

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 143-158, 5 Abb., 4 Tab.
Halle (Saale), Mai 2011

Methode und Ergebnis einer Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in hydrologische Regionen

Tim G. Hoffmann, Dietmar Mehl & Christiana Mühlner*

Hoffmann, T. G., Mehl, D. & Mühlner, Chr. (2011): Methode und Ergebnis einer Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in hydrologische Regionen. [Method and result of a classification of the State of Saxony-Anhalt in hydrological regions.] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 143-158, Halle (Saale).

Kurzfassung: In Fortsetzung vorangegangener, naturräumlicher Gliederungen des Landes-Sachsen-Anhalts wird mit dem objektiven Verfahren einer multivariaten Clusteranalyse eine Unterteilung des Bundeslandes in hydrologische Regionen vorgenommen. Basis der Unterteilung sind die Oberflächenwasserkörper entsprechend EU-Wasserrahmenrichtlinie und modellierte Komponenten des Wasserhaushaltes. Neben einer kurzen Erläuterung des Prinzips der Clusteranalyse wird die Vorgehensweise und Parameterwahl zur Erzeugung der Gliederung dargestellt. Einer anschließenden Betrachtung der Güte des Verfahrens folgt eine Auswertung nach Abflussregimen, die aus gemessenen Abflusszeitreihen der Pegel in den Regionen berechnet wurden. Nicht zuletzt werden die signifikanten Haupteigenschaften des Wasserhaushaltes für die hydrologischen Regionen übersichtlich beschrieben und verglichen.

Abstract: In continuation of former geographical classifications of the natural landscapes of Saxony-Anhalt a multivariate cluster analysis was performed as an objective method for the classification of the federal state into hydrological regions. The surface water bodies specified in the European Water Framework Directive and their modeled components of water balance were the basis of this division. The approach and parameter choice for the hydrological classification and a short explanation of the principles of the cluster analysis are given. Furthermore, the quality of the procedure was validated and runoff regimes were calculated from measured runoff time series of the gauging stations in the regions. Finally, significant main properties of the water balance are described clearly and compared to the hydrological regions.

Schlüsselwörter: Hydrologie, Abflussdynamik, Abflussregime, hydrologische Regionen, Clusteranalyse, Sachsen-Anhalt

Keywords: hydrology, runoff dynamics, flow regime, hydrologic regions, cluster analysis, Saxony-Anhalt

* Anschriften der Autoren:

Dr. rer. nat. Tim G. Hoffmann (postmaster@institut-biota.de), biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, Nebelring 15, D-18246 Bützow;

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl (postmaster@institut-biota.de), biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, Nebelring 15, D-18246 Bützow;

Dipl.-Geogr. Christiana Mühlner (Poststelle@lhw.mlu.sachsen-anhalt.de), Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Willi-Brundert-Straße 14, D-06132 Halle (Saale).

1. Einleitung

Naturraum- bzw. Landschaftsgliederungen sind dem allgemeinen Zweck bestimmt, geographische Muster oder Strukturen von Landschaften ordnend und Areal abgrenzend zu systematisieren. Eine einzelne Landschaft bildet dabei ein einmaliges geographisches Individuum, das durch sein Inventar, durch den Kontrast, die Funktion und die Anordnung des Inventars, durch eine charakteristische Struktur und ein gleiches Wirkungsgefüge geprägt ist (Stüdemann 2008). Landschaften stellen eine chorische Verflechtung der topischen Grundbausteine dar; ihre Größe ist eine Frage des Betrachtungsmaßstabes und der charakteristischen Raum-Zeit-Struktur (Neef 1967), womit auch die Frage nach der Grenze einer Landschaft und damit des Überganges zu einer benachbarten Landschaft bestimmt ist.

Geographisch bzw. landschaftsökologisch orientierte Landschaftsgliederungen streben an, die landschaftliche Komplexität sachgerecht zu erfassen. Für Deutschland war es zunächst das „Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands“ (Meynen et al. 1962), das für einen solchen Anspruch steht. In den letzten Jahrzehnten sind in vielen Regionen und insbesondere auf der Ebene von Bundesländern neuere und räumlich detailliertere Gliederungen hinzugekommen. Grundsätzlich steht bei der großmaßstäblichen, landschaftsökologischen Erkundung die Analyse der Oberflächengestaltung im Vordergrund (Haase 1967). Das Relief wird dabei zum Ausgangspunkt einer physiognomisch orientierten, räumlichen Gliederung, so dass sich vor allem eine Betrachtung in morphogenetischer Hinsicht anbietet (Marcinek 1975).

Für praktische Fragen interessiert indes häufig nicht die landschaftliche Komplexität; vielmehr stehen angewandte Fragen im Vordergrund, die mit gesellschaftlichen Bedürfnissen oder Entwicklungen zusammenhängen (Mannsfeld 1984) und die stärker einzeldisziplinärer Natur sind. Solche und aktuelle Fragestellungen bilden beispielsweise Aufgaben des Gewässerschutzes, zumal vor dem gesetzlichen Hintergrund der im Jahr 2000 in Kraft getretenen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die erhöhte Anforderungen an wasserwirtschaftliches Planen und Handeln stellt.

Das Ziel der WRRL ist entsprechend Artikel 1 die Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers zwecks

- Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt,
- Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen,
- Anstrebens eines stärkeren Schutzes und einer Verbesserung der aquatischen Umwelt, unter anderem durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritären Stoffen und durch die Beendigung oder schrittweise Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritär gefährlichen Stoffen;
- Sicherstellung einer schrittweisen Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung seiner weiteren Verschmutzung und
- Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren.

Im Rahmen der „Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt“ wurde im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt (Mehl et al. 2010, Hoffmann et al. 2010) eine Landesgliederung nach hydrologischen Regionen bzw. Abflussregionen als Teilergebnis erarbeitet, die nachfolgend vorgestellt werden soll. Dabei besteht das engere Ziel des genannten Vorhabens darin, methodische Grundlagen für eine Bewertung hydrologischer Merkmale als Teil der sogenannten „hydromorphologischen Qualitätskomponenten“ zur Einstufung des ökologischen Zustands der Oberflächengewässer nach Anhang V WRRL zu legen. Die WRRL schreibt in Anhang II verbindlich vor, dass Oberflächenwasser- sowie Grundwasserkörper nach einheitlichen Bezügen abgeleitet werden müssen. Berichtspflichtig bei der Umsetzung der WRRL hinsichtlich der Oberflächengewässer sind die Fließgewässer mit einem Eigeneinzugsgebiet von $\geq 10 \text{ km}^2$ und die Standgewässer mit einer Flächengröße von $\geq 0,5 \text{ km}^2$ (50 ha).

Im engeren Sinne entzieht sich der Begriff der hydrologischen Region einer konkreten Betrachtung (Dyck et al. 1980), da grundsätzlich verschiedenste Merkmale genutzt werden könnten, um zu differenzieren und zu typisieren. Als ein spezifisches Beispiel sei hier auf die Arbeit von Merz et al. (2006) zur raum-zeitlichen Variabilität von Ereignisabflussbeiwerten in Österreich mit dem Hintergrund einer räumlichen Gliederung dieses Hochwasserfaktors in jahreszeitlicher Abhängigkeit verwiesen. Dem landschaftsökologischen Gesamtansatz am nächsten kommen hingegen hydrologische Regionalgliederungen, bei denen das Abflussregime zugrundegelegt ist (z. B. Grimm 1968, Gamma 1992, HAD 2000, 2001, 2003). Eine solcherart bestimmte hydrologische Region ist durch ein typisches Abflussregime nach Größe und zeitlicher Schwankung des Abflusses gekennzeichnet. Innerhalb einer jeweiligen hydrologischen Region wird damit eine Ähnlichkeit wesentlicher (landschaftsbestimmter) hydrologischer Prozesse unterstellt. Die unterschiedlichen Abflussregime werden durch die Regimefaktoren bestimmt, wozu die Gebietseigenschaften sowie die hydrometeorologischen Faktoren zählen.

Bei der Ableitung hydrologischer Gebiets- bzw. Regionalgliederungen ist grundsätzlich zwischen genetischen und empirischen Methoden zu unterscheiden. Die genetische Methode zielt auf die Bestimmung der für die hydrologischen Prozesse maßgebenden Gebietseigenschaften. Sie baut auf der „regionalen Verteilung der Einflussfaktoren“ (Dyck et al. 1980) auf. Im Gegensatz dazu gliedern empirische Methoden Regionen nach ermittelten hydrologischen Kenngrößen wie z. B. Abflussdaten der Pegel. Bei derartigen Verfahren muss aus der „Gebietsreaktion“ auf die hydrologischen Prozesse und ihre Kennzeichen geschlossen werden. Unter Nutzung von Vergleichsdaten und Erfahrungswerten können mittelbar auch wesentliche Gebietseigenschaften erkannt oder zumindest grundlegend unterschieden werden (Mehl 2004).

Als Abflussregime wird gemäß DIN 4049 Teil 1 der charakteristische und von den Eigenschaften des zugehörigen Einzugsgebietes abhängige Gang des Abflusses eines Gewässers bezeichnet. Dabei umfassen die Regimefaktoren alle diejenigen Eigenschaften, die für die Transformation des Niederschlages in den Gebietsabfluss und den resultierenden Gewässerdurchfluss verantwortlich zeichnen. Beim Niederschlags-Abfluss-Prozess lassen sich drei Hauptphasen unterscheiden (Dyck & Peschke 1983):

- (1) Die Abflussbildung in den Einzugsgebieten (Landphase)
- (2) Die Abflusskonzentration im Gewässernetz der Abflussbildungsgebiete (Flussbettphase)
- (3) Der Durchflussverlauf in den Wasserläufen (Wellenabflachungsphase)

Der (überschüssige) landschaftliche Abfluss sammelt sich unter normalen Bedingungen in den Oberflächengewässern eines Einzugsgebietes. Die Fließgewässer als linienhafte Landschaftselemente führen das Wasser ab, wobei die hohe landschaftsökologische Bedeutung des Abflussprozesses und des daran gekoppelten Stofftransportes in seiner grundsätzlich gerichteten, aber stets Raumeinheiten verbindenden Wirkung liegt (Mehl 2006). Ein Wasserüberschuss ist immer dann gegeben, wenn der Niederschlag summarisch die Verdunstung und die Speicherung übertrifft. Für die Einzugsgebiete der Fließgewässer gilt bei Zeitabschnitten von wenigen Jahren oder Einzeljahren die Bilanzgleichung:

$$R = P - ET - \Delta S \text{ in mm/a}$$

mit P – Niederschlag, ET – Evapotranspiration, R – Abfluss, ΔS – Speicheränderung

Abflussregime basieren letztlich auf der Parametrisierung deterministischer und stochastischer Ausgangssignale des Geosystems „Einzugsgebiet“ und enthalten damit „zugleich Informationen über vom Prozess durchlaufene Teilsysteme bzw. Raum- oder Flächeneinheiten“ (Aurada 1984). Aus dem Vorstehenden folgt, dass hydrologische Gliederungen auf Grund ihrer systemhaften, einzugsgebietsbezogenen Grundlegung relativ scharfe Raumabgrenzungen ermöglichen und im Regelfall sogar erfordern.

2. Bestehende Raumgliederungen in Sachsen-Anhalt

Bisher publizierte Gliederungen Sachsen-Anhalts sind entsprechend des fachlichen Hintergrunds mehr oder minder komplexer Natur. Aufbauend auf „klassische“ Parameter wie Klima, Niederschlag, Geologie, Boden aber auch Geomorphologie entstanden so differenzierte naturräumliche Betrachtungen, die ihre Resonanz in thematischen Karten fanden. Schröder (1997) systematisiert das bis dato vorliegende Material verschiedenster Autoren und gibt einen umfassenden Überblick

über die natürliche Umwelt Sachsen-Anhalts mit folgenden Schwerpunkten:

- Geologie Sachsen-Anhalt (Akademie der Wissenschaften der DDR 1981)
- Variszikum in Sachsen-Anhalt (Schröder 1994; nach Möbus 1968)
- Eisrandlagen auf dem Territorium von Sachsen-Anhalt (Schröder 1994; nach Schulz 1962, Ruske & Wünsche 1964, Ruske 1964, Marcinek & Nitz 1973, Weisse 1974)
- Verbreitung der Lößderivate in Sachsen-Anhalt (Haase et al. 1970)
- Durchschnittliche jährliche Niederschlagssummen in Sachsen-Anhalt (Schröder 1994; nach Schlüter & August 1958, Veit 1987 und Meteorologischen Dienst der DDR)
- Beginn der Apfelblüte in Sachsen-Anhalt (Vollfrühlungseinzug) (Schlüter & August 1958)
- Beginn der Winterroggenernte in Sachsen-Anhalt (Hochsommereinzug) (Schlüter & August 1958)
- Mittlere Abflusshöhen in Sachsen-Anhalt für die Jahresreihe 1901-1950 (Institut für Wasserwirtschaft Berlin (1973), Atlas DDR 1981)
- Böden Sachsen-Anhalts (Akademie der Wissenschaften der DDR 1981)
- Naturräumliche Einheiten Sachsen-Anhalts (Schröder 1994)

Im Sinne einer chorischen Betrachtung (vgl. Neef 1967, Richter 1967, Haase 1973) grenzt Schröder (1997) naturräumliche Haupteinheiten wie beispielsweise den Harz, die Altmark oder den Drömling ab und untergliedert einige noch weitergehender.

Weitere Landschaftsgliederungen entstanden nach 1990 in den verschiedenen Fachbehörden Sachsen-Anhalts. Hierzu zählen unter anderem die Erläuterungen und eine Karte der potenziell natürlichen Vegetation (LAU 2000). Darin enthalten sind detaillierte Informationen und stellenweise Darstellungen zur Geologie, den Bodenschaften, Höhengliederung und Klima sowie zur Landschaftsgliederung Sachsen-Anhalts. Das Land Sachsen-Anhalt gliedert sich darin in fünf geographische Großlandschaften, welche von 46 regionalen Landschaftseinheiten untersetzt werden. Die Abgrenzungen erfolgten nach Ähnlichkeiten des Naturraums und der Flächennutzung. Ferner wurden Bergbaulandschaften und Stadt-

landschaften als separate Einheiten ausgegrenzt (LAU 2000).

Auch in den Tätigkeitsberichten des Landesamtes für Bergwesen und Geologie (ehemals Geologisches Landesamt) sind geologische, pedologische und regionalgeologische Gliederungen Sachsen-Anhalts enthalten (GLA 1993).

Ziel dieser Arbeit ist eine Fortschreibung der Tradition der geographischen Landesgliederungen für Sachsen-Anhalt. Neu ist dabei der Gegenstand der Betrachtungen und die Wahl der Methodik zur Bestimmung einer solchen Gliederung.

3. Methode und Datenbasis

Da die Gliederung des Landes Sachsen-Anhalts in hydrologische Regionen anhand einer objektiven und nachvollziehbaren Methode umgesetzt werden soll, wird eine agglomerative, hierarchische Clusteranalyse mit anschließender Korrektur durch eine Clusterzentrenanalyse durchgeführt.

3.1 Prinzip einer Clusteranalyse

In der Clusteranalyse wird in einem iterativen Verfahren eine Gruppierung von Objekten mit ähnlichen Eigenschaftsausprägungen vorgenommen. Da die Anzahl der in Betracht gezogenen Eigenschaften theoretisch unbegrenzt ist, spricht man auch von einer multivariaten, statistischen Analyseverfahren. Man betrachtet die Objekte als Vektoren in einem n -dimensionalen Vektorraum. Die Anzahl der zur Analyse herangezogenen Eigenschaften bestimmt die Dimension dieses Vektorraumes, die einzelnen Eigenschaftsausprägungen jedes Objektes können als Koordinaten des entsprechenden Vektors aufgefasst werden. Versinnbildlicht man sich die Menge der Vektoren als Punktwolke in einem n -dimensionalen Koordinatensystem (Abb. 1), so kann die Clusterbildung als Zusammenfassung nahe beieinanderliegender Punkte oder als Herausarbeitung von Ballungen betrachtet werden. Entscheidend für das Endergebnis der Clusteranalyse ist neben der Vorgabe der Untersuchungsobjekte und Objekteigenschaften, die Wahl des Abstands- oder Ähnlichkeitsmaßes und des Agglomerationsverfahrens (Hoffmann & Rödel 2005). Weiterhin verlangt die Festlegung der Clusteranzahl und -benennungen ein hohes Maß an Expertenwissen.

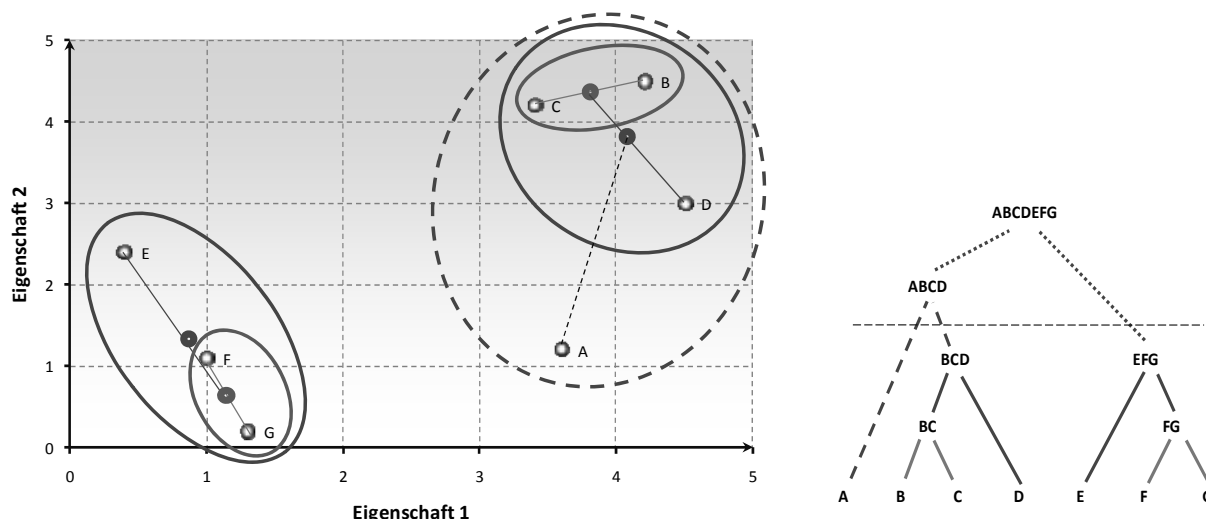


Abb. 1: Funktionsschema einer agglomerativen, hierarchischen Clusteranalyse mit 7 Objekten und 2 Objekteigenschaften.

Fig. 1: Functional diagram of a agglomerative, hierarchical cluster analysis with 7 objects and 2 object properties.

3.2 Untersuchungsobjekte

Vor der Herausarbeitung der Gliederung muss eine Parzellierung des Landes in atomare Raumeinheiten nahezu konstanter hydrologischer Eigenschaften gefunden werden. Diese Parzellierung sollte zumindest in Bezug auf das hydrologische Verhalten einer Landschaftsdiagnose in topischer Dimensionsstufe entsprechen. Die einzelnen hydrologischen Tope stellen die zu gruppierenden Objekte des Landschaftsraumes im Rahmen der agglomerativen Clusteranalyse dar.

Per Definition eignen sich hierfür am besten die eingangs erwähnten, in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Artikel 2 Punkt 10 beschriebenen Oberflächenwasserkörper (OWK). Ein Oberflächenwasserkörper wird hier als „ein einheitlicher und bedeutender Abschnitt eines Oberflächengewässers“ (WRRL 2000) definiert. Bezug nehmend auf die vorauszusetzende Einheitlichkeit eines OWK, wurden in dieser Arbeit die vom Landesbetrieb für Hoch-

wasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) ausgewiesenen 348 Oberflächenwasserkörper, für die das Land Sachsen-Anhalt verantwortlich ist, untersucht. Da sich die landseitigen Abgrenzungen der OWK an den jeweiligen oberirdischen Wasserscheiden orientieren, weichen die Grenzen des Untersuchungsgebietes von denen des Landes Sachsen-Anhalt geringfügig ab.

Das hydrologische Geschehen einer Raumeinheit ist vom gesamten oberliegenden Einzugsgebiet abhängig. Um dem Rechnung zu tragen, erfolgte der Aufbau einer OWK-Hierarchie mit der Festlegung der ober- und unterliegenden Nachbarn und eine Ausweisung des Gesamteinzugsgebietes (Abb. 2). Oberflächenwasserkörper, deren oberliegendes Einzugsgebiet zum großen Teil außerhalb Sachsen-Anhalts liegt, wurden von der Clusteranalyse ausgeschlossen und bilden eine eigene Gruppe. Zu dieser Gruppe zählen insgesamt 15 OWK (Elbe, Saale, Mulde, Unstrut, Schwarze und Weiße Elster und Helme).

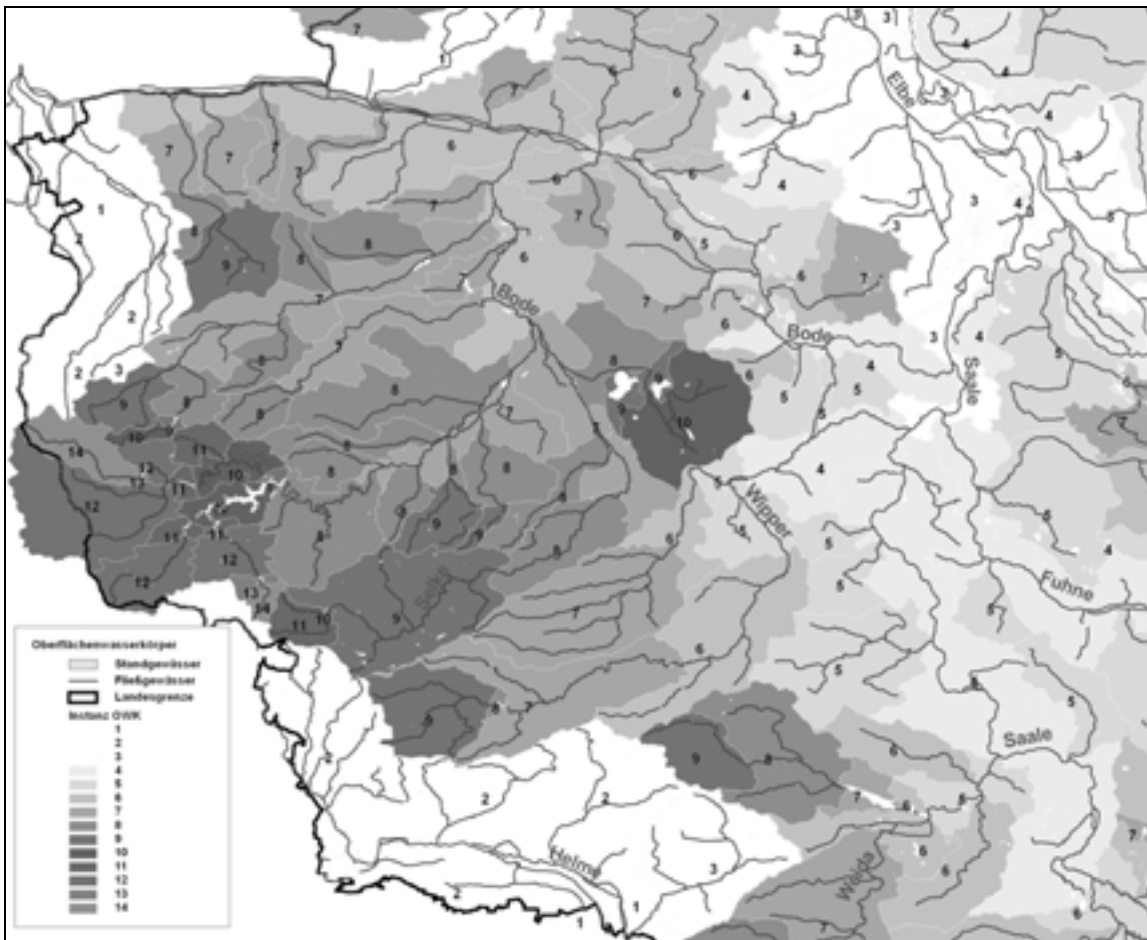


Abb. 2: Abgrenzung und Hierarchie der Oberflächenwasserkörper im Harz und Harzvorland mit Hierarchiestufe ausgehend von der Landesgrenze (Ziffer im Einzugsgebiet).

Fig. 2: Definition and hierarchy of the surface water bodies in the Harz Mountains and Harz foothills with hierarchical level, starting from the State border (number in the catchment area).

3.3 Gebietseigenschaften

Die für die Clusterbildung verwendeten Gebietseigenschaften müssen in unabhängiger, vollständiger, homogener und für das Gebiet repräsentativer Form für alle OWK vorliegen, denn nur dann kann der Anspruch der sachgerechten Erfassung der landschaftlichen raumzeitlichen Komplexität erfüllt werden. Der LHW betreibt ca. 130 Pegel mit Abflussmessung im Untersuchungsgebiet; aus folgenden Gründen kann aber nicht direkt auf die dort gewonnenen Informationen zurückgegriffen werden:

- Der an Pegeln gemessene Abfluss spiegelt die hydrologische Situation als eine räumliche Integration über alle Oberflächenwasserkörper im Eigeneinzugsgebiet des Pegels wider. Eine Regionalisierung als Differenzierung der Abflüsse einzelner OWK ist ohne Modellansatz nicht möglich (räumliche Inhomogenität).

- Der Zahl von 348 OWK stehen nur circa 130 räumlich ungleichmäßig verteilte Abflusspegel gegenüber (unvollständige Repräsentanz).
- Die Abflussmessreihen sind nur für unterschiedliche Zeiträume mit Unterbrechungen verfügbar (zeitliche Inhomogenität).
- Das gemessene Abflussverhalten erfasst die zum Gesamtwasserhaushalt beitragenden Komponenten wie Niederschlag, Evapotranspiration, Oberflächenabfluss, Interflow oder Grundwasserabfluss nur als Bilanz an einem bestimmten Punkt im Gewässersystem. Die Anteile der einzelnen Komponenten lassen sich anhand der Messung nicht differenziert betrachten (sachliche Abhängigkeiten).

Als hinreichende Alternative für eine Verwendung der unzureichend vorliegenden, gemessenen

Parameter des Wasserhaushaltes bietet sich der Rückgriff auf modellierte Parameter an. Sachsen-Anhalt verfügt über eine Modellierung des Gebietswasserhaushalts für alle Oberflächenwasserkörper mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell ArcEGMO (Pfützner 2009) auf Basis meteorologischer Eingangsgrößen und räumlich differenzierter Gebietseigenschaften. Für die Beschreibung der Gebietseigenschaften wurden Flächen-

daten wie Böden, Landnutzung, Oberflächenmorphologie, Grundwasserflurabstände, Abgrenzungen von Teileinzugsgebieten und Liniendaten wie Gewässerabschnitte und Punktdaten wie Klima- und Niederschlagsstationen und Wassernutzung in dem Modell integriert. Anschließend erfolgte eine Kalibrierung anhand gemessener Pegelabflüsse (Pfützner et al. 2008).

Kategorie	Parameter	Abkürzung
Geometrische Parameter	Einzugsgebietsfläche geographischer Rechtswert geographischer Hochwert	EG Fläche Rechtswert Hochwert
klimatische Parameter (kumulierte Menge im Gesamt-EG)	Niederschlag (Feb / Aug) potentielle Evapotranspiration (Feb / Aug)	Nied Feb/Aug PET Feb/Aug
Wasserhaushalts- und Abflusskomponenten (kumuliert Menge im Gesamt-EG)	reale Evapotranspiration (Feb / Aug) Oberflächenabfluss (Feb / Aug) anthropogen induzierter Oberflächenabfluss (Feb / Aug) Drainabfluss (Feb / Aug) Interflow (Feb / Aug) schneller Grundwasserabfluss (Feb / Aug) langsamer Grundwasserabfluss (Feb / Aug)	AET Feb/Aug RO Feb/Aug ROa Feb/Aug RDrain Feb/Aug RH Feb/Aug RG1 Feb/Aug RG2 Feb/Aug

Tab. 1: In der Clusteranalyse verwendete Parameter der OWK.

Für die Clusteranalyse werden neun modellierte Parameter, gemittelt über den Zeitraum 1997-2003 verwendet. Um räumlich unterschiedliche, jahreszeitliche Effekte des Abflussgeschehens abzubilden, werden keine Jahresmittelwerte, sondern die für diesen Raum signifikant unterschiedlichen Monatsmittelwerte vom Februar (als Monat hoher Winterabflüsse) und August (als Monat niedriger Sommerabflüsse) hinzugezogen. Die Flächengrößen der gesamten oberliegenden Einzugsgebiete und die Geokoordinaten der Flächenschwerpunkte der OWK ergänzen die Parameter des N-A-Modells (siehe Tab. 1). Es ist sonst davon auszugehen, dass das mit zunehmender Flächengröße wachsende ausgleichende Moment im Wasserhaushalt und die für eine Gruppierung notwendige räumlich zusammenhängende Lage der OWK durch die restlichen Größen nicht in ausreichendem Maße Beachtung finden würde.

Alle flächenbezogenen Werte werden für das gesamte oberliegende Einzugsgebiet einschließlich des Eigeneinzugsgebietes eines OWK kumuliert. Um Skaleneffekte durch unterschiedliche Einheiten und Dimensionen der Eingangsgrößen

zu vermeiden, werden alle Parameter z-standardisiert.

3.4 Abstandsmaß, Agglomerationsverfahren und Clusteranzahl

Als Abstandsmaß für die Festlegung des Übereinstimmungsgrades der OWK fiel die Wahl standardgemäß auf die Euklidische Distanz. Dieses Maß entspricht der Länge der kürzesten Verbindung zweier Punkte im Koordinatensystem. Um eine hohe Homogenität der Objekte innerhalb der Cluster und eine große Variabilität zwischen den Clustern zu erreichen, eignet sich für die Wahl des Agglomerationsverfahrens am besten die WARD-Methode (Ward 1963). Bei ihrer Anwendung wird immer das Objekt als nächstes zu einem Cluster hinzugefügt, dass die geringste Zunahme der durch die Fehlerquadratsumme ausgedrückten, inneren Varianz aller Cluster aufweist. Aufgrund der Veränderung der Gesamtvarianz innerhalb aller Cluster und einer Plausibilitätsprüfung der räumlichen Verteilung der gebildeten hydrologischen Regionen wird die

Abbruchbedingung des hierarchischen Clusterverfahrens auf 15 Cluster festgelegt.

3.5 Ergebnisoptimierung mit Clusterzentrenanalyse

Als Zentrum eines Clusters kann das theoretische Objekt mit dem Durchschnitt der Eigenschaftsausprägungen aller Objekte eines Clusters bezeichnet werden. Ein Zentrum repräsentiert damit den mittleren Zustand seines Clusters. Trotz der Festlegung der WARD-Methode als Agglomerationsverfahren ist es möglich, dass einem Cluster zugeordnete Objekte nach Abschluss des Verfahrens weiter vom Zentrum des eigenen Clusters entfernt sind, als vom Zentrum anderer Cluster. Um dies auszugleichen, wird eine Clusterzentrenanalyse mit den Zentren der hierarchischen Clusteranalyse als Startparameter durchgeführt und die Clusterzuordnung von 30 OWK optimiert.

Die im Anschluss an die Clusteranalyse mit der Abgrenzung von 15 Regionen ähnlicher hydrologischer Zustände durchgeführte Plausibilitätsprüfung bezüglich der Lageverteilung und die Bewertung der Güte des Verfahrens werden im nächsten Kapitel dargestellt.

4. Verfahrensgüte

Betrachtet man die räumliche Anordnung der Cluster (siehe Abb. 4), so ist festzustellen, dass für fast alle Cluster ein hohes Maß des räumlichen Zusammenhangs gegeben ist. So konzentriert sich z. B. Cluster 2 nahezu flächendeckend auf das Gebiet des Flämings und der Dübener Heide. Dies ist eine Voraussetzung für die Gliederung der Landschaftsoberfläche in Regionen. Lediglich die Cluster 3 (Auengebiete), 6 (Einzugsgebiete großer autochthoner Flüsse) und die zuvor abgetrennte Gruppe der OWK mit allochthonen Einzugsgebieten weisen erwartungsgemäß eine höhere räumliche Streuung auf.

Für eine Erfolgsbewertung werden des Weiteren die Mittelwerte, Streuungen und Anzahl der signifikanten Parameter herangezogen. Die Mittelwerte der untersuchten Parameter deuten auf eine ausreichende Differenzierung der 15 Cluster hin (Tab. 2). Jede Region unterscheidet sich von allen anderen in der Kombination der Parameter in hohem Maße. Es sind zudem bei den meisten Parametern unterschiedliche Werteausprägungen für die Monaten August und Februar festzustellen. Die Aufnahme einer jahreszeitlichen Diffe-

renzierung ist also gerechtfertigt und zieht keine Überparametrisierung nach sich. Die Anwendung der WARD-Methode hat zur Folge, dass keine unterbesetzten Regionen mit weniger als 5 OWK auftreten. Die Schwankungen der Clustermächtigkeit zwischen 5 und 83 sind mit Hilfe der Flächenverteilung großer Landschaftseinheiten in Sachsen-Anhalt (Mittelgebirge - Tiefland, städtischer - ländlicher Raum) zu erklären. Um die Ähnlichkeit der zusammengefassten Objekte eines Clusters bewerten zu können, wurden Homogenitätsmaße für die Cluster berechnet. Die Summe der Einzelstandardabweichungen aller z-standardisierten Parameter und der Quotient der Streuung innerhalb eines Clusters und der Streuung der Clustermittelwerte stellt ein solches Homogenitätskriterium dar (Hartung & Elpelt 2009). Die Grundgesamtheit aller OWK des Landes Sachsen-Anhalt weist für die z-standardisierten 21 Parameter in der Summe notwendigerweise eine Standardabweichung von 21,0 auf. Die Standardabweichungssummen der einzelnen Cluster schwanken zwischen 3,18 und 1,98 (Tab. 2) und sind wesentlich kleiner als die Summe der Standardabweichungen der Clusterzentren mit 26,58. Der Quotient innere Streuung zu äußerer Streuung liegt bei 0,12 bis 0,45. Die Homogenität innerhalb der Cluster ist somit als sehr hoch bis befriedigend hoch einzuschätzen. Signifikante Unterschiede von Clustereigenschaften bezüglich der Grundgesamtheit können mittels Einstichproben-t-Tests nachgewiesen werden. Die angenommene Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt hierfür 5%. Es zeigt sich, dass mit Ausnahme des Clusters 6, bei allen Clustern mindestens 13 der 21 Parameter in ihrer Verteilung signifikant von der Grundgesamtheit abweichen. Cluster 6 weist nur 3 signifikant anders verteilte Parameter auf. Die Präsenz dieses Clusters ist jedoch durch die extrem hohe Trennschärfe bei der Eigenschaft „Flächengröße des EG“ zu rechtfertigen.

5. Ergebnis der Gliederung in hydrologische Regionen

Mit der Benennung der Cluster wird der Prozess der Abgrenzung von hydrologischen Regionen abgeschlossen. Die von 1-15 nummerierten Gruppen (Tabelle 2) werden zu verbal benannten hydrologischen Regionen (Tabelle 3). Die Namensgebung orientierte sich an den Maßgaben der „Grammatikalischen Struktur [...] einer begrifflichen Fassung der Kategorie Landschaft“

(Stüdemann 2008, S. 44). Hierzu wurde einem lagedefinierendem ersten Namensteil (z. B. „Hochharz“) immer ein an signifikanten Eigenschaftsausprägungen orientierter zweiter Na-

mensteil (z. B. „mit sehr hohem Niederschlag“) nachgestellt.

Clusternummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Anzahl OWK	83	37	16	52	36	6	22	5	15	16	11	14	6	7	7
Summe Standardabweichungen	7,8	8,31	10,55	7,42	7,41	11,56	6,34	3,18	6,74	7,15	8,85	10,06	11,96	11,98	9,92
Anzahl signifikanter Parameter ($\alpha=0,05$)	18	18	15	19	20	3	17	18	16	13	18	13	16	18	15
EG-Fläche (km ²)	94,4	116,8	44,4	109	166,8	2160	110,3	11,5	50,5	112,5	53,6	126,2	155,1	87,7	53,6
Rechtswert (1000m)	4455	4528	4497	4494	4485	4468	4442	4475	4446	4478	4506	4433	4420	4412	4413
Hochwert (1000m)	5753	5757	5795	5707	5834	5787	5843	5784	5794	5846	5657	5725	5732	5737	5745
Nied Feb 97-03	39,5	44,4	39,6	36,4	43,1	47,3	49,3	33,3	46,5	43,5	41,2	66	90,1	113,8	79,7
Nied Aug 97-03	57,8	64	60,7	55,5	59,8	59,9	61,2	58,4	58,5	59,2	65,5	64,1	77,4	94	77,9
PET Feb 97-03	14,9	13,7	13,5	15,2	12,4	13,8	12,1	14,2	14,1	12,2	15,1	13,7	12,2	12,1	13,9
PET Aug 97-03	95,8	98	96,2	99,5	94	94	92,8	96,7	94,5	93,5	100,8	91,9	89	87,3	91,2
AET Feb 97-03	14,5	13,5	13,4	14,8	12,3	13,5	12	12,7	13,9	12,1	14,5	13,4	11,9	12	13,7
AET Aug 97-03	57,9	65,9	70	53	67,5	62,6	66,7	52,7	68,4	62,5	58,8	66,7	70,4	77,2	68,7
RO Feb 97-03	0,12	0,12	1,97	0,22	0,12	0,45	0,05	0,67	0,08	0,04	0,27	2,3	5,37	2,73	0,77
RO Aug 97-03	0,03	0,04	0,08	0,06	0	0,01	0	0	0,02	0	2,12	0,02	0,07	0,09	0,07
ROa Feb 97-03	1	0,73	0,97	1,14	0,5	1,08	0,83	5,39	0,53	0,83	1,35	0,85	2,22	1,52	1,57
ROa Aug 97-03	1,18	0,86	1,29	1,46	0,55	1,11	0,81	8,13	0,51	0,89	1,79	0,6	1,43	0,99	1,28
RDRAIN Feb 97-03	1,66	4,27	10,82	1,82	6,77	5,68	5,73	2	2,56	17,29	6,53	5,99	4,15	0,5	1,2
RDRAIN Aug 97-03	0,13	0,94	1,39	0,13	1,08	0,74	0,94	0,34	0,22	3,72	1,03	0,15	0,32	0,05	0,24
RH Aug 97-03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,12	0,04	0,01	0,04	0,02	0,28	0,11	0,69	1,76	0,89
RH Feb 97-03	0,71	0,2	0,09	0,2	0,15	1,86	0,26	0,03	0,44	0,12	1,24	7,27	14,73	15,67	9,4
RG1 Feb 97-03	6,85	3,68	5,46	2,19	7,75	11,61	3,87	2,18	7,65	3,94	1,82	37,4	53,16	85,38	48,26
RG1 Aug 97-03	0,65	0,87	0,65	0,44	1,15	1,38	1,27	0,64	1,31	0,89	0,83	1,6	5,51	15,74	7,78
RG2 Feb 97-03	4,2	13,5	6,6	6,1	12,4	7,9	24,8	3	12,5	8,7	5,5	2,4	4,6	2,9	7,2
RG2 Aug 97-03	-2,6	-1,3	-14	-2,4	-6,9	-3,2	-0,2	-5,5	-1,9	-4	-0,1	-2,7	-1,6	-0,2	-0,7

Tab. 2: Mittelwerte der Clusterparameter; Bedeutung der Graustufen: hell - niedrige Werte; dunkel - hohe Werte (Wasserhaushaltsparameter in mm/Monat).

5.1 Eigenschaften der Regionen

Die mittleren Eigenschaftsausprägungen der Regionen können der Tabelle 3 entnommen werden. Leere Felder zeigen nicht signifikante oder mittlere Zustände. Der mittlere Zustand bezieht sich in diesem Fall auf den Landesdurchschnitt der entsprechenden Größe. Werte für Winter (Wi) und Sommer (So) werden, wenn erforderlich getrennt ausgewiesen. Im Fettdruck dargestellte Eigenschaftsausprägungen weichen besonders deutlich vom Mittelwert ab, kennzeichnen die Regionen und sind für deren Namensgebung verwendet worden.

5.2 Mittlere langjährige Abflussdynamik

In Hinblick auf die mittlere langjährige Dynamik des innerjährlichen Abflussganges der Einzugsgebiete unter ökologischen Gesichtspunkten haben bereits Mehl & Thiele (1998) die Anwen-

dung einer normierten Vergleichs- und damit Typisierungsmöglichkeit für Mecklenburg-Vorpommern vorgestellt. Der dort verwendete, von Pardé entwickelte Abflusskoeffizient ergibt graphisch aufgetragen als Verhältnis des mittleren langjährigen Abflusses jedes Monats (MQ(m)) zum Zwölftel des mittleren langjährigen Jahresabflusses (MQ) für alle Monate eine anschauliche, mittlere relative Abflusskurve über das Jahr (Pardé 1964). Für 14 der 16 mit Pegelmessstationen ausgestatteten hydrologischen Regionen werden die mittleren Abflussregime aus Pardé'schen Abflusskoeffizienten und dazugehörigen einfachen Standardabweichungsintervalle für die Zeitreihen von 1975-2005 errechnet und zur Gebietsbeschreibung herangezogen (Abb. 3). In Tabelle 4 wird die Einordnung der Regime bezüglich ihrer Dynamik und Abflussgenese dargestellt.

Nr	Name der hydrologischen Region	Niederschlag Wi/So	pot. Evapotr. Wi/So	reale Evapotr. Wi/So	oberfl. Abfluss Wi/So	anthrop. oberfl. Abfluss Wi/So	Drainabfluss Wi/So	schnell. GW-Abfl. Wi/So	langs. GW-Abfl. Wi/So
0	Eigeneinzugsgebiete der Ströme und großen Flüsse mit allochthon geprägtem Abfluss								
1	Nordöstliches Harzvorland und Magdeburger Börde mit hoher Winterevapotranspiration	gering	hoch	hoch gering			gering	etwas geringer	etwas geringer
2	Fläming und Dübener Heide mit hoher Grundwasserneubildung	etwas höher	etwas höher	etwas höher		etwas geringer	etwas höher		hoch etwas höher
3	Auengebiete mit geringer Grundwasserneubildung	etwas geringer		hoch	hoch		hoch	etwas geringer	etwas geringer sehr gering
4	Östliches Harzvorland mit geringem Niederschlag	gering	sehr hoch	hoch gering		etwas höher	gering	etwas geringer	
5	Nördliches Sachsen-Anhalt mit mittlerem Drainabfluss		gering	gering etwas höher		gering	hoch	etwas geringer	etwas höher etwas geringer
6	Eigeneinzugsgebiete großer autochthoner Flüsse mit ausgeglichenem Abflussregime		gering						
7	Westliche Altmark mit hoher Grundwasserneubildung		gering	sehr gering etwas höher	etwas geringer	etwas geringer	etwas höher		sehr hoch hoch
8	Magdeburger Gebiet mit stark anthropogen induziertem Abfluss	gering etwas geringer	etwas höher	etwas geringer gering		sehr hoch	gering	gering	gering etwas geringer
9	Ohre-Aller-Hügelland mit hoher Evapotranspiration	etwas geringer	etwas geringer	etwas höher hoch	etwas geringer	gering	gering		etwas höher
10	Nördliches Sachsen-Anhalt mit hohem Drainabfluss		gering	etwas höher			sehr hoch	etwas geringer	
11	Südliches Sachsen-Anhalt mit hoher potenzieller Evapotranspiration	etwas höher	sehr hoch	etwas höher	sehr hoch	etwas höher	etwas höher		etwas höher
12	Unterharz mit mittlerem Abfluss und zeitigem Frühjahrsabflussmaximum	hoch etwas höher	gering	etwas höher	hoch	etwas geringer	etwas höher etwas geringer	hoch	gering
13	Mittelharz mit hohem Abfluss und zeitigem Frühjahrsabflussmaximum	sehr hoch hoch	gering sehr gering	sehr gering hoch	sehr hoch	hoch	etwas geringer	sehr hoch	gering
14	Hochharz mit sehr hohem Niederschlag und spätem Frühjahrsabflussmaximum	sehr hoch	gering sehr gering	sehr gering sehr hoch	hoch	etwas höher	gering	sehr hoch	gering etwas höher
15	Nördlicher Harzrand mit hohem Niederschlag und mittlerem Frühjahrsabflussmaximum	hoch	gering	hoch		etwas höher	gering	sehr hoch	etwas höher

Tab. 3: Namen und Eigenschaften der hydrologischen Regionen.

Nr	Name der hydrologischen Region	Abflussdynamik	Nr	Name der hydrologischen Region	Abflussdynamik
0	Eigeneinzugsgebiete der Ströme und großen Flüsse mit allochthon geprägtem Abfluss	dynamisch pluvial-nival	9	Ohre-Aller-Hügelland mit hoher Evapotranspiration	stark dynamisch pluvial
1	Nordöstliches Harzvorland und Magdeburger Börde mit hoher Winterevapotranspiration	dynamisch pluvial	10	Nördliches Sachsen-Anhalt mit hohem Drainabfluss	stark dynamisch pluvial
2	Fläming und Dübener Heide mit hoher Grundwasserneubildung	dynamisch pluvial	11	Südliches Sachsen-Anhalt mit hoher potenzieller Evapotranspiration	ausgeglichen pluvial
4	Östliches Harzvorland mit geringem Niederschlag	schwach dynamisch pluvial	12	Unterharz mit mittlerem Abfluss und zeitigem Frühjahrsabflussmaximum	stark dynamisch nival-pluvial
5	Nördliches Sachsen-Anhalt mit mittlerem Drainabfluss	dynamisch pluvial	13	Mittelharz mit hohem Abfluss und zeitigem Frühjahrsabflussmaximum	stark dynamisch nival-pluvial
6	Eigeneinzugsgebiete großer autochthoner Flüsse mit ausgeglichener Abflussregime	schwach dynamisch pluvial-nival	14	Hochharz mit sehr hohem Niederschlag und spätem Frühjahrsabflussmaximum	stark dynamisch nival-pluvial
7	Westliche Altmark mit hoher Grundwasserneubildung	dynamisch pluvial	15	Nördlicher Harzrand mit hohem Niederschlag und mittlerem Frühjahrsabflussmaximum	stark dynamisch nival-pluvial

Tab. 4: Klassifikation der mittleren Regime nach dem System von Pardé.

5.3 Karte der hydrologischen Regionen

Als Endergebnis der Analyse kann die Kartendarstellung in Abb. 4 betrachtet werden. In ihr sind neben einer genauen Wiedergabe der Grenzverläufe der hydrologischen Regionen, die Abweichungen der Abflussregime der Pegel von dem des Referenzpegels in ihrer räumlichen Verteilung aufgezeigt. Als Referenzregime wird das Regime ausgewählt, das den geringsten euklidischen Abstand aus allen Monatswerten zum Mittelwert aller Regime einer Region aufweist.

6. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Verfahren bietet die Möglichkeit, die räumlich und zeitlich differenzierten Prozessgrößen des Wasserhaushaltes klassifiziert abzubilden. Als Kernpunkt der Methode kann die Objektivität der Clusteranalyse und somit eines erprobten multivariaten, statistischen Verfahrens betrachtet werden. Die Objektivität gewährleistet zum einen die ergebnistreue Wiederholbarkeit und die Übertragbarkeit auf andere Räume und Zeiten und zum anderen die Unabhängigkeit von subjektiven Eindrücken des jeweiligen Bearbeiters.

Natürlich kann eine Gliederung des Landes in hydrologische Regionen nur in dem Maße die realen Zustände exakt abbilden, inwieweit die Eingangsdaten dies tun. Da jedoch bei der Ermittlung von Mengenangaben einzelner Komponenten des Wasserhaushaltes, ob gemessen oder modellhaft bestimmt, wegen der Komplexität des Systems Unsicherheiten auftreten, werden diese auch in der darauf aufbauenden Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt zu finden sein. Die als Eingangsdaten verwendeten Modellergebnisse des Abflusskomponentenmodells von Sachsen-Anhalt sind die zu diesem Zeitpunkt aktuellsten flächendeckend vorliegenden Angaben. Die lange Entwicklungs- und Anwendungszeit des zugrunde liegenden Modells ArcEGMO rechtfertigt ein hohes Vertrauen in diese Daten.

Die Zuverlässigkeit der Clustermethode an sich wurde im Kapitel 4 nachgewiesen. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Fehler in Form hoher interner Variabilitäten in den meisten Regionen gering ist. Unabhängig davon birgt die mesoskalige Dimensionsstufe mit der zwangsweise vorhandenen Generalisierung ein bekanntes Fehlerpotenzial. Die Ebene der Oberflächenwasserkörper der WRRL beinhaltet trotz des gesetzlich formulierten Anspruches der Einheitlichkeit, eine innere Heterogenität. Damit müssen auch die

auf solche Raumeinheiten aufbauenden Regionen dieselbe Heterogenität aufweisen. Dies ist jedoch ein allgemeines geographisches Problem und tritt in allen raum- und zeitabbildenden Verfahren auf.

Die Aussagekraft der Gliederung für die gewählte Betrachtungsebene wird dadurch nicht geschmälert.

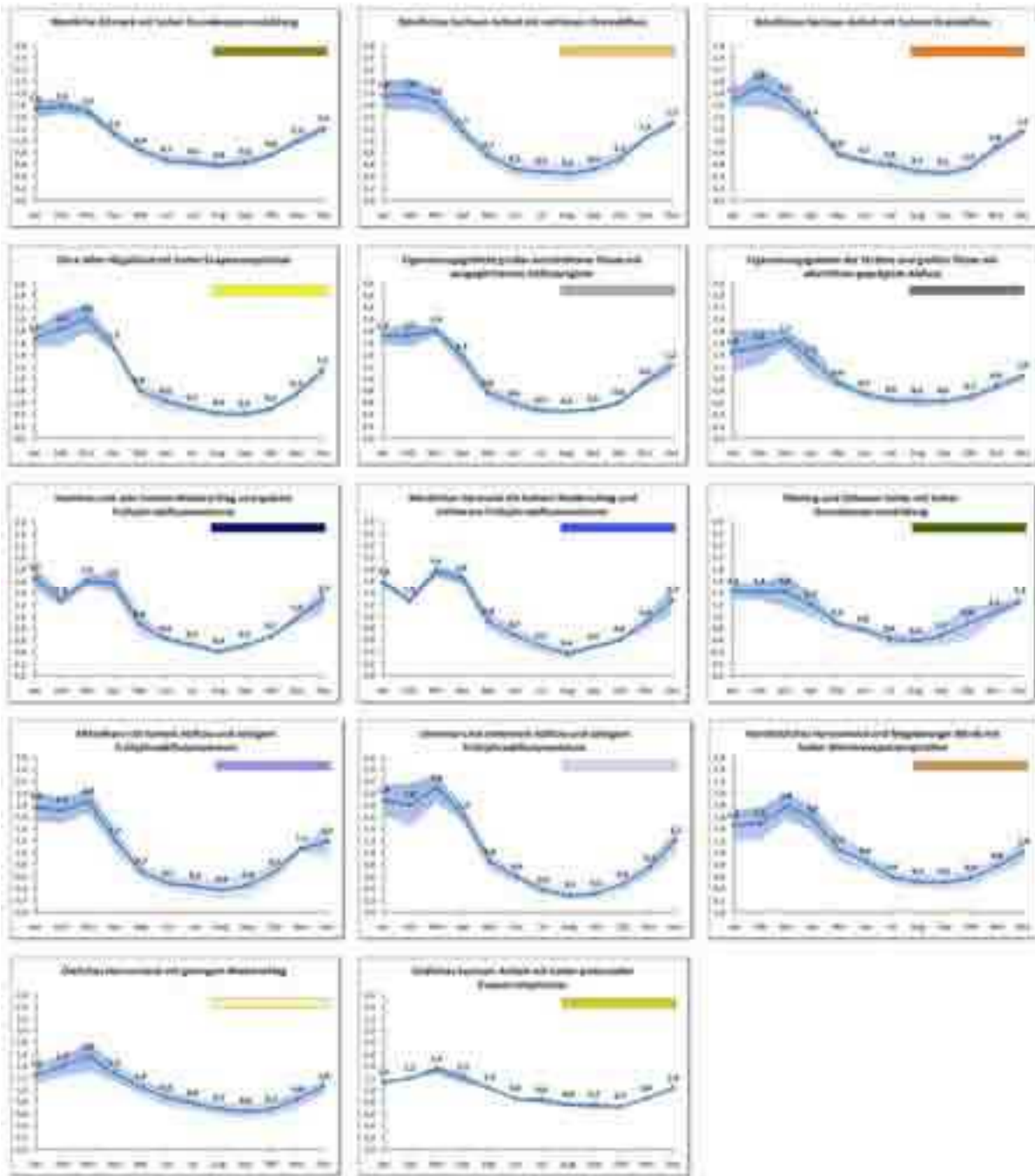


Abb. 3: Mittlere Abflussregime nach Pardé (1964) und deren einfache Standardabweichungen für die hydrologischen Regionen mit Abflusspegeln.
 Fig. 3: Mean flow regime for Pardé (1964) and the standard deviations for the hydrological regions with runoff gauges.

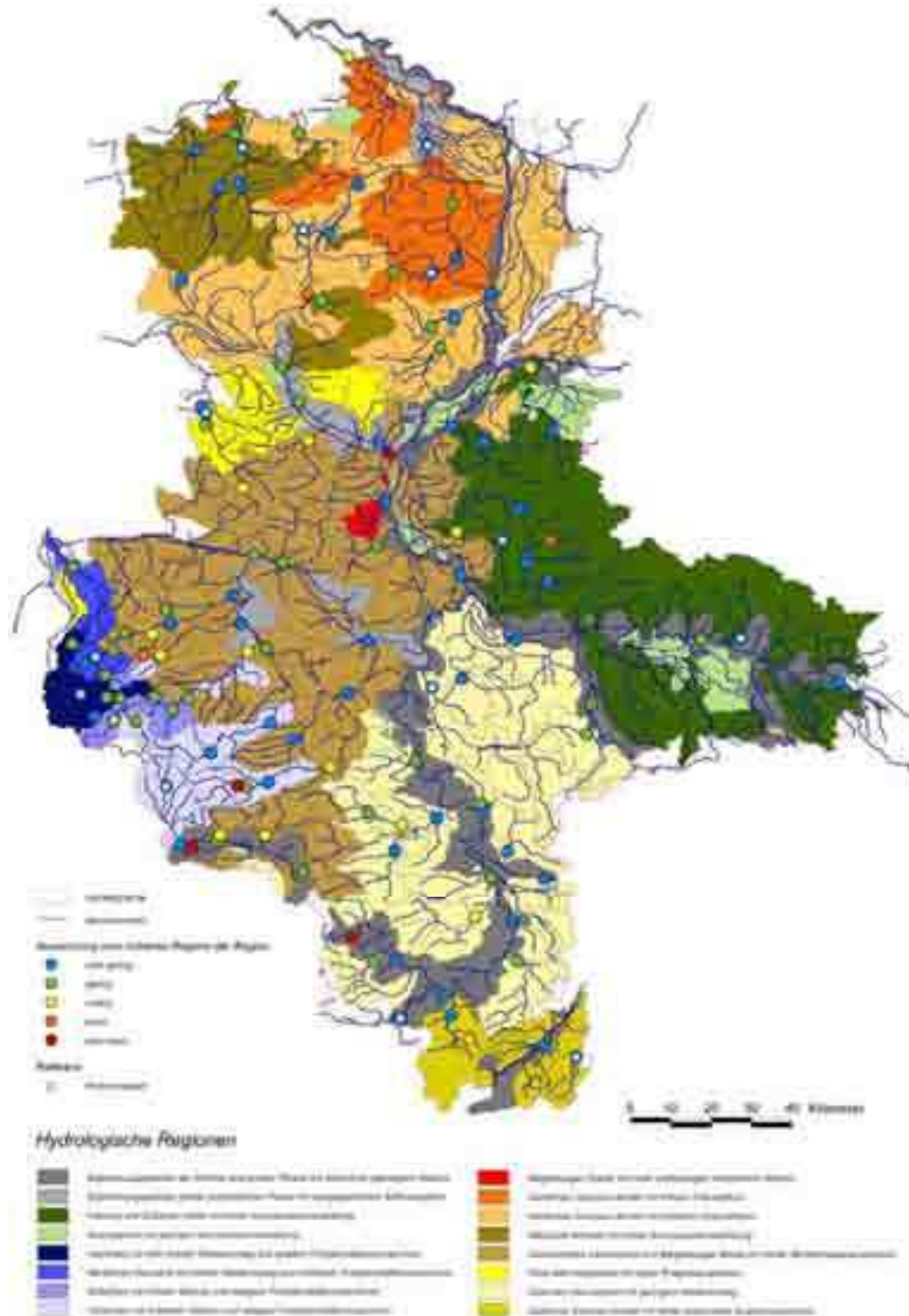


Abb. 4: Hydrologische Regionen und Abweichungen der Pegelregime vom mittleren Regime.
 Fig. 4: Hydrological regions and deviations of the gauged flow regimes from the mean regime.

Als ein großer Vorteil der Methode ist anzusehen, dass sie auf einer Abgrenzung von oberirdischen Einzugsgebieten basiert. Anders als in anderen geographischen Gliederungsvarianten, in denen zwei Regionen im Allgemeinen durch Grenzsäume mit allmählichem Übergang getrennt

werden, ist hier der Grenzverlauf durch Wasserscheiden markiert. Diese sind tatsächlich in der Umwelt auftretende scharfe Trennlinien, die auch reale Geosysteme des oberirdischen Abflusses trennen. Wie gut die gefundenen Abgrenzungen der hydrologischen Regionen dennoch mit den als

Säume zu verstehenden Grenzverläufen der Gliederung der Landschaftseinheiten korrespondieren, ist anhand der Abb. 5 abzulesen.

Die gewonnene Partitionierung in hydrologische Regionen spiegelt die landschaftliche Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in hohem Maße wider. Die großen Landschaftseinheiten Harz, Harzvorland, Magdeburger Börde, Altmark, Elbaue oder Fläming besitzen zum Teil noch feiner differenzierte Entsprechungen in der Menge der hydrologischen Regionen. Bei einem Vergleich muss jedoch beachtet werden, dass in einer Landschaftseinheit Räume mit gleichen oder ähnlichen Ausprägungen verschiedener Geokomponenten wie Boden, Bau, Relief, Bios oder Hydrologie zusammengefasst werden. Dadurch sind die stellenweise unterschiedlichen Grenzen der Raumeinheiten zu erklären.

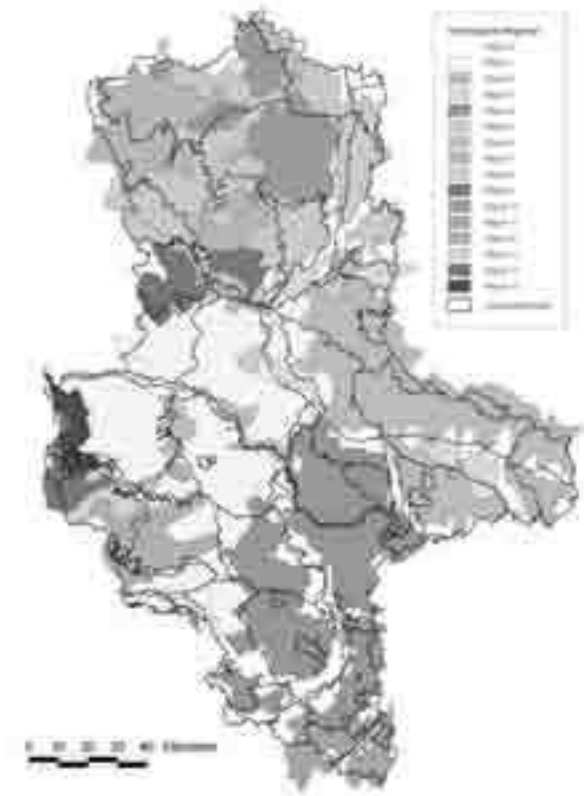


Abb. 5: Lagevergleich Hydrologische Regionen und Landschaftseinheiten von Sachsen-Anhalt (Quelle: LAU 2000).

Fig. 5: Location comparison of hydrological regions and landscape units of Saxony-Anhalt (Source: LAU 2000).

Hervorzuheben ist zuletzt, dass die Homogenität der hydrologischen Regionen auch relativ homogene Abflussganglinien der entsprechenden Pegel nach sich zieht. Die trotzdem vorhandenen Abweichungen haben eine Hauptursache: Die

anthropogenen Eingriffe werden als Eingangsdaten für die Bildung der hydrologischen Regionen zu wenig berücksichtigt. Eingriffe treten zum einen punktuell, wie zum Beispiel bei Wasserentnahmen, -einleitungen, Aufstauungen oder beim Bau künstlicher Standgewässer auf. Zum anderen greift der Mensch entlang der Gewässer mit Gewässerausbau sowie Auenverlusten in den Wasserhaushalt ein. Zum Dritten finden Eingriffe in der gesamten Einzugsgebietsfläche in Form von verschiedenartigsten Landnutzungsänderungen statt. Mit der Integration einer zu entwickelnden Bewertungsgröße, die die Natürlichkeit des Wasserhaushaltes abbildet, wären Verbesserungen bei der Übereinstimmung der Abflussregime an verschiedenen Pegeln zu erzielen. Mit dieser Bewertungsgröße wäre außerdem die Ausweisung des natürlichsten Regimes einer hydrologischen Region möglich. Bis dahin kann aber das mittlere Regime für jede der 16 Regionen bestimmt werden und als Referenzregime der hydrologischen Region fungieren (siehe Abb. 4).

Die Bewertungsgröße der Natürlichkeit eines hydrologischen Regimes wurde in einem Projekt des LHW entwickelt (Biota 2010). Im Rahmen dieses Projektes wurde auch dargestellt, inwieweit ein oder einige Pegel den natürlichen Abfluss und die Abflussdynamik eines Gebietes repräsentieren können.

Ein Skalenwechsel bei den zugrunde liegenden Raumeinheiten von der Ebene der Oberflächenwasserkörpergebiete zur Ebene der feiner gegliederten Einzugsgebiete mit 10-stelligen LAWA-Gebietskennzahlen wurde beispielsweise für Brandenburg durchgeführt. Dieser Wechsel erzeugt eine noch genauere Raumgliederung der Regionen und somit ein noch besseres Abbild der hydrologischen Situation des Landes.

7. Anmerkung

Das der Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde aus Mitteln des Landes Sachsen-Anhalt finanziert (Auftraggeber: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt).

8. Literatur

Akademie der Wissenschaften der DDR (1981): Atlas Deutsche Demokratische Republik. Gotha, Haak: 53 S.

- Aurada, K. D. (1984): Die systemtheoretische Interpretation des Stabilitätsbegriffs in der Landschaftsdiagnose und -prognose. – In: Richter, H. & Aurada, K. D. (Hrsg.): Umweltforschung. Zur Analyse und Diagnose der Landschaft. – 7-12; Gotha (Hermann Haack Geographisch-Kartographische Anstalt).
- Biota (2010): Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungs-methodik zur Beurteilung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt - im Auftrag des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), URL: http://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Elementbibliothek/Master-Bibliothek/Landesbetriebe/LHW/neu_PDF/5.1/Dokumente_GLD/Endbericht_HYDREG_2010.pdf. Datum: 1. Mai 2010.
- DIN 4049 Teil 1: Hydrologie – Begriffe, quantitativ. – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- Dyck, S. et al. (1980): Angewandte Hydrologie. Teil 2, 2. überarb. Aufl.: 544 S.; Berlin (VEB Verlag für das Bauwesen)
- Dyck, S. & Peschke, G. (1983): Grundlagen der Hydrologie. – 388 S.; Berlin (Verlag für Bauwesen).
- Gamma, P. (1992): Beitrag zu einer hydrologischen Gliederung der Schweiz – GIS-basierte Gewinnung von Einzugsgebietsparametern und deren multivariate Klassifikation mit TWINSPAN. – Dipl.-Arb., Universität Bern, Geographisches Institut. – 150 S.
- GLA Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt [Hrsg.] (1993): Tätigkeitsbericht 1991/1992. Überblick zu Geologie und Boden Sachsen-Anhalts; Halle.
- Grimm, F. (1968): Das Abflußverhalten in Europa – Typen und regionale Gliederung. – Wiss. Veröff. d. Deutschen Instituts für Länderkunde, N. F., 25/26: 18-180.
- Haase, G. (1967): Zur Methodik großmaßstäbiger landschaftsökologischer und naturräumlicher Erkundung. – Wissenschaftliche Abhandlungen der Geographischen Gesellschaft der DDR, 5: 35-128.
- Haase, G. (1973): Zur Ausgliederung von Raumeinheiten der chorischen und regionalen Dimension – dargestellt an Beispielen der Bodengeographie. – Petermanns Geogr. Mitt., 117 (2): 81-90.
- Haase, G., Lieberoth, I. & Ruske, R. (1970): Periglazial Löss Paläolithikum im Jungpleistozän der Deutschen Demokratischen Republik. – 99-112; Gotha (Haak).
- HAD (2000, 2001, 2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [Hrsg.]; Bonn/Berlin. – [2000 (1. Lieferung), 2001 (2. Lieferung), 2003 (3. Lieferung)].
- Hartung, J. & Elpelt, B. (2009): Statistik : Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 15. Aufl. – 1100 S.; München, Wien (Oldenbourg).
- Hoffmann, T. G., Mehl, D., Weiland, M. & Mühlner, C. (2010): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 2. Methoden und Ergebnisse. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 3 (9): 474-484.
- Hoffmann, T. & Rödel, R. (2004): Leitfaden für die Statistische Auswertung geographischer Daten. – Greifswalder Geographische Mitteilungen, 33: 110 S.
- Institut für Wasserwirtschaft Berlin (1973): Gewässerkundliches Jahrbuch der DDR (1973); Berlin.
- LAU Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt [Hrsg.] (2000): Karte der potentiell natürlichen Vegetation von Sachsen-Anhalt. Erläuterungen zur Naturschutz-Fachkarte M 1:200.000. – Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft, 1/2000.
- Mannsfeld, K. (1984): Die naturräumliche Ordnung als Grundlage für die Landschaftsdiagnose im mittleren Maßstab. – In: Richter, H. & Aurada, K. D. (Hrsg.): Umweltforschung. Zur Analyse und Diagnose der Landschaft: 63-79; Gotha (Hermann Haack Geographisch-Kartographische Anstalt).
- Marcinek, J. (1975): Versuch einer Gliederung der DDR auf morphogenetischer Grundlage. – Petermanns Geographische Mitteilungen, 3: 209-213.
- Marcinek, J. & Nitz, B. (1973): Das Tiefland der deutschen demokratischen Republik – Leitlinien seiner Oberflächengestaltung. – 288 S.;Gotha.
- Mehl, D & Thiele, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. – 261 S.; Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag).
- Mehl, D. (2004): Grundlagen hydrologischer Regionalisierung: Beitrag zur Kennzeichnung der hydrologischen Verhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburgs und Vorpommerns. – Dissertation, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät: 156 S. + Anlagen.
- Mehl, D. (2006): Erreichtes und Probleme bei der Einfügung der Fließgewässer in das Verfahren der übergreifenden Naturraumerkundung. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, 45 (3/4): 91-116.
- Mehl, D., Hoffmann, T. G., Weiland, M. & Mühlner, C. (2010): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 1. Hintergrund, Zielstellung und Grundlagen. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 3 (6): 300-304.
- Merz, R., Blöschl, G. & Parajka, J. (2006): Raumzeitliche Variabilität von Ereignisabflussbeiwerten in Österreich. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 50 (1): 2-11.
- Möbus, G. (1968): Tektogenese und Magmatismus im Gebiet der DDR. – Geologie, 17 (6/7): 631-646.

- Neef, E. (1967): Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre. – 152 S.; Gotha, Leipzig (Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt).
- Pardé, M. (1964): Fleuves et Rivières, 4. Auflage; Paris.
- Pfützner, B., Klöcking, B. & Halbing, F. (2008): Modellgestützte Ermittlung von Abflusskomponenten für das Land Sachsen-Anhalt. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 52 (2): 48-55.
- Pfützner, B. (2009): Beschreibung von ArcEGMO © - Offizielle Homepage des Modellierungssystems, URL: <http://www.arcegmo.de>, Datum: 27. Mai 2009.
- Richter, H. (1967): Naturräumliche Ordnung. – Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR., 5.
- Ruske, R. (1964): Das Pleistozän zwischen Halle/S., Bernburg und Dessau. – Geologie, 13 (5): 570-597.
- Ruske, R. & Wünsche, M. (1964): Zur Gliederung des Pleistozäns im Raum der unteren Unstrut. – Geologie, 13: 211-222.
- Schlüter, O. & August, O. (Hrsg.) (1958): Atlas des Saale- und mittleren Elbegebietes, Zweite, völlig neu bearb. Aufl. d. Werkes Mitteldeutscher Heimatatlas; Leipzig (Verlag Enzyklopädie).
- Schröder, H. (1994): Die Entstehung des Reliefs in der Umgebung der Saale nördlich von Halle. – Arbeiten a. d. Naturpark „Unteres Saaletal“, 1: 24-33.
- Schröder, H. (1997): Die natürliche Umwelt Sachsen-Anhalts. – 33-95. – In: Oelke, E. (Hrsg.): Sachsen-Anhalt. – 423 S.; Gotha (Perthes Länderprofile).
- Schulz, W. (1962): Gliederung des Pleistozäns in der Umgebung von Halle (Saale). – Geologie, Beiheft, 36 (11): 1-69.
- Stüdemann, O. (2008): Aspekte der Geoökologie. – 425 S.; Berlin (Weißensee-Verlag).
- Veit, U. et al. (1987): Klimadaten der DDR – ein Handbuch für die Praxis, Reihe B, 14; Potsdam.
- Ward, J. H. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. – Journal of the American Statistical Association, 58: 236-244.
- Weisse, R. (1974): Drei warthezeitlichen Oberflächenformen und ihre Genese in der mittleren und nördlichen Altmark. – In: Geogr. Ber., 71 (2): 109-120.
- Wittenberg, H., Matz, R. & Rhode, C. (2003): Oberirdisches und unterirdisches Einzugsgebiet – Bedeutung für den Wasserhaushalt. – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 4 (2): 29-32.
- WRRL: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie), Amtsblatt der EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000