bisher fanden Erhebungen zur *Flußdichte* fast ausschließlich in kleinen (Einzugs-) Gebieten statt (Untersuchungsmaßstäbe 1 : 25 000 und größer). Grundlage vorangehender Untersuchungen war damit auch eine stichprobenartige quantitative Untersuchung der Abnahme der *Flußdichte* über verschiedene Kartenmaßstäbe hinweg – denn je größer der Erhebungsmaßstab, desto höher ist auch die ermittelte *Flußdichte*. Bei sehr kleinräumiger Betrachtung muß die kurzzeitige Dynamik unbedingt berücksichtigt werden. Je nach Definition müssen dann auch nur zu bestimmten Niederschlagsereignissen wasserführende Rinnen oder Trockentäler miteinbezogen werden. Dies ist insbesondere bei Untersuchungen von Hochwassern wichtig, da die Abflußkonzentration von der *Flußdichte* abhängt.

Wege zur Ermittlung der *Flußdichte*

Die Ermittlung der *Flußdichte* setzt die Verfügbarkeit geeigneter (digitaler) Längen- und Flächen-daten voraus, die flächendeckend und in vergleichbarer Güte vorliegen müssen. Als Längendaten werden die Gewässerslängen aus großmaßstäbigen Karten mit möglichst geringen Fehlern und Verlusten durch Generalisierung bevorzugt. Aus digitalen Geländemodellen errechnete Tallängen führen zur *Talldichte*, die oft von der *Flußdichte* abweicht. Die nicht auf Maßstab und Methodik zurückzuführenden Abweichungen zur *Flußdichte* sind ein Indiz für andere paläoklimatologische Bedingungen im Untersuchungsgebiet (Trockentäler).

Die *Flußdichte* ist kein räumliches Kontinuum, sondern ändert sich maßstabsabhängig teilweise sprunghaft mit den Gebieteigenschaften. Als Flächeneinheit könnten folglich definierte Flächen (Polygone), die möglichst homogene Gebiete zusammenfassen, oder Rasterfelder bestimmter Kantentlänge gewählt werden. Prinzipiell sind durch ähnliche Faktoren beeinflusste Flächeneinteilungen wie Böden, Geologie oder nach physikalisch-geographischen Kriterien abgegrenzte naturräumliche Einheiten geeignet. Allerdings ist deren räumliche Auflösung im Hinblick auf die Fragestellung relativ ungleichförmig und nur eingeschränkt geeignet, flächendeckend und räumlich detailliert die Zielgröße *Flußdichte* adäquat zu charakterisieren.

Eine alternative Berechnung auf Rasterfeldbasis, bei der die Dichte als Länge pro Fläche *direkt* den Rasterfeldflächen zugeordnet wird, wurde geprüft und verworfen, da bei zu kleiner Fläche bzw. Kantentlänge der einzelnen Rasterfelder (< 5 km) die resultierende Dichteverteilung zufällig wird und der räumliche Zusammenhang verlorengeht. Durch nachträgliche Glättung bzw. bei einer größeren Rasterfeldauflösung gehen regionale Muster verloren und der Bezug zu den Räumen wird aufgrund der starren Geometrie der quadratischen Rasterfelder fehlerhaft. Ein befriedigender Kompromiß aus hoher räumlicher Auflösung und geeigneter Glättung, der neben den regionalen Unterschieden auch die großräumigen Zusammenhänge zeigt, ist so nicht erreichbar.

Zur Kartendarstellung

Der *Flußdichteberechnung* liegt ein Verfahren (*Linedensity*-Methode, SILVERMAN 1986) zugrunde, das dem jeweils zentralen Rasterfeld über eine frei wählbare kreisförmige Bezugsfläche den Quotienten aus Linienlänge/Fläche zuordnet (Legende Karte 1.2). Es wird eine gewisse Glättung erreicht, die gleichzeitig regionale Charakteristika und relativ deutliche Übergänge zwischen verschiedenen ausgestatteten Gebieten zeigt. Eine Kreisfläche von 75 km^2 , die einem Radius von 4887 m entspricht, hat sich als dem Darstellungsmaßstab und der Thematik am besten angepaßt erwiesen.

Eingangsparameter der Fließgewässerslängen sind die Linienstrecken der automatisch vektorisierten und interaktiv nachbearbeiteten Rasterdaten aus den gesamten Gewässernetzfilmen der Topographischen Übersichtskarte 1 : 200 000 (DLM 200/V). Dabei ist das automatisch vektorisierte, lückenhafte Gewässernetz bei deutlich verringertem Bearbeitungsaufwand gleichförmig um ca. 4 % kürzer als es das interaktiv über Linienverfolgung vektorisierte Pendant wäre. Die Gewässersbreite und Doppellinien breiter Fließgewässer bleiben unberücksichtigt. Kanäle werden wie natürliche Fließgewässer behandelt, da eine Unterscheidung hydrologisch im Einzelfall nicht begründbar und aufgrund der Datenlage auch nicht möglich ist.

Die Durchmesser der Seen d_s sind dem DLM 1000 (Digitales Landschaftsmodell 1000 im Maßstab 1 : 1 000 000, vektorisiert und attribuiert mit der topographischen Information der UK 500) entnommen, in dem über 8500 Seen mit Flächen von teilweise unter $0,1 \text{ km}^2$ enthalten sind. Entsprechend dem Zusammenhang zwischen Radius bzw. Durchmesser und Umfang eines Kreises ($U = 2\pi r$) geht die durch π dividierte Seeuferlänge, welche bei kreisförmigen Seen dem Seedurchmesser entspräche, als Linienlänge in die Berechnung ein ($d_s = U/\pi$). Die gleichermaßen ermittelte Dichte wird zur *Flußdichte* addiert. Wenn es auch kein „*Flußdichteäquivalent*“ für die Seen gibt, wird damit doch eine den mäandrierenden Flüssen entsprechenden Berücksichtigung der Seen erreicht.

Die Flächenfarben in Karte 1.2 geben die Gewässernetzdichteklassen an. Die Gewässernetzdichte ist vom *Flußdichteanteil* dominiert. Der Mittelwert der *Flußdichte* liegt bei $0,77 \text{ km}/\text{km}^2$ für die Gesamtfläche Deutschlands. Durch den Anteil der Seen wird er im Mittel um nur $0,015$ erhöht. Seen tragen folglich nur regional merklich zur Gewässernetzdichte bei.

In Gebieten ähnlicher Niederschlagsbedingungen können über die *Flußdichte* Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit des Untergrundes und damit auf die Abflußverhältnisse gezogen werden. Die geringe *Flußdichte* in einem Gebiet kann Hinweis auf eine relativ hohe Tiefenversickerung und einen damit verbundenen geringen Oberflächenabfluß sein (z. B. Karstuntergrund). Deshalb eignet sich die *Flußdichte* gut für die Abgrenzung von Gewässerlandschaften.

Im Kartenbild sind die Gebiete hoher *Flußdichte* in Bereichen hoher Niederschläge, wenig durchlässigen Untergrundes sowie in Bereichen geringer Reliefenergie und hohen Grundwasserstandes entlang der großen Flüsse deutlich zu erkennen. Die sehr hohen *Flußdichten* bis über $2 \text{ km}/\text{km}^2$ – vor allem im Küstenbereich und in den Mündungsgebieten von Elbe, Weser und Ems – sind auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Ein sehr dichtes Netz von Entwässerungskäufen, das für den Maßstab 1 : 200 000 nicht wesentlich ausgelichtet wurde, ist dafür verantwortlich. Ähnliche Strukturen, aber von eher regionaler Bedeutung, finden sich außerdem vereinzelt stromaufwärts in den Urstromtälern der genannten Flüsse. Höhere *Flußdichten* ($> 1,3 \text{ km}/\text{km}^2$) werden insbesondere in den flußbegleitenden Auenbereichen der großen Ströme beobachtet, aber auch im Bereich der Alpennordabdachung. Hohe Werte ($> 1 \text{ km}/\text{km}^2$) weisen auch Mittelgebirge wie Harz oder Schwarzwald auf. Während in den höheren Lagen die hohen Niederschläge und teilweise undurchlässige Gesteine maßgebend sind, sind im Bereich der Ströme eher geringe Grundwasserflurabstände und ausdauernder Grundwasserabfluß aus den Porengrundwasserleitern bestimmend.

In Kalkstein- und Sandgebieten sind die *Flußdichten* mit Werten bis gegen $0 \text{ km}/\text{km}^2$ sehr gering. Bei verkarstem Untergrund wird ein Großteil der gefallenen Niederschläge unterirdisch abgeführt (z. B. Schwäbische und Fränkische Alb). In leicht durchlässigem Untergrund mit ausreichendem Grundwasserflurabstand erfolgt die Entwässerung gleichfalls vorwiegend unterirdisch, was die geringen Werte unter $0,4 \text{ km}/\text{km}^2$ beispielsweise in der Kölner Bucht und auf den Sanderflächen Nordostdeutschlands erklärt. Geringe vieljährige Niederschlagshöhen in einem Großteil der neuen Bundesländer begünstigen niedrige *Flußdichtewerte*. In einigen Bereichen wie dem östlichen und nördlichen Harzvorland (Leegebiete) ist dies wohl der dominierende Faktor.

Insbesondere in den Bereichen ehemaliger Vergletscherungen spielen die zahlreichen Seen für die Gewässernetzdichte eine Rolle. Seen entstanden durch Glazialerosion und die Bildung von Muldenformen im Bereich von Moränen. Der mit feinkörnigem Material verdichtete Untergrund begünstigt den Wasserrückhalt. Dies gilt insbesondere für die Seenlandschaften Mecklenburg-Vorpommerns und Brandenburgs, wo bei unterdurchschnittlicher *Flußdichte* um $0,4 \text{ km}/\text{km}^2$ die „Seedichte“ teilweise ähnlich hohe Werte annehmen kann. Im süddeutschen Alpenvorland werden überdurchschnittliche *Flußdichten* gleichzeitig mit relativ hohen Seedichten vorgefunden. Räumlich begrenzte hohe Seedichten, z. B. im Mittelfränkischen Becken oder dem Oberlausitzer Teichgebiet, sind auf in früheren Zeiten angelegte Teiche zurückzuführen. Für ein detailliertes Bild der Verteilung Stehender Gewässer in Deutschland wird auf Tafel 3.3 „Übersicht Stehende Gewässer“ verwiesen.

Praktische Hinweise

Untersuchungen über unterschiedliche Längen- und Flächeneingangsdaten sowie stichprobenartige Vorstudien über die Maßstabsabhängigkeit der *Flußdichte* unter Nutzung amtlicher topographischer Kartenserien stützen die ausgewiesenen Ergebnisse. Die Kartenaussage deckt sich etwa mit den Testergebnissen der *Flußdichteberechnung* auf Grundlage „Naturräumlicher Einheiten“ (LANIS, Bundesamt für Naturschutz) mit einer durchschnittlichen Flächengröße von ca. 700 km^2 . Sie ist jedoch wesentlich detaillierter. Dies bestätigt, daß die Faktoren, die zur Abgrenzung verschiedener Naturräume genutzt werden (im wesentlichen Geologie, Relief, Niederschlagshöhe), weitgehend mit den relevanten Einflußgrößen der Gewässernetzentwicklung identisch sind. Allerdings haben die Naturräume den Nachteil – teilweise durch ihre Größe bedingt – insbesondere hinsichtlich der *Flußdichte* auch heterogene Räume zusammenzufassen.

Unter Berücksichtigung des Übersichtscharakters sind für Karte 1.2 folgende Vorzüge zu bemerken:

- Die Nutzung amtlicher topographischer Daten als Längeneinheit hat den Vorteil der Eindeutigkeit und des Maßstabsbezuges. Demgegenüber ist die Nutzung von Tallängen aus Digitalen Geländemodellen einerseits stark maßstabs- und methodenabhängig, andererseits können die ausgewiesenen *Talldichten* erheblich von der vorliegenden *Flußdichte* abweichen.
- Obwohl stehende und fließende Gewässer sich auf Basis vorhandener Untersuchungen nicht als Summenparameter „*Flußdichteäquivalent*“ zusammenführen lassen, können in der Gewässernetzdichte beide Oberflächengewässertypen angemessen berücksichtigt werden.
- Es bestehen enge Korrelationen ($r > 0,93$) zwischen den Dichtedaten, ermittelt aus dem vektorisierten DLM 200/V, und analog bearbeiteten größeren Maßstäben (Topographische Karten 1 : 25 000, 1 : 50 000 und 1 : 100 000, Flächenbezug Naturräumliche Einheiten). Dagegen fällt das DLM 1000 ($r \approx 0,7$) vor allem in Bereichen mit feinverzweigtem Gewässernetz und kurzen Tallängen mit hohen Verlusten an Fließgewässerslänge stark ab.

Beim Übergang von kleinen zu großen Kartenmaßstäben läßt sich die Änderung der *Flußdichte* nicht mit konstanten Umrechnungsfaktoren erfassen, da die Dichteverluste zwischen verschieden ausgestatteten Gebieten differieren. Die direkte Ableitung der *Flußdichte* aus der Karte ist daher für kleinräumige Modellierungen z. B. auf Einzugsgebietsebene oder in der Größenordnung der Bezugsflächen nicht zu empfehlen. Für regionale bis großräumige Untersuchungen ist diese flächendeckende Aussage als Planungs- und Modellgröße für die Wasserwirtschaft und hydrologische Forschung jedoch eine geeignete Grundlage.