

## Methoden zur Ableitung des Grundwasserflurabstandes aus Karten der forstlichen Standortkartierung und digitalen Geländemodellen in Brandenburg

*A method to estimate groundwater depth from forest site mapping data and digital elevation models*

Alexander Russ & Winfried Riek

### Abstract

*In this paper a new approach for estimating continuous groundwater depths using forest site mapping data of the federal state of Brandenburg and digital elevation models is presented. The underlying idea of this approach is to combine the upper and lower limits of the mapping units (groundwater depth classes of special site types and site type groupings) and the relative elevations inside each individual site type area calculated from the digital elevation model. By this means, consideration of the landscape morphology allows groundwater depths to be estimated continuously for grids with various resolutions. Depending mainly on the spatial and vertical resolution of the applied digital elevation model, the results are improved significantly compared to simply regionalizing site-type-specific mean values.*

*The presented method was used to generate continuous groundwater depths based on the existing forest site maps of the federal state of Brandenburg for more than two-thirds of the forest area. The data obtained will be used in a larger research project, carried out at the Forestry Competence Centre, Eberswalde, to analyze regional and site-specific impacts of climate change.*

**Keywords:** *groundwater level, digital elevation model, forest site mapping, north-eastern lowlands, Brandenburg, water balance*

### Zusammenfassung

Für das umfangreiche Datenmaterial der forstlichen Standortserkundung in Brandenburg wurde ein EDV-gestütztes Verfahren zur Ableitung kontinuierlicher Grundwasserflurabstände aus den Legendeneinheiten der forstlichen Standortskarte (Stamm-Standortsform und Stamm-Standortsformengruppen) und digitalen Geländemodellen (DGM) entwickelt. Grundlage dafür war die Kombination von Grenzwerten dieser Legendeneinheiten mit der aus dem DGM berechneten relativen Geländehöhe für die diskreten Flächen der Standortformen. Durch dieses Vorgehen wurde die Geländemorphologie in das Verfahren zur Ableitung der Grundwasserflurabstände integriert. Dadurch ergibt sich eine, insbesondere gegenüber der Verwendung von auf der Übernahme von Mittelwerten basierenden Ansätzen, verbesserte Abbildung der Grundwasserflurabstände. Hauptsächlich in Abhängigkeit von der Genauigkeit der verwendeten Geländemodelle können somit räumlich beliebig aufgelöste kontinuierliche Grundwasserflurabstände berechnet werden. Das Verfahren wurde anhand der bestehenden Standortskarten auf über zwei Dritteln der Waldfläche Brandenburgs zur Generierung von Grundwasserflurabstandsinformationen

angewandt und soll im Rahmen eines übergeordneten Projektes zu regionalen und standortsbedingten Unterschieden der Auswirkungen des Klimawandels eingesetzt werden.

**Schlüsselwörter:** Grundwasserflurabstand, digitales Geländemodell (DGM), forstliche Standortkartierung, Nordostdeutsches Tiefland, Brandenburg, Wasserhaushalt

## 1 Einleitung

Der Grundwasserflurabstand wurde seit Beginn der flächendeckenden Kartierung der forstlichen Standorte des Nordostdeutschen Tieflandes im Rahmen der forstlichen Standortkartierung in den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts in allen Kartierverfahren und Entwicklungsstufen der einzelnen Verfahren mit erkundet und bei der Bewertung der Standorte berücksichtigt. Die als Ergebnisse mehrerer Jahrzehnte Kartierarbeit für große Teile der forstlichen Standorte des Nordostdeutschen Tieflandes vorliegenden Karten stellen einen bedeutenden "Datenschatz" zu den Grundwasserverhältnissen der forstlichen Standorte dar. Diese historisch gewachsenen Informationen sollten mit einem einfach anwendbaren Ansatz vereinheitlicht und als Eingangsgröße für die Wasserhaushaltsmodellierung verfügbar gemacht werden.

Ziel war es, aus für diskrete Flächen unterschiedlichster Größe als Grundwassertiefenstufen vorliegende Informationen kontinuierliche Grundwasserflurabstände abzuleiten. Dazu wurde ergänzend zur forstlichen Standortskarte ein digitales Geländehöhenmodell (DGM) verwendet. Geländemodelle wurden bereits vielfach zur Modellierung von Grundwasserflurabständen pleistozäner Gebiete eingesetzt (z. B. STEIDEL et al 1999, GEHRT & BOCK 2009, HANNAPPEL & RIEK 2011). In dieser Arbeit wurde das DGM genutzt, um die Informationen aus den Legendeneinheiten der forstlichen Standortskarte zu disaggregieren (vgl. MÖLLER 2004). Die Berechnung der Grundwasserflurabstände erfolgte für ein brandenburgweites 100 m x 100 m Raster im Rahmen eines Vorhabens am Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde zu regionalen und standortsbedingten Unterschieden der Auswirkungen des Klimawandels (vgl. RIEK 2010). Die Grundwasserflurabstände sollen in diesem Vorhaben zur Regionalisierung von Wasserhaushaltskennwerten für die Waldfläche Brandenburgs verwendet werden. Der entwickelte Ansatz sollte daher vor allem eine gute quantitative Reproduktion der in den Standortskarten enthaltenen Grundwasserflurabstandsinformationen ermöglichen. Die Problematik der eng mit den Flurabständen verknüpften Strömungsverhältnisse im Grundwasser (insbesondere im Zusammenhang mit Arealgrenzen) war indes von untergeordneter Bedeutung.

Der vorliegende Beitrag behandelt detailliert methodische und technische Aspekte der Generierung von

Grundwasserflurabstandsdaten. Insbesondere die Methodik soll ausführlich dargestellt werden. Das Ergebnis in Form von Grundwasser-Flurabstandskarten und insbesondere deren Validierung soll zu einem späteren Zeitpunkt publiziert werden.

## 2 Datengrundlagen

### 2.1 Grundwasserflurabstandsinformationen in den forstlichen Standortskarten

Entsprechend der Definition der Standorterkundungsanleitung „SEA 95“ erfolgt die Differenzierung zwischen Grund- und Stauwasser in Anlehnung an die Tiefe der Sohlage. Der Grenzwert für die Tiefe der Sohlage liegt dabei um 0,8 m (vgl. SCHULZE 1996a). Bei der praktischen Kartierarbeit im Gelände wird diese Unterscheidung anhand der Bodenform (Hauptbodenformen und Unterlagerungen) umgesetzt.

Aufgrund der historischen Entstehung der Standortskarten unterscheiden sich die Angaben zum Grundwasserflurabstand in Abhängigkeit vom Zeitpunkt ihrer Erhebung. Für die angestrebte praktische Ableitung der Grundwasserflurabstände mit einem einfach handhabbaren und auf die gesamte standortkundlich bearbeitete Waldfläche Brandenburgs anwendbaren Verfahren ließen sich drei verschiedene Typen unterscheiden:

- **zweistellige Grundwasserflurabstandsstufen:** Entsprechend der SEA 95 (SCHULZE 1996a) für den langjährigen Frühjahrs- und Herbststand angesprochene Grundwasserflurabstandsstufen (Tabelle 1). Die erste Ziffer beschreibt dabei den Grundwasserflurabstand im Frühjahr, die zweite den tieferen Stand im Herbst
- **einstellige Grundwasserflurabstandsstufen:** Mit den Grundwasserflurabstandsstufen der SEA 95 für den Frühjahrsstand vergleichbare Grundwasserflurabstandsstufen älterer Kartierung seit Einführung des Feinbodenformensystems durch D. Kopp
- **Altkartierungen, Komplex- und Sonderstandorte:** Oft nur mit entsprechendem Expertenwissen für die einzelne Standortform interpretierbare Grundwasserflurabstandsstufen aus frühen Kartierungen vor Einführung des Feinbodenformensystems, für standörtlich sehr heterogene Gebiete und Areale sowie für durch den Menschen geschaffene Sonderstandorte

Für 67 % der ca. 1 Mio. ha umfassenden Waldfläche Brandenburgs liegen bereits Kartierungsergebnisse im Feinbodenformensystem vor. Ergänzend sind für 11 % der Fläche Ergebnisse aus Altkartierungen sowie für Komplex- und Sonderstandorte verfügbar. In allen drei Fällen wurde der Grundwasserflurabstand in definierten Stufen im Gelände angesprochen. Die entsprechenden Stufen sind in der Regel für diskrete Flächen mit sehr unterschiedlichen Flächengrößen von < 1 ha bis zu mehreren 100 ha kartiert. Zusätzlich liegen Informationen zu kleinflächig abweichenden Grundwasserflurabstandsstufen als Punktinformationen vor, welchen für den Einzelfall jedoch keine Flächengröße bzw. Repräsentanz zugeordnet werden kann. Auf die Berücksichtigung dieser zusätzlichen Punktinformationen wurde somit zunächst verzichtet und die Grundwasserflurabstände ausschließlich aus den flächig kartierten Standortformen abgeleitet.

Für die kartierten diskreten Flächen liegen oft mehrere (bis maximal drei) für die Fläche gültige Grundwasserflurabstände

**Tab. 1:** Grundwassertiefenstufen der SEA 95 und SEA 74.

**Tab. 1:** Groundwater depth classes of SEA 95 and SEA 74.

Stufe	Grundwasserflurabstand
1	oberhalb Flur
2	um 0,10 m (0 . . . 0,2)
3	um 0,35 m (> 0,2 . . . 0,5)
4	um 0,75 m (> 0,5 . . . 1,0)
5	um 1,40 m (> 1,0 . . . 1,8)
6	um 2,40 m (> 1,8 . . . 3,0)
7	fehlendes oder unterhalb 3,0 m einsetzendes Grundwasser

aus sogenannten „kleinflächigen Wechsellern“ vor. Für die bis zu drei unterschiedlichen Grundwasserflurabstände innerhalb eines Polygons sind in den Karten die zugehörigen Flächenanteile für jeden Grundwasserflurabstand als „Anteilszehntel“ angegeben (vgl. Kap. 3.2 und Abbildungen 1a und 1d).

Die Grundwasserflurabstände wurden im Rahmen der neueren Kartierungen (Feinbodenformensystem) nach den in Tabelle 1 aufgeführten Grundwassertiefenstufen unterschieden (einzelne Ziffern nach SEA 74 bzw. erste Ziffer bei zweistelligen Angaben entsprechend der SEA 95).

Im Fall von Sonder- und Komplexstandorten sowie für Areale, die bisher nur mit älteren Verfahren standortkundlich bearbeitet wurden, konnte, wenn für die Standorte Informationen auf der Bewertungsebene (Stamm-Standortsformengruppe) vorlagen, die Grundwasserflurabstandsstufe aus diesen abgeschätzt werden. Dabei wurden die in Tabelle 2 aufgeführten, aus der SEA abgeleiteten Zuordnungen getroffen.

Die entsprechenden Karten wurden traditionell als „Inselkarten“ auf Ebene der Forstreviere als direkte Arbeitsgrundlage für den örtlichen Wirtschaftler gefertigt. Die ursprünglich vorwiegend als Drucke vorliegenden Karten wurden für Brandenburg durch das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde digitalisiert und konnten als Vektordaten im Format „ARC/GIS-Personal-Geodatabase“ für das o.g. Vorhaben bereitgestellt werden.

### 2.2 Digitales Geländehöhenmodell

Als digitales Geländehöhenmodell (DGM) konnte das DGM 25-3-LBGR des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) für die Projektbearbeitung verwendet werden. Das DGM wurde durch die Fa. Scilands im Auftrag des LBGR unter Gesichtspunkten einer bodenkundlich orientierten Relieffanalyse für die gesamte Landesfläche Brandenburgs aus dem DGM 25 sowie für einzelne Gebiete auch unter Nutzung des DGM 5 der Landesvermessung und Geobasisinformation (LGB) erstellt. Neben der Integration des DGM 5 in das DGM 25 zeichnet sich dieses Geländehöhenmodell durch umfangreiche Qualitätsverbesserungen wie die Entrundung von Höhenangaben und die Beseitigung von DGM-Artefakten gegenüber dem ursprünglichen DGM 25 der LGB aus. Die Maschenweite des als Grid vorliegenden Modelles beträgt einheitlich 25 m. Die Höhengenaugigkeit des DGM liegt im Bereich von ca.  $\pm 2$  m, in den Gebieten, in denen bereits das DGM 5 vorlag, im Bereich von  $\pm 0,5$  m. Eine ausführliche Beschreibung des verwendeten DGM findet sich in KÖTHE (2007).

**Tab. 2:** Zuordnung der Stammstandortsformengruppe zu Grundwassertiefenstufen für Altkartierungen sowie Komplex- und Sonderstandorte.

**Tab. 2:** Assignment of mapping units and groundwater depth classes for historic mapping approaches, heterogeneous sites and anthropogenically altered areas.

Standortsformengruppe		Stufe	Standortsformengruppe		Stufe
<b>N0</b>	(mineralisch sumpfig)	2	<b>T1</b>	(terrestrisch frisch)	5
<b>N1</b>	(mineralisch nass)	3	<b>T1w</b>	(terrestrisch wechselfrisch)	7
<b>N1w</b>	(mineralisch wechsellnass)	7	<b>T2</b>	(terrestrisch mittelfrisch)	7
<b>N2</b>	(mineralisch feucht)	4	<b>T2g</b>	(terrestrisch schwach grundfrisch)	6
<b>N2w</b>	(mineralisch wechselfeucht)	7	<b>T3</b>	(terrestrisch trocken)	7
<b>N3</b>	(mineralisch sehr frisch)	5	<b>Ü0</b>	(überflutungsnass)	2
<b>O1</b>	(offensumpfig)	1	<b>Ü1</b>	(mineralisch nass)	2
<b>O2</b>	(organisch sumpfig)	2	<b>Ü2</b>	(überflutungsfrisch)	3
<b>O3</b>	(organisch nass)	3	<b>W2</b>	(wechselfeucht)	7
<b>O4</b>	(organisch feucht)	4			

### 3 Methodisches Vorgehen bei der Ableitung der Grundwasserflurabstände

Das Vorgehen bei der Berechnung der Grundwasserflurabstände gliedert sich in drei aufeinander folgende Schritte. Im ersten Schritt (Kap. 3.1) wurden Geometrien und Attributtabelle der digitalen forstlichen Standortskarte für die anschließenden Berechnungen technisch aufbereitet und ausgewertet. Danach wurde für jede der 100 m x 100 m Rasterzellen eine eindeutig zugeordnete Grundwasserflurabstandsstufe bestimmt (Kap. 3.2). Abschließend wurden dann kontinuierliche Grundwasserflurabstände aus neu gebildeten Arealen mit eindeutig zugeordneten Grundwasserflurabstandsstufen und dem digitalen Geländemodell berechnet (Kap. 3.3 und 3.4).

#### 3.1 Technische Aufbereitung der standortkundlichen Vektordaten

Die als digitalisierte Rohdaten im Format "ARC/GIS-PersonalGeodatabase" vorliegenden Vektordaten zu den flächig kartierten Stammeigenschaften der Standortform wurden zunächst in ArcCatalog als Shapefile exportiert. Dies war erforderlich, um eine weitere Auswertung der Attributtabelle mit SPSS (SPSS 2006) und die Verarbeitung der Geodaten mit der Open Source Software SAGA (CONRAD 2007, CIMMERY 2007, OLAYA 2004) zu ermöglichen. Danach wurden mit Hilfe der ArcView-Erweiterung Memo-Tools (KUTTIG 2008) noch in den Daten enthaltene doppelte und sich überlappende Polygone lokalisiert und korrigiert.

Die Grundwasserflurabstandsstufe lag in den Attributtabelle als Bestandteil der Stamm-Standortsform in einem den Karteneinträgen gleichenden Textfeld vor. Aus diesem Textfeld wurden die für die Ableitung der Grundwasserflurabstände benötigten Informationen zu Feinbodenform, Unterlagerung und Grundwassertiefenstufe selektiert.

#### 3.2 Bearbeitung von Arealen mit multiplen Legendeneinheiten – "kleinflächige Wechsel"

Als Grundlage für die Ableitung eindeutiger Grundwasserflurabstandsstufen wurde für jede Legendeneinheit zunächst ermittelt, ob es sich bei den angegebenen Grund- / Stauwasserstufen jeweils um eine echte Grundwassertiefenstufe oder um eine Stauwasserstufe handelte. Diese Unterscheidung wurde anhand der kartierten Feinbodenform und Unterlagerung auf Grundlage des Feinbodenformenkatalogs (SCHULZE 1998) in Abhängigkeit von der Hauptbodenform vorgenommen.

Um konkrete Grundwasserflurabstandsstufen für die einzelnen Punkte des angestrebten 100 m x 100 m Rasters (vgl. Kap. 1) übernehmen zu können, mussten zunächst die als "kleinflächige Wechsel" kartierten Areale mit unterschiedlichen Grundwasserflurabständen aufgelöst werden. "Kleinflächige Wechsel" stellen eine Besonderheit der im Verfahren der forstlichen Standortskartierung gebildeten Legendeneinheiten dar (vgl. SCHULZE 1996b). In diesem Fall wurden bis zu drei verschiedene Standortformen für ein Polygon ausgewiesen und diesen entsprechend der Häufigkeit ihres Auftretens im Gelände ein Flächenanteil ("Anteilszehntel") zugeordnet. Ein typisches Beispiel für einen "kleinflächigen Wechsel" ist der Karteneintrag in Abbildung 1a. In diesem Beispiel sind dem betreffenden Areal 40% Meinsdorfer Sand-Gleybraunerde mit der Grundwassertiefenstufe 46 (4 MdSB46), 30% Bärenthorener Sand-Braunerde mit der Grundwassertiefenstufe 6 (3 Bäs6) sowie 30% Steinbecker Tieflehm-Graustaugley (sandunterlagert) mit der Grundwassertiefenstufe 57 (3 SbtLU57) zugeordnet. Dies bedeutet, dass in diesem Polygon zum betrachteten Frühjahrsstand auf 40% der Fläche Grundwasserflurabstände im Bereich 0,5 m...1,0 m (Stufe 4) sowie auf jeweils 30% der Fläche in den Bereichen 1,0 m...1,8 m (Stufe 5) und 1,8 m...3,0 m (Stufe 6) auftreten (vgl. Tabelle 1).

Die Auflösung in Teilareale mit eindeutig zugeordneten Grundwasserflurabstandsstufen wurde durch die Berechnung der "relativen Geländehöhe" (Perzentilwerte der Geländehöhen) und der anschließenden Zuordnung der Grundwasserflurabstandsstufen in Abhängigkeit von der in der Karte angegebenen

Häufigkeit der Stufe innerhalb des Areal (Anteilszehntel) erreicht. In den Abbildungen 1a bis 1d lässt sich der gewählte Ansatz, ausgehend vom ursprünglichen Karteneintrag (Abb. 1a) bis zu den neu abgegrenzten Grundwasserflurabstandsstufen (Abb. 1d), visuell am Beispiel des Polygons mit drei unterschiedlichen Grundwasserflurabstandsstufen nachvollziehen. Als Grundlage für die Zuordnung der Grundwasserflurabstandsstufen entsprechend der relativen Geländehöhe innerhalb eines Polygons wurde zunächst ein Grid mit den entsprechenden in 10%-Stufen geteilten Perzentilklassen benötigt. Dafür wurden mit dem SAGA-Modul "grid-statistics for polygons" zunächst die entsprechenden Perzentile berechnet, welche dann als Attributtabelle zu den Polygonen vorlagen. Aus diesen wurden mit dem SAGA Modul "Shapes to Grid" neun separate Grids für die 10- bis 90-Perzentile erstellt. Aus diesen neun Grids und dem Grid der Geländehöhe (Abb. 1b) wurde dann mit den booleschen Funktionen des SAGA "Grid Calculator" das Grid mit den Perzentilklassen abgeleitet (Abb. 1c). Dabei beinhaltet die Klasse 10 alle Geländehöhen < 10-Perzentil und die Klasse 100 alle Geländehöhen > 90 Perzentil bis zum maximalen Höhenwert innerhalb des Polygons.

Die Zuordnung der Grundwasserflurabstandsstufen erfolgte dann durch mehrfache Verschachtelung der booleschen Funktionen des SAGA "Grid Calculator" mit dem Grid der Perzentilklassen (Abb. 1c), drei Grids für die möglichen Grundwasserflurabstände, drei Grids für die zugehörigen Anteilszehntel sowie jeweils einem Grid mit der Anzahl innerhalb eines Areal auftretender unterschiedlicher Perzentilwerte und Grundwasserflurabstandsstufen. In dem in den Abbildungen 1c und 1d dargestellten Beispiel werden somit den vier niedrigsten Perzentilklassen die Stufe 4 (Flächenanteil für MdSb46 ist 40%), den drei Perzentilklassen 50, 60 und 70 die Stufe 5 (Flächenanteil SbtLU57 ist 30%) und den drei höchsten Perzentilklassen die Stufe 6 (Flächenanteil Bäs6 ist 30%) zugeordnet.

In Ausnahmefällen, in denen sich aufgrund der geringen Größe (z. B. eine Rasterzelle) oder aufgrund ausgesprochener Ebenheit der Geländeoberfläche weniger unterschiedliche Geländehöhen als angegebene Grundwasserflurabstandsstufen ergaben und somit eine Zuordnung der Grundwasserflurabstandsstufen entsprechend der Perzentilwerte nicht möglich war, wurde der nach dem Anteilszehntel gewichtete Mittelwert für die Rasterzelle übernommen.

Diese sowie alle nachfolgend beschriebenen in SAGA durchgeführten Arbeiten wurden generell mittels "Batch-Dateien" und dem SAGA Command Line Interpreter (SAGA CMD) durchgeführt. Dadurch konnte zum einen der Zeitbedarf für die sich oft mehrfach wiederholenden Berechnungen und Umformungen reduziert werden, zum anderen war somit die Verwendung längerer boolescher Ausdrücke im SAGA Grid Calculator möglich, welche zahlreich eingesetzt wurden.

### 3.3 Ableitung kontinuierlicher Grundwasserflurabstände aus Grundwasserflurabstandsstufe und DGM

In diesem Schritt wurde versucht, die für unterschiedlich weite Spannen definierten Grundwasserflurabstandsstufen in konkrete kontinuierliche Grundwasserflurabstände für die einzelnen Punkte des 100 m x 100 m Rasters zu überführen. Durch dieses Vorgehen sollte insbesondere eine gegenüber der Verwendung von Mittelwerten plausiblere Darstellung der sich aus den Grundwasserflurabständen ergebenden Grundwasserfläche erreicht werden. Das Grundkonzept

für diese Berechnungen bilden neben der grundlegenden Annahme, dass das Höhenprofil der Grundwasseroberfläche "ruhiger" ist als das der Geländeoberfläche, folgende aus den Vorgaben der Kartieranleitung (SCHULZE 1996b) abgeleitete Annahmen:

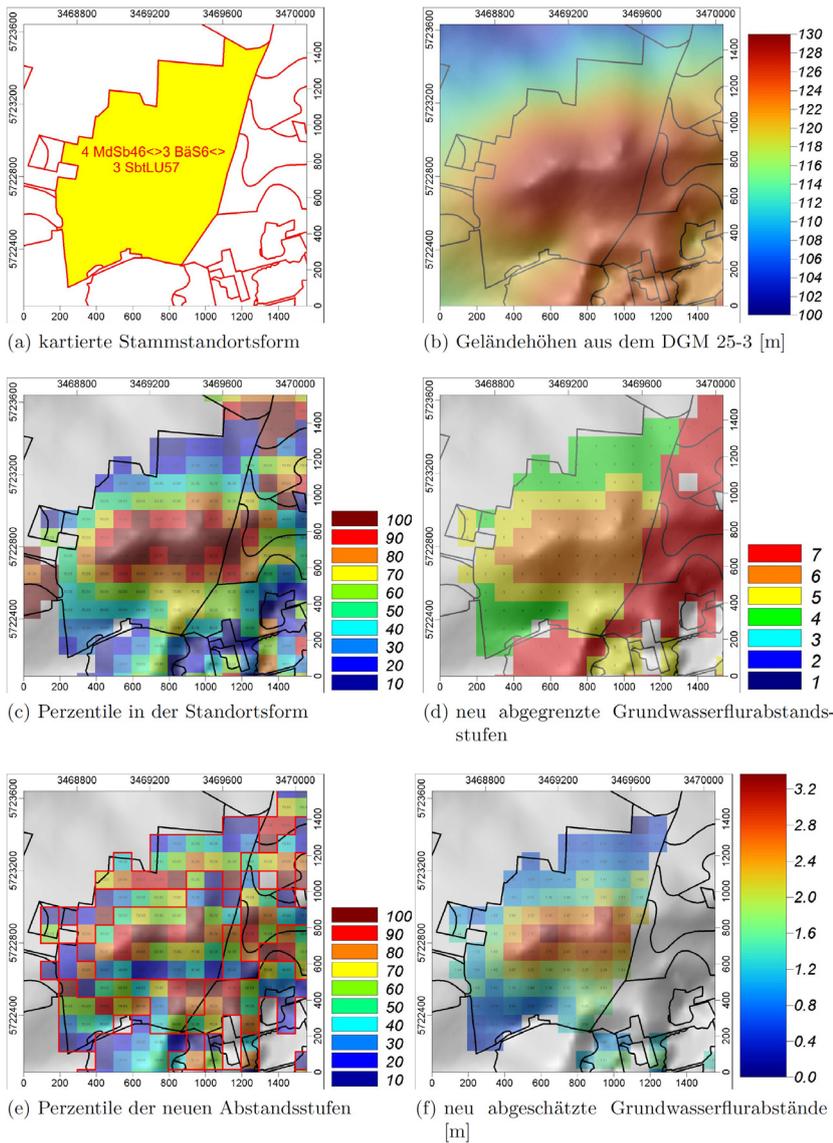
- bei der Kartierung wurden diskrete Flächen anhand der Wertespannen der Grundwasserflurabstandsstufen gebildet
- innerhalb eines Areals sind kleinflächige Abweichungen von der Grundwasserflurabstandsstufe auf bis zu 10% der Fläche möglich

Darauf aufbauend wurden die Grundwasserflurabstände für die einzelnen 100 m x 100 m Punkte mit einem ähnlichen Ansatz wie für die Auflösung der "kleinflächigen Wechsel" abgeleitet. Zunächst wurde wieder ein Grid mit den Perzentilklassen der Geländehöhe für die Polygone der Standortsformen (mit nun eindeutig zugeordneten Grundwasserflurabstandsstufen) ermittelt (Abb. 1e). Zur Berechnung des Perzentilklassengrids wurden die ermittelten eindeutigen Grundwasserflurabstandsstufen mit "Vectorising Grid Classes" in diskrete Flächen (shapes) einheitlicher Grundwasserflurabstandsstufen überführt und anschließend das Perzentilklassengrid wie bei der Auflösung der Wechselkartierungen berechnet. Auf Grundlage dieses Perzentilklassengrids wurden dann die Grundwasserflurabstände abgeleitet. Dabei wurden zwei verschiedene Fälle unterschieden:

1. die Differenz der Geländehöhen von 10- und 90-Perzentil ist größer als die Spanne der Grundwasserflurabstandsstufe
2. die Differenz der Geländehöhen von 10- und 90-Perzentil ist kleiner oder gleich der Spanne der Grundwasserflurabstandsstufe entsprechend der Kartieranleitung (SEA)

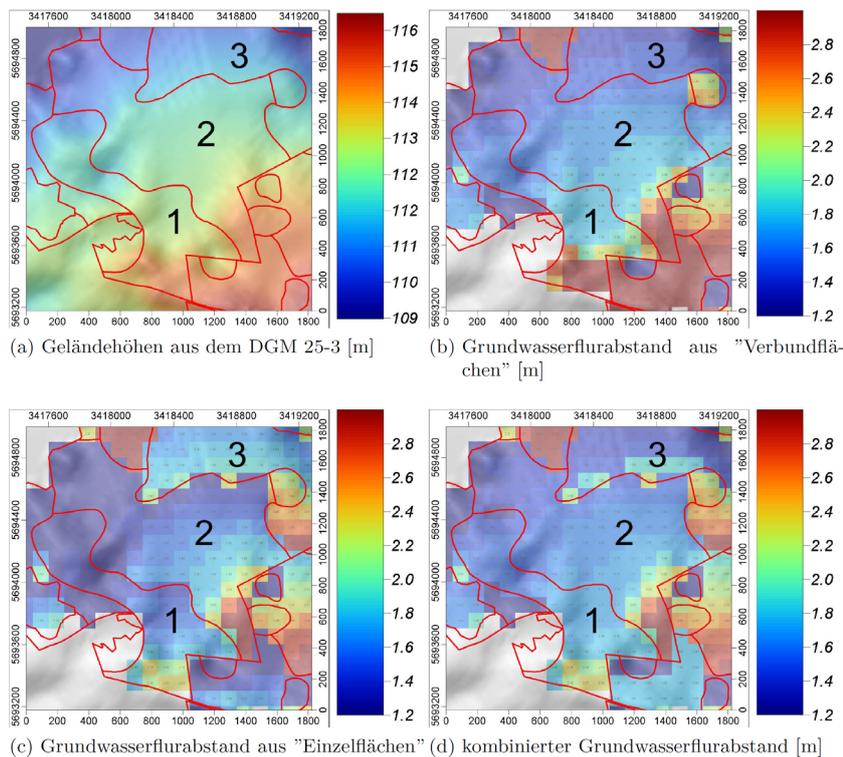
Bei der Ableitung für Fälle der Variante 1 wurde zunächst der Mittelwert der Grundwasserflurabstandsstufe als Grundwasserflurabstand für das 50-Perzentil der Geländehöhe übernommen. Anschließend wurde der Grundwasserflurabstand um die Hälfte der Spanne der Grundwasserflurabstandsstufe bis zum 10-Perzentil abgesenkt beziehungsweise zum 90-Perzentil angehoben. Entsprechend der Möglichkeit kleinflächiger Abweichungen (vgl. SCHULZE 1996b) wurde davon ausgegangen, dass für über 10- und 90-Perzentil hinausgehende Geländehöhen keine zwingende Bindung zu den sich aus der Grundwasserflurabstandsstufe ergebenden Spannen mehr besteht (Aussetzen der Grundwasseroberflächen-Geländeoberflächen-Bindung). Für die über das 90 Perzentil hinausgehenden Geländehöhen wurde der Grundwasserflurabstand entsprechend der Differenz zwischen Geländehöhe (am Einzelpunkt) und dem Höhenwert des 90-Perzentils ohne weitere Schranken frei erhöht. Für unter dem 10-Perzentil liegende Geländehöhen wurde wie zuvor der Grundwasserflurabstand entsprechend den Differenzen der Geländehöhen zum 10-Perzentil abgesenkt. Sich dabei ergebende Grundwasserflurabstände kleiner 0 m wurden nicht zugelassen und gleich 0 gesetzt (keine Gewässerbildung).

Für Fälle entsprechend Variante 2 wurde die für ein Polygon ausgewiesene Grundwasserflurabstandsschwankung von der Spanne der Kartieranleitung auf die Schwankungsamplitude der Geländehöhe reduziert. Somit wurde dem 50-Perzentil der Geländehöhe der Mittelwert der Grundwasserflurabstandsstufe entsprechend der Kartieranleitung zugeordnet und



**Abb. 1:** Zwischenschritte zur Ableitung der Grundwasserflurabstände für ein Areal mit drei unterschiedlichen kartierten Grundwasserflurabstandsstufen.

**Fig. 1:** Steps to estimate groundwater depths for an area characterized by three different groundwater depth classes.



**Abb. 2:** Problematik angrenzender Standortsformen gleicher Grundwasserflurabstandsstufe am Beispiel von drei entlang eines von Nord-Ost nach Süd-West zunehmenden Höhengradienten angeordneter Standortsformen der Grundwasserflurabstandsstufe 5.

**Fig. 2:** Difficulties in connection with adjacent mapping units of the same groundwater depth class. Example of an area of three mapping units (groundwater depth class 5) arranged along a northeast-southwest altitude gradient.

der Grundwasserflurabstand dann linear um die Hälfte der Schwankungsamplitude der Geländehöhe bis zum 10-Perzentil abgesenkt beziehungsweise zum 90-Perzentil angehoben. Für die extremen Geländehöhen (< 10- und > 90- Perzentil) wurde wie in Variante 1 verfahren. Dabei ergaben sich, der Natur dieser Flächen entsprechend, in der Regel Grundwasserflurabstände innerhalb der von der Kartieranleitung vorgegebenen Spannen.

Technisch wurden diese Berechnungen ähnlich wie bei der Ableitung der Grundwasserflurabstandsstufen (Kap. 3.2) mit den booleschen und arithmetischen Funktionen des SAGA Grid Calculator aus Grids für Geländehöhe, Höhe des 90-Perzentils, Höhe des 10-Perzentils, Perzentilklassen, sowie Mittelwert und Spanne der Grundwasserflurabstandsstufe durchgeführt.

### 3.4 Handhabung aneinander grenzender Polygone gleicher Grundwasserflurabstandsstufe

Eine Besonderheit stellen aneinandergrenzende Standortsformen gleicher Grundwasserflurabstandsstufe dar. Für diesen Fall ergeben sich bei der angewandten Methodik folgende zwei Varianten, welche im Einzelfall zu unterschiedlichen Grundwasserflurabständen (vgl. Abb. 2) führen:

1. jedes Polygon wird weiterhin separat bearbeitet, d. h. die Polygone der ursprünglichen Standortsformen werden vollständig erhalten (vgl. Abb. 2c)
2. angrenzende Polygone gleicher Grundwasserflurabstandsstufe werden als ein gemeinsames Polygon betrachtet, d. h. die Polygone der ursprünglichen Standortsformen werden gegebenenfalls zu größeren Polygonen neu zusammengesetzt (vgl. Abb. 2b)

Bedeutsam werden die Unterschiede zwischen beiden Varianten insbesondere dann, wenn wie in Abbildung 2 die betreffenden Polygone entlang eines sich kontinuierlich verändernden Höhen-Gradienten angeordnet sind. Die drei großen von Süd-West nach Nord-Ost aufeinander folgenden Polygone (1, 2 und 3) in Abbildung 2 sind alle einheitlich mit der Grundwassertiefenstufe 5 kartiert, unterscheiden sich jedoch in der Bodenform, weshalb separate Flächen kartiert wurden. Wird der Grundwasserflurabstand für die Verbundflächen berechnet (Abb. 2b), häufen sich die extremen Grundwasserflurabstände (Perzentilklassen 10 und 100) in den Polygonen an Beginn und Ende des Höhen-Gradienten (vgl. Polygon 1). Im Extremfall würden sich somit für einzelne ursprüngliche Standortsformen ausschließlich Grundwasserflurabstände außerhalb der kartierten Grundwasserflurabstandsstufe ergeben. Im Fall der strikten Trennung der ursprünglich kartierten Standortsformen (Abb. 2c) kommt es an den Grenzen zwischen den Standortsformen gleicher Grundwasserflurabstandsstufe zu unplausiblen Randeffekten in Form großer Grundwasserflurabstandsdifferenzen, da an den Grenzen (bei einem kontinuierlichen Höhengradienten) hohe und niedrige Perzentilklassen aufeinander treffen. Im Beispiel in Abb. 2c ist dies besonders deutlich im Übergang von Polygon 2 zu 3. Um in diesen Fällen die kartierte Grundwasserflurabstandsstufe zu erhalten (Variante 1) und zugleich einen möglichst kontinuierlichen Verlauf des Grundwasserflurabstandes innerhalb von Arealen gleichen Grundwasserflurabstands zu erreichen, wurden die beiden Verfahren miteinander kombiniert (Abb. 2d). Dafür wurde ein kontinuierlicher Grundwasserflurabstand für die Verbundflächen berechnet, wobei die Spanne der Grundwasserflurabstandsstufe innerhalb der neuen Polygone nicht

verlassen wurde (keine Berücksichtigung von Extremwerten und lineare Zuordnung der sich aus Grundwasserflurabstandsstufe ergebenden Spanne über alle Perzentilklassen). Anschließend wurden extreme Grundwasserflurabstände, wie sie an lokalen, kleinflächigen Überdünungen oder Senken auftreten, aus den Berechnungen entsprechend Variante 1 an den Punkten der 10- und 100-Perzentilklassen übernommen. Im Ergebnis zeigt sich in Abb. 2d ein Kartenbild, in dem keine über 10% Flächenanteil hinausgehenden Häufungen von Extremwerten in den einzelnen Polygonen auftreten. Die zu den Grenzen hin alternierenden Grundwasserflurabstände im Übergang von Polygon 1 zu 2 wurden beseitigt und im Übergang von Polygon 2 zu 3 deutlich abgemildert.

Die Vektorisierung der sehr zahlreichen Flächen (über 100.000 Polygone) für die Erstellung des Perzentilklassengrids entsprechend Variante 1 benötigte 2 Tage Rechenzeit (PC, 1,3 GHz). Das Perzentilklassengrid entsprechend Variante 2 (Verbundflächen) war durch die deutlich geringere Flächenzahl (insbesondere durch Zusammenschluss der dominierenden Grundwasserflurabstandsstufe 7) wesentlich weniger zeitaufwändig.

## 4 Diskussion und Ausblick

Die entwickelte Methode zur Ableitung der Grundwasserflurabstände erscheint geeignet, die Grundwasserflurabstandsstufen aus forstlichen Standortskarten durch die Kombination mit digitalen Geländemodellen in kontinuierliche Grundwasserflurabstände frei wählbarer Rasterweite zu übertragen. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die erreichbaren Genauigkeiten vom verwendeten digitalen Geländemodell und der tatsächlichen Genauigkeit der Standortskarte limitiert sind. So wurden die zugrunde liegenden Standortskarten für den Zielmaßstab 1:10.000 mit durchschnittlich ca. einem Bohrpunkt auf 4 ha Fläche erarbeitet (vgl. SCHULZE 1996b). Die Genauigkeit des eingesetzten DGM liegt teilweise nur im Bereich von  $\pm 2$  m. Mit hohen Fehlern von bis zu  $\pm 2$  m ist dabei vor allem bei bewegtem Relief im Bereich der Endmoränen zu rechnen. Ergebnisüberprägende Verzerrungen durch den im Vergleich zum Niveau der abgeleiteten Grundwasserflurabstände hoch erscheinenden absoluten Fehler der Geländehöhen sind im Rahmen der hier vorgestellten Berechnung von „relativen Geländehöhen“ (Perzentile) jedoch unwahrscheinlich. Wenn präzisere DGM verfügbar sind, sollten diese bevorzugt werden.

Problematisch erscheint auch der Zeitbezug der abgeleiteten Grundwasserflurabstände, da die zugrunde liegenden Grundwasserflurabstandsstufen aus mehreren Jahrzehnten Kartierarbeit stammen. So weisen Auswertungen von ca. 4900 Grundwassermessstellen darauf hin, dass die mittleren Grundwasserflurabstände in Brandenburg innerhalb der letzten Jahrzehnte einer deutlichen Dynamik unterlagen (HANNAPPEL & RIEK 2011).

Für Gebiete mit Substraten hoher gesättigter Wasserleitfähigkeit (Sandergebiete, Urstromtäler) sind insgesamt plausiblere Ergebnisse zu erwarten als für Gebiete mit geringer Wasserleitfähigkeit (Grund- und Endmoränen). Gegenüber der einfachen Übernahme von Mittelwerten für ganze Areale und Klassen sind jedoch auch für diese Gebiete insgesamt plausiblere Ergebnisse zu erwarten, da das vorgestellte Verfahren die kleinräumige Landschaftsmorphologie berücksichtigt.

Für die Erzeugung kontinuierlicher Flächeninformationen werden konventionell verschiedene Interpolationsverfahren,

insbesondere Kriging-Verfahren eingesetzt (vgl. NIELSEN & WENDROTH 2003, WEBSTER & OLIVER 2007), wie sie von HANNAPPEL & RIEK (2011) in Brandenburg zur Interpolation von Grundwasserflächen aus Punktdaten eingesetzt wurden. Für den Einsatz von Regressionsmodellen (GEHRT & BOCK 2009) werden ebenfalls kontinuierliche metrische Punktdaten zu den Grundwasserflurabständen benötigt, welche nicht unmittelbar in der forstlichen Standortskarte vorliegen.

Im Vergleich zur Interpolation der Grundwasserflächen anhand aus den Polygonen abzuleitender Stützstellen, neigt die vorgestellte Methode häufiger zu Randeffekten an den Übergängen zwischen den Arealen der Standortformen (vgl. Kap. 3.4). Da die Abbildung der Strömungsverhältnisse im Grundwasser kein primäres Ziel war, wurden diese Nachteile zugunsten der Möglichkeit, die Grundwasserflurabstände in hoher Übereinstimmung mit der Legendeneinheit für jedes einzelne Polygon abzubilden, toleriert. Dieses Vorgehen wurde zudem bevorzugt, da in Hinblick auf räumliche Auflösung und qualitative Eignung zur Einschätzung pflanzenreicher Grundwassers unter Wald für viele Gebiete Brandenburgs zu den Daten der forstlichen Standortkartierung gegenwärtig keine vergleichbaren Alternativen bestehen. Zur Vorhersage von Fließrichtungen und zur Verwendung in komplexen die Grundwasserströmung berücksichtigenden Modellen (vgl. STEIDEL et al. 1999) sollten mit der vorgestellten Methode erzeugte Grundwasserflurabstände / -oberflächen nicht ohne weitere Prüfung und Anpassung eingesetzt werden.

Insbesondere für Gebiete der Grund- und Endmoränen erscheint es interessant, die Methodik durch Integration von Punktinformationen der Standortskarte zum Grundwasserflurabstand zu erweitern. So sind die in den Standortskarten durch Punktinformationen gekennzeichneten kleinräumigen Bereiche unterschiedlicher Grundwasserflurabstände für die Grund- und Endmoränen besonders typisch.

Im Rahmen des o. g. Projekts zu regionalen Unterschieden der Auswirkungen des Klimawandels (RIEK 2010) ist vorgesehen, die aus der forstlichen Standortskarte gewonnenen Informationen zum Grundwasserflurabstand mit stichzeitraumbezogenen Grundwasserinformationen von Grundwassermessstellen, Messstellen an Oberflächengewässern (Pegeldaten) sowie zusätzlichen Daten zu Oberflächengewässern aus der topografischen Karte (HANNAPPEL & RIEK 2011) zu verknüpfen. In diesem Zusammenhang wird somit eine Verifizierung durch Vergleich mit einem aus einer unabhängigen Datengrundlage abgeleiteten Modell für Teilgebiete im Bereich der Urstromtäler und Sanderflächen möglich.

## Danksagung

Wir danken dem Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (Dr. D. Kühn, Dr. A. Bauriegel) für die Beratung zu verfügbaren Geländemodellen und für die Bereitstellung des in diesem Projekt verwendeten DGM 25-3-LBGR.

## Literatur

- CIMMERY, V. (2007): User Guide for SAGA (version 2.0). <http://sourceforge.net/projects/saga-gis/files/>.
- CONRAD, O. (2007): SAGA – Entwurf, Funktionsumfang und Anwendung eines Systems für Automatisierte Geowissenschaftliche Analysen. Dissertation: Georg-August-Universität zu Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2007/conrad/conrad.pdf>.

- GEHRT, E., BOCK, M. (2009): Ermittlung der Grundwasserflurabstände auf Grundlage digitaler Höhenmodelle. In: Jahrestagung der DBG in Bonn: [http://eprints.dbges.de/306/1/Text\\_GW\\_3.pdf](http://eprints.dbges.de/306/1/Text_GW_3.pdf).
- HANNAPPEL, S., RIEK, W. (2011): Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs für hydrologisch typische Zeiträume. *Hydrologie und Wasserwirtschaft* **55** (1): (im Druck).
- KÖTHE, R. (2007): Expertise – Qualität des DGM25 von Brandenburg und durchgeführte Qualitätsverbesserungen. scilands GmbH im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR): 16 S.
- KUTTIG, H. (2008): MEMO-TOOLS VERSION 6.5. GEO-NET Umweltconsulting GmbH: Hannover.
- MÖLLER, M. (2004): Disaggregation von Bodeninformationen auf der Grundlage digitaler Reliefdaten. In: GIS-gestützte Bewertung von Bodenfunktionen – Datengrundlagen und Lösungsansätze. Wichmann-Verlag: 67-89.
- NIELSEN, D.R., WENDROTH, O. (2003): Spatial and temporal statistics: Sampling field soils and their Vegetation. *GeoEcology textbook*: Catena Verlag, Reiskirchen: 398 S.
- OLAYA, V. (2004): A gentle introduction to SAGA GIS: <http://www.saga-gis.org/en/about/references.html>.
- RIEK, W. (2010): Regionale und standortsbedingte Unterschiede zu den Auswirkungen des Klimawandels. In: Wissenstransfer in die Praxis – Beiträge zum 5. Winterkolloquium am 25. Februar 2010 in Eberswalde. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* **44**: 38-48.
- SCHULZE, G. (1996a): Anleitung für die forstliche Standorterkundung im nordostdeutschen Tiefland – (Standorterkundungsanl.) SEA **95**: Bd. A – Standortform: 1-298.
- SCHULZE, G. (1996b): Anleitung für die forstliche Standorterkundung im nordostdeutschen Tiefland – (Standorterkundungsanleitung) SEA **95**: Bd. B – Praktisches Arbeitsverfahren: 1-252.
- SCHULZE, G. (1998): Anleitung für die forstliche Standorterkundung im nordostdeutschen Tiefland – (Standorterkundungsanleitung) SEA **95**: Bd. D – Bodenformen-Katalog. 3. Aufl.: 1-252 S.
- SPSS (2006): SPSS 15.0 Command Syntax Reference. SPSS Inc.: Chicago. <http://www.spss.com>.
- STEIDEL, J., MERZ, C., DANNOWSKI, R. (1999): GIS-gestützte Parameterisierung hydrogeologischer Datenmodelle für die Grundwassermodellierung in jungpleistozänen Einzugsgebieten. In: FOHRER, N., DÖLL, P. (Hrsg.): Modellierung des Wasser- und Stofftransports in großen Einzugsgebieten – Workshop am 19./ 20. 11.98 in Rauschholzhausen bei Gießen. Kassel University Press: 197-205. <http://www.upress.uni-kassel.de/online/frei/978-3-933146-21-2.volltext.frei.pdf>.
- WEBSTER, R., OLIVER, M.A. (2007): Geostatistics for Environmental Scientists. 2. Aufl., Statistics in practice: John Wiley & Sons, Ltd., Chichester [u. a.]: 315 S.

submitted: 22.11.10  
 reviewed: 03.01.11  
 accepted: 03.02.11

## Autorenanschrift

Alexander Russ, Prof. Dr.-Ing. Winfried Riek,  
 Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH)  
 und Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde  
 Alfred-Möller-Str.1  
 16225 Eberswalde  
 E-Mail: [Alexander.Russ@hnee.de](mailto:Alexander.Russ@hnee.de)  
 E-Mail: [Winfried.Riek@hnee.de](mailto:Winfried.Riek@hnee.de)