

# Entwicklung einer bodenhydrologischen Datenbank auf Basis des Flächentypenkonzeptes und Anwendung für die Abflussberechnung in Nordostdeutschen Einzugsgebieten

U. SCHINDLER, J. THIÈRE, J. STEIDL und L. MÜLLER

## Zusammenfassung

Für die Beurteilung und den Vergleich heterogener Bodenflächen wurde eine Aggregation der Flächeninhalte nach dem Flächentypenkonzept vorgenommen. Für ausgewählte Substrattypen der vorkommenden Bodenformen wurden typische Bodenartenabfolgen für pleistozäne Sedimente, Auensedimente, organogene Sedimente, Löss und Verwitterungsmaterial aus Festgestein, in vier Tiefenbereichen 0-3, 3-6, 6-10 und 10-15 dm festgelegt. Zur Kennzeichnung der prozentualen Verteilung der Substrattypen in ihrer natürlichen Vergesellschaftung wurden insgesamt 99 Substratflächentypen gebildet. Für Substrate der geologischen Herkunft wurden Wasserretentions- und hydraulische Leitfähigkeitsfunktionen angegeben. Auf deren Basis wurden für Substrattypen, Substratflächentypen und Standortregionaltypen der Bundesländer Brandenburg, Sachsen, Mecklenburg Vorpommern, Sachsen Anhalt und Thüringen die bodenhydrologischen Kennwerte, FK, nFK, nFKWe und PWP abgeleitet. Dabei wurde zwischen an-, halb- und vollhydromorphen Bedingungen unterschieden. Die Bodendaten wurden angewendet für eine Abflussberechnung mit dem Modell ABIMO in den Einzugsgebieten der Ucker, Peene Zarow und Poetterbeck.

## Summary

An aggregation of site properties was carried out for the evaluation and the comparison of heterogeneous areal soil data based on a site-specific concept. Typical soil sequences for pleistocene, alluvial, organic, aeolian sediments as well as weathering soils were determi-

ned for substrate types of the existing soil series in the stratification of 0-3, 3-6, 6-10 and 10-15 dm. 99 areal substrate types were classified to characterize the spatial variability of soils. Water retention and hydraulic conductivity functions were derived for substrates of different parent material, and the soil hydrological parameters field capacity (FK), wilting point (PWP), plant-available field capacity (nFK), and plant-available field capacity of the rootzone (nFKWe) were estimated for the substrate types, areal substrate types and regional site types of the Federal States of Brandenburg, Sachsen, Mecklenburg Vorpommern, Sachsen Anhalt und Thüringen. It was distinguished between hydromorphic, semi-hydromorphic and non-hydromorphic soil conditions. The soil data were successfully used for the discharge calculation with the model ABIMO in the catchments of the Ucker, Peene, Zarow and Poetterbeck.

## 1. Einleitung

Um heterogene Bodenflächen beurteilen und vergleichen zu können, ist eine Aggregation der Flächeninhalte notwendig. Das Erfordernis der Datenaggregation hat primär seine Ursache in der vertikalen und horizontalen Variabilität und Heterogenität der Standorteigenschaften. Eine Aggregation von Standortdaten ist erforderlich, da bei flächenbezogenen Standortbeurteilungen und -bewertungen die unterschiedlichen Merkmalsausprägungen der Standortkomponenten qualitativ und quantitativ (Flächenanteil) als Ganzes berücksichtigt werden müssen. Das im Rahmen der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK) entwickelte

Flächentypenkonzept entspricht diesem Ziel. Die Flächentypen haben sich als Eingangsgrößen für Beurteilungsalgorithmen, bei der Durchführung von Standortvergleichen und bei der rechnergestützten Ableitung von thematischen Karten für unterschiedliche Bezugsflächen bewährt (THIÈRE und ALTERMANN, 1998). Sie sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Transformation punktbezogener Bodendaten auf Flächen. In der Verbindung mit bodenhydrologischen Basisdaten können sie ein wesentliches Instrumentarium für landschaftsbezogene Bodenwasserhaushaltssimulationen darstellen. Im folgenden werden Werte der nutzbaren Feldkapazität (nFK) für Substrattypen und Substratflächentypen sowie hydraulische Leitfähigkeits- und Wasserretentionsfunktionen für Substrate Nordostdeutschlands angegeben und die Daten anhand von Modellsimulationen im Uckereinzugsgebiet getestet.

## 2. Flächentypenkonzept

**Flächentypen** sind aggregierte standortkundliche Einheiten, die die natürliche Vergesellschaftung von Standortmerkmalen wiedergeben und nach Art der Merkmale (qualitative Kriterien) und deren Flächenanteil (quantitative Kriterien) definiert sind. Im Rahmen der MMK wurden sie für die abiotischen Standortkomponenten -Substrat, Hydromorphie, Hangneigung und Steinigkeit gebildet (SCHMIDT und DIEMANN, 1974).

Insgesamt wurden für die Standortbedingungen der neuen Bundesländer 99 Substratflächentypen, 15 Hydromorphieflächenentypen, 6 Hangneigungsflächenentypen und 6 Steinigkeitsflächenentypen ausgewiesen (THIÈRE u.a., 2000). Sie wer-

**Autoren:** Dr. Uwe SCHINDLER, J. THIÈRE, Dr. Lothar MÜLLER, Institut für Bodenlandschaftsforschung und J. STEIDL, Institut für Landschaftswasserhaushalt, ZALF Müncheberg, Eberswalder Straße 84, D-15374 MÜNCHEBERG

den zur Kennzeichnung und Beurteilung von Kartierungseinheiten, Nutzflächeneinheiten (Produktionsflächen) sowie administrativen und naturräumlichen Gebietseinheiten genutzt. Die Bodenformkombination (Bodenformengesellschaft) der Kartierungseinheiten der MMK, der Standortregionaltyp, ist die Basis für die Ableitung der Substrat- und Hydromorphieflächentypen.

Für flächenbezogene Aussagen zu den hydrologischen Eigenschaften sind die Daten des Substrats die entscheidenden Ausgangsparameter. Die Substrate sind dabei im wesentlichen durch zusammengefasste Körnungsarten/Bodenarten gekennzeichnet.

**Substrattypen** verallgemeinern die Bodenartenabfolge von Bodenformen in den vier Tiefenbereichen: Oberboden: 0 bis 3 dm; Unterboden 1: 3 bis 6 dm; Unterboden 2: 6 bis 10 dm und Unterboden 3: 10 bis 15 dm

Die **Substratflächentypen** beinhalten eine definierte Vergesellschaftung verschiedener Substrattypen. Sie wurden gegliedert nach folgenden „geologischen Herkunftstypen“ - entsprechend dem Konzept der Bodenschätzung: Pleistozäne Sedimente (D); Auensedimente (A1); Organogene Sedimente (Mo); Löss (Lö) und Verwitterungsmaterial aus Festgestein (V)

Die Differenzierung der Substratflächentypen erfolgt mit ausgewählten (bestimmenden) Substrattypen. Für diese bestimmenden Substrattypen wurden wiederum typische Bodenartenabfolgen zusammengestellt, um schließlich über diesen Weg den Substratflächentypen bodenhydrologische Parameter zuordnen zu können (THIÈRE et al., 2000).

### 3. Ableitung bodenhydrologischer Daten

Da das Ziel in der bodenhydrologischen Anwendung des Substratflächentypenkonzeptes auf Basis der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung MMK (SCHMIDT und DIEMANN, 1974) bestand, wurden die ursprünglichen Körnungsarten nach TGL 24300 (in KUNDLER, 1989) verwendet. Eine jetzige Nutzung ist gewährleistet durch die von ALTERMANN, KÜHN und THIÈRE (1998) vorgenommene Transformation

in Bodenarten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA4.

Für Bodenarten von Auen-, Pleistozän- (Diluvial-) und Löss- und Verwitterungsstandorten (Bausteine der Substrattypen), differenziert nach Bearbeitungs- und Unterbodenhorizonten, sowie Niedermoor- und Grundwassersandstandorten wurden hydraulische Leitfähigkeitsfunktionen (K-Funktion) und Wasserretentionsfunktionen (pF-Kurve) abgeleitet (*Tabelle 1*). Auf dieser Basis wurden nFK und nKFWe Werte für Substrattypen, Substratflächentypen und Standortregionaltypen erarbeitet (SCHINDLER u.a., 2002).

Die in *Tabelle 1* aufgeführten Parameter  $w_s$ ,  $w_r$ ,  $\alpha$ ,  $n$  und  $m = 1 - 1/n$  (VAN GENUCHTEN, 1980) beschreiben den Verlauf der Wasserretentionsfunktion für Substrate unterschiedlicher geologischer Herkunft. Sie kennzeichnen ein typisches Verhalten der Substrate und bildeten die Grundlage für die Ableitung der FK und nFK Werte.

Die angegebenen hydraulischen Leitfähigkeitswerte  $K$  sind gültig im Saugspannungsbereich zwischen 63 und 500 hPa. Zwischen den Werten ist eine doppellogarithmisch lineare Interpolation zulässig. Eine Extrapolation ist messtechnisch nicht abgesichert. Wird die hydraulische Leitfähigkeit aus der Porengrößenverteilung berechnet (MUALEM, 1976), können die angegebenen Stützstellen als Machingpunkte für die Transformation der relativen  $K$ -Funktionen in ein reales Niveau genutzt werden.

Grundlage bildeten etwa 1500 hydraulische Leitfähigkeits- und Wasserretentionsfunktionen von Mineral- und Moorböden aus dem Nordostdeutschen Tiefland die in die Europäischen Bodenhydrologische Datenbank HYPRES (SCHINDLER in LILLY et al., 1997) eingeflossen sind. Ergänzend wurden Feldmesswerte und Ergebnisse von VETTERLEIN (in KÖPKE, 1985), BACHMANN und HARTGE (1991), RIECK und RENGER (1992), WEISE (1978), ZACHARIAS und BOHNE (1997) und ZEITZ (in KÖPKE, 1985) herangezogen.

### 4. Berechnung der Abflussbildung

Eine erste Anwendung der Bodendatenbasis erfolgte für die Berechnung der Abflussbildung mit dem Modell ABIMO (AbflussBildungsMOdell, ABIMO, GLUGLA & FÜRTIG, 1997) in den Einzugsgebieten der Ucker, Peene, Zarow und Poetterbeck im nordostdeutschen Tiefland. Dazu wurden die nFKWe Werte der Substratflächentypen auf die von ABIMO festgelegte Ausschöpfungstiefe angepasst.

Für die Berechnung wurden langjährige mittlere Jahressummen der Niederschläge (Reihe 61/90, DWD 1999), die potentielle Verdunstungshöhe nach KORTÜM (1965) sowie CORINE-Landnutzungsdaten verwendet. Der Grundwasserflurabstand wurde aus dem Hydromorphieflächentyp der MMK in drei Klassen (<1m; 1-2m; >2m) abgeleitet. Durch eine Verschneidung der Karten dieser Eingangsdaten entstehen Elementarflächen mit jeweils gleichem Eingangsdatensatz. Die mittleren jährlichen Abflusshöhen wurden für diese Elementarflächen berechnet und für die Einzugsgebiete Peene, Ucker, Zarow und Pöterbeck sowie ausgewählte Teileinzugsgebiete aggregiert (*Tabelle 2*). Im gesamten Modellgebiet weist nur der Pegel Pasewalk eine zum Niederschlag hinreichend lange Messreihe für den Vergleich von berechneten und gemessenen Abflüssen auf (Reihe 1964/90). Die mit ABIMO für das Pegelinzugsgebiet berechnete mittlere jährliche Abflusshöhe (117,2 mm/a) ist um 5,1 % höher als die mit 111,5 mm/a aus dem mittleren Durchfluss am Pegel ermittelte. Damit wird für dieses Gebiet eine gute Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse mit den Messergebnissen erreicht.

### Literatur

- ALTERMANN, M., D. KÜHN und J. THIÈRE, 1998: Zuordnung der Körnungsarten gemäß TGL 24300 in die Bodenartenansprache nach KA4. Unveröffentlicht.
- Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe der Bundesrepublik Deutschland, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage; Hannover (als KA 4 zitiert).

**Tabelle 1: Bodenhydrologische Kennwerte für Bodenarten unterschiedlicher geologischer Herkünfte**

| Bodenart/<br>Tiefenbereich                | Bezeichnung                       | K in m/d             |                      | ws<br>-        | wr<br>- | alpha<br>m <sup>-1</sup> | n<br>-         |
|---|-----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|---------|--------------------------|----------------|
|   |                                   | 63 hPa               | 500 hPa              |                |         |                          |                |
| <b>Moor- und Grundwassersandstandorte</b> |                                   |                      |                      |                |         |                          |                |
| nH  | <b>Niedermoor</b>                 |                      |                      |                |         |                          |                |
|   | nH: SV 3-14%                      | 5,95E-03             | 2,19E-05             | 0,918          | 0       | 0,01138                  | 1,303          |
|   | nHv: SV 10-22%,<br>nHm: SV 15-34% | 2,54E-03<br>5,84E-03 | 7,44E-05<br>7,40E-06 | 0,840<br>0,760 | 0<br>0  | 0,0119<br>0,0465         | 1,198<br>1,141 |
| AMO                                       | <b>Anmoor</b>                     |                      |                      |                |         |                          |                |
|   | SV 30-42, x 71-83%                | 1,68E-03             | 1,46E-05             | 0,613          | 0       | 0,0172                   | 1,184          |
| hS  | SV 43-58, x 85-91%                | 1,78E-03             | 2,33E-05             | 0,487          | 0       | 0,0108                   | 1,261          |
| gS/mS                                     | A Grob/Mittelsand                 | 2,20E-04             | 2,30E-08             | 0,420          | 0,015   | 0,0715                   | 1,891          |
|   |                                   | U                    | 2,34E-04             | 1,62E-08       | 0,380   | 0,023                    | 0,0478         |
| mS  | A Mittelsand                      | 1,10E-02             | 1,21E-06             | 0,410          | 0,019   | 0,0251                   | 1,953          |
|   |                                   | U                    | 2,01E-03             | 8,00E-07       | 0,382   | 0,013                    | 0,0145         |
| fS  | A Feinsand                        | 5,20E-03             | 4,93E-06             | 0,420          | 0,025   | 0,0251                   | 1,6830         |
|   |                                   | U                    | 7,06E-03             | 3,11E-06       | 0,416   | 0,014                    | 0,0156         |
| <b>Alluvial- und Lößstandorte</b>         |                                   |                      |                      |                |         |                          |                |
| T (TI)                                    | A Ton                             | 1,73E-04             | 3,12E-06             | 0,512          | 0,154   | 0,0163                   | 1,151          |
|   |                                   | U                    | 1,27E-04             | 5,95E-06       | 0,543   | 0,249                    | 0,0181         |
| IT (Lts)                                  | A lehmiger Ton                    | 9,11E-05             | 3,35E-06             | 0,490          | 0       | 0,0128                   | 1,111          |
|   |                                   | U                    | 1,62E-04             | 7,44E-06       | 0,539   | 0                        | 0,0328         |
| uT (Tu3)                                  | A schluffiger Ton                 | 1,20E-04             | 4,02E-06             | 0,503          | 0       | 0,0089                   | 1,118          |
|   |                                   | U                    | 1,59E-04             | 3,81E-06       | 0,507   | 0                        | 0,0205         |
| L (Ls3)                                   | A Lehm                            | 1,14E-04             | 6,68E-06             | 0,460          | 0       | 0,0144                   | 1,124          |
|   |                                   | U                    | 4,45E-04             | 4,90E-06       | 0,464   | 0,055                    | 0,0320         |
| sL ((SI4)                                 | A sandiger Lehm                   | 1,23E-03             | 1,05E-05             | 0,467          | 0,009   | 0,0451                   | 1,245          |
|   |                                   | U                    | 9,93E-04             | 2,85E-06       | 0,430   | 0                        | 0,0489         |
| IS1) (SI3)                                | A stark lehmiger Sand             | 1,55E-03             | 2,52E-06             | 0,395          | 0,045   | 0,0488                   | 1,395          |
|   |                                   | U                    | 6,35E-04             | 2,40E-06       | 0,400   | 0,042                    | 0,0501         |
| I'S (SI2)                                 | A schwach lehmiger Sand           | 1,03E-03             | 6,52E-06             | 0,400          | 0,019   | 0,0925                   | 1,355          |
|   |                                   | U                    | 3,74E-03             | 4,75E-06       | 0,400   | 0,029                    | 0,0508         |
| I''S (Su2)                                | A sehr schwach lehmiger Sand      | 1,84E-03             | 1,50E-06             | 0,450          | 0,030   | 0,0597                   | 1,533          |
|   |                                   | U                    | 1,94E-03             | 2,30E-06       | 0,450   | 0,029                    | 0,0508         |
| UL (Ut4)                                  | A Schlufflehm                     | 3,59E-04             | 1,24E-05             | 0,500          | 0       | 0,0455                   | 1,134          |
|   |                                   | U                    | 8,16E-04             | 8,36E-06       | 0,463   | 0                        | 0,0244         |
| IU (Ut3)                                  | A lehmiger Schluff                | 2,00E-03             | 3,65E-05             | 0,488          | 0       | 0,0339                   | 1,179          |
|   |                                   | U                    | 2,50E-03             | 3,70E-05       | 0,458   | 0                        | 0,0257         |
| <b>Diluvialstandorte</b>                  |                                   |                      |                      |                |         |                          |                |
| IT (Lts)                                  | A lehmiger Ton                    | 1,10E-04             | 2,12E-06             | 0,430          | 0       | 0,0503                   | 1,097          |
|   |                                   | U                    | 2,10E-04             | 3,20E-06       | 0,411   | 0                        | 0,0250         |
| L (Ls3)                                   | A Lehm                            | 5,30E-04             | 4,70E-06             | 0,375          | 0       | 0,0680                   | 1,132          |
|   |                                   | U                    | 7,00E-04             | 8,70E-06       | 0,363   | 0                        | 0,0115         |
| sL (SI4)                                  | A sandiger Lehm                   | 8,10E-04             | 6,53E-06             | 0,345          | 0       | 0,1139                   | 1,148          |
|   |                                   | U                    | 7,70E-04             | 7,43E-06       | 0,329   | 0                        | 0,0494         |
| IS1) (SI3)                                | A stark lehmiger Sand             | 1,10E-03             | 3,10E-06             | 0,400          | 0,056   | 0,0239                   | 1,572          |
|   |                                   | U                    | 1,60E-03             | 4,30E-06       | 0,350   | 0,016                    | 0,0567         |
| I'S (SI2)                                 | A schwach lehmiger Sand           | 2,03E-03             | 1,70E-06             | 0,369          | 0,033   | 0,0590                   | 1,419          |
|   |                                   | U                    | 1,10E-03             | 2,10E-06       | 0,353   | 0,023                    | 0,0618         |
| I''S (Su2)                                | A sehr schwach lehmiger Sand      | 1,84E-03             | 1,90E-06             | 0,382          | 0,017   | 0,0783                   | 1,352          |
|   |                                   | U                    | 2,94E-03             | 3,30E-06       | 0,360   | 0,010                    | 0,0697         |
| UL (Ut4)                                  | A Schlufflehm                     | 9,94E-04             | 9,30E-06             | 0,436          | 0       | 0,0259                   | 1,182          |
|   |                                   | U                    | 2,99E-03             | 3,90E-05       | 0,407   | 0                        | 0,0087         |
| IU (Ut3)                                  | A lehmiger Schluff                | 1,20E-03             | 2,65E-05             | 0,439          | 0       | 0,0162                   | 1,247          |
|   |                                   | U                    | 1,50E-03             | 2,70E-05       | 0,422   | 0                        | 0,0109         |
| uS (Su3)                                  | A schluffiger Sand                | 6,98E-03             | 2,50E-05             | 0,363          | 0       | 0,0285                   | 1,275          |
|   |                                   | U                    | 1,22E-02             | 1,27E-05       | 0,340   | 0,033                    | 0,0229         |
| rS (Ss)                                   | A Reinsand                        | 1,49E-03             | 5,05E-07             | 0,365          | 0,013   | 0,0366                   | 1,807          |
|   |                                   | U                    | 2,93E-03             | 4,41E-07       | 0,340   | 0,012                    | 0,0447         |

A: Bearbeitungshorizont, U: Unterboden, x: Glührückstand, 1) I überstrichen, ( ) Bodenarten nach KA4

Tabelle 2: Ergebnis der Berechnung der Abflussbildung mit ABIMO

| Einzugsgebiete      | Ae              | P            | ETa          | R               | MQ    |
|---------------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|-------|
|                     |                 |              |              | ABIMO           |       |
| Teileinzugsgebiete  | km <sup>2</sup> | mm/a         | mm/a         | 1961/90<br>mm/a | mm/a  |
| <b>Peene</b>        | <b>5129.1</b>   | <b>628.4</b> | <b>497.4</b> | <b>131.0</b>    |       |
| Tollense            | 1826.7          | 615.8        | 489.1        | 126.7           |       |
| Trebel              | 993.9           | 660.1        | 510.3        | 149.8           |       |
| Peene1              | 1337.4          | 631.9        | 492.8        | 139.1           |       |
| Peene2              | 971.1           | 614.8        | 506.0        | 108.8           |       |
| <b>Ucker</b>        | <b>2417.4</b>   | <b>597.8</b> | <b>494.9</b> | <b>102.9</b>    |       |
| Ucker               | 1746.8          | 604.3        | 491.7        | 112.7           |       |
| Pegel Pasewalk      | 1454.7          | 609.8        | 492.6        | 117.2           | 111.5 |
| Randow              | 670.6           | 580.9        | 503.4        | 77.6            |       |
| <b>Zarow</b>        | <b>739.5</b>    | <b>604.8</b> | <b>509.1</b> | <b>95.7</b>     |       |
| Golmer Mühlbach     | 104.8           | 691.0        | 535.2        | 155.7           |       |
| <b>Poetterbeck</b>  | <b>169.6</b>    | <b>601.2</b> | <b>513.0</b> | <b>88.2</b>     |       |
| <b>Gesamtgebiet</b> | <b>8455.6</b>   | <b>617.0</b> | <b>498.0</b> | <b>119.0</b>    |       |

Ae: Fläche des Einzugsgebietes, P: mittlere Jahresniederschlagshöhe nach DWD fehlerbereinigt; ETa: mittlere Jahresverdunstungshöhe;  
R: mittlere Gesamtabflusshöhe nach ABIMO; MQ: mittlerer Durchfluss am Pegel

- BACHMANN, J. und K.H. HARTGE, 1991: Die Berechnung von Wasserspannungskurven aus Primärdaten- Ein Methodenvergleich. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 155. 109-114.
- LILLY, A., J.H.M. WÖSTEN, A. NEMES und C. Le BAS, 1997: The development and use of the HYPRES database in Europe. Workshop: Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media. Riverside, 22-24 Oktober. 1283-1294.392 S.
- MUALEM, Y. 1976: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res., 12(3), 513-522.
- RIEK W., WESSOLEK G., RENGER M. und M. FACKLAM, 1992: Ableitung bodenphysikalischer Basisdaten auf der Grundlage von bodenkundlichen Labordatenbanken. Im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover. Endbericht.
- SCHINDLER, U., J. THIÈRE, L. MÜLLER und M. ALTERMANN, 2002: Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte für heterogene Flächeneinheiten Nordostdeutschlands auf Grundlage des Flächentypenkonzeptes zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). Z. Landnutzung und Landentwicklung. Vol 43 (6) 262-288.
- SCHMIDT, R. und R. DIEMANN, 1974: Richtlinie für die mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung. AdL der DDR, Inst. für Bodenkunde Eberswalde. 84 S.
- WEISE, K, 1978: Katalog zur hydrologischen Kennzeichnung von Bodenformen im Jungpleistozän der DDR. AdL der DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit, Bereich Bodenkunde Eberswalde. 42 S.
- THIÈRE, J. und M. ALTERMANN, 1998: Das Flächentypenkonzept - eine Methode zur Aggregation von Bodendaten. Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges. 88. 463-466.
- THIÈRE, J., M. ALTERMANN, U. SCHINDLER und M. STEININGER, 1999: Nutzung der Flächentypen zur Transformation von Bodenparametern. Mitt. Deutsch. Bodenk. Ges. 91(2). 1128-1131.
- THIÈRE, J., M. ALTERMANN und U. SCHINDLER, 2000: Nutzung von Flächentypen zur arealbezogenen Transformation von Bodenwasserhaushaltsgrößen. Schriftenreihe HORIZONTE - Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde. Bd. 3. 163-181.
- Van GENUCHTEN, M. Th., 1980: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892-898.
- ZACHARIAS, S. und K. BOHNE, 1997: Replacing the field capacity concept by an internal drainage approach. Sciences of Soils. Rel. 2.