

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 97-112, 9 Abb., 3 Tab.  
Halle (Saale), Mai 2011

## Die flächenhafte Ausweisung von Bodenfeuchtereimes – Eine Methode im Rahmen des pre-processing für die Modellierung des Landschaftswasserhaushaltes

Peter Chiffard, Michael Köchling, Jens Didszun & Harald Zepp\*

Chiffard, P., Köchling, M., Didszun, J. & Zepp, H. (2011): Die flächenhafte Ausweisung von Bodenfeuchtereimes – Eine Methode im Rahmen des pre-processing für die Modellierung des Landschaftswasserhaushaltes. [The spatial classification of soil moisture regimes – A method within the pre-processing for the regional water balance modeling.] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 97-112, Halle (Saale).

**Kurzfassung:** In dem Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“ (2,6 km<sup>2</sup>, Sauerland, Deutschland) wurden mit einer konventionellen Bohrstock-Kartierung (319 Bodenprofile) die verschiedenen Böden mit ihren spezifischen pedohydrologischen Eigenschaften erfasst und darauf aufbauend das Klassifikationskonzept zur Ableitung von Bodenfeuchtereime-Typen nach Zepp (1995) angewendet. Anhand dieser Informationen konnte die vorherrschende Wasserbewegungsrichtung und folglich verschiedene Abflussprozessflächen ausgewiesen werden. Um dieses Raumgliederungskonzept hinsichtlich der Frage, ob es zum pre-processing für die Modellierung des Landschaftswasserhaushaltes beitragen kann, zu verifizieren, wurden zwei Niederschlags-Abfluss-Ereignisse tracerhydrologisch untersucht. Die Resultate zeigen, dass sich das Klassifikationskonzept nach Zepp (1995) zur hydrologischen Raumgliederung eines Einzugsgebietes gut eignet, es wird aber auch deutlich, dass neben den Bodeneigenschaften insbesondere die Lage der schnell reagierenden Flächen (Sättigungsflächen) innerhalb des Einzugsgebietes und deren Konnektivität mit dem Vorfluter entscheidend für den Beitrag schneller Abflusskomponenten sind. Besteht eine direkte Verbindung zwischen Sättigungsflächen und Vorfluter, so ist eine schnelle Abflussreaktion und ein hoher Anteil an Ereigniswasser zu erwarten.

**Abstract:** In the catchment “Obere Brachtpe” (2,6 km<sup>2</sup>, Sauerland, Germany) the soils and their specific pedohydrological characteristics were investigated using a conventional drilling rig (319 drills). Based on the results the classification concept for deducing the soil moisture types by Zepp (1995) was applied so that the dominant flow directions and dominant runoff process areas could be detected. The question if this classification concept could be used as tool for the pre-processing within the runoff modelling was verified by the tracer hydrological investigation of two rainfall runoff-events. The results confirm that the classification concept by Zepp (1995) is an applicable tool for the spatial delineation of a catchment in hydrological response units. On the other hand it became apparent that in addition to the soil properties, the location of saturated areas within the catchment and their connectivity to the channel are especially important for the contribution of accelerated runoff components. If there exists a direct connection between the saturated areas and the channel a fast runoff reaction and a high portion of event water can be estimated.

**Schlüsselwörter:** Bodenwasser, Bodenfeuchtereime, Abflussbildung, Obere Brachtpe

**Keywords:** pedohydrology, soil moisture regimes, tracer hydrology, runoff

---

\*Anschriften der Autoren:

Dr. Peter Chiffard ([peter.chiffard@wkl.ac.at](mailto:peter.chiffard@wkl.ac.at)), WasserKluster Lunz GmbH, Dr. Carl Kupelwieser Promenade 5, A-3293 Lunz am See;

Dipl.-Geogr. Michael Köchling, Horstmarer Str. 13, D-44239 Dortmund;

Prof. Dr. Harald Zepp, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Universitätsstr. 150, D-44780 Bochum.

## 1. Einführung und Problemstellung

Die flächendifferenzierte Modellierung des Landschaftswasserhaushaltes ist eine komplexe Aufgabe, die auf der Landschaftsskala eine vereinfachte Behandlung der Bodenwasserdynamik verlangt. Letztere steuert in Abhängigkeit der bodenphysikalischen Eigenschaften eine Vielzahl anderer hydrologischer Prozesse wie die Aufteilung in oberirdischen und unterirdischen Abfluss oder auch generell die Verfügbarkeit von Wasser für die Vegetation (Gutknecht 1996, Zepp & Herget 2001, Peschke 2001, Castillo et al. 2003, Zehe et al. 2005). Abflussbildung und Wasserspeicherung sind abhängig vom Systemzustand (Bodenfeuchte, Wasserstände bei Ereignisbeginn) und den Bodeneigenschaften (Durchlässigkeit, Speicherkapazität, Infiltrationskapazität) (Peschke 2001). Es ist aber messtechnisch nicht möglich, zeitlich variable, flächendeckende Eingangsdaten zum Bodenfeuchtezustand in die Simulationsmodelle einzuspeisen. Daher gab es aufgrund der bedeutenden Rolle des Bodens im Wasserkreislauf in der Vergangenheit zahlreiche Versuche, bodenhydrologische Raumgliederungen sinnvoll in die Modellierung einzubinden. Wenn bekannt ist, welche vertikale und laterale Abflussbildungsprozesse auf einer Raumeinheit unter den entsprechenden Bedingungen dominieren, so ist eine erhebliche, wissenschaftlich begründete Modellreduktion möglich (Kirnbauer et al. 2009). Generell wird bei der Raumgliederung ein Einzugsgebiet in Einheiten aufgegliedert, die hinsichtlich ihrer hydrologischen Eigenschaften homogen sind, sogenannte „Hydrological Response Units“ (Becker & Pfützner 1987, Flügel 1996, Uhlenbrook 1999, Tilch et al. 2006).

Einen wesentlichen Bestandteil bildet der Boden bei dem Raumgliederungskonzept von Peschke et al. (1998), dem Wissensbasierten System FLAB (Flächen gleicher Abflussbildung). Beim pre-processing werden die Bodentypen bereits nach ihrer hydrologischen Wirkung differenziert und z.B. in Böden mit Staunässe (Pseudogley, Stagnogley) oder grundwasserbeeinflusste Böden (Gley) unterteilt.

Eine ausschließlich auf die Bodeneigenschaften – und nicht auf das Integral der Wasserhaushaltsinformation der Bodentypen – bezogene räumliche Differenzierung hinsichtlich der dominanten Abflussprozesse stellt die von Boormann et al. (1995) entwickelte HOST-Klassifikation dar (Hydrology Of Soil Types). In dieser werden die Böden Großbritanniens basie-

rend auf den vorhandenen Bodenkarten (Maßstab 1:250000) und den verfügbaren Daten zu bodenphysikalischen sowie hydrologischen Eigenschaften beschrieben und deren räumliche Verbreitung dargestellt. Die Klassifikation orientiert sich in erster Linie an der Unterteilung zwischen vertikalem und lateralem Bodenwasserfluss.

Das von Naef et al. (2007) in der Schweiz entwickelte Raumgliederungskonzept basiert auf umfangreichen Berechnungsversuchen, die insbesondere die hydrologischen Prozesse im Umsatzraum Boden betrachten (siehe auch Scherrer & Naef 2003, Scherrer et al. 2006, Schmocker-Fackel et al. 2006). Die Autoren definieren in Abhängigkeit zu verschiedenen Geofaktoren 9 grundsätzliche Abflusstypen. Ebenfalls auf der Grundlage von zahlreichen Versuchen mit künstlichem Niederschlag wurde von Markart et al. (2004) eine Kartieranleitung entwickelt, mit der die Abflussdisposition von typischen alpinen Vegetations-Bodeneinheiten im alpinen Raum bestimmt und regionalisiert werden kann.

Ein übertragbares Konzept zur bodenhydrologisch orientierten Raumgliederung stellt die Identifizierung von Bodenfeuchteregime-Typen nach Zepp (1991, 1995) dar. Er knüpft an die landschaftsökologisch begründeten Bodenfeuchteregime-Typen durch Neef et al. (1961) an. Die Bodenfeuchteregime-Typen werden in einem ersten Schritt semiquantitativ in Abhängigkeit der Parameter Bodenart, Landnutzungstyp, klimatische Wasserbilanz und Feuchteregime-Grundtyp ermittelt. Letzterer wird anhand einer Entscheidungsleiter bestimmt, die die Böden nach Hangnässe, Überflutung, Grundwasser, Stauwasser und Bodenartenschichtung typisiert und insgesamt zu 24 unterschiedlichen Feuchteregime-Grundtypen führt (Zepp 1995). Liegen für typische Kombinationen aus Boden und Vegetation/Landnutzung Messreihen der Wasserspannung in verschiedenen Tiefen vor, können die Bodenfeuchteregime-Grundtypen quantifiziert werden, indem die zeitliche Feuchteverteilung nach einem allgemein anwendbaren Klassifikationsansatz generalisiert wird. Liegen keine Geländemessungen vor, so können Schätztabelle (Zepp 1999) angewendet werden. Auf der Grundlage dieser bodenhydrologischen Standortcharakterisierung kann aus dem Bodenfeuchteregime-Grundtyp ein Rückschluss auf die vorherrschende Richtung des Bodenwassers genommen und aus den Feuchteverteilungsklassen die Intensität des dominanten Abflussbildungsprozesses abgeleitet werden. Anwendung fand dieses Konzept in der Arbeit von

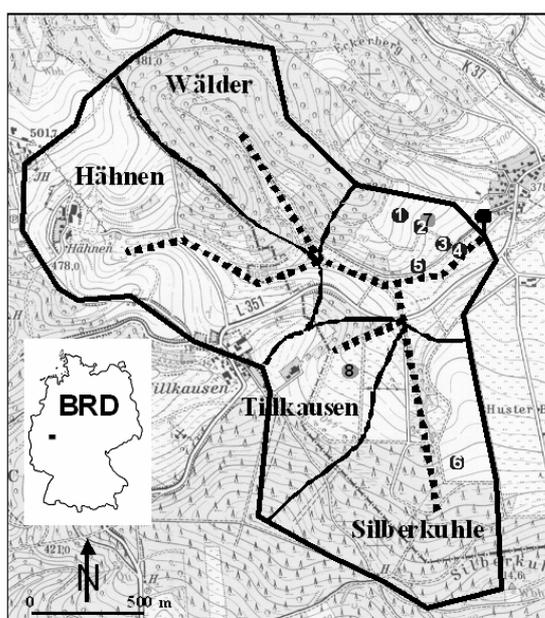
Thimm & Zepp (2005), die es für eine Optimierung der Landnutzung an standörtliche Gegebenheiten bei Verhältnissen im subtropischen Südosten Chinas eingesetzt haben. Auf Mitteleuropa bezogen liegt eine großmaßstäbige Studie von Burak (1988, zitiert in Zepp 1999:325) und die Übertragung des Prinzips in den kleinen Maßstab als Bestandteil der prozessorientierten landschaftsökologischen Raumgliederung Deutschlands (Burak 2005) vor.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, im Untersuchungsgebiet „Obere Brachtpe“ die verschiedenen Böden mit ihren spezifischen pedohydrologischen Eigenschaften zu erfassen und darauf aufbauend das Klassifikationskonzept zur Ableitung von Bodenfeuchteregime-Typen nach Zepp (1995) anzuwenden. Es soll der Frage nachgegangen werden, welchen Beitrag dieses Raumgliederungskonzept zu einem pre-processing für die Modellierung des Landschaftswasserhaushalts leisten kann.

## 2. Lage und naturräumliche Charakteristika des hydrologisch-landschaftsökologischen Untersuchungsgebietes „Obere Brachtpe“

Vom Lehrstuhl für Angewandte Physische Geographie der Ruhr-Universität Bochum wurden in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Hydrolo-

gie, Wasserwirtschaft und Umweltechnik und dem Ruhrverband Essen zwischen 1999 und 2008 die zwei hydrologisch-landschaftsökologischen Untersuchungsgebiete „Obere Brachtpe“ (2,6 km<sup>2</sup>) und „Bohläse“ (0,7 km<sup>2</sup>) im südlichen Sauerland (Nordrhein-Westfalen, Deutschland) betrieben. Die im Folgenden vorgestellten Untersuchungen fanden im Gebiet „Obere Brachtpe“ statt, das sich über einen Höhenbereich von 379 m bis 515 m ü. NN erstreckt (Abb. 1). Die Jahresmitteltemperatur beträgt 9,1° C, der Jahresniederschlag liegt im Mittel bei 1227,8 mm (Deutscher Wetterdienst 2004). Der mittlere Abfluss beträgt am Gebietsauslass, Pegel Husten, 942 mm (Zeitraum 2000 bis 2005) (Ruhr-Verband Essen 2005). Den geologischen Untergrund bilden überwiegend Ton- und Siltschiefer des Unter- und Mitteldevons, stellenweise treten feinkörnige Sandsteineinlagerungen hinzu (Grabert & Hilden 1972). Die Morphologie des Untersuchungsgebietes „Obere Brachtpe“ wird im südlichen Teileinzugsgebiet Silberkuhle durch einen mitteltgeneigten (5-10°), ca. 1300 m langen Hang, geprägt. Im Gegensatz dazu stehen die nördlich anschließenden Teileinzugsgebiete Tillkausen, Hähnen und Wälder, die Hangneigungen bis zu 30° aufweisen. Mit einem Flächenanteil von 51 % überwiegt im Einzugsgebiet die Grünlandnutzung, während 30 % von Nadelwäldern eingenommen wird.



Legende:

- Bodenhydrologische Mess-Stationen
  - 1) Oberhang
  - 2) Rinne
  - 3) Hangfuß
  - 4) Aue
  - 5) Divergenter Hang
  - 6) Silberkuhle
- Klimastationen
  - 7) Rinne
  - 8) Nordhang
- Pegel Husten
- Einzugsgebietsgrenze
- Teileinzugsgebietsgrenze
- Vorfluter „Brachtpe“

Abb. 1: Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“ mit den Teileinzugsgebieten und Messeinrichtungen (Chiffard 2006).

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Kontinuierliche hydrometrische Messungen

Im Untersuchungsgebiet „Obere Brachtpe“ standen für das zeitlich hoch aufgelöste Monitoring der Wasserspannung sechs bodenhydrologische Mess-Stationen zur Verfügung (Abb. 1). Die Standorte der bodenhydrologischen Mess-Stationen sind nach spezifischen Boden-Relief-Landnutzungs-Komplexen ausgewählt worden und am Messhang „Husten“ (Stationen Nr. 1-4; Abb. 1) nach dem Catena-Prinzip angeordnet. Der Messhang ist ein etwa 300 m langer konvergenter Hang, mit Neigungen von 0° bis 15° und einem ca. 60 m breiten, vorgelagerten, flachen Talgrund. Je nach Bodenaufbau sind die Stationen mit Druckaufnehmertensiometern in 4 bis 6 Messtiefen (20 bis 200 cm) ausgestattet. Die Wasserspannung wurde über Loggerbetrieb automatisch im 10 min-Intervall aufgezeichnet. Mit gleichem Intervall stehen der Freilandniederschlag, gemessen an der Mess-Station Rinne mit einer Kippwaage in 1 m Höhe, zur Verfügung. Der Vorfluterabfluss wird am Pegel Husten im 15 min-Intervall mit einer pneumatischen Pegelstation erfasst.

#### 3.2. Pedohydrologische Feld- und Labormethoden

Die Geländeaufnahme des Bodens erfolgte flächenhaft durch eine konventionelle Bohrstock-Kartierung (Pürkhauer) im Maßstab 1:5000 nach dem Catena-Prinzip (Schlichting, Blume & Stahr 1995). Die Anzahl der Bohrpunkte beträgt 319 Bohrungen. An jedem Bohrpunkt wurden jeweils Standortdaten und Profildaten erhoben (Tab. 1). Die allgemeinen Standortdaten dienen der Aufnahme der Geländesituation am Bohrstandort und umfassen hauptsächlich Reliefparameter sowie Nutzungs- und Vegetationsarten. Profildaten sind horizontbezogene Daten der Standorteinheit mit den Eigenschaften der jeweiligen Bodenschicht und werden am Bohrgut nach den Vorgaben der AG Boden (1994) erhoben. Sie umfassen ausgewählte bodenphysikalische Merkmale, mit denen die hydrologischen Eigenschaften der Böden beschrieben werden können und die für eine Regionalisierung der Bodenfeuchteregime-Typen nach Zepp (1995) die Datengrundlage bilden. Über verschiedene Transferfunktionen (AG Boden 1994, Zepp 1991) ließen sich aus den Profildaten Kennwerte der Wasserbindung oder Feuchteverteilungsklassen (Zepp 1991) ableiten.

Profildaten/horizontbezogene Daten	abgeleitete Bodenparameter
- Horizontgrenzen	- Bodentyp
- Bodenart	- Bodenform
- Humusgehalt	- Bodenartenschichtung
- Skelettgehalt	- nFKWe
- Lagerungsdichte	- FK
- hydromorphe Merkmale	- LK
- Bodenfeuchte	- Totwasser
- (Durchwurzelung)	- Wasserdurchlässigkeit (kf)
- Farbe	- Bodenfeuchteregime-Grundtyp
- Carbonatgehalt	- Bodenfeuchteregime
- Gründigkeit	- Staunäsetiefe
- oberflächennaher Untergrund/Ausgangsgestein	- Staunäsegrad
	- Grundwasserstand

Tab. 1: Ermittelte und abgeleitete Profildaten.

Zur Absicherung der Bodenansprachen am Bohrgut konnte auf Daten von 6 Leitprofilgruppen zurückgegriffen werden, durch die es möglich war, die wichtigsten Bodenformen repräsentativ zu erfassen. Bei diesen Leitprofilen

(Schürfgruben) wurden an gestörten Bodenproben im Labor der Skelettgehalt, die Bodenart (DIN 19683, Blatt 2), der pH-Wert und der Kohlenstoff-Gesamtgehalt (Schlichting, Blume & Stahr 1995) bestimmt.

### 3.3. Bestimmung der Bodenfeuchtere-gime-Typen

Das Bodenfeuchtere-gime wird durch den Bodenfeuchtere-gime-Grundtyp (Tab. 2) und das Quantitative Bodenfeuchtere-gime charakterisiert (Tab. 3) (Zepp 1995). Die Grundtypen sind qualitative Beurteilungen des vorherrschenden Charakters der Bodenwasserdynamik. Sie drücken aus, ob Stau- oder Grundwasser den Wasserhaushalt beeinflusst und welche Richtung die Wasserflüsse im und auf dem Boden nehmen. Eine Quantifizierung des Feuchtere-gimes erfolgt

über die Angabe klassifizierter Häufigkeitsverteilungen (Feuchteverteilungsklassen; Abb. 2) unter Bildung der Minima, Maxima, Median und Quartilswerte der Bodenwasserspannung getrennt in 30 cm und 90 cm Tiefe für die Vegetationsperiode (April bis Oktober). Die Feuchteverteilungsklassen können mit Hilfe der Klassenkennzeichnung in Tabelle 3 verbal beschrieben werden. Sie stehen nicht für Feuchtezustände zu bestimmten Zeitpunkten, sondern integrieren die Bodenfeuchte während einer Vegetationsperiode.

Grundtypen	Abkürzungen
Perkolations-Typ	PE
Stauwasser-Typ	ST
Grundwasser-Typ	GR
Kombinierter Grund- und Stauwassertyp	GS
Hangwasser-Typ	HA
Kombinierter Grundwasser- und Überflutungstyp	GÜ
Abfluss-Typ	AB

Tab. 2: Bodenfeuchtere-gime-Grundtypen (nach ZEPP 1995).

Kategorie	Klassen-Kennzeichnung	Kurzzeichen
nass	<i>permanent nass oder wassergesättigt, extremer Luftmangel</i>	N
	<i>überwiegend nass oder sehr feucht, meist eingeschränkte Sauerstoffversorgung</i>	NsF1
	<i>überwiegend nass oder sehr feucht, kurzfristig trocken</i>	NsF2
feucht	<i>überwiegend feucht, zeitweise nass oder sehr feucht</i>	F
	<i>überwiegend feucht, zeitweise nass oder sehr feucht, kurzfristig frisch und mäßig frisch; zeitlich wechselnde Wasserbindung</i>	Fw
mäßig feucht	<i>überwiegend feucht bis mäßig feucht, selten sehr frisch, selten frisch; stark wechselnde Wasserbindung</i>	FmF
frisch	<i>überwiegend frisch, zeitweise sehr feucht oder nass, wechselnde Wasserbindung</i>	FRw
	<i>überwiegend mäßig frisch, zeitweise feucht bis sehr feucht, kurzfristig trocken, sehr unausgeglichene Feuchteverteilung</i>	mFRw
	<i>überwiegend mäßig frisch, zeitweise sehr feucht bis frisch, ausgeglichene Feuchteverhältnisse</i>	mFR
mäßig frisch/ trocken	<i>überwiegend mäßig frisch und trocken, zeitweise frisch bis feucht; zeitlich wechselnde Wasserspannung, Trockengefährdet</i>	mFRTw
	<i>überwiegend mäßig frisch und trocken, kurzfristig mäßig feucht; trockenengefährdet</i>	mFRT

Tab. 3: Verbale Kennzeichnung der Bodenfeuchtere-gime (nach Zepp 1999).

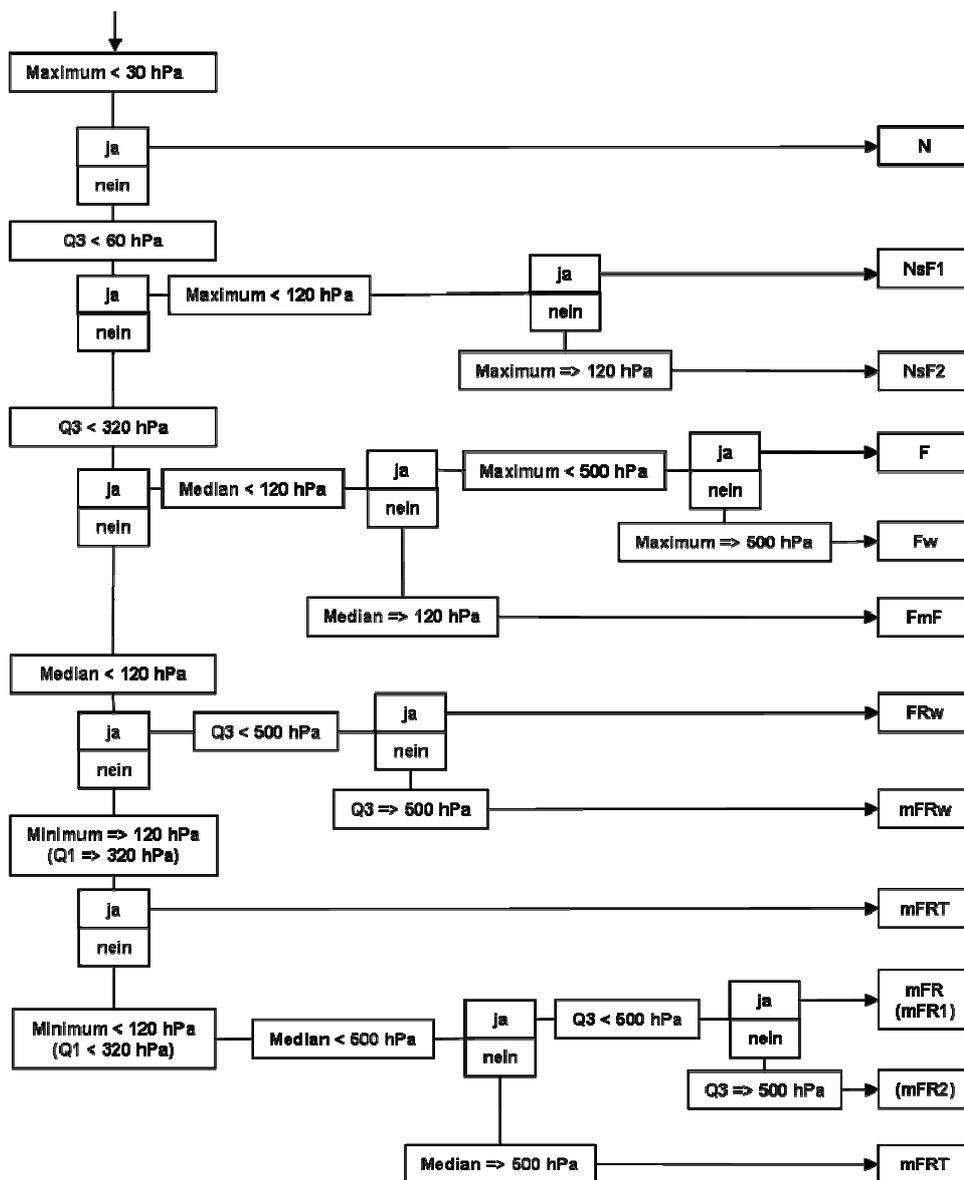


Abb. 2: Entscheidungsleiter zur Ermittlung der Feuchteverteilungsklassen auf Grundlage von Wasserspannungen (Zepp 1995) (Erläuterungen der Abkürzungen siehe Tabelle 3).

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Bodenverbreitung und Pedohydrologie

Insgesamt können 13 verschiedene Bodentypen für das Untersuchungsgebiet ausgewiesen werden (Abb. 3). Innerhalb der terrestrischen Böden nimmt die Klasse der Braunerden 69 % der Flächen ein, während die Stauwasserböden mit 19 % Anteil die am zweithäufigsten verbreiteten Böden darstellen. Sehr geringe Flächenanteile

weisen die Semiterrestrischen Böden mit 4 % und die Moore mit 1 % auf.

Die pedohydrologischen Eigenschaften der Lockersyrosem und Ranker sind sehr ähnlich. Beide weisen eine sehr geringe Wasserkapazität auf, wodurch das infiltrierte Niederschlagswasser sehr rasch in den tieferen Untergrund versickern kann. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) ist mit 28 mm (Lockersyrosem) und 63 mm (Ranker) im Vergleich zu den anderen Böden im Einzugsgebiet

gering. Während die Lockersyroseme ausschließlich auf anthropogenen Aufschüttungen im

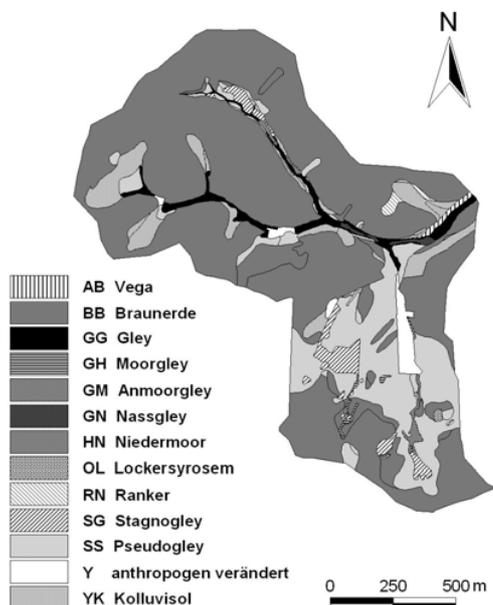


Abb. 3: Böden im Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“ (Köchling 2003).

Umfeld stillgelegter Erzstollen im südlichen Einzugsgebiet zu finden sind, treten die Ranker vereinzelt an Hangschultern und -rücken auf (Abb. 3).

Bei den Braunerden kann aufgrund des unterschiedlichen Ausgangssubstrates zwischen der Braunerde aus devonischen Tonschiefern, der Braunerde aus Sandsteinen und der Braunerde aus periglazialen Deckschichten differenziert werden. Letztere ist sehr weit verbreitet und nimmt etwa 60 % der Fläche des Einzugsgebietes ein. Periglaziale Deckschichten lassen sich generell – beginnend im Hangenden – in die Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislage gliedern (AG Boden 1994, Völkel et al. 2002, Scholten 2003). Während die locker gelagerte Hauptlage problemlos stärkere Niederschläge aufnehmen kann, folgt mit der Basislage eine Schicht, die sich durch eine geringere Wasserleitfähigkeit sowie in Richtung des Hanggefälles eingeregeltetes Skelett charakterisiert und somit das vertikal gerichtete Sickerwasser bei ausreichender Hangneigung ganz oder teilweise lateral ablenken kann (Semmel 1994, Körner 1996, Kleber & Schellenberger 1999, Sauer et al. 2001, Chiffard et al. 2008). Braunerden aus periglazialen Deckschichten weisen im Untersuchungsgebiet eine nFKWe von 64 mm bis 249 mm auf. Die Braunerden aus devonischen Tonschiefern und aus Sandsteinen nehmen innerhalb des Einzugsgebietes nur einen

Flächenanteil von etwa 8 % ein. Im Gegensatz zu den Braunerden aus periglazialen Deckschichten sind sie meist flachgründiger und besitzen eine nFKWe von 137 mm. Das Sickerwasser kann ungehindert in den Untergrund versickern.

Stauwasserböden (Stagnogleye und Pseudogleye) treten vor allem im südlichen Untersuchungsgebiet, in Hangmulden und an Unterhängen auf. Die Einteilung in Stauzone und Staukörper entspricht weitgehend dem Schichtaufbau der periglazialen Deckschichten, wobei die Hauptlage den Stauwasserleiter bildet und die stärker verdichtete Basislage als Staukörper fungiert. Durch die meist geringe Tiefenlage der Staukörper (im Durchschnitt ab 40 cm Tiefe), die den effektiven Wurzelraum begrenzen, ist bei den Pseudogleyen die durchschnittliche nFKWe mit 99 mm gering.

An Unterhängen und in Hangmulden finden sich vor allem Kolluvisole. Deren nFKWe-Werte sind mit durchschnittlich 220 mm als hoch einzustufen, was auf ihre Tiefgründigkeit und die meist lockere Lagerung zurückzuführen ist. Für Sickerwasser stellen die M-Horizonte mit ihren guten Infiltrationseigenschaften (kf-Wert: 30 – 38 cm/d) kein Hindernis dar.

In der Aue des Brachtpetals sind Gleye weit verbreitet. Da die Gründigkeit und der effektive Wurzelraum durch die reduktiven Gr-Horizonte nach unten begrenzt werden, schwankt die nFKWe in einem sehr weiten Bereich von 42 – 223 mm. Die Anmoorgleye sind im Untersuchungsgebiet sehr flachgründig und haben mit durchschnittlich 54 mm eine geringe nFKWe. Am Nordhang der Silberkuhle sind in Quellmulden und Hangsenken kleinflächig Niedermoore und Niedermoorgleye verbreitet. Die nFKWe liegt bei 175 mm bzw. 122 mm. In dem breiten Talgrund der Brachtpe im östlichen Untersuchungsgebiet finden sich Gley-Vegen aus tonig-schluffigen Auensedimenten mit einer nFKWe zwischen 123 mm und 247 mm.

## 4.2 Ableitung von Bodenfeuchteregime-Typen

Ein wesentlicher Schritt für eine bodenhydrologische Raumgliederung besteht darin, aus den dargestellten Bodeninformationen Aussagen zum allgemeinen Standortwasserhaushalt und dem Bodenwasser zu erlangen. Das Bodenfeuchteregime wird von der Verteilung und Menge der Niederschläge, der Durchlässigkeit und dem Speichervermögen des Bodens sowie vom Hang- und Grundwasser gesteuert (Zepp 1991). Die

Bodenfeuchteregime-Typisierung setzt sich dabei aus dem Bodenfeuchteregime-Grundtyp und dem Quantitativen Feuchteregime zusammen.

### Bodenfeuchteregime-Grundtyp

Im Untersuchungsgebiet lassen sich sechs Bodenfeuchteregime-Grundtypen ausweisen, dessen Beziehungen zu den Bodentypen im Folgenden genauer erläutert werden (Abb. 4).

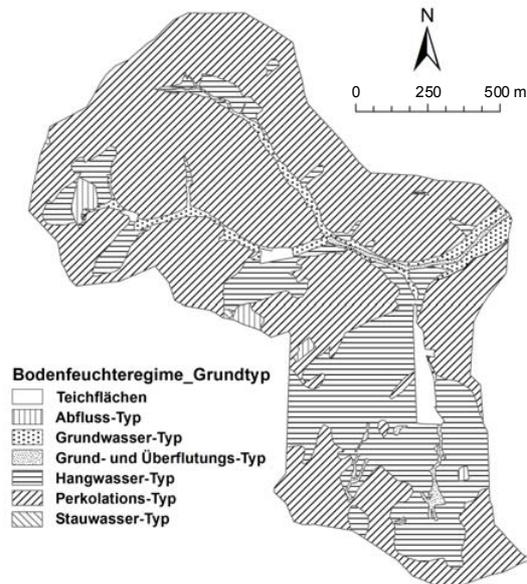


Abb. 4: Bodenfeuchteregime-Grundtyp im Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“.

Ist der Wurzelraum weder durch Grundwasser noch durch zeitweiliges Stauwasser beeinflusst, liegt der Perkolations-Typ vor, dessen Standorte durch eine ungehinderte Versickerung des Wassers in den Tiefenbereich gekennzeichnet sind (Zepp 1999). Dieser Typ ist großflächig im Untersuchungsgebiet verbreitet und umfasst die Bodentypen Rohböden (Ranker), Kolluvisole und die Braunerden. Wird das Wachstum der Pflanzen und der Stoffhaushalt an einem Standort nachhaltig durch Grundwasser geprägt, ist der Bodenfeuchteregime-Grundtyp der Grundwasser-Typ, der die Bodentypen Gley und Gley-Vega umfasst. Kommt es wie bei den Nass-, Anmoorgleyen im Nahbereich des Gewässers zu Überflutungen, wird vom kombinierten Grund- und Überflutungstyp gesprochen. Der Hangwasser- bzw. Stauwasser-Typ ist dadurch gekennzeichnet, dass der Wurzelraum der Standorte zeitweiliger Stauvernässung (Hangvernässung) mit Sauerstoffmangel unterliegt. Beim Hangwasser-Typ kommt es infolge der Hanglage (Hangneigung  $> 2^\circ$ ) zu

einem temporär lateralen, ökologisch bedeutsamen Wasserzug im Wurzelraum. Aufgrund des Reliefs des Untersuchungsgebietes (großer Anteil an Hangneigungen über  $2^\circ$ ) ist der Stauwasser-Typ nur als Einzelstandort verbreitet, wogegen der Hangwasser-Typ in großen Bereichen im südlichen Untersuchungsgebiet auftritt und Pseudogleye sowie Stagnogleye aus periglazialen Deckschichten umfasst. Fließt auftretendes Niederschlagswasser ohne größere Verzögerung oberflächlich ab oder versickert ohne Zeitverzug in größere Tiefen, handelt es sich um den Abfluss-Typ, dessen Hydrodynamik an versiegelte Flächen im Siedlungsbereich oder feinmaterialfreies Substrat (Aufschüttungen) wie Lockersyrose gebunden ist.

### Quantitative Feuchteregime

Mit dem Quantitativen Feuchteregime wird die wechselnde Bodenfeuchte während der Vegetationsperiode (April bis Oktober) näher charakterisiert und über Daten aus Saugspannungsmessungen an den Stationen am Messhang „Husten“ (Abb. 1) mittels einer Entscheidungsleiter (Abb. 2) vorgenommen. Die Messstationen umfassen Perkolations-Typen in unterschiedlicher Hangposition (Stationen Oberhang, und Rinne), den Hangwasser-Typ (Station Hangfuss) und den Grundwasser-Typ bzw. Überflutungstyp mit einem Grundwasserflurabstand von 0-4 dm (Station Aue). Aufgrund der Einbautiefe der Tensiometer in 20 cm und 80 cm Tiefe, wurden diese Tiefenbereiche zur Ableitung des Quantitativen Feuchteregimes verwendet und nicht wie methodisch erforderlich in 30 cm und 90 cm (vgl. Kap. 3.3). Das Klassifizierungssystem sollte – aufgrund der Reglerfunktion des Reliefs – nicht ohne Anpassungen für einen Mittelgebirgsraum angewendet werden. Deshalb wurden die Werte der Schätztabellen je nach Nutzungsart und Reliefsituation modifiziert. Unterhangbereiche wurden z. B. feuchter als ebene Standorte eingestuft, Wälder trockener als Grünlandstandorte.

Die Verteilung der quantitativen Feuchteregime im Untersuchungsgebiet wird in Abbildung 5 dargestellt, wobei die Bodenfeuchteregime im Ober- und Unterboden zur besseren Darstellung in Kategorien zusammengefasst wurden.

Alle Feuchteregime zeigen einen Tiefenverlauf, bei dem die Feuchte mit der Tiefe zunimmt. Während die Oberböden bei häufig wechselnden Wasserspannungen überwiegend feucht und frisch sind, besitzen die Unterböden ausgeglichene Feuchteregime und umfassen die drei

Kategorien: nass, feucht sowie mäßig feucht. Nasse Oberböden finden sich im Bereich der Tiefenlinien mit hoch anstehendem Grundwasser, an Standorten mit Stagnogleyen oder in vermoorten Rinnen. Als weitere Ursachen für die feuchten Regime sind, neben der hohen positiven klimatischen Wasserbilanz und den Reliefpositionen, die tonig-schluffigen Bodenarten zu nennen, die arm an weiten Grobporen im Wurzelraum sind. Innerhalb der grundwasserbeeinflussten Standorte bestimmen die Grundwasserflurabstände entscheidend das Feuchteregime. So herrschen bei geringen Flurabständen (0-4 dm) nasse bis sehr feuchte (NsF) Regime im Oberboden vor, der Unterboden ist wassergesättigt. Dagegen haben Grundwasserflurabstände zwischen 8-13 dm wechselfeuchte Ober- und nass bis sehr feuchte Unterböden (Fw/NsF1). Bei noch tieferen Grundwasserflurabständen (13-20 dm) herrscht ein homogenes feuchtes Regime (F/F) vor.

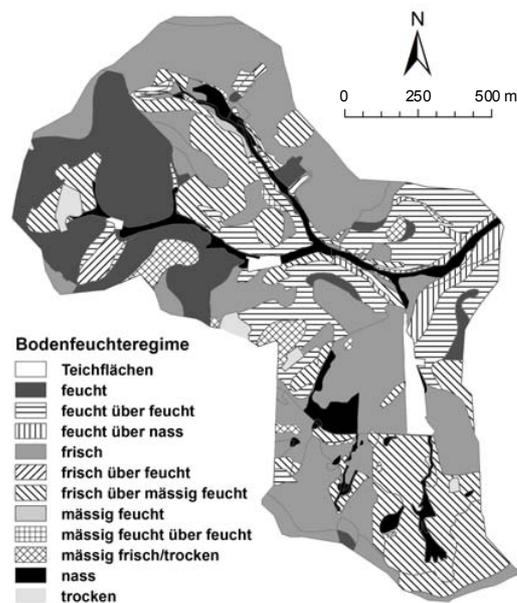


Abb. 5: Bodenfeuchteregime im Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“.

Die ausgeglichenen Regime bei einem Großteil der Perkolations-Typen (feucht/feucht) können mit einer relativ ungestörten Porenkontinuität im effektiven Wurzelraum erklärt werden (Zepp 1995). Unterschiede bestehen zwischen Grünland-Standorten (z.B. Station Oberhang) und Wald-Standorten, da letztere aufgrund höherer Transpiration trockener als Grünlandstandorte eingestuft werden und aus einem wechselfrischen Oberboden und einem feucht bis mäßig feuchtem Unterboden (FRw/FmF) bestehen. In Abhängig-

keit vom Relief werden Perkolationsstypen in Hangfußlagen und Hangrinnen sowohl bei Wald- als auch bei Grünlandnutzung feuchter als flachgründigere Oberhanglagen eingestuft (feuchter bis mäßig feuchter bzw. wechselfeuchter Oberboden und ein feuchter bis nasser (Grünland) Unterboden).

Bei den flachgründigen Rankern mit ihrem sehr geringen Wasserspeichervermögen, den versiegelten Siedlungsflächen, bei denen nur geringe Wasseranteile in Rissen und Fugen versickern können, und den Lockersyrosem (beide Abfluss-Typ) treten trockene Regime auf.

Die Feuchteregime der stauwasserbeeinflussten Böden (Hangwasser- bzw. Stauwasser-Typ) mit Pseudogleye und Stagnogleye haben einen deutlich ausgeprägten Wechsel zwischen Nass- und Trockenphasen sowie einen starken Feuchteunterschied zwischen Ober- und Unterboden (Zepp 1995). Da für diesen Bodenfeuchteregime-Grundtyp für Grünland- und Wald-Nutzungen keine Schätztabelle vorliegen, werden anhand von Plausibilitätsüberlegungen die Ergebnisse der Schätztabelle für Acker-Nutzung modifiziert. Als Ausgangswert werden Stauwasserböden ohne bindigen Sd-Horizont und mit einem Stauwasserleiter von > 70 cm mit einem mäßig frischen Oberboden und einem feucht bis mäßig feuchten Unterboden (mFR/FmF) eingestuft. Die spezifischen Anpassungen gehen davon aus, dass je geringmächtiger der Stauwasserleiter ist, desto größer ist der Wechsel zwischen Austrocknung und Vernässung, da mit abnehmender Mächtigkeit das hydrologische Puffervermögen der Standorte eingeschränkt wird (Zepp 1995, Scheffer & Schachtschabel 2002). Daher wird bei einem Stauwasserleiter bzw. effektiven Wurzelraum von 35 cm bis 70 cm im Oberboden ein wechselndes, mäßig frisches Feuchteregime (mFRw) angenommen. Bei flachgründigen Böden herrschen dagegen überwiegend mäßig frische und trockene Regime (mFRTw) im Oberboden vor. Bindige Sd-Horizonte im Liegenden dagegen führen zu feuchteren Regimen, so dass der Oberboden wechselfeucht und der Unterboden feucht (Fw/F) ausgeprägt ist (Zepp 1995). Der Einfluss des Reliefs auf den Wasserhaushalt und die Bodenfeuchte wird ebenfalls durch Korrekturen berücksichtigt. Bei ebenen Lagen wird der Wasserabzug durch die schlechte Leitfähigkeit der Böden gehemmt (Scheffer & Schachtschabel 2002, Blume 1968), so dass die Oberböden als wechselfeucht (Fw) sowie wechselnd, mäßig frisch (mFRw) charakterisiert werden. In flachen Mulden und Rinnen werden die Feuchteregime

im Oberboden als wechsel-frisch oder wechsel-feucht bzw. wechselnd, mäßig frisch über feuchtem bzw. feucht bis mäßig feuchtem Unterboden (FRw/F, FRw, Fw/F und mFRw/FmF) eingestuft. Ebenfalls feuchter (Fw/F) eingestuft werden Standorte am Hangfuß oder an Unterhängen, bei denen es zu Zuzugswasser kommt, welches lateral über den Staukörper fließt (Blume 1968). Stagnogleye sind ganzjährig oberflächennah vernässte Böden mit nur kurzen Trockenphasen und einem nassen Feuchteregime (NsF) (vgl. Schweikle 1971).

#### 4.3 Bestimmung von Arealen dominanter Abflussbildungsprozessen

Anhand der Klassifikation der Bodenfeuchteregime-Typen kann der Versuch unternommen werden, flächendetaillierte Aussagen über dominante Abflussbildungsprozesse zu gewinnen. Die Art der Wasserflüsse (Grund-, Stau-, Hang-, Sickerwasser bzw. oberflächlich abfließendes Wasser) am Standort kann durch den Bodenfeuchteregime-Grundtyp direkt abgeleitet werden. Anhand dieser Informationen können durch Deduktion die vorherrschende Wasserbewegungsrichtung (lateral, vertikal), Reliefsituation (Tiefenbereich, Hangneigung) und Bodenaufbau (Bodenartenschichtung bzw. Staukörper) gefolgert werden (Burak 2005). Kombiniert man den Bodenfeuchteregime-Grundtyp mit dem Quantitativen Bodenfeuchteregime, so lassen sich auch Abschätzungen über mögliche Sättigungsflächenabflüsse treffen, da die charakterisierte Bodenfeuchte als Zustandsgröße für den Speicher Boden (hydrologischer Puffer) benutzt werden kann.

Für den Hangwasser-Typ muss eine Hangneigung von  $> 2^\circ$  mit einem dichten, wasserundurchlässigen Staukörper im Unterboden vorliegen, der zu lateralen Wasserflüssen führt. Daraus kann interpretiert werden, dass sich an der Grenze zum Staukörper die Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) stark verschlechtert und vermehrt der Abflussbildungsprozess Zwischenabfluss entsteht (Abb. 6). Stagnogleye haben als stark stauernässte Böden ein nasses Bodenfeuchteregime im Oberboden, so dass es an diesen Standorten neben Zwischenabfluss zu potenziellen Sättigungsflächen infolge von Wassersättigung des Oberbodens kommt.

Bei dem Grundwasser- und kombinierten Grundwasser- und Überflutungs-Typ steht das Grundwasser oberflächennah an, was für Tallagen und für die Hangrinnen am Nordhang der

Silberkuhle typisch ist. Als Wasserbewegungsrichtungen sind

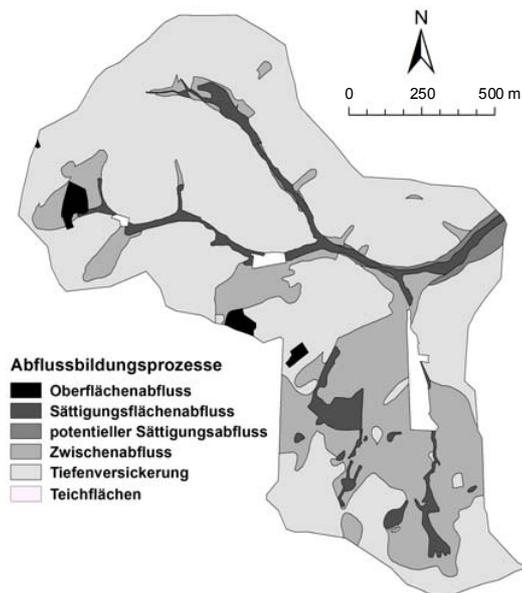


Abb. 6: Flächen dominanter Abflussbildungsprozesse im Einzugsgebiet „Obere Brachtpe“.

der kapillare Aufstieg von Grundwasser in den Wurzelraum und laterale Wasserflüsse innerhalb des Bodenprofils (v. a. Gr-Horizont, aber auch teilweise im Go-Horizont) zu nennen. Da das Quantitative Bodenfeuchteregime durch den hochstehenden Grundwasserspiegel als nass eingestuft wurde, sind solche Flächen Areale für Sättigungsflächenabfluss. Ebenso muss in den sich anschließenden feuchten Auenbereichen mit potenziellem Sättigungsflächenabfluss bzw. mit return flow gerechnet werden.

Für den Perkulations-Typ lässt sich feststellen, dass vertikale Wasserbewegungen überwiegen, die zu einer nahezu ungehinderten Wasserversickerung in den tieferen Untergrund führen. Tiefenversickerung kann als vorherrschender Abflussbildungsprozess identifiziert werden. In größeren Bodentiefen sind laterale Ablenkungen wahrscheinlich, die z. B. bei Braunerden aus periglazialen Deckschichten am Übergang zur Basislage auftreten können, da diese zu einer verlangsamten Versickerung des Bodenwassers führen (Koch 2000). Die Basislagen sind an diesen Standorten jedoch nicht derart dicht gelagert, dass sie zu lang anhaltendem Stauwasser und der Ausbildung hydromorpher Merkmale führen.

Beim Abfluss-Typ dominiert bei einer versiegelten Fläche (Nutzung: Siedlung) der Oberflächenabfluss, der ca. 75 % der Niederschläge

oberflächlich abführt (Wessolek & Facklam 1997). Bei den Aufschüttungen aus Sandsteinen an der Silberkuhle (Lockersyroseme) kann auf eine vertikale Bodenwasserrichtung, infolge von ungehinderter Tiefenversickerung geschlossen werden. Im Unterschied zum Perkolations-Typ kann beim Abfluss-Typ eine laterale bodeninnere Ablenkung des Bodenwassers weitgehend ausgeschlossen werden.

#### 4.4 Verifizierung der flächendetaillierten Ausweisung von Abflussbildungsprozessen

Die Frage, ob die ausgewiesenen Abflussprozessflächen auch die entsprechenden Abflussreaktionen und -beiträge während eines Niederschlagsereignisses zeigen, kann durch die von Didszun (2004) durchgeführten tracerhydrologischen Experimente im Untersuchungsgebiet verifiziert werden. Während eines Starkregenereignisses am 19. Juli 2001, das eine Niederschlagshöhe von 20,8 mm und eine maximale Intensität von 11,6 mm/10 min aufweist, wurden die Wasserstände der einzelnen Teileinzugsgebiete gemessen (Abb. 7), natürliche Tracer (Silikat) (Abb. 8) sowie das Sauerstoff-18-Isotop (Abb. 9) für eine Ganglinienseparation zeitlich hoch aufgelöst beprobt.

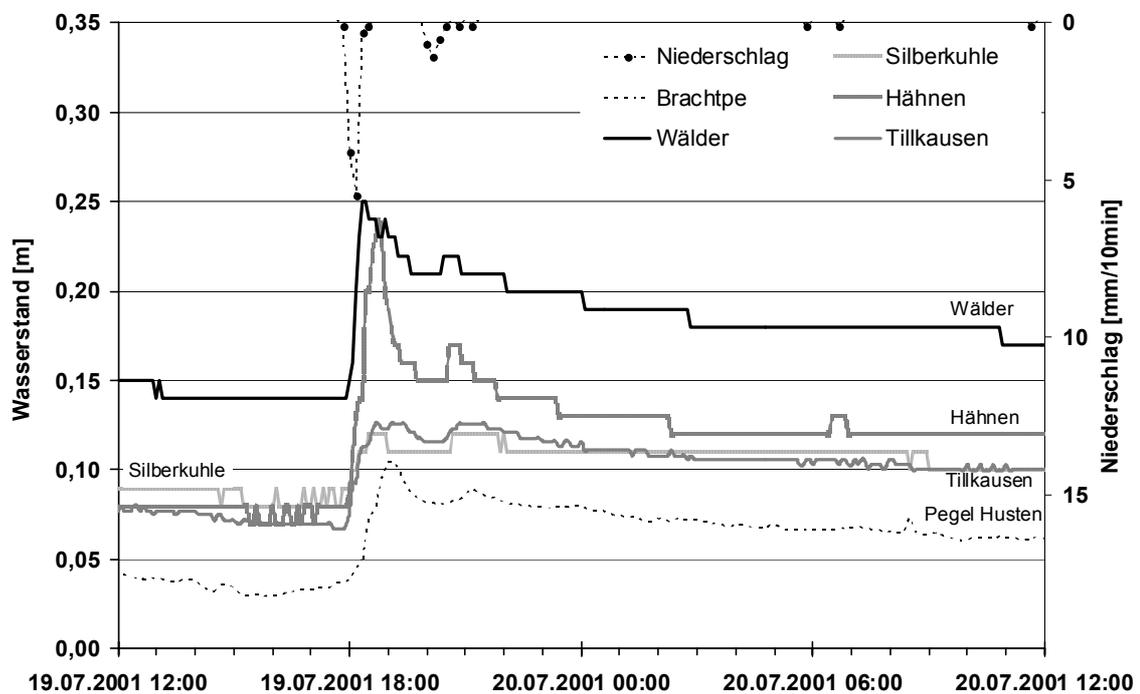


Abb. 7: Wasserstandsreaktionen und Niederschläge während des Starkregenereignisses am 19. Juli 2001 (Didszun 2004).

Der Vergleich der Wasserstände der einzelnen Teileinzugsgebiete zeigt, dass alle Gebiete innerhalb von 5 bis 10 Minuten reagieren, jedoch Unterschiede zwischen den Wasserstandsmaxima zu erkennen sind (Abb. 7). Zwar ist die Form der Ganglinien (z.B. Größe und Steilheit des Anstieges) aufgrund des nicht definierten Gerinnequerschnittes schwer zu interpretieren, dennoch lassen sich die Zeiten der Wasserstandsmaxima sowie der Verlauf der Ganglinien vergleichen. Im Gebiet Wälder wird der Peak

am frühesten erreicht, während er in den Gebieten Hähnen, Tillkausen und Silberkuhle etwa 15-25 min später eintritt. Die extrem schnelle Abflussreaktion im Gebiet Wälder ist darauf zurückzuführen, dass die schnell beitragenden Flächen zum einen sehr gerinnenah liegen und zum anderen die Konzentrationszeiten relativ kurz sind. Der rasche Rückgang des Oberflächenabflussanteiles (Abb. 8) bei gleichzeitig langsamen Rückgang des Wasserstandes (Abb. 7) dürfte auf eine verzögerte Nachlieferung

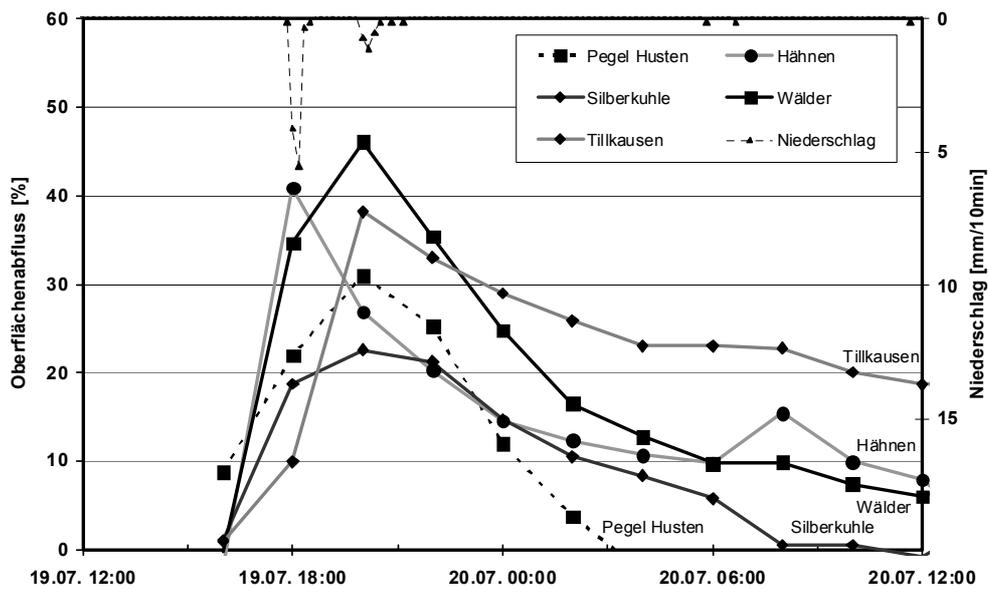


Abb. 8: Anteile des Oberflächenabflusses errechnet über Ganglinienseparation mit Silikat während des Starkregeneignisses im Juli 2001 (Didszun 2004).

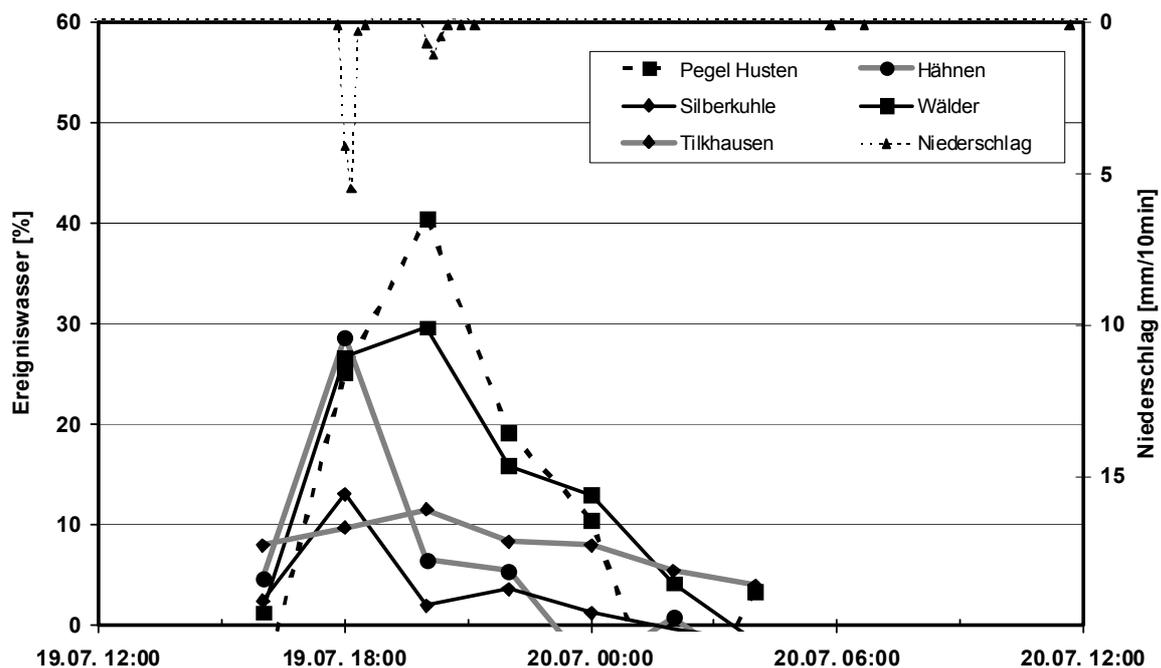


Abb. 9: Anteile des Ereigniswassers errechnet über den Verlauf des Sauerstoff-18-Isotopes während des Starkregeneignisses im Juli 2001 (für den Teilraum Tillkhausen ist keine plausible Separation möglich) (Didszun 2004).

von unterirdischem Wasser aus den Hangeinzugsgebieten (Prozessfläche: Zwischenabfluss) hindeuten. Gleichzeitig geht der Anteil an Ereigniswasser nach dem Wasserstandspeak langsamer zurück als in den anderen Gebieten, was darauf

hindeutet, dass die gerinnenahen Sättigungsflächen noch längere Zeit Ereigniswasser nachliefern (Abb. 9).

Im Teilgebiet Hähnen wird die Abflussreaktion dagegen einerseits durch die Fischteiche be-

einflusst, auch wenn dieser Einfluss schwer zu quantifizieren ist, andererseits liegen die potenziell beitragenden Flächen im Mittel weiter vom Gebietsauslass entfernt als z.B. im Teilgebiet Wälder, so dass die Konzentrationszeit vergrößert wird. Der rasche Rückgang des Wasserstandes deutet auf eine kurze Dauer der schnellen Oberflächenabflussanteile hin (Abb. 7 und 8). Gleichzeitig geht der Ereigniswasseranteil im Gebiet Hähnen nach dem Peak rasch zurück, was durch Abfluss aus Drainagen begünstigt werden kann (Abb. 9).

Im Gegensatz dazu stehen die Teilgebiete Silberkuhle und Tillkausen, deren Peaks deutlich flacher sind, was neben dem breiteren Gerinnequerschnitt (Abb. 7) auch auf den geringen Anteil an Oberflächenabfluss zurückzuführen ist. Bedeutsam ist aber vielmehr der Wasserstand nach dem Peak, der lange Zeit auf einem hohen Niveau verbleibt und auf einen verzögerten Beitrag an unterirdischem Abfluss hinweist. Dies wird durch den raschen Rückgang des Ereigniswasseranteils bestätigt (Abb. 9). Obwohl der Flächenanteil an beitragenden Prozessflächen (Sättigungsabfluss, Zwischenabfluss aus Stauwasserböden) im Gegensatz zu den anderen Teilgebieten sehr hoch ist, bleibt der Anteil an Oberflächenabfluss und Ereigniswasser eher gering. Dies ist auf die größere Entfernung dieser Flächen zum Vorfluter zurückzuführen und auf den Umstand, dass sie nur über ein stark verästeltes, z. T. anthropogen überprägtes Gerinnenetz angeschlossen sind. Zudem sind die durchschnittlichen Hangneigungen geringer als z. B. im Teilgebiet Wälder, so dass indirekt von geringeren Fließgeschwindigkeiten des ober- und unterirdischen Abflusses ausgegangen werden kann.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Erfassung der räumlichen Verbreitung der Böden im Untersuchungsgebiet „Obere Brachtpe“ zeigt, dass im südlichen Teil (Nordhang der Silberkuhle) ein vielfältiges Bodenmosaik mit einem hohen Anteil an Stauwasserböden erkennbar ist, während im übrigen Gebiet Braunerden große Flächen einnehmen. Auffällig ist, dass die Verbreitung der Stauwasserböden mit dem Vorhandensein einer dichten Fließerde im Untergrund korreliert. Auf 64 % der Flächen, die in der Geologischen Karte als „dichte Fließerde“ ausgewiesen werden, stehen Stauwasserböden an. Dies lässt den Schluss zu, dass eine Abhängigkeit einzelner Bodenhorizonte von bestimmten geolo-

gischen Schichten bestehen muss (Koch 2000). Der Einfluss des Reliefs auf die Pedogenese macht sich ebenfalls bemerkbar. In Hangrinnen kommt es vermehrt zur Konzentration von Zwischenabfluss, so dass dort die Braunerden z. T. pseudovergleyt sind.

Die Anwendung der Klassifizierungsmethode von Zepp (1995) hat gezeigt, dass es möglich ist, aus flächenhaft kartierbaren Bodendaten eine Regionalisierung der Bodenfeuchteregime-Typen durchzuführen. Durch den Einsatz von Geographischen Informationssystemen und Digitalen Geländemodellen können Reliefeinflüsse auf die Bodenfeuchte bei der Klassifizierung des Feuchteregimes berücksichtigt werden. Schwierigkeiten ergeben sich bei der Einstufung der Feuchteregime von Pseudogleyen. Zum einen fehlen Schätzrahmen für Grünland-Standorte, so dass bei diesen Stauwasserböden die Angaben von Ackerstandorten angepasst werden müssen, zum anderen sind die Pseudogleye Böden mit stark schwankenden Bodenfeuchtezuständen.

Darüber hinaus kann die Klassifikation der Bodenfeuchteregime-Typen nach Zepp (1995) als Grundlageninformation über den Einfluss der Bodeneigenschaften auf Abflussbildungsprozesse verwendet werden und für eine pedologisch basierte hydrologische Raumgliederung wichtige Vorinformationen liefern. In Verbindung mit den tracerhydrologischen Untersuchungen ist es möglich, die Abflussreaktionen der auf Basis der pedohydrologischen Eigenschaften ausgewiesenen Prozessflächen zu verifizieren. Dabei wird deutlich, dass neben den Bodeneigenschaften insbesondere die Lage der schnell reagierenden Flächen (Sättigungsflächen) innerhalb des Einzugsgebietes und deren Konnektivität mit dem Vorfluter entscheidend für den Beitrag schneller Abflusskomponenten sind. Besteht eine direkte Verbindung zwischen Sättigungsflächen und Vorfluter, so ist eine schnelle Abflussreaktion und ein hoher Anteil an Ereigniswasser zu erwarten.

Mit der Ausweisung von Abflussprozessflächen kann nicht nur qualitativ beurteilt werden, wie stark die Flächen eines Einzugsgebiets zum Hochwasser beitragen (Scherrer 2007), sondern es kann auch die Komplexität der flächendetailierten Abflussmodelle reduziert werden. Dies haben Kirnbauer et al. (2009) erfolgreich im alpinen Löhnersbacheinzugsgebiet umgesetzt, indem sie auf der Basis einer prozessorientierten Raumgliederung, in die insbesondere der Untergrund als Gliederungsmerkmal einging, ein Abflussmodell entwickelt haben. Dieses differen-

ziert im Wesentlichen zwischen schnellen und langsamen Prozessen, wobei erstere physikalisch und rasterbasiert modelliert wurden, während für die langsamen Prozessen einfache konzeptionelle Speicherroutinen genutzt wurden. Ein weiterer Vorteil von Abflussprozesskarten ist zudem, dass anhand dieser die räumliche Verteilung der flächendetailliert simulierten Abflusskomponenten verifiziert werden kann.

Eine ähnliche Methode, aus bodenhydrologischen Daten und Bodenkarten bodenbedingte Abflusscharakteristika abzuleiten, verfolgt Ott mit dem HYDBOS-Modelltypen (Ott 1999). Das Modell basiert darauf, hydrologisch ähnliche Boden-Strukturmodelltypen (HYDBOS-Typen) zu definieren, die als Konzeptmodelle die verschiedenen Komponenten der Wasserbewegung im Boden und im Untergrund pauschal beschreiben (Ott 1999). Bei dieser Methode handelt es sich um den Versuch, die in Großbritannien erarbeitete „Hydrology of soil types“ (Host) – Klassifizierung auf deutsche Verhältnisse zu übertragen (Boorman et al. 1995). Im Vergleich dazu birgt die Klassifikation der Bodenfeuchteregime-Typen nach Zepp (1995) den Vorteil, dass die Bodenfeuchteregime quantitativ belegt werden können, da bereits ein Regelwerk zur Verknüpfung qualitativer Ableitung und statistischer Auswertungen vorhanden ist. Dies ist insbesondere für eine Beschreibung von Zustandsgrößen im Hinblick auf die zeitliche Variabilität von Abflussbildungsprozessen in Abhängigkeit der Bodenvorfeuchte von besonderer Bedeutung. So kann über das quantitative Bodenfeuchteregime eine Tendenz angegeben werden, ob einzelne Raumeinheiten als eher feucht oder trocken einzustufen sind. Eine Anpassung des Klassifikationskonzeptes an Mittelgebirgsregionen hinsichtlich der Ableitung von Abflussbildungsprozessen innerhalb des Prozesses Tiefenversickerung ist anzustreben, da insbesondere bei den Braunerden aus periglazialen Deckschichten der laterale Zwischenabfluss von Bedeutung sein kann, auch wenn keine eindeutigen hydromorphen Merkmale im Bodenprofil erkennbar sind. Eine Differenzierung dieser Areale könnte anhand der Abhängigkeit von mittlerer Deckschichtenmächtigkeit und Hangneigung erfolgen, wie es von Tilch et al. (2002) für die Ausweisung von Hydrotopen in dem von periglazialen Deckschichten geprägten Brugga-Einzugsgebiet (Südschwarzwald) eingesetzt wird. Je nach Hangneigung und Lage im Hang (z. B. Unter- oder Oberhang) variieren die Mächtigkeiten der einzelnen Lagen. In Zusammenhang mit Informationen zum Ausgangsge-

stein können Aussagen zur dominanten Richtung des infiltrierten Niederschlages gemacht werden und somit spezifischer zwischen Arealen mit Tiefenversickerung und Zwischenabfluss differenziert werden.

## 6. Literatur

- AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 392 S.
- Becker, A. & Pfützner, B. (1987): System approach and subroutines for river basin modelling. – *Acta Hydrophys.*, 31 (3/4).
- Blume, H. P. (1968): Stauwasserböden. – *Arbeiten der Universität Hohenheim*, 42: 242 S.
- Boorman, D.B., Hollis, J. M. & Lilly, A. (1995): Hydrology of soil types: a hydrologically-based classification of the soils of United Kingdom. – UK Institute of Hydrology, Report No. 126: 137 S.
- Burak, A. (2005): Eine prozessorientierte landschaftsökologische Gliederung Deutschlands. – *Forschungen zur deutschen Landeskunde*, 254: 249 S. und Karte.
- Burak, A. (1988): Landschaftsökologische Kartierung und Bewertung des biotischen Ertragspotentials auf dem Gutshof „Hungerburg“, Bitburg. – Unveröff. Diplomarbeit, Geographisches Institut der Ruhr-Universität Bochum.
- Castillo, V. M., Gómez-Plaza, A. & Martínez-Mena, M. (2003): The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. – *Journal of Hydrology*, 284: 114-130.
- Chiffard, P. (2006): Der Einfluss des Reliefs, der Hangsedimente und der Bodenvorfeuchte auf die Abflussbildung im Mittelgebirge. Experimentelle Prozess-Studien im Sauerland. – *Bochumer Geographische Arbeiten*, 76: 162 S.
- Chiffard, P., Didszun, J. & Zepp, H. (2008): Skalenübergreifende Prozess-Studien zur Abflussbildung in Gebieten mit periglazialen Deckschichten (Sauerland, Deutschland). – *Grundwasser*, 13 (1): 27-41, doi: 10.1007/s00767-007-0058-1.
- Deutscher Wetterdienst (2004): Langjährige Klimadaten der Stationen Reichshof-Eckenhagen, Bergneustadt-Hüngrighausen und Attendorn-Listertalsperre; Offenbach
- Deutsches Institut für Normung e.V. (1973): DIN 19683 Blatt 2. Physikalische Laboruntersuchungen: Bestimmung der Korngröße nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat. – 1 S.
- Didszun, J. (2004): Experimentelle Untersuchungen zur Skalenabhängigkeit der Abflussbildung. – *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, 19: 221 S.
- Flügel, W.-A. (1996): Hydrological Response Units (HRU's) as modelling entities for hydrological river basin simulation and their methodological potential for modelling complex environmental proc-

- ess systems – Results from the Sieg catchment. – *Die Erde*, 127: 43-62.
- Grabert, H. & Hilden, H. D. (1972): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25000. Blatt 5012 Eckenhagen mit Erläuterungen. – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld.
- Gutknecht, D. (1996): Abflussentstehung an Hängen – Beobachtungen und Konzeptionen. – *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 48 (5/6): 134-144.
- Kirnbauer, R., Haas, P., Chiffard, P., Tilch, N., Zillgens, B., Johst, M. & Steidl, R. (2009): Hochwasserentstehung in der nördlichen Grauwackenzone. Beobachtung – Messung – Modellierung. – *Wiener Mitteilungen*, 213: 232 S.
- Kleber, A. & Schellenberger, A. (1999): Hydrogeologische Verhältnisse eines Quelleinzugsgebietes im Frankenwald. – In: *Beierkuhnlein, C. & Gollan, T. (Hrsg.): Ökologie silikatischer Waldquellen in Mitteleuropa. – Bayreuther Forum Ökologie*, 71:17-25.
- Koch, U. (2000): Bodenkarte zur Standorterkundung im Erfassungsmaßstab 1:5000 mit Erläuterungen. – Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld
- Köchling, M. (2003): Bodenhydrologische Kartierung und Aufbau eines bodenhydrologischen Informationssystems für das Forschungsgebiet Obere Brachtpe (Sauerland), Band 1: Text und Band 2: Karten. – 118 S., Diplomarbeit am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (unveröffl.)
- Körner, J. (1996): Abflussbildung, Interflow und Stoffbilanz im Schönbuch Waldgebiet.- *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe C, Band 27.- 211 S. u. Anhang*
- Markart, G., Kohl, B., Sotier, B., Schauer, T., Bunza, G. & Stern, R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflusses auf alpinen Boden-Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen, Version 1.0. – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Dokumentation, 3: 89 S.
- Neef, E., Schmidt, G. & Lauckner, M. (1961): Landschaftsökologische Untersuchungen an verschiedenen Physiotopten in Nordwestsachsen. – *Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Math.-Nat. Klasse*, 47 (1): 112 S.
- Naef, F., Margreth, M., Schmocker-Fackel, P. & Scherrer, S. (2007): Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten - ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. – *Wasser, Energie, Luft*, 99 (3): 267-272.
- Ott, M. (1999): Die Umsetzung digitaler Bodenkartierungen in einem Niederschlag-Abfluss-Modell für das Südliche Donaugebiet Bayerns. – In: *Koehler, G. (Hrsg.): Bemessungsabflüsse für kleine Einzugsgebiete. – Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Uni Kaiserslautern, Berichte*, 9 :179-192.
- Peschke, G. (2001): Bodenwasserhaushalt und Abflussbildung. – *Geographische Rundschau*, 5: 18-23.
- Peschke, G., Etzenberg, C., Müller, G., Töpfer, J. & Zimmermann, S. (1998): Das wissenschaftsbasierte System FLAB - ein Instrument zur rechnergestützten Bestimmung von Landschaftseinheiten mit gleicher Abflussbildung. – *Schriftenreihe des Internationalen Hochschulinstitutes Zittau*, 10: 122 S.
- Ruhrverband Essen (2005): Abflusskennwerte Pegel Husten. – Unveröffl. Mitteilung.
- Sauer, D., Scholten, T. & Felix-Henningsen, P. (2001): Verbreitung und Eigenschaften periglaziärer Lagen im östlichen Westerwald in Anhängigkeit von Gestein, Exposition und Relief. – *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 96/II: 661-552.
- Scheffer, F. & Schachtschabel, P. (200215): *Lehrbuch der Bodenkunde. – 593 S.*
- Scherrer, S. (2007): Hochwasserabschätzung als Synthese von Statistik, Historie und Abflussprozessen. – *Wiener Mitteilungen*, 206:195-208.
- Scherrer, S. & Naef, F. (2003): A decision scheme to indicate dominant flow processes on temperate grassland. – *Hydrological Processes*, 17: 391-401.
- Scherrer, S., Naef, F., Faeh, A. O. & Cordery, I. (2006): Formation of runoff at the hill-slope scale during intense precipitation. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (2): 907-922.
- Schlichting, E., Blume, H.-P. & Stahr, K. (1995): *Bodenkundliches Praktikum. – 295 S.*
- Schmocker-Fackel, P., Naef, F. & Scherrer, S. (2006): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. – *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (2): 891-906.
- Scholten, T. (2003): Beitrag zur flächendeckenden Ableitung der Verbreitungssystematik und Eigenschaften periglaziärer Lagen in deutschen Mittelgebirgen. – *Relief, Boden, Paläoklima*, 19: 149 S.
- Schweikle, V. (1971): Die Stellung der Stagnogleye in der Bodengesellschaft der Schwarzwaldhochfläche. – *Diss. FB Agrarbiologie, Uni Hohenheim.*
- Semmel, A. (1994): Zur umweltgeologischen Bedeutung von Hangsedimenten in deutschen Mittelgebirgen. – *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*, 145: 225-232.
- Thimm, A. & Zepp, H. (2005): GIS-Modellierung prozessbasierter landschaftsökologischer Raumeinheiten. – In: *Strobl, J., Blaschke, T. & Griesebner, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik, 2005, Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg: 730-735.*
- Tilch, N., Uhlenbrook, S. & Leibundgut, C. (2002): Regionalisierungsverfahren zur Ausweisung von Hydrotopen in von periglazialen Hangschutt geprägten Gebieten. – *Grundwasser*, 4: 206-216.
- Tilch, N., Zillgens, B., Uhlenbrook, S., Leibundgut, C., Kirnbauer, R. & Merz, B. (2006): GIS-gestützte Ausweisung von hydrologischen Umsatzräumen und Prozessen im Löhnersbach-Einzugsgebiet

- (Nördliche Grauwackenzone, Salzburger Land). – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 58 (9-10): 141-151.
- Uhlenbrook, S. (1999): Untersuchung und Modellierung der Abflußbildung in einem mesoskaligen Einzugsgebiet. – Freiburger Schriften zur Hydrologie, 10: 201 S.
- Völkel, J., Zepp, H., Kleber, A. (2002): Periglaziale Deckschichten in Mittelgebirgen – ein offenes Forschungsfeld. – Berichte zur deutschen Landeskunde, 76 (2/3): 101–114.
- Wessolek, G. & Fackllam, M. (1997): Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen. – Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 160 (1):41-46.
- Zehe, E., Becker, R., Bárdossy, A. & Plate, E. (2005): Uncertainty of simulated catchment runoff response in the presence of threshold processes: Role of initial soil moisture and precipitation. – Journal of Hydrology, 315: 183-202.
- Zepp, H. (1991): Eine quantitative, landschaftsökologisch begründete Klassifikation von Bodenfeuchteregime-Typen für Mitteleuropa. – Erdkunde, 45: 1-17.
- Zepp, H. (1995): Klassifikation und Regionalisierung von Bodenfeuchteregime-Typen. – Relief, Boden, Paläoklima, 9: 224 S.
- Zepp, H. (1999): Bodenwasser und Grundwasser. – In: Zepp, H. & Müller, M. J. (Hrsg.): Landschaftsökologische Erfassungsstandards. Ein Methodenbuch. – Forschungen zur deutschen Landeskunde, 244: 129-163.
- Zepp, H. & Herget, J. (2001): Bodenwasser – Grundlagen, Einflussfaktoren und geoökologische Bezüge. – Geographische Rundschau, 53 (5): 10-17.