INFILTRATIONSPOTENTIALE DER BÖDEN IM EINZUGSGEBIET DER SCHWEINITZ (MITTLERES ERZGEBIRGE) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER LANDNUTZUNG

Wissenschaftliche Hausarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Amt des Studienrats

Vorgelegt von: Katja Henke Berlin, den 24. August 2007

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII

1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	2
1.2 Einbettung der Arbeit: Das Interreg IIIA-Projekt DINGHO	
1.3 Zielsetzung, Fragestellung und Aufbau der Arbeit	

2 S	tand der Forschung	. 6
	2.1 Darstellung der theoretischen Grundlagen	. 6
	2.2 Der Einfluss der Landnutzung auf die Infiltrationskapazität	13
	2.2.1 Der Einfluss der Landwirtschaft auf das Infiltrationspotential	14
	2.2.2 Der Einfluss der forstwirtschaftlichen Nutzung auf das Infiltrationspotential	15
	2.3 Der regionale Forschungsstand zur Infiltrationskapazität	17

3 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	19
3.1 Die Lage des Untersuchungsgebietes	
3.2 Geologie und Geomorphologie	
3.2.1 Geologie	
3.2.2 Geomorphologie	
3.3 Klima	
3.4 Hydrogeographie	
3.4.1 Oberflächengewässer	
3.4.2 Abflussverhalten	
3.4.3 Hydrogeologie	
3.5 Böden	
3.6 Vegetation und Landnutzung	
3.6.1 Potenzielle natürliche Vegetation	
3.6.2 Tatsächliche Vegetation	
3.6.3 Landnutzung	

Jntersuchungsmethoden	37
4.1 Geländemethoden	37
4.1.1 Bestimmung des Standortes	37
4.1.2 Infiltrationsmessungen	38
4.1.3 Stechzylinderbeprobungen	40
4.1.4 Pürckhauer-Sondierungen	40
4.2 Labormethoden	41
4.2.1 Vorüberlegungen zur Laborarbeit	41
4.2.2 Water Drop Penetration Time Test (WDPT Test)	42
4.2.3 Bestimmung der Wasser- und Feldkapazität des Bodens	43
4.2.4 Bestimmung der Bodenvorfeuchte	45
4.2.5 Datenberechnung und -ableitung weiterer bodenphysikalischer Paramete	er 46
4.3 Statistische Verfahren	46
arstellung der Ergebnisse	48
arstellung der Ergebnisse 5.1 Kurze Beschreibung der Untersuchungsstandorte	48 48
arstellung der Ergebnisse 5.1 Kurze Beschreibung der Untersuchungsstandorte 5.2 Ergebnisse der Infiltrationsmessungen	48 48 54
arstellung der Ergebnisse 5.1 Kurze Beschreibung der Untersuchungsstandorte 5.2 Ergebnisse der Infiltrationsmessungen 5.2.1 Darstellung der minimalen Infiltrationsraten	 48 48 54 54
 arstellung der Ergebnisse 5.1 Kurze Beschreibung der Untersuchungsstandorte 5.2 Ergebnisse der Infiltrationsmessungen	48 54 54 57
 arstellung der Ergebnisse	48 54 54 57 60
 Darstellung der Ergebnisse	 48 54 54 57 60 us-
 arstellung der Ergebnisse	
 Parstellung der Ergebnisse	48 54 54 57 60 us- 60
 arstellung der Ergebnisse	48 54 54 60 us- 60 60
 arstellung der Ergebnisse	
 barstellung der Ergebnisse	48 54 54 60 us- 60 61 61 64
 Darstellung der Ergebnisse	48 54 54 60 us- 60 61 61 64 64
 Darstellung der Ergebnisse	48 54 54 57 60 us- 60 61 61 61 64 66 67

6 Diskussion	70
6.1 Bewertung der bodenphysikalischen Kennwerte	70
6.2 Bewertung der Bodenwasserhaushaltsgrößen	73
6.3 Bewertung der Infiltrationsraten	75
6.3.1 Güte der Ergebnisse und Methodenkritik	75
6.3.2 Bedeutung der ermittelten Kennwerte für das Infiltrationspotential	78
6.3.3 Auswirkungen der Landnutzung auf das Infiltrationspotential	81
6.3.4 Zusammenfassende Betrachtung der Infiltrationspotentiale in Abhängigkeit	
von der Landnutzung und Ausblick	86
7 Zusammenfassung8	38
8 Literaturverzeichnis9) 1
9 Anhang10)3

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Weesenstein, Elbehochwasser 2002	1
Abb. 2:	Durch mitgeführtes Material zerstörtes Haus bei Ulberndorf	1
Abb. 3:	Schematische Darstellung eines Infiltrationsverlaufes in einem trockenen und	
	einem feuchten Boden	7
Abb. 4:	Überblick über die Beziehungen der Bodenkennwerte	. 12
Abb. 5:	Lage des Untersuchungsgebietes	. 19
Abb. 6:	Topographische Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schweinitz	. 20
Abb. 7:	Entstehung des Erzgebirges	. 21
Abb. 8:	Jahresdurchschnittstemperatur [°C] im Untersuchungsgebiet	. 27
Abb. 9:	Durchschnittliche Jahresniederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet	. 27
Abb. 10:	Übersichtskarte zur Landnutzungsverteilung im Einzugsgebiet der Schweinitz	. 34
Abb. 11:	Prozentuale Flächennutzungsanteile im Einzugsgebiet der Schweinitz	. 35
Abb. 12:	Prozentuale Flächennutzungsanteile der drei Hauptkategorien	. 36
Abb. 13:	Geräte für die Infiltrationsmessung	. 39
Abb. 14:	Eingetriebenes Doppelring-Infiltrometer mit Messbrücke und Schwimmer	. 39
Abb. 15:	Geräte für eine Stechzylinderentnahme	. 40
Abb. 16:	Geräte für den WDPT Test	. 42
Abb. 17:	Wassertropfen auf benetzungsgehemmter Probe	. 42
Abb. 18:	Aufsättigung der Proben	. 45
Abb. 19:	Austropfen der Proben	. 45
Abb. 20:	Die Lage der Untersuchungsstandorte	. 49
Abb. 21:	Darstellung der durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der Standorte	. 55
Abb. 22:	Infiltrationsverlauf eines Forst- eines Wiesen und Weide- und eines Landwirt-	
	schaftsstandortes	. 56
Abb. 23:	Die standortspezifischen Variationsbreiten der minimalen Infiltrationsraten sor-	
	tiert nach der Größe der Werte	. 58
Abb. 24:	Landnutzungsspezifische Darstellung der Lage und Verteilung der minimalen	
	Infiltrationsrate	. 59
Abb. 25:	Darstellung der Lagerungsdichte der Standorte	. 62
Abb. 26:	Landnutzungsspezifische Darstellung der Lage und Verteilung der Lagerungs-	
	dichte	. 63
Abb. 27:	Beziehung zwischen Lagerungsdichte und minimaler Infiltrationsrate	. 64
Abb. 28:	Wassergehalt zu Messbeginn in Volumenprozent	. 65

Abb. 29:	Die Bodenkennwerte in Volumenprozent	
Abb. 30:	Standort 8 - naturnaher Mischwald	
Abb. 31:	Standort 16 - Nadelwald	
Abb. 32:	Standort 3 - Laub-Mischwald	
Abb. 33:	Standort 14 - junger Laubwald	
Abb. 34:	Standort 19 - CORINE-Klasse Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbe	deckung 84
Abb. 35:	Standort 11 - frisch gepflügter Acker	
Abb. 36:	Standort 6 - Acker	
Abb. 37:	Standort 1 - Nadelwald	
Abb. 38:	Standort 2 - Mischwald	
Abb. 39:	Standort 3 - Laub-Mischwald	
Abb. 40:	Standort 4 - brach liegende Wiese	
Abb. 41:	Standort 5 - Rapsfeld	
Abb. 42:	Standort 6 - frisch besäter Acker	
Abb. 43:	Standort 7 - Wiese	
Abb. 44:	Standort 8 - Mischwald	
Abb. 45:	Standort 9 - Wiese	
Abb. 46:	Standort 10 - Acker	
Abb. 47:	Standort 11 - Acker	
Abb. 48:	Standort 12 - Birkenwald	
Abb. 49:	Standort 13 - Nadelwald	
Abb. 50:	Standort 14 - Laubwald	
Abb. 51:	Standort 15 - Wiese	117
Abb. 52:	Standort 16 - Nadelwald	
Abb. 53:	Standort 17 - junger Buchenwald	
Abb. 54:	Standort 18 - Wiese	
Abb. 55:	Standort 19 - Wiese / Weide	
Abb. 56:	Standort 20 - Laubwaldlichtung im Mischwald	
Abb. 57:	Topographische Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schweinitz	

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Kennwerte des Wasser- und Lufthaushaltes des Bodens	. 12
Tab. 2:	Charakterisierende Angaben zum Einzugsgebiet der Schweinitz	. 36
Tab. 3:	Übersicht über die einzelnen und die durchschnittlichen minimalen	
	Infiltrationsraten [mm/h] der Standorte	. 54
Tab. 4:	Durchschnittswerte der minimalen Infiltrationsraten der drei übergeordneten	
	Nutzungsklassen	. 56
Tab. 5:	Streuungsmaße der Landnutzungskategorien	. 58
Tab. 6:	Übersicht der Landnutzungsklassen und ihrer bodenhydrologischen Parameter	. 69
Tab. 7:	Standort 1 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	103
Tab. 8:	Standort 2 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	104
Tab. 9:	Standort 3 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	105
Tab. 10:	Standort 4 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	106
Tab. 11:	Standort 5 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	107
Tab. 12:	Standort 6 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	108
Tab. 13:	Standort 7 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	109
Tab. 14:	Standort 8 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	110
Tab. 15:	Standort 9 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	111
Tab. 16:	Standort 10 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	112
Tab. 17:	Standort 11 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	113
Tab. 18:	Standort 12 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	114
Tab. 19:	Standort 13 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	115
Tab. 20:	Standort 14 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	116
Tab. 21:	Standort 15 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	117
Tab. 22:	Standort 16 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	118
Tab. 23:	Standort 17 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	119
Tab. 24:	Standort 18 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	120
Tab. 25:	Standort 19 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	121
Tab. 26:	Standort 20 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen	122
Tab. 27:	Übersicht aller Standorte und der Ergebnisse	123

Abkürzungsverzeichnis

Anova	Analysis of Variance				
CORINE	Coordinated Information on the Environment				
DIN	Deutsches Institut für Normung				
DINGHO	Dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz in den deutsch-tschechischen Einzugsgebieten der Kammlagen des Mittleren Erzgebirges				
EEA	European Environment Agency				
eff. Ld.	effektive Lagerungsdichte				
EZG	Einzugsgebiet				
FK	Feldkapazität [Vol%]				
Forst	Forstwirtschaft / Forststandorte				
GPV	Gesamtporenvolumen [Vol%]				
kf-Wert	gesättigte Wasserleitfähigkeit [mm/h]				
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft				
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie				
LK	Luftkapazität [Vol%]				
Ls2	schwach sandiger Lehm				
Ls3	mittel sandiger Lehm				
LTV	Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen				
LWS	Landwirtschaft / landwirtschaftlich genutzte Standorte				
NASIM	Niederschlags-Abfluss-Simulation				
nFK	nutzbare Feldkapazität [Vol%]				
pF-Wert	dekadische Logarithmus der Wasserspannung				
S12	schwach lehmiger Sand				
S13	mittel lehmiger Sand				
SMUL	Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft des Freistaates Sachsen				
TK	Topographische Karte				
WaSiM-ETH	Wasserhaushalts-Simulations-Modell				
WDPT	Water Drop Penetration Time				
WK	Wasserkapazität [Vol%]				
W&W	Wiesen und Weiden				
ρ_t	Trockenrohdichte / Lagerungsdichte [g/cm ³]				
$ ho_{w}$	Dichte des Wassers [g/cm ³]				
θ_{Vol}	Wassergehalt [Vol%]				

1 Einleitung

Im Sommer 2002 wurde Mitteleuropa im Zuge der Vb-Wetterlage von verheerenden Starkniederschlagsereignissen heimgesucht. So kam es im August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe zu einem Hochwasser, das an der Flöha am Pegel Pockau 1 einer 200-jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit (~HQ 200) entsprach (LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREI-STAATES SACHSEN (LTV) 2004: 13). Die Starkniederschlagsereignisse sorgten auf Grund des bereits gesättigten Bodens zuerst an den Nebenflüssen und danach an der Elbe für fatale Überschwemmungen mit erheblichen Schäden. Bei intensiven Niederschlägen, wie sie im August 2002 in den Kammlagen des sächsischen Erzgebirges auftraten, können schon in den oberen Einzugsgebietslagen Hochwasser ausgelöst werden, die ein erhebliches Gefahrenpotential bergen. So fielen am 12.08.2002 in Zinnwald im Erzgebirge innerhalb von 24 Stunden 312 mm Niederschlag (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LFUG) 2002a: 4f.). Das entspricht ungefähr einem Drittel der dortigen jährlichen Niederschlagssumme und der höchsten täglichen Niederschlagssumme seit Beobachtungsbeginn in Deutschland. Auf Grund der Größe des Einzugsgebietes ist der Zeitversatz zwischen dem meteorologischen Ereignis und der hydrologischen Folgeerscheinung sehr gering und folglich sind Vorhersagen und Warnungen nur bedingt möglich. Dies führt zu der besonderen Gefahr solcher Hochwasserabflüsse, die jedoch als natürliche Prozesse zu betrachten sind (PESCHKE 2001: 20). Die Schäden des in den Hochlagen des Einzugsgebietes der Elbe entstandenen Hochwassers erreichten Milliarden.

Fotos von Familien, die ihre Häuser verlassen müssen, um den Wassermassen zu entfliehen und von erheblichen Sachschäden vor allem auf Grund des im Wasser mitgeführten Gerölls, sind keine Seltenheit (vgl. Abbildung 1 und 2).



Abb. 1: Weesenstein, Elbehochwasser 2002 Foto: HENNIG (FAZ 13.08.2007)



Abb. 2: Durch mitgeführtes Material zerstörtes Haus bei Ulberndorf

Da nach BÁRDOSSY et al. (2006: 24) solche Extremereignisse an Häufigkeit und Ausmaß zuzunehmen scheinen, sind Lösungsansätze dringend gefordert.

1.1 Problemstellung

Eine mögliche Lösung bietet die Implementierung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen, die wasserrückhaltend und abflussverzögernd wirken (ASSMANN & GÜNDRA 1999: 160f.). Der Kerngedanke des Konzeptes des dezentralen, integrierten Hochwasserschutzes beruht darauf, das Hochwasser verstärkt in der Fläche zurückzuhalten und den natürlichen Gebietsrückhalt für Niederschlagswasser zu erhöhen, indem das zusätzliche Rückhaltepotential stärker ausgenutzt wird. Sinnvoll wäre es dabei die Entstehungsgebiete des Hochwassers zu berücksichtigen, d. h. das Wasser bereits in den Hochlagen des Mittelgebirges zurückzuhalten. Vorteile kleinerer Speicher gegenüber großen Becken sind zum einen der geringere Eingriff in die Natur und zum anderen beginnt der Schutz bereits in den Kammlagen. Dezentraler Hochwasserschutz setzt im Vergleich zu zentralen Maßnahmen bereits im Bereich der Abflussbildung auf der Fläche an und ist nicht wie zentrale Hochwasserrückhaltemaßnahmen (Talsperren etc.) räumlich der Abflusskonzentration nachgeschaltet (INSTITUT FÜR GEO-GRAPHISCHE WISSENSCHAFTEN 2007b). Zu den Maßnahmenbestandteilen des dezentralen Hochwasserschutzes gehören neben der Integration von Retentionsarealen u. a. auch der Rückbau begradigter Flussstrecken zur Verlängerung der Fließzeiten, die Erhöhung der Gerinne- und Vorlandrauhigkeit zur Dämpfung der Abflussscheitel, der Waldumbau und ein Umdenken in der Bewirtschaftungsweise landwirtschaftlicher Flächen zur Reduzierung von Oberflächenabfluss und Erosion (ASSMANN et al. 1998: 16 und ASSMANN 1999: 114).

Aufgabe des Projekts "Dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz in den deutsch-tschechischen Einzugsgebieten der Kammlagen des Mittleren Erzgebirges" (DINGHO) ist die Identifikation und Ausnutzung zusätzlicher Rückhaltepotentiale in den oberen Kammlagen des Mittleren Erzgebirges, um sowohl das Gefahrenpotential als auch das Schadensausmaß flussabwärts zu verringern. Insgesamt wurde beim Augusthochwasser 2002 schon allein der Schaden an öffentlicher Infrastruktur des Einzugsgebietes der Flöha oberhalb der sächsischen Stadt Olbernhau auf 62 Millionen Euro beziffert (nach mündliche Mitteilung von Diplom Geograph M. Ramelow). Innerhalb Olbernhaus belief sich der Schaden auf elf Millionen Euro¹. Fundierte hydrologische Kenntnisse und eine detaillierte Analyse des Einzugsgebietes sind eine wichtige Voraussetzung für wirksame Schutzmaßnahmen. Um Modell-

¹ Die Schadensumme wäre noch höher gewesen, wenn die Rauschenbachtalsperre im August 2002 nicht auf Grund von Brückenbauarbeiten im Stauraum nur einen Füllstand von ca. einem Fünftel des Gesamtvolumens aufgewiesen und somit keinen extra Rückhalteplatz hätte bieten können (SIEBER 2002: 2f.).

simulationen optimal an die vorzufindenden Geländeverhältnisse anzupassen, sind viele u. a. bodenhydrologische Parameter unabdingbar. Da eine Datengrundlage zu den Infiltrationswerten lückenhaft ist bzw. nicht existiert und diese Informationen nur schwer aus Kartenwerken ableitbar sind, werden im Rahmen dieser Examensarbeit Parameter erhoben, die das bodenhydrologische Verhalten im Einzugsgebiet der Schweinitz mitbestimmen. Die Infiltrationskapazität der Böden wird ermittelt und in Abhängigkeit von der Landnutzung diskutiert.

1.2 Einbettung der Arbeit: Das Interreg IIIA-Projekt DINGHO

Ziel der Gemeinschaftsinitiative Interreg IIIA der Europäischen Union ist die Förderung der Zusammenarbeit über staatliche Grenzen hinaus - das Untersuchungsgebiet wird von der deutsch-tschechischen Staatsgrenze durchlaufen - und die Erhöhung von Wachstumschancen. Aufgabe der EU-Gemeinschaftsinitiative ist es dafür zu sorgen, dass nationale Grenzen eine ausgewogene Entwicklung und Integration des Europäischen Raumes nicht behindern. Ein Teil des Programms stellt das Projekt DINGHO dar. Neben dem Institut für Geographische Wissenschaften der Freien Universität Berlin mit Herrn Prof. Dr. A. Schulte als Projektleiter, sind das Institut für Geoökologie und Geographie der Karls-Universität Prag und das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden (IÖR) an dem Projekt beteiligt. Durch die Verbesserung des grenzübergreifenden dezentralen Hochwasserschutzes sollen auf umweltverträgliche und nachhaltige Art und Weise die Umweltrisiken reduziert werden. Dabei sollen Gewässer zweiter Ordnung in den Teileinzugsgebieten der oberen Flöha² besonders berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Projektes werden in den Kammlagen des Erzgebirges oberhalb von Olbernhau mögliche Schutzmaßnahmen erforscht. Dazu werden Niederschlags-Abfluss-Modelle erstellt und Wasserrückhaltemaßnahmen konzipiert. Für diese Niederschlagsabflusssimulationen, die im Rahmen zweier Dissertationen mit dem deterministischen, flächendetaillierten Modell NASIM (Niederschlags-Abfluss-Simulation) und dem deterministischen, prozessorientierten, flächendifferenzierten hydrologischen Modell WaSiM-ETH (Wasserhaushalts-Simulations-Modell) durchgeführt werden, sind verschiedene gebietsspezifische Eingabeparameter notwendig. Die vorliegende Staatsexamensarbeit setzt bei der Gewinnung einiger dieser Parameter aus dem Einzugsgebiet der Schweinitz an. Um zur Dateneinspeisung in das Modell und zur Validierung des Modells Parameter zu gewinnen und um heraus-

² Der Bereich stromaufwärts der Stadt Olbernhau wird als obere Flöha bezeichnet und besitzt ein Einzugsgebiet von 230 km² (Institut für Geowissenschaften 2007b).

zufinden, welche besonderen Potentiale die forstwirtschaftlich genutzten Flächen für den Hochwasserschutz besitzen, ist es erforderlich die landnutzungsabhängige Infiltrationsleistung zu ermitteln.³

1.3 Zielsetzung, Fragestellung und Aufbau der Arbeit

Die Bildung von Oberflächenabfluss und somit auch die Entstehung von Hochwasser hängen eng zusammen mit der Infiltrationsrate der Böden. Die Infiltrationskapazität, die außerdem wichtig ist für das flächenhafte Niederschlagsrückhaltepotential im Einzugsgebiet, wird vor allem von der Körnung, der Bodenvorfeuchte, der Lagerungsdichte und dem Porenvolumen bestimmt. Darüber hinaus wird die Infiltrationskapazität entscheidend von der Landnutzung beeinflusst. Unterschiedliche Landnutzungs- und Bewirtschaftungsformen wirken sich lockernd bzw. verdichtend auf den Boden und folglich auch auf die Infiltrationsleistung aus.

Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung besteht darin, anhand beispielhafter Standortuntersuchungen die Infiltrationspotentiale der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz zu ermitteln und ihre Abhängigkeit von der Landnutzung zu untersuchen. Dabei soll der Schwerpunkt auf einfach umsetzbaren Feld- bzw. Laboruntersuchungen zur Bestimmung der für NASIM und WaSiM notwendigen Parameter liegen. Es bleibt zu prüfen, inwieweit Abweichungen der Eingangsparameter durch schlichte Feldmethoden die NASIM- bzw. WaSiM-Simulation überhaupt beeinflussen. Ziel der Arbeit ist die Formulierung von Aussagen über die landnutzungsabhängige Infiltrationsleistung, mit Hilfe der ermittelten Infiltrationsraten, der Bodenfeuchte, der Lagerungsdichte, dem Porenvolumen des Bodens und den Informationen über die Bewirtschaftungsweise der Nutzungsflächen. Dies soll im weiteren Verlauf des Projektes die Ableitung von Empfehlungen für eine korrekte Parametrisierung und die Dateneichung ermöglichen.

Aus dieser Aufgabe lassen sich für die Arbeit folgende zentrale Fragestellungen ableiten:

- I. Welche Werte für die minimalen Infiltrationsraten weisen die untersuchten Standorte auf?
- II. Sind Zusammenhänge zwischen den bodenphysikalischen Kennwerten (Körnung, Lagerungsdichte, Porenvolumen) und den Bodenwasserhaushaltsgrößen

³ Weitere Informationen zu dem dezentralen und integrierten Hochwasserschutzkonzept sowie zur Förderung und zu den Partnern des Projektes sind auf folgender Internetseite zu finden: http://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/projekte/dingho/.

(Bodenvorfeuchte, Wasser- und Feldkapazität) im Einzugsgebiet der Schweinitz und den Infiltrationspotentialen zu beobachten?

III. Inwieweit lassen sich Zusammenhänge zwischen der Landnutzungsweise der Standorte und deren Infiltrationsraten bzw. den bodenphysikalischen Kennwerten und den Bodenwasserhaushaltsgrößen erkennen, und wie sind diese zu begründen?

Um nachvollziehbare Antworten auf die vorangestellten Fragen geben zu können wird nach der Einleitung der aktuelle Stand der Forschung diskutiert. Dabei werden die theoretischen Grundlagen kurz dargelegt, der Einfluss der Landnutzung auf die Infiltrationsrate erläutert und aktuelle Informationen zur Untersuchungsregion aufgegriffen. Im dritten Kapitel erfolgt eine Einführung in die physisch-geographische Ausstattung des Untersuchungsgebietes. Schwerpunkte liegen dabei auf den Aspekten, die über mögliche Einflüsse auf die Infiltrationsleistung verfügen. Das darauf folgende vierte Kapitel liefert eine Beschreibung der Untersuchungsmethoden, die angewandt wurden, um die Fragestellung zu bearbeiten. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt im fünften Kapitel. In Kapitel sechs werden die dargestellten Ergebnisse und Methoden erörtert, bewertet und in Abhängigkeit ihrer Landnutzung analysiert. Das abschließende siebte Kapitel enthält eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse.

2 Stand der Forschung

Das folgende Kapitel dient dazu die wissenschaftlichen Hintergründe des zu bearbeitenden Themas darzulegen und den aktuellen Forschungsstand in Bezug auf die Problemstellung und das Untersuchungsgebiet aufzuarbeiten. Im ersten Unterkapitel werden die theoretischen Grundlagen und die im weiteren Verlauf verwendeten Begriffe erläutert. Anschließend wird auf den Zusammenhang zwischen den Infiltrationspotentialen und der Landnutzung eingegangen. Zu diesem Zweck werden einige Studien zusammengefasst, die nicht nur Informationen zur Problemstellung darstellen, sondern auch Informationen zur direkten Umgebung des Untersuchungsgebietes enthalten.

2.1 Darstellung der theoretischen Grundlagen

Infiltration und Abfluss

Bei der Infiltration, d. h. der Versickerung von Wasser durch Hohlräume in den Boden (AG BODEN 2005: 413), handelt es sich um eine komplexe, von zahlreichen Faktoren beeinflusste und somit nicht konstante Größe. Sie ist deshalb so wichtig, da sie neben dem Bodenwasserhaushalt auch die Abflussbildung entscheidend beeinflusst. Ist der Boden wassergesättigt und kommt es zu Niederschlagsintensitäten, die die Infiltration übersteigen, kann es zu sofortigem Oberflächenabfluss kommen (MANIAK 2005: 280; SCHRÖDER 2000: 4 und HORTON 1933: 456), der mit zunehmender Hanglänge und dem Hanggefälle steigt (ZEPP & HERGET 2001: 14). Die Infiltration von Wasser in den Boden oder in den Gesteinsuntergrund stellt somit für die Wasserbilanz eines Fließsystems eine Verringerung des oberflächlich abfließenden Wassers dar (PFEFFER 2006: 118). Der Wassergehalt bzw. die Ausgangsfeuchte des Oberbodens ist dabei ausschlaggebend für die Abflussbereitschaft (SCHWARZ 1986: 161). Das Abflussgeschehen hängt also von den Gebietseigenschaften, dem Systemzustand, wie z. B. der Bodenfeuchte, und den Ereigniseigenschaften, die die Niederschlagsintensität und -dauer bestimmen, ab (PESCHKE 2001: 22). Typische Merkmale für den Horton'schen Oberflächenabfluss sind der schnelle Abflussanstieg mit einem hohen Scheitel und ein relativ rascher Rückgang (PESCHKE 2001: 20).

Infiltrationsverhalten

Die Infiltrationsrate gibt die Wassermenge an, die pro Zeiteinheit in den Boden versickert (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 224) und kennzeichnet so den Verlauf der Infiltration, d. h. die Veränderung über die Zeitachse, der beispielhaft in der folgenden Abbildung dargestellt ist. Sie wird entweder in mm/h oder als insgesamt versickerte Wassermenge (kumulative Infiltration) angegeben (MANIAK 2005: 280).



Abb. 3: Schematische Darstellung eines Infiltrationsverlaufes in einem trockenen und einem feuchten Boden (aus: DURNER 2007: 14)

Das Eindringen von Wasser in den ungesättigten Boden nach Niederschlagsereignissen, Beregnungsversuchen, Schneeschmelzen oder Überstauungen erfolgt zunächst sehr schnell. Auf Grund des steilen Gradienten des Matrixpotentials zeichnet sich der Infiltrationsverlauf durch einen steilen Beginn aus. Mit fortschreitender Zeit und weitgehender Sättigung des Bodens reduziert sich der Gradient - an Stelle des Matrixpotentials beginnt die Schwerkraft zu wirken - und folglich auch die Höhe der Infiltrationsintensität. Der annähernd konstante Wert, der sich nach der vollständigen Wassersättigung des Bodens einstellt, wird als minimale Infiltrationsrate bezeichnet. Während in der DIN 19682-7 ausschließlich der Begriff Infiltrationsrate benutzt wird, grenzt SCHWARZ (1982: 208) den Begriff der Infiltrationsrate, der sich auf den gesamten Messverlauf, d. h. auch auf den ungesättigten Boden bezieht, von der minimalen Infiltrationsrate ab, die sich gegen Ende der Messung einpendelt und quasi die wassergesättigte Infiltrationsrate wiedergibt. Laut SCHWARZ und SCHAMS (1982: 208 und 1967: 77) wird die minimale Infiltrationsrate als Maß für die Wasserdurchlässigkeit eines Bodens angesehen und ist bei wassergesättigtem Boden gleichzusetzen mit der Absickerungsrate in den Untergrund. Auch nach BRAKENSIEK & RAWLS (1994: 102) hängt bei homogenen Böden die asymptotisch erreichte minimale Infiltrationsrate eng mit der gesättigten Wasserleitfähigkeit bzw. der hydraulischen Leitfähigkeit bei Feldsättigung zusammen (DURNER 2007: 15). Diese, oft auch als kf-Wert bezeichnete Größe, hängt von der Anzahl und der Größe dränender Poren ab und folglich von der Bodenart und der Lagerungsdichte (SCHLICHTLING et al. 1995: 38). Bei trockenen Böden ist die Durchlässigkeit gering, da luftgefüllte Poren kein Wasser leiten (EIJKELKAMP 1999: 2). EIJKELKAMP (1999: 2f.) benutzt zusätzlich den Begriff der Infiltrationskapazität, die der maximalen Infiltrationsrate zu einem bestimmten Moment entspricht und zu Messbeginn bei ungesättigtem Boden höher ist.

Der Infiltrationsverlauf ist abhängig von verschiedenen Bodeneigenschaften, wie z. B. der Bodenart, der Porosität und dem Wassergehalt. Der Wassergehalt ist bei ein und demselben Boden für die minimale Infiltrationsrate, die bei vollständiger Sättigung eintritt, nicht entscheidend. Ist der Boden trocken, ist die Infiltrationsrate jedoch zu Beginn höher, als wenn dieser feucht gewesen wäre (vgl. Abbildung 3). Die Anfangsinfiltrationsrate (maximale Infiltrationsrate) kann bei trockenen Tonböden bis zu 100-fach so hoch sein wie die Endinfiltration (konstante bzw. minimale Infiltrationsrate). Bei feuchten Sandböden ist die Anfangsinfiltration dagegen zu Beginn nur doppelt so hoch (DURNER 2007: 14). Darüber hinaus sind Kennwerte wie die Lagerungsdichte ("die bei 105 °C getrocknete Masse einer Bodenprobe in natürlicher Lagerung [...] bezogen auf ihr Volumen" (AG BODEN 2005: 340)), die Mächtigkeit der Humusauflage, der Humusgehalt und die Porengrößenverteilung, ihr Volumen und ihre Kontinuität, welche im späteren Verlauf näher beschrieben werden, geeignete Indikatoren für das Infiltrationsverhalten. Außerdem beeinflusst die Wasserleitfähigkeit der Bodenoberfläche den Verlauf der Infiltration maßgeblich. Kommt es zur Zerstörung der Aggregate oder zu Verschlämmung wird die Infiltration stark gehemmt, das Wasser fließt oberflächlich ab und führt zu Erosionsgefahr (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 224). Untersuchungen von BRAKENSIEK & RAWLS (1994:109) ergaben, dass Steine im Boden und kleine Steine an der Bodenoberfläche ebenfalls die Infiltration hemmen, während größere Steine an der Oberfläche eine Steigerung der Infiltration veranlassen können.

Hydrophobizität

Die Benetzungseigenschaften, deren Auswirkungen besonders bei trockenen Böden zu beobachten sind, beeinflussen ebenfalls das Infiltrationsverhalten (WAHL et al. 2002: 46). Die Persistenz und die Stärke des Benetzungswiderstandes, die stark mit dem Humusgehalt korrelieren, sind tiefenabhängig und nehmen im Regelfall mit zunehmender Bodentiefe ab (WAHL et al. 2006: 49). Die Beobachtungen mehrerer Studien von WAHL et al. (2002: 52) ergaben darüber hinaus, dass hydrophobe Bodeneigenschaften unter mächtigen Rohhumusauflagen besonders ausgeprägt sind. Die Abnahme von Persistenz und Stärke des Benetzungswiderstandes mit zunehmender Tiefe kann darauf zurückgeführt werden, dass Laub- und Nadelstreu das den Benetzungswiderstand verursachende Material liefern. Der

Benetzungswiderstand kann auch die Wasserleitung negativ beeinflussen. Untersuchungen von DOERR et al. (2006: 741) ergaben, dass benetzungsgehemmte Böden geringere Infiltrations- und Wasserspeicherkapazitätswerte aufweisen als benetzbare Böden. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass Forststandorte öfter benetzungsgehemmt sind, als die meist benetzbaren landwirtschaftlich genutzten Standorte (DOERR et al. 2006: 744). Darüber hinaus zeigten die Resultate, dass die Benetzungshemmung bei trockenen Böden größer ist und außerdem abhängig ist von den Bestandteilen des organischen Materials und des Bodengefüges. Es ist daher nicht abzustreiten, dass die Benetzung Auswirkungen auf das Infiltrationsverhalten hat. So zeigen IMESON et al. (1992: 349), dass die Infiltrationsrate bei benetzungsgehemmten Böden zunächst gering ist, dann vorübergehend ansteigt und schließlich auf einen konstanten Wert absinkt. Laut SCHÜLER (2006: 136) kann jedoch die Hydrophobizität bei der Betrachtung von Hochwasserereignissen außer Acht gelassen werden, da die Streu in solchen Situationen durchfeuchtet und nicht mehr hydrophob ist.

Poren

Die Poren, die auf die unterschiedliche Korngrößenverteilung und die Formenvielfalt der Primärteilchen zurückzuführen sind, bilden zusammen mit den Feststoffpartikeln die Bodenmatrix. Das so genannte Porenvolumen beeinflusst das Infiltrations- und Speicherverhalten und somit auch die Abflussbildung. Neben diesen körnungsbedingten Primärporen besteht die Gruppe der Sekundärporen aus unregelmäßigen Hohlräume, die durch Wühlen von Tieren oder Bearbeitungsmaßnahmen entstehen, aus spaltförmigen Schrumpfungsrissen sowie aus Wurzel- und Tierröhren und wird stark von der Landnutzung und Bewirtschaftungsweise beeinflusst (NIEHOFF 2001: 16). Diese Sekundärporen sind gekennzeichnet durch ein höheres Maß an Kontinuität, das laut NIEHOFF (ebd.) wichtiger ist als ihr Gesamtvolumen, einen Äquivalentdurchmesser von $> 60 \,\mu\text{m}$ und durch höhere Zerstörungsanfälligkeit. Sie sind in Bodenoberflächennähe am stärksten ausgeprägt und nehmen mit der Tiefe ab (HORN & HARTGE 1999: 42). Dieses gröbere Sekundärporensystem, welches für die Durchlüftung wichtig ist, und das feinere Primärporensystem durchdringen einander und steuern das Infiltrationsverhalten. So führt ein gut vernetztes Sekundärporensystem zu höheren gesättigten Wasserleitfähigkeitswerten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 221). Oft wird auch die Unterteilung in Mikro- und Makroporen vorgenommen. Der schnelle Fluss findet unter der Bedingung, dass die Mikroporen kein Wasser mehr aufnehmen können, in den Makroporen statt (ZEPP & HERGET 2001: 15), die auf Grund ihrer Größe das Wasser nicht kapillar zu binden vermögen (GERMANN 1981: 18 und SCHRÖDER 2000: 4). Gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung sind die Makroporen bzw. Sekundärporen mit dem bloßen Auge erkennbar und die Mikroporen bzw. Primärporen nur mit der Lupe (AG BODEN 2005: 123). Die Makroporen, die durch Regenwurmröhren, Wurzelgänge und Bodenrisse entstehen, verfügen über einen Durchmesser > 2 mm (WOHLRAB et al. 1992: 91). Makroporen die durch Wurzelkanäle oder Trockenrisse gebildet werden sind auf Grund der variierenden Durchwurzelung bzw. durch Quellung und Schrumpfung ständig Veränderungen ausgesetzt. Die durch Durchwurzelung entstehenden Makroporen, machen ca. 35 % aus und nehmen mit der Tiefe drastisch ab (BEVEN & GERMANN 1982: 1312f.). Das Einsickern von Wasser in die Feinporen wird als Mikroporeninfiltration bezeichnet und wird besonders von der Bodenfeuchte und der hydraulischen Leitfähigkeit beeinflusst. Übersteigen die Niederschläge die Wasseraufnahmekapazität der Fein- und Mittelporen, kommt es zur Makroporeninfiltration. Erst wenn deren Aufnahmekapazität überschritten wird kommt es zur Bildung von Oberflächenabfluss (BENECKE 1996: 396). Auch wenn der Anteil der Makroporen am Gesamtvolumen gering ist, kommt ihnen Dank ihrer großen Transportkapazität eine zentrale Rolle zu. Die direkte Infiltration in die Makroporen kann vernachlässigt werden, da ihr Anteil an der Bodenoberfläche gering ist (BEVEN & GERMANN 1982: 1315). Erst durch unzureichende Matrixinfiltration fließt das Wasser den Makroporen zu und dringt über diese wieder in tiefere Bereiche der Matrix. Im Makroporensystem fließt das Wasser 100 - 400mal schneller als in der Bodenmatrix (GERMANN 1981: 82) und kann Geschwindigkeiten von bis zu mehreren Zentimetern pro Sekunde betragen (WOHLRAB et al. 1992: 91). Die Gesamtinfiltration entspricht somit der Summe aus Mikro- und Makroporeninfiltration. Welche der beiden Infiltrationsarten den Infiltrationsprozess dominiert ist dabei abhängig von den Gegebenheiten des Bodens (KOCH et al. 2005: 453).

In Bezug auf die Infiltrationsraten ist festzustellen, dass sie unter Wald auf Grund des ausgeprägten Makroporensystems am höchsten sind (KOHNKE 1968: 29), während Ackerflächen, je nach Bearbeitungszustand, niedrigere Raten aufweisen. Makroporensysteme sind unter Ackerflächen oft nur bis zur Pflugsohle vorzufinden und werden durch die Bearbeitung häufig zerstört. Für die besseren Infiltrationsbedingungen im Wald sorgen die geringere Bearbeitungsintensität, das oft gröbere Ausgangssubstrat, die stärkere Durchwurzelung und die höhere Bioaktivität (NIEHOFF 2001: 19). Auch die Variationsbreiten sind im Allgemeinen unter Waldflächen höher als auf verdichteten oder verschlämmten Ackerflächen (WOHLRAB et al. 1992: 91). Untersuchungen von SCHWARZ (1982: 209) bestätigen generell und besonders bei Waldstandorten eine hohe Variabilität der ermittelten minimalen Infiltrationsraten, die oft auf Makroporen zurückgeführt wird. Außerdem frieren porenreiche Waldböden weniger tief und später zu und fungieren so länger als Wasserspeicher (LFL 2006: 4).

Beziehung zwischen Poren, Wassergehalt und Wasserbindung

Die Porengrößenbereiche orientieren sich an charakteristischen Kennwerten des Wasserhaushaltes. Die weiten Grobporen weisen z. B. einen Äquivalentdurchmesser von $> 50 \,\mu\text{m}$ auf. Das entspricht der Luftkapazität und einem pF-Wert von <1,8. Die Feinporen dagegen verfügen über einen Äquivalentdurchmesser von $< 0,2 \mu m$ und einem pF-Wert > 4,2. Dieses als Totwasser bezeichnete Haftwasser ist in der Regel nicht pflanzenverfügbar. Demnach erlaubt die Saugspannung, die ein Maß für die Bindung des Wassers im Boden ist und als pF-Wert angegeben wird, nicht nur Rückschlüsse auf die Porengrößen, die Wasserbewegung und Wasserspeicherung im Boden, sondern auch auf die Be- und Entwässerbarkeit des Bodens (BILLWITZ 2000: 314). Genauso kann man, da die Größe der Poren proportional ist zu der Intensität ihrer Wasserbindung und die Dichte von Wasser 1 g/cm3 beträgt, aus dem Wassergehalt unter definierter Saugspannung auf das Porenvolumen schließen. Die Saugspannung, die von Adsorptions- und Kapillarkräften abhängt, sorgt zunächst für eine Befeuchtung der feinen und anschließend der groben Hohlräume (PESCHKE 2001: 20). Dabei ist der Wassergehalt einer Probe bei der gleichen Saugspannung abhängig von Hysteresiseffekten. Eine detaillierte Darstellung der Zusammenhänge der einzelnen Porenarten und ihrer Beziehungen zwischen Porengröße, Wassergehalt, Saugspannung und den daraus abgeleiteten Wasserbindungsformen sind Abbildung 4 und Tabelle 1 zu entnehmen.

Insgesamt lässt sich sagen: je grobkörniger, d. h. je sand- oder kiesreicher, die Böden sind, desto größer ist der Anteil an Grobporen und je feinkörniger der Boden, desto größer der Anteil an Feinporen. Sande haben einen Grobporenanteil von 30 ± 10 % und einen Feinporenanteil von 5 ± 3 %, während Tone respektive 8 ± 5 % und 35 ± 10 % aufweisen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 165f.).



Abb. 4: Überblick über die Beziehungen der Bodenkennwerte (aus: Zepp & Herget 2001:11)

Wasser- spannung	< 60 [hPa]	60 – 300 [hPa]	über 300 – 15 000 [hPa]	>15 000 [hPa]
pF-Wert	< 1,8	1,8 - < 2,5	2,5 - < 4,2	\geq 4,2
Äquivalent- durchmesser der Poren	> 50 [µm]	50 - > 10 [μm]	10 - > 0,2 [μm]	\leq 0,2 [µm]
Porenbe- zeichnung	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Bodenwasser	schnelles Sickerwasser	langsames Sickerwasser	pflanzenverfüg- bares Haftwasser	nicht pflanzenverfüg- bares Haftwasser
	Luftkapazität	nutzbare Feldk	capazität (nFK)	Totwasser (TW)
Boden- kennwerte	(LK)	Feldkapazität (FK)		
	Gesamtporenvolumen (GPV) / Maximale Wasserkapazität			

Tab. 1:Kennwerte des Wasser- und Lufthaushaltes des Bodens (verändert nach AG BODEN 2005:
343 und DIN 4220: 14)

Der in Abbildung 4 dargestellte Zusammenhang zwischen dem Potential des Wassers im Boden und der Wassermenge wird als Wasserspannungskurve bzw. als pF-Kurve bezeichnet. Der unterschiedliche Verlauf bei unterschiedlicher Körnung ist auf die verschiedenartige Porengrößenverteilung zurückzuführen. Diese Porengrößenbereiche unterscheiden sich in Bezug auf ihre Wirkung auf die Wasserbewegung und somit auf die Speicherkapazität. Bei einer Wasserspannung von 0 hPa, d. h. bei Wassersättigung bzw. einem maximalen Wassergehalt, liegt dieser in der Abbildung zwischen 48 - 53 Vol.-% und der gesamte Porenanteil ist dann mit Wasser gefüllt. "In Abwesenheit von Lufteinschlüssen entspricht dieses Volumen dem jeweiligen gesamten Porenvolumen" (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 215). Die Wasserkapazität eines Bodens entspricht also dem Gesamtporenvolumen und korreliert mit dem Gehalt an organischer Bodensubstanz (WAHL et al. 2002: 46). Bei Abnahme des Wassergehaltes verläuft die den Sandboden betreffende Kurve zunächst sehr steil. Die Bindungsstärke des Bodenwassers ist bei gleichem Wassergehalt bei Sand am geringsten und bei Ton am stärksten. Je feinkörniger also der Boden ist, desto höher ist der Wassergehalt, der sich im pF-Bereich der Feldkapazität (pF ~ 1,8 bis ~ 2,5) einstellt. Bei einem Wassergehalt von 20 Vol.-% ist ein Sandboden nass und ein Tonboden feucht. Die Wasserspannungskurve hängt neben der Körnung auch von dem Gefüge (Quellungs- und Schrumpfungsprozesse) und der Richtung der Wassergehaltsänderung (Hysteresis) ab. Die Wassergehalte nahe der Bodenoberfläche sind im April und im Mai höher als die darunter. Gründe dafür sind die von oben kommenden Niederschläge und der höhere Wasserbedarf der erforderlich ist, um das Matrixpotential soweit zu erhöhen, dass es zur Versickerung kommt.

Die Feldkapazität wird neben der Körnung vom Gefüge und dem Anteil organischer Substanz beeinflusst und entspricht der Wassermenge, die gegen den Einfluss der Schwerkraft gehalten werden kann (HARTGE & HORN 1999: 178). Sie steht für einen Porengrößenbereich von $\leq 0,2$ bis 50 µm und "kennzeichnet die durch Kapillar- und Adsorptionskräfte hervorgerufene, maximale Wassermenge im Boden, die entgegen der Gravitation in einem freidränenden Boden in ungestörter Lagerung oberhalb des Grundwasserspiegels haften bleibt" (BRUNOTTE et al. 2001: I, 370). In der Regel wird sie angegeben als Wassergehalt zwei bis drei Tage nach Wassersättigung. Nur wenn der Wassergehalt des Bodens die Feldkapazität überschreitet, d. h. wenn die Grobporen gefüllt sind, finden Sickervorgänge statt (BENECKE 1996: 380).

2.2 Der Einfluss der Landnutzung auf die Infiltrationskapazität

Die Landnutzung, die Bearbeitung des Bodens, die Bodenart, der Bewuchs bzw. die Bodenbedeckungen und die Pflanzenbedeckung in Form der Durchwurzelung sind signifikante Einflussfaktoren für die Infiltrations- und Speicherkapazität eines Bodens (MENDEL 2000: 132). Sie wirken sich auf die Bodenoberfläche und auf die Bodeneigenschaften, zu denen u. a. die Porengrößenverteilung gehört, aus und bestimmen so die Dynamik des Bodenwassers (BRONSTERT et al. 1993: 22). Die Verteilung der Primärporen korreliert mit der Korngrößenzusammensetzung, während die Entwicklung der Sekundärporen stark von der Bewirtschaftungsweise beeinflusst wird. Durch die Versiegelung von Flächen, Verschlämmung, Krustenbildung, den Verlust biologischer Aktivität oder die Existenz von Stauhorizonten kommt es zu einer verminderten Infiltrationskapazität besonders landwirtschaftlich genutzter Böden und folglich zu höheren Abflüssen. Solche Prozesse können daher die Intensität von Hochwasserereignissen erhöhen (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 197).

2.2.1 Der Einfluss der Landwirtschaft auf das Infiltrationspotential

Das durch den Druck ökonomischer Zwänge erhöhte Befahren mit Maschinen⁴ (HORN & HARTGE 2001: 14), aber auch das Beweiden von Grasland, monotone Fruchtfolgen und der Einsatz von Pestiziden wirken sich negativ auf die biologische Aktivität von Böden aus und führen so zu einer Verdichtung des Oberbodens und letztendlich zu eingeschränkten Infiltrationskapazitäten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 205 und SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 197). Durch diese Maximalbelastungen wird eine erhöhte Abstützung der Festpartikel erzwungen, die Kornkontakte nehmen zu und es kommt zur Abnahme des Porenvolumens. Allein diese Volumenabnahme führt zu einer geringeren Wasserspeicherkapazität (HORN & HARTGE 2001: 15ff.). Wird also die Elastizität der Böden überschritten, kommt es zu Veränderungen des Porensystems und zur Zerstörung von Grobporen. Zu den Folgewirkungen solcher Bodenschadverdichtungen gehören neben dem Bodenwasser- und Lufthaushalt auch das Pflanzenwachstum sowie Umfang und Aktivität der Bodenorganismen (FELDWISCH et al. 2001: 26). Die Folge ist eine Reduktion der Infiltrationskapazität, die einhergeht mit einem verstärkten Oberflächenabfluss und einer höheren Erosionsgefährdung (FELDWISCH et al. 2001: 27 und BRONSTERT 1993: 22). Die Verdichtungen sind bis in eine Tiefe von fast einem Meter festzustellen und in diesen Tiefenbereichen über längere Zeitspannen irreversibel (HORN & HARTGE 2001: 15 und VAN DE PLOEG et al. 2006: 83). Die Folge sind lang andauernde zum Teil bleibende Reduktionen des Infiltrationspotentials (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 199). Durch Pflügen wird zwar die Ackerkrume aufgelockert, die Pflugsohle und der Unterboden jedoch weiter verdichtet, so dass Wurzeln den Bereich kaum durchdringen können und flache Durchwurzelungen sowie verringerte Durchwurzelungsdichten die Regel werden (VAN DE PLOEG et al. 2006: 82f.). Auch breitere Reifen helfen nicht, da bei vermehrter Radlast die Druckzwiebeln ebenfalls größer werden (VAN DE PLOEG et al. 2006: 84). Sand- und Schluffböden, hydromorphe Böden sowie Böden mit hohem Humusgehalt sind besonders anfällig für Bodenverdichtungen (FELDWISCH et al. 2001: 27). Eine hohe Bodenfeuchtigkeit vermindert ebenfalls die Eigenstabilität der Bodenaggregate (FENNER 1997: 162). Weniger verdichtungsgefährdet sind dagegen Böden mit einem hohen Grobbodenanteil. Neben den physikalischen Bodeneigenschaften führt auch die zum Teil

⁴ Die beladenen Fahrzeuge sind bis zu 65 Tonnen schwer und wären auf deutschen Strassen teilweise nicht zugelassen (VAN DE PLOEG et al. 2006: 81).

fehlende Bodenbedeckung bei Äckern auf Grund von Verschlämmung zu verstärktem Oberflächenabfluss. Um die Bodenerosion zu minimieren und gleichzeitig die Wasserinfiltration zu maximieren, ist es sinnvoll eine geschlossene Mulchdecke, die der Verschlämmung entgegen wirkt, auf dem Feld zu halten (SCHÖNLEBER 2006: 83 und LfL 2006: 7). Gemäß SCHNUG & HANEKLAUS (2002: 197), SCHÖNLEBER (2006, S. 84) und der LFL (2006: 7) hat eine extensive bzw. konservierende Bewirtschaftungsweise ein stabiles, wenig verschlämmungsanfälliges, tragfähiges Bodengefüge zur Folge, das sich positiv auf das Infiltrationspotential auswirkt und so zum dezentralen Hochwasserschutz beiträgt. Konservierende, nicht wendende Bestellverfahren mit Mulchsaat beeinflussen die Aggregatstabilität und die Anzahl kontinuierlicher Poren positiv (SCHMIDT et al. 2006: 33), indem der vertikale Aufbau erhalten und die Entstehung von Makroporen gefördert wird und so Wasser in tiefere Bodenbereiche geleitet werden kann (SCHMIDT et al. 2006: 36). Mit dem Verzicht auf den Pflug wird zwar der Grobporenanteil am Gesamtporenvolumen reduziert, gleichzeitig steigt aber der Anteil der Mittelporen und der engen Grobporen (ebd.). Darüber hinaus ist bei konservierender Bodenbearbeitung die Population an Regenwürmern und so die Anzahl an Bioporen höher (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 200). Beregnungsexperimente, u. a. im Erzgebirge, ergaben, dass auf konservierend bearbeiteten Flächen die Infiltrationsrate länger auf einem höheren Niveau bleibt, die Endinfiltration ebenfalls höher ist, der Abflussbeginn verzögert wird und die Abflussspitze und die Menge reduziert werden (SCHMIDT et al. 2006: 37ff und LFL 2006: 8). Die Kalkung ist neben der konservierenden Bodenbearbeitung eine weitere Schlüsselmaßnahme, da die Basensättigung die Stabilität der Bodenaggregate und somit auch das Porenvolumen positiv beeinflusst (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 200).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass neben den bodenphysikalischen Eigenschaften die gegenwärtige und frühere Art und Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung die Infiltration enorm beeinflussen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass durch die Verdichtung und das zerstörte Makroporengefüge sowie die Limitierung dessen Neubildung der schnelle Makroporenfluss beeinträchtigt wird (KOCH et al. 2005: 464f.). Beobachtungen zeigen, dass an der Elbe der Scheitelabfluss bei Hochwasser, besonders in landwirtschaftlich geprägten Gebieten, heute höher ist als früher (VAN DE PLOEG et al. 2006: 86).

2.2.2 Der Einfluss der forstwirtschaftlichen Nutzung auf das Infiltrationspotential

Werden forstwirtschaftlich genutzte Flächen mit Flächen anderer Nutzungsarten verglichen, so lässt sich feststellen, dass der Wald einen hohen Wasserverbrauch und eine stärkere Verdunstung aufweist. Außerdem verfügen besonders naturnahe Wälder über eine überdurchschnittliche Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität, die mitverantwortlich ist für die ausgleichende Wirkung auf den Direktabfluss (MENDEL 2000: 98). Nach SCHÜLER (2006: 132) wird der günstige Einfluss des Waldes sowohl auf die Abflussverzögerung als auch auf die Verminderung der jährlichen maximalen Scheitelabflüsse in zahlreichen Studien belegt. Folglich können Wälder hochwassermindernd wirken (MENDEL 2000: 45). Kahlschläge dagegen verursachen häufig den Anstieg des Oberflächenabflusses, vor allem der Abfluss-spitzen (MENDEL 2000: 83).

Die Infiltrationsleistung forstwirtschaftlich genutzter Flächen, die u. a. abhängig ist von der Bodenart, der Porosität des Bodens, der Streuauflage und der Baumbestände, übersteigt die der landwirtschaftlich genutzten Flächen deutlich (MENDEL 2000: 83). Als Begründung für diese höheren Infiltrationswerte werden die Porenverteilung, die lockerere Lagerungsdichte und das durch Wurzelsysteme entwickelte Makroporensystem herangezogen. Die Art der Land- und Bodennutzung sowie die Befahrung von Forstflächen und die damit verbundene Bodenverdichtung gehen häufig mit einer Einschränkung des Infiltrationsvermögens einher (MENDEL 2000: 115). Schluff- und tonreiche Waldböden sowie durchnässte Böden sind besonders verdichtungsanfällig (SCHÜLER 2006: 152). Es ist jedoch festzuhalten, dass Lasteinträge im Forst im Vergleich zu landwirtschaftlichen Nutzflächen seltener sind. Dennoch ist auch hier festzustellen, dass das Volumen wasserleitender Makroporen und deren Porenkontinuität verringert werden. Die Phasen einer Nichtbelastung reichen nicht aus, um durch biologische Lockerungsprozesse die pedogene Lagerungsdichte wiederherzustellen bzw. aufrechtzuerhalten. Untersuchungen von HILDEBRAND & WIEBEL (1982: 27) haben ergeben, dass selbst zehn Jahre Nichtinanspruchnahme stark befahrener Flächen keine Lockerung des Oberbodens bewirken. Zurückzuführen sei dies auf den im Oberboden herrschenden Luftund somit Sauerstoffmangel, der so das Bodenleben und die porenbildenden Prozesse begrenzt. Besonders anfällig sind Substrate, die bedingt durch den hohen Ungleichförmigkeitsgrad ihrer Korngrößen nicht über die nötigen inneren Abstützmöglichkeiten verfügen, um ein konstantes Porenvolumen aufrechtzuerhalten (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 25). Die erhöhte Lagerungsdichte ist zurückzuführen auf eine Abnahme des Gesamtporenvolumens, besonders der weiten und engen Grobporen. Unbeeinflusste Böden besitzen den dreifachen Anteil an weiten und engen Grobporen und einen sehr ähnlichen Anteil an Mittelporen. Der Anteil der Totwasser bindenden Feinporen dagegen verfügt in der durch Befahrung verdichteten Zone über leicht erhöhte Werte (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 27). Wird die Lagerungsdichte durch Befahrung z. B. von 1,1 g/cm³ auf 1,2 g/cm³ erhöht, so würden die weiten Grobporen entsprechend dem natürlichen Dichtegradienten von 15 cm³/100 g auf 11 cm³/100 g abnehmen (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 28f.). Auf Grund des durch Befahrung verursachten Dichtegradienten kommt es jedoch zu einer Abnahme auf insgesamt 6 cm³/100 g. Es kommt also zu einer überproportionalen Zerstörung der luftführenden Grobporen, die wiederum die biologischen Aktivitäten beeinträchtigt und einen sekundären Sackungsprozess auslöst (ebd.). Neben der Anzahl der Grobporen wird auch deren Kontinuität und dadurch die Wasserleitfähigkeit vermindert (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 30).

Aus den Untersuchungen lässt sich zusammenfassen, dass durch die mechanische Belastung, die bei Forststandorten jedoch eher lokal in Form von Rückegassen stattfindet, die biologischen Lockerungsprozesse auf Grund der Einengung der Grobporen gestört werden. Statt der in unbeeinflussten Substraten stattfindenden biogenen Porenbildung kommt es in verdichteten Böden überwiegend zur abiotischen Porenbildung, die z. B. Schrumpfrisse und Entlastungsdehnungsrisse beinhaltet (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 33). Wie auch bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten können Schutzkalkungen die Bodenstruktur, die Aktivität der Bodenmakrofauna und die Wurzelintensität verstärken und die Speicherkapazität der Waldbodenoberfläche steigern (SCHÜLER 2006: 147).

2.3 Der regionale Forschungsstand zur Infiltrationskapazität

Besonders in den letzten beiden Jahrzehnten wurde das Konzept des dezentralen nachhaltigen Hochwasserschutzes vermehrt aufgegriffen. Viele Wissenschaftler intensivieren ihre Forschungsarbeiten in diesem Bereich. Schwerpunkte liegen dabei jedoch allgemein auf dem Abflussverhalten und einer möglichen Abflussverminderung bzw. –verzögerung⁵. Beiträge zum dezentralen Hochwasserschutz in Sachsen bzw. im Erzgebirge enthalten laut Wissensstand der Verfasserin dieser Arbeit kaum konkrete Informationen zu den Infiltrationspotentialen der Böden vor Ort. Die bereits erwähnten Informationen in Bezug auf die Infiltrationskapazität in Abhängigkeit von der Landnutzung beziehen sich wiederum nur selten direkt auf das zu untersuchende Gebiet.

Eine detaillierte Betrachtung der Infiltrationspotentiale von Flächen unterschiedlicher Nutzung und ihrer Wirkung auf den Oberflächenabfluss wurde von LÖHE (2006) für das Einzugsgebiet der Natzschung (Mittleres Erzgebirge) realisiert. Die minimalen Infiltrations-

⁵ Zur vertiefenden Auseinandersetzung kann der Artikel "Flächen gleicher Abflussbereitschaft bei sommerlichen Starkregen (dargestellt am Beispiel der Flöha im Erzgebirge)" von BARTHEL et al. (1973) dienen.

raten des Untersuchungsgebietes sind dort überwiegend als hoch einzustufen und abhängig von der Landnutzung. Der errechnete Mittelwert der Forststandorte ist mit 161 mm/h höher als der der Landwirtschaftsstandorte mit 71 mm/h (LÖHE 2006: 66). Auch die Variationsbreite ist laut LÖHE (ebd.) im Forst größer. Wie auch die hohen Infiltrationsraten wird dies auf den makroporenbestimmten Infiltrationsmechanismus zurückgeführt. Untersuchungen bodenphysikalischer Kennwerte und Bodenwasserhaushaltsgrößen ergaben, dass die Lagerungsdichte der Forststandorte durchschnittlich um 0,2 g/cm3 geringer ausfiel als die der landwirtschaftlichen Standorte, während die Porenvolumina bei den landwirtschaftlichen genutzten Flächen höhere Durchschnittswerte aufweisen. Löhe begründet dies mit dem geringeren Anteil organischer Substanz der Landwirtschaftsstandorte (LÖHE 2006: 103). Die Volumenanteile der Feinporen und der engen Grobporen (FK) sind dagegen bei den forstwirtschaftlichen Standorten größer. LÖHE (2006: 104) kommt zu dem Schluss, dass das Gesamtporenvolumen und die Porengrößenverteilung keine Rückschlüsse auf die zu erwartenden Infiltrationsraten zulassen. Die Lagerungsdichte kann Hinweise auf die Infiltrationsrate geben. In Bezug auf kf-Werte wird die Aussagekraft der landwirtschaftlichen Standorte als mäßig gut angesehen, während die der Forststandorte nicht als Hinweise auf die Infiltration dienen können. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass auch nach LÖHE (2006: 105) "die Landnutzung, die Vegetationsart und -dichte sowie die bewirtschaftungsbedingte Verdichtung des Oberbodens für den Infiltrationsmechanismus ausschlaggebend sind".

In Bezug auf den regionalen Forschungsstand ist zu erwähnen, dass im Zuge des Projektes DINGHO zur Zeit vielseitige Untersuchung im Einzugsgebiet der oberen Flöha durchgeführt werden, die u. a. Informationen zu den Böden, zu möglichen Retentionsbecken und zu Hochwasserentstehungsgebieten liefern werden.

3 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Im Folgenden wird ein Überblick über die physisch-geographischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes gegeben. Um die Fragestellungen der Arbeit beantworten zu können ist es wichtig die Region in Bezug auf ihre geologischen, geomorphologischen, meteorologischen, pedologischen und hydrologischen Eigenschaften zu kennen. Der Schwerpunkt liegt bei der Darstellung auf den die Infiltrationskapazität beeinflussenden Aspekten.

3.1 Die Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet entspricht räumlich dem hydrologischen Einzugsgebiet der 17,5 km (ZÜHLKE 1985: 71) langen Schweinitz (tschechisch: Svídníce), welches sich im deutschtschechischen Grenzbereich des Mittleren Erzgebirges befindet und nach der LTV (2004: 19) eine Fläche von 63 km² besitzt.⁶ Das untersuchte Gebiet liegt süd-östlich der sächsischen Stadt Olbernhau und erstreckt sich über die deutsch-tschechische Grenzregion hinein in den tschechischen Teil des Erzgebirges (Krušné Hory). Naturräumlich betrachtet ist es eingebettet in den östlichen Teil der deutschen Mittelgebirgsschwelle und liegt am Nordrand der Böhmischen Masse.



Abb. 5:Lage des Untersuchungsgebietes (aus: DIERCKE
Weltatlas 2002: 21, Maßstab 1:1.500.000)

Begrenzt wird das Einzugsgebiet der Schweinitz (Abbildung 6⁷) im Osten und Südosten vom Kamenec (814 m) bzw. vom Strazný Vrch (767 m). Als südliche Grenze ist der Liščí Vrch (908 m) zu nennen und im Westen bildet der Kamenný Vrch (842 m) die Wasserscheide. Im

⁶ Eigene Berechnungen in GIS ergeben eine Gesamtfläche von 62,42km².

⁷ Abbildung 6 befindet sich auf A3 noch einmal im Anhang (Abbildung 57, S. 124)

Nordwesten mündet die Schweinitz bei Hirschberg in die Flöha. Die Nord-Süd-Erstreckung beträgt etwa 11 km und die Ost-West-Erstreckung beläuft sich auf knapp 10 km.



Abb. 6: Topographische Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schweinitz (Kartengrundlage: TK 25, Blatt 5346 Olbernhau, Blatt 5346 Deutscheinsiedel Ost, Blatt 02-313 Nova Ves v Horách und Blatt 02-314 Litvínov)

Der deutsche Flächenanteil, der etwas weniger als die Hälfte (30km²) des gesamten Einzugsgebietes ausmacht (ZÜHLKE 1985: 170), gehört administrativ zum Mittleren Erzgebirgskreis. Das Quellgebiet der Schweinitz befindet sich mit 796 m über NN in den tschechischen Kammlagen des südöstlichen Erzgebirges.

3.2 Geologie und Geomorphologie

3.2.1 Geologie

Das Erzgebirge gehört zu den Kristallingebieten, die überwiegend aus metamorphen und magmatischen Gesteinen des Präkambriums und Paläozoikums bestehen, und wird zum Saxothuringikum gerechnet (HENNINGSEN & KATZUNG 2002: 12).

Die Reliefentwicklung des Erzgebirges vom Paläozoikum bis zur Gegenwart veranschaulicht die folgende Abbildung.



Abb. 7: Entstehung des Erzgebirges (aus: WAGENBRETH & STEINER 1990: 135)

Während der variszischen Gebirgsbildung, die bis zum Perm andauerte, kam es zur Faltung ordovizischer bis präkambrischer Sedimentgesteine zu Sätteln und Mulden (Abbildung 7, erstes Blockbild). Dabei entstanden durch die Metamorphisierung der aus altpaläozoischen Meeressedimenten stammenden Schiefer und Sande die für die heutige geologische Ausstattung des Einzugsgebietes typischen variszisch gebildeten Gneise (KADEN 2001a: 2). Im Perm einsetzend, bis zur Kreidezeit wurden sämtliche tektonische Strukturen eingeebnet (vgl. Abbildung 7, zweites Blockbild) und mit mesozoischen Sedimenten überlagert. Erst während

der alpidischen Orogenese wurde das Erzgebirge erneut emporgehoben. Auf Grund des Hebungsprozesses, dessen Maximum im Pliozän erreicht wurde (RICHTER 2000: 521), und der Schrägstellung der Erzgebirgsscholle, rissen Spalten auf und es kam zur Einsenkung des Egergrabens (vgl. Abbildung 7, drittes Blockbild). Die Hebung dauerte etwa 30 Millionen Jahre und war von Basaltvulkanismus entlang der Hauptstörungszone begleitet (WAGENBRETH & STEINER 1990: 134ff.). Nach RICHTER (2002: 522) gilt das Erzgebirge heute, wegen seiner breiten und sanft geneigten Nordabdachung (35 – 40 km) und der kurzen, steilen Südabdachung (5 km), als ideale, laut KAULFUB & KRAMER (2000: 58) als klassische, Pultscholle, deren Nordwest-Südost gerichtete Abdachung bei einer Entfernung von nur 130 km Luftlinie (KAULFUß & KRAMER 2000: 58) von etwa 300 m auf 800 - 1.000 m Höhe aufsteigt und an der Verwerfung - auch Erzgebirgsabbruch genannt - auf tschechischem Territorium steil nach Süden abfällt (HENNINGSEN & KATZUNG 2002: 25). Mit 45 km Breite erreicht die Erzgebirgsnordabdachung ihre größte Ausdehnung im Mittelerzgebirge (BERNHARDT 1995: 184). Seit etwa zwei Millionen Jahren bis hin zur Gegenwart schneiden die Flüsse ihre Täler ein und das Erzgebirge erscheint wie eine tief zertalte Hochfläche (vgl. Abbildung 7, viertes Blockbild und WAGENBRETH & STEINER 1990: 136). In den Talungen besteht der geologische Untergrund aus holozänen Sedimenten wie Lehm, Sand und Schotter, die durch Erosionsprozesse entstanden sind (LÖHE 2006: 16 und RAMELOW 2006: 15). Die aus kristallinen Schiefern bestehenden und leicht verwitternden Höhenrücken wurden eingeebnet und die schwerer abzutragenden Basaltmassen blieben als Tafelberge stehen (WAGENBRETH & STEINER 1990: 146).

Auf Grund intensiver Erosion und Abtragung der mesozoischen Sedimente stehen die während der variskischen Orognese entstandenen Varietäten der Gneise, bedingt durch die unterschiedliche mineralische Zusammensetzung der Ausgangsgesteine, heute an der Oberfläche an. Drei Gneisvarianten sind dabei dominierend: zweiglimmeriger Flaser- und Augengneis, großflaseriger grauer Gneis, sowie biotit- und muskovitführender roter Gneis (GEOLOGISCHE SPEZIALKARTE DES KÖNIGREICHS SACHSEN 1888). Ein Zentrum intrusionsmagmatischer Aktivität im Altpaläozoikum ist das Gebiet der heutigen Gneis-Kuppel von Hora Sv. Katheřiny am linken Ufer der Schweinitz gelegen (WALTER 1995: 254). Die heute zum Teil an der Erdoberfläche anstehenden Schiefer und Quarzite gehen ebenfalls auf die variszische Orogenese zurück.

3.2.2 Geomorphologie

Die West-Ost Ausdehnung des Erzgebirges beläuft sich auf 100 km (KAULFUB & KRAMER 2000: 71). Im Norden schließt das Erzgebirgische Becken an. Im Osten wird das Erzgebirge durch das Elbsandsteingebirge und das Dresdner Elbtalgebiet begrenzt. Im Süden bildet der Fuß des Hauptabbruches der Erzgebirgsscholle zum Egergraben eine prägnante Grenze, während es in westlicher Richtung allmählich in das Vogtland übergeht. Die größten Erhebungen sind im Westen anzutreffen, in Deutschland der Fichtelberg mit 1214 m über NN und auf tschechischer Seite der Klínovec (Keilberg) mit 1244 m über NN.

Der höchste Punkt des Einzugsgebietes befindet sich mit 921 m über NN im Süden. Die Reliefhöhe nimmt von 921 m über NN im Südenwesten auf 477 m über NN bei der Einmündung in die Flöha im Nordwesten ab. Somit entsprechen die Reliefhöhen nach KAULFUß & KRAMER (2000: 73) den folgenden vier Höhenstufenbereichen: den unteren (bis 500 m), mittleren (500 - 750 m) und oberen Lagen (750 - 900 m) sowie den Kammlagen (oberhalb von 900 m) des Erzgebirges (vgl. Abbildung 20, S. 49).

Das Inlandeis während der Kaltzeiten des Pleistozäns drang nicht über den Nordrand des Erzgebirges hinaus. Auch Gipfelvergletscherungen konnten im Erzgebirge nicht nachgewiesen werden (SCHNEIDER 1996: 15). Frostschuttdecken über den verschiedenen Festgesteinen sind die Folgen der periglazialen Bedingungen während der Kaltzeiten des Pleistozäns (KAULFUß & KRAMER 2000: 73). Das periglaziale Klima Sachsens während dieser Periode spielt in Bezug auf die rezente morphologische Ausstattung des Gebietes eine zentrale Rolle. Periglaziale Prozesse wie z. B. Solifluktion, Abluation und der oberflächlich abfließende Niederschlag, der in den Tiefenlinien für starke Verwitterungsprozesse sorgte, sind für die starken Taleintiefungen verantwortlich. Es handelt sich also morphologisch betrachtet um eine zwei gegliederte Landschaft aus kreidezeitlichen und tertiären Rumpfflächenresten und jungtertiärer und quartärer Talbildung. BÜDEL (1981: 81) kategorisiert das Erzgebirge als Zone exzessiver Talbildung. Die Zertalung ist besonders im Mittleren Erzgebirge⁸ sehr dicht. Am häufigsten treten Kerbsohlentäler auf. Weniger verbreitet sind Mulden-, Muldensohlen-, Kerb- und Sohlentäler (BERNHARDT & RICHTER 1995: 167). Auf Grund der Kreuzung der Täler, fehlen durchgehende Hochflächen (RICHTER 2000: 522). Ebenfalls fehlen, im Gegensatz zum Westerzgebirge, für das BÜDEL (1981: 205) eine viergliedrige Rumpftreppe beschreibt, Nachweise über Rumpfflächen im Mittel- und Osterzgebirge (LÖHE 2006: 18).

⁸ Die westliche Grenze des Mittleren Erzgebirges ist das Schwarzwasser-Muldetal und die östliche entspricht dem Flöhatal (BERNHARDT 1995: 184).

Das anstehende Gestein der Mittelgebirge ist oft von Lockergesteinsdecken überzogen, die die Entwicklung der Mittelgebirgsböden stark beeinflussen. Die Lockergesteinsdecken sind durch quartäre Erosions- und Akkumulationsvorgänge entstanden und stellen heute das eigentliche Ausgangsmaterial der Bodenbildung (HUNGER 1994: 17). Je nach Skelettgehalt des Lockermaterials kommt es zu verschiedenen Lagen, die in Mitteleuropa periglazialen Ursprungs sind. An der Entstehung dieser im Pleistozän unter periglazialen Bedingungen entstandenen Sedimente waren Solifluktion, Kryoturbation und äolische Prozesse beteiligt. Obwohl in der fünften Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005: 178ff.) eine faziesneutrale Beschreibung des oberflächennahen Untergrundes angeboten wird, erfolgt meist eine positionsgebundene Gliederung der periglaziären Lagen, die anhand lithostratigraphischer Merkmale in Ober-, Haupt-, Mittel- und Basislagen differenziert. Die einzelnen Schichten unterscheiden sich in ihrem Vertikalprofil durch Dichte, Lagerung, Skelettgehalt, Durchlässigkeit, Mineral- und Korngrößenzusammensetzung. Da diese das Ausgangsgestein überlagernden periglazialen Deckschichten sowohl für die Pedogenese des Erzgebirges als auch für die bodenphysikalischen Eigenschaften ein wichtiges Kriterium sind und die Infiltration beeinflussen (EITEL 2001: 85ff.), wird im Folgenden kurz auf die Eigenschaften der einzelnen Lagen eingegangen. Die weit verbreitete Basislage stellt als Übergangszone zum Ausgangsgestein und als älteste Schicht das unterste Glied der vertikalen Lagenabfolge dar. Darüber hinaus besteht die Basislage vorwiegend aus kryogenen Zerfallsprodukten (EISSMANN 1995: 195), ist dicht gepackt, skelettreich und überwiegend frei von äolischem Sedimenteintrag. Die stark verwitterten Gesteine des Untergrundes sind in die Basislage eingearbeitet. Bei völliger Verwitterung besteht der Basisschutt frühweichselglazialen Alters aus Gesteinsgrus (LEHMANN & PRÄGER 1992: 116 und 123). Im Hangenden der Basislage kommt im Hügelland nur in erosionsgeschützten und akkumulationsbegünstigten Hangpositionen, und somit nur von geringer Bedeutung für die Bodenbildung, die Mittellage vor. Sie ist skelettärmer als die Haupt- und die Basislage, jedoch dichter gepackt als die Hauptlage, die als mittlere periglaziale Deckschicht wie auch die Mittellage meist äolisches Material enthält (Lösslehm) (VEIT et al. 2002: 11). Die dichtere Lagerung der Mittellage kann Staunässe in der hangenden Hauptlage verursachen (EISSMANN 1995: 195). Wie auch die Mittellage ist der Feinboden der Hauptlage schluffhaltig bis -reich. Der Skelettgehalt der mäßig locker gelagerten Lage, die unter einem kaltariden Klima gebildet wurde (Hochstand der Weichselkaltzeit und Übergang zum Spätglazial), ist sehr unterschiedlich (VÖLKEL et al. 2002b: 105). Treten auf exponierten Geländebereichen oberhalb von 700 m über NN im Hangenden der Hauptlage weitere locker gelagerte oft sandige Lagen auf, so entsprechen diese der jüngsten Schicht (Frühholozän) der Deckschichten und werden als Oberlage bezeichnet. Sie beschränkt sich auf die Umgebung extrem harter Gesteine (AG BODEN 2005: 178ff; HINTERMAIER-ERHARD & ZECH 1997: 205f; HUNGER 1994: 21und RAMELOW 2006: 19f.).

3.3 Klima

Das Erzgebirge liegt innerhalb der mittleren Breiten und ist durch ein thermisches Jahreszeitenklima geprägt. Darüber hinaus befindet sich Sachsen am Rand atlantisch geprägter Wetterlagen, d. h. es ist eingebunden in den Übergangsraum zwischen ozeanischen und kontinentalen Klimawirkungen. Der Jahresgang der monatlichen Durchschnittstemperaturen bestätigt die kontinentale Prägung des Klimas, dessen Kontinentalität auf Grund der Binnenlage von West nach Ost zunimmt. Der wärmste Monat ist der Juli und der kälteste, mit einer mittleren Temperatur von unter 0 °C im gesamten Gebiet, der Januar (TREFNÁ 1973a: 27f.). Auf dem Klínovec wird mit -5,6 °C die niedrigste Monatsmitteltemperatur gemessen (ebd.). Die Jahresmitteltemperaturen des Erzgebirges liegen je nach Höhenlage zwischen maximal 7,6 °C (500 - 550 m über NN) und mindestens 4,3 °C (750 - 950 m über NN) (KAULFUß & KRAMER 2000: 79f.). Außerdem fallen ganzjährige, überwiegend an die Zyklonendurchgänge gebundene, Niederschläge, deren Jahresgang ein kontinental geprägtes Niederschlagsregime mit sommerlichem Maximum aufweist. Auf Grund sommerlichen Starkregens, der an konvektive Luftbewegungen gebunden ist und oft in Verbindung mit Gewittern auftritt, liegen die monatlichen Niederschlagsmaxima mit 100 - 110 mm im Juli (FOJT 1968b: Karte 14). Das SÄCHSISCHE STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) begründet das Sommermaximum mit den im Sommer vorherrschenden Nordwestwinden und den daraus resultierenden Staueffekten auf der Nordseite des Erzgebirges (SMUL 2005: 17).

Auf Grund der Höhengliederung kommt es neben der mit der Höhe abnehmenden Lufttemperaturen zu einer Zunahme der durchschnittlichen Niederschlagssummen (HENDL 2002: 79) sowie der Schneedeckendauer und –höhe (FOJT 1968c: Karte 19). Die Jahresniederschlagssummen liegen im Jahr zwischen 720 mm in den unteren und 1000 mm in den oberen Lagen (KAULFUß & KRAMER 2000: 80). Darüber hinaus zeigt sich auf Grund der vorherrschenden westlichen Luftströmungen eine west-östliche Niederschlagsabnahme (BERNHARDT & RICHTER 1995: 169). Die Isohyeten verlaufen am Steilabfall des Erzgebirges kammparallel, während sie auf der flachen Nordabdachung durch größere Flusstäler Ausbuchtungen in südliche Richtung erfahren (BÜTTNER et al. 2001: 103 und FOJT 1973: 80).

Die klare Ausprägung von oroklimatisch determinierten Höhenstufenbereichen spiegelt sich auch in den Vegetationsperioden wieder, die in den unteren bzw. den oberen Gebirgslagen respektiv zwischen 205 und 175 Tagen beträgt (KAULFUB & KRAMER 2000: 79f.). Ebenfalls bedingt durch die Höhenabhängigkeit der Temperaturwerte bilden sich in den Kammlagen mächtigere Schneedecken als in den mittleren Lagen. In den Kammlagen des Untersuchungsgebietes treten zwischen den Monaten November und April maximal 120 Tage mit einer geschlossenen Schneedecke auf und in den mittleren und unteren Lagen sind es im Durchschnitt mindestens 80 Tage (FOJT 1968c: Karte 19). Die Zahl der Frosttage, die mit der Höhe zunimmt und zwischen der Nord- und Südseite variiert, beträgt zwischen 70 und 180 Tagen und die der Eistage beläuft sich auf 22 bis 90 Tage (TREFNÁ 1973a: 60). Die Bodentemperatur, die Einfluss nehmen kann auf das Infiltrationspotential eines Bodens, schwankt bei einer Tiefe von 5 cm zwischen –2,6 bis -1 °C und in 1 m Tiefe beträgt sie zwischen 1,4 - 2,4 °C (TREFNÁ 1973b: 66).

Neben dem Relief sind Luv- und Leeeffekte ausschlaggebend für die klimatischen Verhältnisse. Im Nordwesten des Erzgebirges sind der Harz und der Thüringer Wald vorgelagert und im Südwesten befinden sich Oberpfälzer-, Bayerischer- und Böhmerwald. Demzufolge ist auf Grund der relativen Lage des Erzgebirges bei westlichen und nordwestlichen Strömungen ein deutlicher Lee-Einfluss vorherrschend. Die relative Häufigkeit der Windrichtungen aus SW, W und NW ist im Erzgebirge am größten und beträgt am Fichtelberg knapp 60 %⁹ (HAAKE & KÖRBER 1973: 122). Die mittleren Niederschlagssummen des Erzgebirges erreichen auf Grund dessen Lage im Regenschatten in allen Höhenlagen, nicht die anderer Mittelgebirge (BÜTTNER et al. 2001: 103). Generell weist das Klima im Mittleren Erzgebirge im Vergleich zum Westerzgebirge geringere Niederschlagsmengen auf und eine, durch die lokalen Luvund Leegebiete bedingte, stärkere kleinräumige Differenzierung ist kennzeichnend (BERNHARDT 1995: 185). Die Luvseiten der Mittelgebirge sind gegenüber den Leeseiten durch höhere Bewölkungsgrade und Niederschlagsmengen ausgezeichnet (ENDLICHER 2000: 55).

Nicht zu vernachlässigen ist die Wirkung der Föhnwetterlage. Bei Nordwest- und Westlagen kommt es auf der Nordabdachung zu einem Stau der Luftmassen und zu orographischen Niederschlägen und am Südrand zu trockenen, warmen Fallwinden. Seltener im Jahr kommt es auf Grund aus Süden anströmender Luftmassen zu Wetterlagen mit Föhnbildung auf der Nordabdachung. Im Spätherbst und im Winter kann der Föhn vor allem im Osterzgebirge

⁹ Der Wert ergibt sich aus der Summe der relativen Häufigkeiten der Windrichtungen SW, W und NW, die in der Tabelle zu den relativen Häufigkeiten der einzelnen Windrichtungen (%) nach Stärkegruppen (Beaufort) für das Jahr (Periode 1951 bis 1960) zu finden sind (VOIGT 1973: 122).

auch als kalter Fallwind in Erscheinung treten. Erreicht die vertikale Mächtigkeit der aus dem böhmischen Becken kommenden Kaltluftmasse das Kammniveau gelangt sie durch Einsattelungen wie z. B. Deutschneudorf auf die Nordabdachung und sorgt für Raureifablagerungen. Dieser "Böhmische Nebel" hat auf Grund des hohen Schadstoffanteils der Luftmassen aus dem böhmischen Becken zu Waldschäden in den Kammlagen im Osterzgebirge geführt (KAULFUB & KRAMER 2000: 81). Auf Grund feucht- und trockenadiabatischer Vorgänge können die Temperaturunterschiede zwischen Ost- und Westerzgebirge trotz gleicher Wetterlage bis zu 10 °C betragen.

Die beschriebenen klimatischen Bedingungen und Verhältnisse gelten auch für das Einzugsgebiet der Schweinitz, das auf Grund seiner Höhendifferenz durch verschiedene Klimate gekennzeichnet ist. Die Jahresmitteltemperatur liegt in den unteren Gebirgslagen bei 7 °C und in den oberen Kammlagen bei 5 °C und der durchschnittliche jährliche Niederschlag beläuft sich respektiv auf 800 und 1000 mm (vgl. Abbildung 8 und 9).



Abb. 8: Jahresdurchschnittstemperatur [°C] im Untersuchungsgebiet (aus: TREFNÁ 1968: Karte 3)



Abb. 9: Durchschnittliche Jahresniederschlagssummen [mm] im Untersuchungsgebiet (aus: Fojt 1968a: Karte 11)

3.4 Hydrogeographie

3.4.1 Oberflächengewässer

Das gesamte Erzgebirge gehört zum Einzugsgebiet der Elbe (HAAKE & KÖRBER 1973: 6 und SCHNEIDER 1996: 11). Reiche Niederschläge sorgen dafür, dass das Erzgebirge von einem dichten Gewässernetz durchzogen ist, und dass die mittelerzgebirgischen Fließgewässer über reichliche Wasserführung verfügen (BERNHARDT 1995: 185). Die Gewässer strömen der Hauptabdachung folgend nach Nordwesten und jenseits des Kammes nach Süden. Sie entwässern meist in tiefen und engen Tälern (KAULFUß 1997: 28).

Bei der Schweinitz handelt es sich um einen Tributär der Flöha. Sie entspringt im böhmischen Erzgebirge nordöstlich des Brandhübels (780,9 m) und südöstlich des Kohlbergs (837,1 m) in einer Höhe von 796 m über NN. Die Schweinitz verläuft zunächst in südwestliche Richtung, durchquert das Moorgebiet des Schwarzen Teiches (Černý rybník) und bildet bereits nach nur einem Kilometer die Grenze zu Sachsen, die sie bis zur Einmündung in die Flöha markiert. In ihrem weiteren Verlauf als Landesgrenze zwischen der Tschechischen Republik und Deutschland, passiert sie den Ort Deutscheinsiedel und fließt nach einer relativ scharfen Wendung bei Deutschneudorf, wo der Pachenkovský potok einmündet, nach Nordwesten weiter. In dieser Ausrichtung weiter fließend mündet linkseitig unterhalb von Deutschkatharinenberg der Katerinský potok (Katharinenbach) und rechtsseitig bei Oberlochmühle der Brettmühlenbach in die Schweinitz. Im weiteren Verlauf münden rechtsseitig der Katzenfuß und bei Niederlochmühle der 7 km lange Seiffener Bach, aus dem alten Bergbaugebiet Seiffener Grund kommend, in 508 m über NN in das Flusssystem der Schweinitz. Weiterhin in nordwestlicher Orientierung fließend, mündet die Schweinitz nach 17,5 km westlich von Hirschberg, einem Ortsteil von Olbernhau, auf 477 m über NN in die Flöha. Sie entwässert also über das Flusssystem der Flöha in die Mulde, die dann wiederum in die Elbe mündet.

Der Bereich westlich von Deutschneudorf wird von ZÜHLKE (1985: 4) als Tallandschaft ausgezeichnet, während die Schweinitz östlich Deutschneudorfs Rückenlandschaften und Hochflächen durchfließt. Das breite Tal der oberen Schweinitz ist wie das Tal der oberen Flöha nach Südwesten gerichtet. Bis zum Gemeindeteil Brüderwiese gehört es als flachmuldiges wenig eingetieftes Tal zur Deutscheinsiedeler Hochfläche. Nach der Biegung bei Deutschneudorf entwickelt es sich zu einem steilhangigen Kerbsohlental. Von der Einmündung des Seiffener Grundes an reduziert sich das Gefälle wieder (ZÜHLKE 1985: 170). Das Durchschnittsgefälle liegt bei 1,5% (LTV 2004: 11f.).

Am Fuße des nordöstlich von Deutscheinsiedel gelegenen Teichhübels wurde Anfang des 17. Jahrhunderts der Heidengraben angelegt, um Wasser aus dem Quellgebiet der Schweinitz in den Seiffener Bach überzuleiten und den Pochwerken genügend Wasserkraft zur Verfügung zu stellen (ZÜHLKE 1985: 151, 170).

Das Einzugsgebiet der Schweinitz setzt sich also aus den folgenden drei Teileinzugsgebieten, dem Brettmühlenbach, dem Seiffener Bach, der den Norden entwässert und dem Katerinský potok, der einen Großteil des südlichen Einzugsgebietes entwässert, zusammen. Von tschechischer Seite fließen verschiedene kleinere Bäche wie u. a. der Pachenkovsý potok in die Schweinitz. Begrenzt wird das Einzugsgebiet der Schweinitz im Norden von der Flöha, im
Nordosten vom Frauenbach und im Westen vom Einzugsgebiet der Natzschung. Südöstlich und südwestlich der Schweinitz schließen sich die Einzugsgebiete der tschechischen Flüsse Bílina und Chomutovka an.

3.4.2 Abflussverhalten

Zu dem mittleren jährlichen Abfluss (MQ) der Schweinitz, die eine Fläche von etwa 63km² (ZÜHLKE 1985: 71) entwässert, sind kaum Aussagen möglich. Erst seit dem 07.02.2007, als etwa ein Kilometer oberhalb der Mündung auf 495 m über NN vom Institut für Geographische Wissenschaften der Freien Universität Berlin ein Pegel installiert wurde, gibt es Angaben über den Abfluss der Schweinitz. Diese liegen bis dato zwischen 0,58 m³/s (gemessen am 13.04.2007) und 4,1 m³/s (gemessen am 15.02.2007). An der Mündung der Schweinitz in die Flöhe beträgt die mittlere Wasserführung nach ZÜHLKE (1985: 170) 1,04 m³/s.

Das Hauptabflussmaximum der mittleren monatlichen Abflüsse liegt im Erzgebirge in den höheren Lagen im April und in den mittleren Lagen im März und ist bedingt durch eine längere Speicherung des Niederschlages in der Schneedecke. Hohe Abflussscheitel im Frühjahr sind daher auf Grund der Schneeschmelze für die in den höheren Lagen entspringenden Flüsse charakterisierend (MARCINEK & SCHMIDT 2002: 176f.). Die Abflussganglinie der Schweinitz müsste im Jahresverlauf daher ein Abflussmaximum in den Monaten April bis Mai zeigen. Das Nebenmaximum im Juli wird durch das sommerliche Niederschlagsmaximum hervorgerufen. Gemäß der Karte zu der mittleren jährlichen Abflusshöhe aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland beträgt diese im Mittleren Erzgebirge ca. 600 mm/a (Hydrologischer Atlas von Deutschland 2001: 3.5).

3.4.3 Hydrogeologie

Insgesamt sind die variszischen Hochschollen eher grundwasserarm. Bei günstigen geologischen Voraussetzungen kann jedoch der meist hohe Niederschlag in Talsperren aufgefangen werden (MARCINEK & SCHMIDT 2002: 179). Hydrogeologisch betrachtet sprechen JORDAN & WEDER (1995: 480f.) in Bezug auf das Erzgebirge von einem Kluftgrundwasserleiter-System, da der im Untersuchungsgebiet anstehenden klüftungsfreundliche Gneis bei tektonischer Beanspruchung zu Kluftbildung neigt. In Bezug auf die Grundwasserdynamik gehört das Erzgebirge zum Speisungsgebiet (MEINERT & HAGEN 1993: Karte).

3.5 Böden

Wie typisch für die aus den kristallinen und metamorphen Gesteinen des Grundgebirges aufgebauten Rumpfflächenlandschaften, sind auch im Erzgebirge Braunerdegesellschaften charakterisierend und großflächig ausgebildet (SCHMIDT 2002: 283). Das Ausgangsgestein und die orographisch-klimatischen Verhältnisse, sowie der Lösseinfluss und die Art und Intensität der periglazialen Verwitterung sind für die weitere Ausdifferenzierung verantwortlich. So sind im Mittelerzgebirge vor allem in den unteren Lagen aber auch auf den Plateaulagen mit älteren Verwitterungsresten bodentypologisch basenarme Braunerde-Pseudogley-Gesellschaften vorzufinden (SCHMIDT 2003: 283). Hydromorphe Böden, die sich auf lössbeeinflussten Solifluktionsdecken entwickelt haben sind häufig (ebd.). Braunpodsole haben sich in den mittleren Lagen entwickelt (KAULFUB & KRAMER 2000: 87), während in den Hochlagen neben Braunpodsolen auch Podsole kennzeichnend sind (BERNHARDT 1995: 186 und ZÜHLKE 1985: 11). Pseudogleye sind entlang nicht perennierender Gewässer anzutreffen und Gleye aus grusführenden Schwemm und Kolluviallöß entlang der Zuflüsse im Einzugsgebiet der Schweinitz (BODENKARTE DES FREISTAATES SACHSEN 1998). Darüber hinaus haben sich auf den Wiesenauen der Talbereiche der Tributäre auf sandig-lehmigen bis lehmigen Alluvionen und so auch in den Tallagen der Natzschung durch den Grundwassereinfluss überwiegend Gley und Pseudogleyböden gebildet (ZÜHLKE 1985: 11 und RAMELOW 2006: 99). Auf den Hangschuttdecken haben sich dagegen häufig Braunerden mit unterschiedlichen Podsolierungserscheinungen ausgebildet. Besonders in den höheren Lagen des Erzgebirges kommt neben der Verbraunung die Podsolierung vor. Durch den Eintrag von SO₂ wird die Podsolierung durch Bodenversauerung noch intensiviert und gefährdet den Fichtenforst (KAULFUB & KRAMER 2000: 87). Neben den verschiedenen Braunerdegesellschaften sind in den Hochlagen östlich des Kurortes Seiffens und nördlich von Deutscheinsiedel zusätzlich Moorböden zu finden (BODENKARTE DES FREISTAATES SACHSEN 1998).

Zusammenfassend haben sich auf den Grundgesteinen (Biotit- und Muskovitgneise) Braunerden entwickelt, die zum Teil podsoliert sind und die Bodendecke dominieren (BODENKARTE DES FREISTAATES SACHSEN 1998; BODENKONZEPTKARTE SACHSEN 2006 und RAMELOW 2006: 80). Es handelt sich dabei um Böden aus periglaziären Umlagerungsdecken über Festgestein, bei denen die bodenbildenden Substrate überwiegend aus Magmatiten und Metamorphiten gebildet wurden (KAULFUB & KRAMER 2000: 83f.). Die Böden über diesen Grundgesteinen sind erdalkaliarm und liegen im sauren Bereich (HERING 2005: 1). Die Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz spiegeln somit nicht unbedingt das im Untergrund anstehende Gestein wieder. Den periglazialen Deckschichten (vgl. Kapitel 3.2.2) kommt bei der Bodengenese eine grundlegende Bedeutung zu. Sie steuern nicht nur die Bodenentwicklung, sondern auch die Ausprägung des organischen Auflagehorizontes (VÖLKEL et al. 2002b: 109) und so das Infiltrationsverhalten.

Bei der Betrachtung der Bodenart zeigt die BODENKONZEPTKARTE SACHSEN (2006), dass die Bodenartengruppen Lehmsande (ls) und Normallehme (ll) vorherrschen. Die dominierenden Bodenarten im Einzugsgebiet sind schwach sandige Lehme (Ls2) und mittel sandige Lehme (Ls3), die teils sehr vergrust sind (gemäß eigener Beobachtungen). Für den Anteil an grusigen Bodensubstraten in den Böden aus periglazialen Deckschichten sind pleistozäne Aufbereitungs- und Ablagerungsprozesse verantwortlich (LEHMANN & PRÄGER 1992: 116).

In Bezug auf die hydrologischen Eigenschaften der Böden des Untersuchungsgebietes kann angenommen werden, dass die periglazialen Deckschichten (vgl. Kapitel 3.2.2) von Bedeutung sind. Die locker gelagerte Hauptlage zeigt, im Gegensatz zu der undurchlässigeren und dichteren Mittel- bzw. Basislage, sehr hohe Infiltrationswerte und ist auf Grund ihrer ausgeprägten Wasserdurchlässigkeit, ihrer guten Durchwurzelung und ihrer Draineigenschaften in der Lage sowohl Schmelzwasser als auch Starkregenereignisse aufzunehmen (EITEL 2001: 87 und VÖLKEL et al. 2002b: 106f.). Den Wasserstauer bildet meist die Basislage (EITEL 2001: 87). So kommt es nur selten zu Verspülungserscheinungen. An den Stellen wo es zwischen den Lagen zu Leitfähigkeitssprüngen kommt, wird das Sickerwasser teilweise aus der Vertikalen abgelenkt und fließt parallel zur Reliefoberfläche als Interflow (VÖLKEL et al. 2002b: 106f.). Der erhöhte Ton- und Schluffgehalt der Haupt- und Mittellagen auf Grund des äolischen Sedimenteintrages bedingt ein gutes Wasserhaltevermögen der Böden (VÖLKEL et al. 2002a: 57)

3.6 Vegetation und Landnutzung

Die Form der Landnutzung hat entscheidende Auswirkungen auf die zu untersuchende Infiltrationsleistung der Böden. Neben der Körnung und dem Skelettanteil, d. h. den primären Bodeneigenschaften, ist die Bewirtschaftungsform land- und forstwirtschaftlicher Nutzflächen mitbestimmend für die Herausbildung bodenphysikalischer Parameter, die dann wiederum die hydrologischen Eigenschaften des Bodens beeinflussen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 155). Im folgenden Kapitel wird sowohl die potenzielle Vegetation, die die ökologischen Bedingungen der Landschaft widerspiegelt, als auch die reale Vegetation beschrieben. Darüber hinaus wird die Landnutzung dargestellt.

3.6.1 Potenzielle natürliche Vegetation

Mit dem Begriff der potenziellen natürlichen Vegetation wird der Vegetationszustand bezeichnet, der sich einstellen würde, wenn anthropogene Eingriffe in die Natur aufhören, diejenigen die in der Vergangenheit stattgefunden haben jedoch mitberücksichtigt würden (GLAWION 2007: 432). Es handelt sich also um "diejenige höchst entwickelte Vegetation, die ohne Einfluss des Menschen unter den aktuellen ökologischen Bedingungen anzutreffen wäre" (BOHN & WELß 2003: 84). Nach der Karte der potenziellen natürlichen Vegetation des Freistaates Sachsen (LFUG 2002b: Anlage 10) sind Buchenwaldgesellschaften, deren Entwicklung abhängig ist von der Höhe, charakteristisch für die potenzielle Vegetation des Einzugsgebietes. Die nach KADEN (2001: 79ff.) relativ rauchharte und für das Rauchschadgebiet gut geeignete Rotbuche (Fagus sylvatica) ist im südlichen Sachsen vorherrschend. In den unteren Lagen des nördlichen Erzgebirges, bis auf eine Höhe von maximal 550 m über NN, sind submontane Eichen-Buchenwälder dominant. Zwischen 550 - 750 m über NN besiedeln Hainsimsen-(Tannen-Fichten-) Buchenwälder die mittleren Lagen (LFUG 2002b: 52). Der Hainsimsen-Buchenwald stellt somit die potentielle natürliche Vegetation auf basenarmen Schutt- und Verwitterungsdecken dar (KLINK & SLOBODDA 2002: 207) und kommt in der Übergangszone zur subalpinen Fichtenstufe im Erzgebirge vor (KLINK & SLOBODDA 2002: 195). Südlich und oberhalb von 750 m über NN bestimmt Wollreitgras-Fichten-Buchenwald das Erscheinungsbild der natürlichen Vegetation (LFUG 2002b: 54). Für alle drei Vegetationskomplexe gilt eine geringe natürliche Nährstoffsituation, während sich die Wasserversorgung mit der Höhe tendenziell, wenn auch geringfügig, verbessert (LFUG 2002b: 52). Als natürliche Waldgesellschaft stocken in den höheren Kammlagen auf sumpfigen Standorten teilweise auch Fichten- und Spirkenmoorwälder sowie Moorkiefern-Moorgehölze (LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN 2007). In den Leelagen des Erzgebirges treten auch Tannenwälder auf (KLINK & SLOBODDA 2002: 219). Die Weißtanne steht in Bezug auf klimatische Ansprüche zwischen der subatlantischen Buche (Fagus sylvatica) und der kontinentalen Fichte (Picea abies).

3.6.2 Tatsächliche Vegetation

In den unteren Lagen des Mittelerzgebirges liegen die Waldanteile, in denen die Fichten dominieren, bei 20 - 25 %. In den mittleren und oberen Lagen sind es respektiv 30 - 45 % und 80 - 85 % (BERNHARDT 1995: 187). Anthropogene Eingriffe sind dafür verantwortlich, dass sich die anzutreffende Vegetation stark von der potenziellen Vegetation unterscheidet. Der mit dem Bergbau verbundene menschliche Eingriff ging mit massiver Waldrodung einher. Bereits mit der Besiedlung des Erzgebirges im Zuge der deutschen Osterweiterung im

12. und 13. Jahrhundert kam es zu einer ersten Rodungsphase. Ursache für die zweite Rodungsphase, die im 16. Jahrhundert stattfand, war die Verbreitung des Bergbaus. Nach dem Rückgang des Bergbaus, verhinderten die angesiedelten holzbe- und -verarbeitenden Industrien die Erholung des Waldbestandes. Erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde mit der Wiederbewaldung mit schnellwachsenden Fichtenmonokulturen (Picea abies) begonnen. Die für später angedachte Überführung in einen Mischwald blieb auf Grund mangelnder finanzieller Mittel aus. Im Zuge der Wiederaufforstung wurden auch Hochmoorflächen trockengelegt und mit Fichten bepflanzt. Die Fichte wurde durch die Forstwirtschaft über ihre natürliche Arealgrenze ausgeweitet. Natürliche Fichten-Reinbestände gäbe es heute nur noch dort, wo Buchen und Tannen auf Grund zu starker Kontinentalität des Klimas nicht mithalten können (KLINK & SLOBODDA 2002: 223). Die bald folgende Industrialisierung führte, durch die damit einhergehende intensive Nutzung der Braunkohle, erneut zu massiven Belastungen des Waldbestandes. Auf Grund von Rauchschäden (KADEN 2001: 5ff.) und durch die seit 1950 von den nordböhmischen Braunkohlenbecken ausgehenden SO₂-Einflüsse an den Kammwäldern des Mittel- und Osterzgebirges kam es zu gravierendem Baumsterben und zu großflächigen Schäden (BERNHARDT & RICHTER 1995: 171). Der Waldzustandsbericht von 2006 zeigt jedoch eine Verbesserung für die Fichtenbestände, d. h. die Schädigungsrate ist in den letzten Jahren rückläufig. Der deutlich geschädigte Anteil ist von 36 % im Jahr 1991 auf 12 % im Jahr 2006 gesunken (SMUL 2006: 1). Eine gegenläufige Entwicklung zeigt dagegen der Buchenbestand, der neben der Schadstoffbelastung auf Grund extremer Witterungseinflüsse und wiederholter Fruktifikation stark beeinträchtigt wurde (SMUL 2004: 1) und von dem 1991 nur 4 % und heute 41 % deutliche Schäden zeigen (SMUL 2006: 1)⁻

3.6.3 Landnutzung

Die Landnutzung beeinflusst in starkem Maße die Infiltration und steuert somit die Abflussbildung und die Abflusskonzentration. Die bergbauliche Besiedlungsgeschichte ist ausschlaggebend für die heutige sächsische Landnutzung. Der Bergbau verlangte nach weiterverarbeitenden Industrien und nach Arbeitern, die sich in der Region ansiedelten. Bergbau und Hüttenwesen erlebten ihre Hochzeit um 1600. Die florierende Blütephase wäre ohne eine leistungsfähige Landwirtschaft nicht denkbar gewesen (WAGENBRETH & WÄCHTLER 1990: 25).

Der Waldanteil liegt im Landkreis Mittleres Erzgebirge bei 41 % und somit 13 % über dem Durchschnittswert des Freistaates Sachsens (27 %).¹⁰ Er wird nur von dem Flächenanteil der

¹⁰ Als Vergleichswert kann der in Bezug auf die Bodennutzung Deutschlands ermittelte Waldanteil von 29,8% im Jahr 2004 dienen (DEGGAU 2006: 215).

landwirtschaftlichen Nutzung (ca. 46 %) noch übertroffen. Siedlungs- und Verkehrsflächen belaufen sich auf nur 9 % (Stand 2005). Der Rest setzt sich aus Wasserflächen, Abbauland und Flächen anderer Nutzung zusammen (STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN: 2007). Auf nährstoffarmen Braunpodsol- und Podsolböden übertrifft der Waldanteil teilweise 50 %. Bei der genaueren Betrachtung der CORINE¹¹ Daten von 2000 (EEA 2006) für das Einzugsgebiet der Schweinitz (vgl. Abbildung 10) ist festzustellen, dass auch hier die Waldanteile die Durchschnittswerte des Landkreises Mittleres Erzgebirge deutlich übersteigen. Auch im tschechischen Teil des Einzugsgebietes dominiert der Waldanteil.



Abb. 10: Übersichtskarte zur Landnutzungsverteilung im Einzugsgebiet der Schweinitz

Die Hauptbaumarten der aktuellen Forstbestände der sächsischen Wälder repräsentieren Fichten (44 %) und Kiefern (31 %), gefolgt von Birken (7 %), Eichen (6 %) und Buchen (3 %). Die restlichen 9 % ergeben sich aus den sonstigen Nadel- und Laubholzarten (4 bzw. 5 %) (LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN 2007). Im Untersuchungsgebiet stellten sich in den Nadelwäldern die Fichten und in den Laubwäldern die Buchen und Birken als dominant

¹¹ Die CORINE-Daten (Coordinated Information on the Environment) basieren auf Landsat-TM-Satellitendaten, die einen europaweiten standardisierten Schlüssel für Landbedeckungsdaten bieten (LANG / BLASCHKE 2007: 137).

heraus. Die prozentualen Anteile der einzelnen Landnutzungskategorien sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.



Abb. 11: Prozentuale Flächennutzungsanteile im Einzugsgebiet der Schweinitz

Fasst man die in Abbildung 11 dargestellten Landnutzungsarten zu drei Hauptkategorien zusammen, so beläuft sich der Anteil der forstwirtschaftlich genutzten Fläche, der sich aus den verschiedenen Waldarten und den Wald-Strauch-Übergangstadien ergibt, auf stattliche 65 %. Das nicht bewässerte Ackerland wird in dieser Arbeit ebenso wie die komplexen Parzellenstrukturen und die Flächen an Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung zu der Klasse der landwirtschaftlichen Nutzflächen gezählt, die mit 18 % die zweitgrößte Gruppe repräsentiert. Wiesen- und Weideflächen werden auf Grund ihres relativ großen Anteils als eigenständige Klasse beibehalten und ergeben 14 % (vgl. Abbildung 12).



Abb. 12: Prozentuale Flächennutzungsanteile der drei Hauptkategorien

3.7 Zusammenfassende Übersicht zum Einzugsgebiet der Schweinitz

Lauflänge, Größe und mittlere Wasserspende im Einzugsgebiet der Schweinitz	17,5 m; 63 km²; 1,04 m³/s							
Lage	Mittlere Erzgebirge, 477 - 921 m über NN							
Geologie	Pultschollengebirge, Gneise							
Geomorphologie	Landschaft aus kreidezeitlichen und tertiären Rumpfflächenresten und jungtertiärer und quartärer Talbildung; periglaziale Deckschichten							
Höhenstufen	untere Lagen (bis ca. 500 m)	mittlere Lagen (500 - 750 m)	obere Lagen (750 - 900 m)	Kammlagen (ab 900 m)				
Mittlerer Jahresniederschlag	ca. 720-850 mm	ca. 850- 1000 mm	ca. 1000 mm	>1000 mm				
Mittlere Jahrestemperatur	ca. 7,6 - 7,0 °C ca. 7,0 - 5,5 °C ca. 5,5 - 4,3 °C ca. 4,3							
Bodentyp	teils podsolierte und vergleyte Braunerden							
Bodenart	Lehmsande und Normallehme							
Landnutzung	65 % Forst, 18 % LWS, 14 % Wiesen und Weiden, 3 % Siedlungsfläche							
Hydrogeographie	Einzugsgebiet der Elbe							

Tab. 2: Charakterisierende Angaben zum Einzugsgebiet der Schweinitz

4 Untersuchungsmethoden

Um die Fragestellung angemessen bearbeiten zu können waren verschiedene Feldmethoden, die an ausgewählten Standorten durchgeführt wurden, sowie einige laboranalytische Arbeiten notwendig. Außerdem wurden statistische Verfahren angewandt. Die Methodik soll im folgenden Kapitel erläutert werden.

4.1 Geländemethoden

Die Feldarbeiten wurden in zwei Etappen durchgeführt. Die Geländeaufenthalte fanden Ende April und im Mai 2007 statt. Zusätzlich wurden Daten verwendet, die im Rahmen der Überblicksexkursion des Projektseminars - Grundlagen und Maßnahmen zur Hochwasserminderung - des Sommersemester 2007, geleitet von Herrn Prof. Dr. A. Schulte, Mitte April 2007 erhoben wurden. Die Infiltrationsmessungen, die Stechzylinderbeprobungen und die Sondierungen wurden in Zusammenarbeit mit F. Schumacher durchgeführt.

4.1.1 Bestimmung des Standortes

Bei der Standortwahl innerhalb des Einzugsgebietes der Schweinitz waren folgende systematische Kriterien mitbestimmend:

- Die Standorte sollten gleichmäßig über das Einzugsgebiet der Schweinitz verteilt sein und einen möglichst hohen Grad an Repräsentativität für die jeweilige Landnutzungsklasse aufweisen. Nur so ist eine Generalisierung der ermittelten Daten möglich.
- Da in dem Einzugsgebiet der Schweinitz der Anteil forstwirtschaftlicher Landnutzung (65 %) überwiegt, sollte dies bei der Gewinnung der Daten berücksichtigt werden, so dass es zu einer Schwerpunktlegung bei den Waldstandorten kommt (10 Untersuchungsstandorte). Darüber hinaus ist es wichtig mehrere Standorte eines Landnutzungstypes abzudecken, um eine Vergleichsbasis zu schaffen.
- Neben der Vegetation und der Landnutzung sollten für eine ausgewogene Standortauswahl auch geomorphologische Aspekte wie die Lage im Relief, die Höhe über dem Meeresspiegel, die Neigung, die Exposition und die Geologie berücksichtigt werden.
- Nicht zuletzt sollte eine gute Erreichbarkeit des Standortes gegeben sein, um mit PKWs die Lieferung der f
 ür die Infiltrationsmessungen n
 ötigen Wassermengen gew
 ährleisten zu k
 önnen.

Zusätzlich zu diesen auf Karten basierenden Kriterien wurde vor Ort eine ebene Fläche gewählt und darauf geachtet, dass die Daten repräsentativ für die Umgebung des Standortes sind und bei Forststandorten nicht auf Rückegassen gewonnen werden.

An jedem Standort wurden die Höhe, die Exposition und die GPS Daten bestimmt und mit Hilfe des Klinometers die Hangneigung gemessen. Außerdem wurden standortliche Gegebenheiten und Besonderheiten u. a. bezüglich der Landnutzung, der Vegetation, der Witterung und der Lage im Relief aufgenommen.

4.1.2 Infiltrationsmessungen

Die Bestimmung der Infiltrationsrate erfolgte mit Hilfe des Doppelring-Infiltrometers nach der DIN 19682-7. Gemessen wird die "Wassermenge, die bezogen auf eine gegebene Fläche und eine gegebene Zeit senkrecht in den Boden eintritt" (DIN 19682-7: 3). In einem Umkreis von bis zu zehn Metern wurden pro Standort drei Infiltrationsmessungen durchgeführt. Durch die Parallelmessungen sollte der Einfluss von Inhomogenitäten des Bodens verringert und so ein möglichst repräsentativer Mittelwert gewährleistet werden. Es werden zwei konzentrische unten angeschärfte Stahlzylinder, ein Innenzylinder mit einem Durchmesser von 15 cm und ein Außenzylinder mit einem Durchmesser von 28, 30 bzw. 32 cm, mehrere Zentimeter tief in den ungestörten Boden eingetrieben. Anschließend werden zur Befeuchtung des Bodens und zur Bildung einer Pufferzone zuerst der Außenring und anschließend der Innenring mit Wasser gefüllt. Dabei ist es wichtig eine Verschlämmung zu vermeiden. Im weiteren Messverlauf gilt es zu beachten, dass der Wasserstand des Außenzylinders nicht unter den des Innenzylinders sinkt. Nur so ist eine eindimensional-vertikale Strömung bzw. das hydraulische Gleichgewicht gewährleistet, d. h. das Wasser aus dem Innenring strömt senkrecht nach unten und eine laterale Wasserbewegung des im Innenzylinder versickernden Wassers wird weitestgehend vermieden. Bei dem angewandten instationären Verfahren wird mit Hilfe von Schwimmer und Messbrücke nun der absinkende Wasserspiegel im Innenzylinder gemessen und über den Wasserverlust die Infiltrationsrate bestimmt (vgl. Abbildung 13 und 14). Es erschien sinnvoll die ersten drei Minuten in einer zehn Sekunden Taktung abzulesen, um ggf. Besonderheiten feststellen zu können, und im weiteren Verlauf im Minutenabstand zu messen. Angegeben wird also die in mm gemessene Wasserhöhe je Zeit. Die Messungen wurden nach dem Erreichen einer über einen längeren Zeitraum annähernd konstanten Infiltrationsrate (der minimalen Infiltrationsrate), d. h. wenn der Boden nahezu vollständig gesättigt war, beendet oder, bis auf an den ersten beiden Standorten, aus Kosten-Nutzen-Gründen nach spätestens einer Stunde abgebrochen. Die daraus resultierende Problematik wird in Kapitel 6.3.1 aufgegriffen.



Abb. 13: Geräte für die Infiltrationsmessung



Abb. 14: Eingetriebenes Doppelring-Infiltrometer mit Messbrücke und Schwimmer

Aus den ermittelten Daten wurde die minimale Infiltrationsrate errechnet. Sie entspricht dem Quotienten aus dem Mittelwert der drei letzten, konstanten Wasserstandsdifferenzen und der Infiltrationszeit (vgl. Gleichung 1). Entgegen der DIN 19682-7, die als Einheit mm/s festlegt, wurde die Infiltrationsrate in mm/min gemessen und wird im Folgenden zur besseren Veranschaulichung in mm/h angegeben.

$$I_{DR} = \frac{H_W}{t_I} \tag{Gl.1}$$

Dabei ist:

 I_{DR} die Infiltrationsrate des Doppelring-Infiltrometers [mm/min],
 H_W die Höhenänderung des Wasserspiegels im Innenring des Doppelring-Infiltrometers (Mittelwert der letzten drei Messungen) [mm] und
 t_I die Infiltrationszeit [min].

Auf Grund standortspezifische Hindernisse wie z. B. einer starken Durchwurzelung und einem hohen Skelettgehalt, musste ein Umkreis mit einem Durchmesser von bis zu 25 m gewählt werden, um ein ausreichend tiefes Eintreiben zu gewährleisten. Zeitaufwendig stellten sich schwer erreichbare Waldstandorte heraus, die auf Grund ihrer hohen Infiltrationsraten das Nachholen von Wassermassen unabdingbar machten. Mehr als drei Messungen waren nötig, wenn es zum Anstieg des Wasserspiegels im Innenzylinder kam, da die Ringe nicht tief genug eingeschlagen waren und es somit durch Drucksteigerung beim Auffüllen des Außenringes im Innenring zum Wasserstandsanstieg kam. Zusätzlich zu den standortspezifischen Schwierigkeiten und ggf. einiger Messungenauigkeiten ist eine systematische Fehlerbetrachtung notwendig. Diese erfolgt in Kapitel 6.3.1.

4.1.3 Stechzylinderbeprobungen

Da die Bodenvorfeuchte, d. h. der Wassergehalt zu Beginn der Infiltrationsmessung, das Infiltrationsverhalten steuert, wurde nahe jeder einzelnen Messstelle, nachdem der Oberboden vorsichtig entfernt wurde, eine ungestörte Stechzylinderprobe aus dem obersten Horizont entnommen (d. h. drei Proben pro Standort). Der Stechzylinder wurde mit wasser- und luftdichten Verschlüssen bzw. Frischhaltefolie versehen, um die Verdunstung des Wassers aus den Bodenproben zu verhindern und nach dem Transport den Wassergehalt zu bestimmen. Bei der Entnahme der Stechzylinderproben wurden die Hinweise aus der DIN ISO 10381-4 berücksichtigt. Mit Hilfe einer Einschlagvorrichtung, einem rückschlagfreien Hammer und dünnwandigen Metallzylindern mit einem Volumen von 100 cm³ bzw. ca. 870 cm³ wurde die Volumenprobe entnommen (vgl. Abbildung 15). Da die Proben neben der Bodenvorfeuchte noch zur Bestimmung der Feld- und der maximalen Wasserkapazität und so zur Ableitung der Porenvolumina dienen sollen, wurde bei der Entnahme besonders auf die Erhaltung des natürlichen Bodengefüges geachtet. Das Volumen des Stechzylinders, sowie die Masse der Verschlüsse und des Zylinders selbst wurden ermittelt. Aus technischen Gründen konnten an den Standorten 3, 10 und 11 nur zwei und an Standort 19 nur eine Stechzylinderprobe entnommen werden. Ansonsten bestand die Beprobung aus drei Entnahmen.



Abb. 15: Geräte für eine Stechzylinderentnahme

4.1.4 Pürckhauer-Sondierungen

Die Funktion der Pürckhauer-Sondierungen bestand darin die einzelnen Horizonte abzugrenzen und ihre Mächtigkeit sowie ihre Bodenart zu bestimmen. Die Sondierstange wurde mittels des Pürckhauers zwischen 60 - 100 cm tief in den Boden geschlagen. Die Bodenansprache erfolgte dabei per Fingerprobe anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN, 1994). Die Anzahl der Bodensondierungen, die jeweils in der Nähe der Infiltrationsmessungen durchgeführt wurden, belief sich, bis auf an den Standorten 12 und 18 (zwei Sondierungen), ebenfalls auf drei pro Standort.

4.2 Labormethoden

Um die Fragestellung der Arbeit zu beantworten und eine Diskussion der ermittelten Infiltrationswerte zu ermöglichen, war die Durchführung einiger laboranalytischer Arbeiten notwendig. Neben der Bestimmung der Bodenvorfeuchte, die entsprechend den Vorgaben der DIN 11461 durchgeführt wurde, fanden die weiteren Methoden in Absprache mit dem Laborleiter Dr. P. Hoelzmann, der Chemisch Technischen Assistentin M. Burmeister, Diplom Geograph J. Bölscher sowie Diplom Geograph M. Ramelow statt. Die Methoden erscheinen in der Reihenfolge, in der sie durchgeführt wurden.

4.2.1 Vorüberlegungen zur Laborarbeit

Aus technischen Gründen wurden alle Stechzylinderproben ausschließlich aus dem obersten Horizont entnommen. Auf Grund der fehlenden Komplettbodenanalyse ist es nicht möglich im Labor ermittelte bodenphysikalische Parameter in Abhängigkeit von der Tiefe zu analysieren. Diese Ausgangssituation beeinflusste auch die Methodenauswahl, da viele Laboruntersuchungen für den obersten Horizont nur ungenaue Werte liefern würden und so auch Pedotransferfunktionen nur bedingt sinnvoll wären. So ist die Bestimmung des Porenvolumens über die Ermittlung der Kornrohdichte mit Hilfe von Xylol auf Grund des hohen organischen Anteils für den oberen Horizont nicht sinnvoll. Eine Bestimmung der Anteile der Porenvolumina über die pF-Apparatur wäre an der Technischen Universität Berlin aus organisatorischen Gründen innerhalb der abgegrenzten Zeit nur mit einigen Proben bzw. Standorten umsetzbar gewesen und wurde daher abgelehnt. Da Angaben über das Porenvolumen für die hydrologische Modellierung mit NASIM und WaSiM-ETH jedoch wichtig sind, wurde eine Alternativmethode gewählt, bei deren ermittelten Werten es sich jedoch eher um Annäherungswerte handelt.

Der Schwerpunkt der Laborarbeit beruht also auf leicht umsetzbaren Untersuchungen zur Bestimmung der für die Simulationen notwendigen Parameter. Es bleibt zu prüfen, inwieweit Abweichungen der Eingangsparameter die Niederschlags-Abfluss-Simulationen beeinflussen. Haben Abweichungen, die auf Grund der Bestimmung von Näherungswerte entstehen, keinen bzw. nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse, so wären die folgenden Methoden eine kostengünstige, wenig zeitintensive Möglichkeit, um möglichst flächendeckend Werte, ggf. direkt im Gelände, ermitteln zu können.

4.2.2 Water Drop Penetration Time Test (WDPT Test)

Der Water Drop Penetration Time Test dient zur Bestimmung der Persistenz der Hydrophobizität. Auf jede der entnommenen Stechzylinderproben werden mit einer Pipette drei möglichst gleich große destillierte Wassertropfen, die zusammen eine definierte Gesamtwassermenge von 80 µl ergeben, gesetzt (vgl. Abbildung 16 und 17). Es wird die Zeit in Sekunden gemessen, die jeder einzelne Tropfen benötigt, um in die Bodenprobe einzudringen. Diese Zeit liefert Informationen über die Benetzungshemmung des vorgefundenen Aggregates. Aus den drei einzelnen Tropfen wird der arithmetische Mittelwert der Probe berechnet, der dann verglichen werden kann mit der entsprechenden Infiltrationsmessung. Darüber hinaus wird aus den drei Werten der Stechzylinderproben wieder ein Mittelwert für den Standort gebildet, um Vergleiche zu den anderen Standorten anstellen zu können.

Die einzelnen Werte werden nach DOERR et al. (2006: 745) in Klassen eingeteilt. Eine WDPT von ≤ 5 s steht für einen leicht befeuchtbaren Boden, der keinerlei Benetzungshemmung vorweist. Braucht der Tropfen länger als 3600 s, d. h über eine Stunde, dann handelt es sich um ein Aggregat mit einer extremen Benetzungshemmung. Dem Wassertropfen gelingt es also nicht in die Probe einzudringen. Nach fünf Stunden wird der Test abgebrochen, da dann von einer Verdunstung des Tropfens ausgegangen werden kann. Ist dieser bis dahin nicht von allein eingezogen, so handelt es sich um einen extrem benetzungsgehemmten Boden.



Abb. 16: Geräte für den WDPT Test



Abb. 17: Wassertropfen auf benetzungsgehemmter Probe

4.2.3 Bestimmung der Wasser- und Feldkapazität des Bodens

Durch die Ermittlung der (maximalen) Wasserkapazität soll das Wasserspeichervermögen des Bodens bestimmt werden. Der gefüllte Stechzylinder wird kapillar aufgesättigt. Die Probe wird nach Entfernen der Verschlussdeckel mit Filterpapier versehen und in ein Wasserbad eingetaucht. Um einen Unterdruck zu vermeiden, wurde auch der obere Deckel der Probe entfernt und durch ein feuchtes Filterpapier ersetzt. Ein dichtes Maschendrahtgitter wird auf Verbundsteine in eine mit Wasser gefüllte Wanne gelegt, um so das "Schweben" der Proben im Wasser zu ermöglichen. Der Wasserspiegel soll ca. 1 cm unter dem oberen Stechzylinderrand stehen. Nach BARSCH & BILLWITZ (1990: 115) sollte die Eintauchdauer bei grobkörnigen Böden etwa 24 Stunden und bei Tonböden bis zu einer Woche betragen. Im vorliegenden Fall befanden sich die Proben drei Tage im Wasserbad. Die komplett gesättigten Proben werden nach der Entnahme aus dem Wasserbad gewogen und zum Abtropfen erneut auf ein Gitter gestellt (vgl. Abbildung 18 und 19). Um sie vor Verdunstungsverlusten zu schützen, trugen sie weiterhin den befeuchteten Filter und wurden zusätzlich mit Alufolie abgedeckt. Nach 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 und 96 Stunden (bei den kleinen Proben) und 2, 4, 6, 12, 24, 48, ..., 432 Stunden, bzw. 18 Tage, (bei den großen Proben) erfolgte eine Wägung der Proben um ggf. Besonderheiten bei der Gewichtsabnahme festzustellen und zu sehen, wann ein relativ konstantes Gewicht bzw. eine konstante Abnahme erreicht wird. Anschließend erfolgte die Trocknung der Probe im Trockenschrank bei 105 °C für 24 Stunden. Nach der anschließenden Abkühlung im Exsikkator wurden die Proben erneut gewogen. Nach BARSCH & BILLWITZ (1990: 115) und WAHL et al. (2002: 48) soll zur Ermittlung der maximalen Wasserkapazität aus der gesättigten Probe (nach zweistündigem Abtropfen) und der absolut trockenen Probe die Differenz gebildet werden¹². Dieser Wert wird anschließend durch das Gesamtvolumen und die Dichte des Wassers dividiert und als prozentualer Anteil angegeben (vgl. Gleichung 2).

$$WK = \frac{m_f - m_t}{V \cdot \rho_w} \cdot 100$$
(Gl. 2)
Dabei ist: WK die Wasserkapazität [Vol.-%],
 m_f die Bodenmasse feucht (nach zweistündigem Abtropfen) [g],
 m_t die Bodenmasse absolut trocken [g],
 V das Volumen des Stechzylinders [cm³] mit V = π r²h und

 ρ_w die Dichte des Wassers bei Bodentemperatur [g/cm³].

¹² Selbstverständlich handelt es sich immer nur um die reine Bodenmasse. Die Deckel, der Zylinder, das Filterpapier, die Gummibänder zur Befestigung und das Klebeband müssen eingewogen und abgezogen werden.

Die Wasserkapazität in Volumenprozent, die der Wassermenge entspricht, die insgesamt in der Probe gespeichert werden kann, entspricht also einem Annäherungswert für das Gesamtporenvolumen (GPV).

Die Differenz aus der 72 Stunden lang abgetropften noch leicht feuchten Probe und der absolut trockenen Probe wurde ebenfalls ermittelt, da sie zur Berechnung der Feldkapazität, die der Menge des Bodenwassers entspricht, die ein Boden in ungestörter Lagerung maximal gegen die Schwerkraft zu halten vermag, benötigt wird (vgl. Gleichung 3). Diese Bodenwassermenge entspricht folglich der Wassermenge, die in Poren mit einem Äquivalentdurchmesser $\leq 50 \,\mu$ m, dass heißt bei einer Saugspannung von einem pF-Wert > 1,8, gebunden ist. BARSCH & BILLWITZ definieren die Feldkapazität als die Wassermenge, "die im verdunstungsgeschützten, vegetations- und staunässefreien Boden unter natürlichen Verhältnissen 2 - 3 Tage nach einer ausreichenden natürlichen [...] oder künstlichen Wassersättigung [...] vorhanden ist" (1990: 113).

$$FK = \frac{m_f - m_t}{V \cdot \rho_w} \cdot 100 \tag{Gl. 3}$$

Dabei ist: *FK* die Feldkapazität des Bodens [Vol.-%],

- *m_f* die Masse des feuchten Bodens (3 Tage nach der Wassersättigung) [g],
- m_t die Masse des absolut trockenen Bodens [g],

V das Volumen des Stechzylinders [cm³] mit V = π r²h und

 ρ_w die Dichte des Wassers bei Bodentemperatur [g/cm³].

Es ist darauf hinzuweisen, dass BARSCH & BILLWITZ (1990:114) bei dieser Bestimmung der Feldkapazität davon ausgehen, dass die Böden im Gelände durch intensive Regenperioden oder künstliche Befeuchtung wassergesättigt werden und nicht wie in diesem Falle im Labor kapillar aufgesättigt werden. Der nasse Boden soll zur Vermeidung von Verdunstungsverlusten mit einer Folie abgedeckt werden und nach zwei bis drei Tagen sollen die Feuchtproben entnommen werden. Die Feldkapazität entspricht dabei einem Feuchtebereich zwischen einem pF-Wert von 1,8 bis 2,5. Die Werte der etwas abgeänderten Methode können jedoch nach Diplom Geograph J. Bölscher (mündliche Mitteilung) als Näherungswerte für die Feldkapazität interpretiert werden.



Abb. 18: Aufsättigung der Proben



Abb. 19: Austropfen der Proben

4.2.4 Bestimmung der Bodenvorfeuchte

Die tatsächliche Bodendurchfeuchtung zum Zeitpunkt der Messung ist nicht nur abhängig von der Infiltrationsmöglichkeit der Niederschläge, sondern auch von der Wasserkapazität und der Permeabilität des Bodens. Darüber hinaus wird die Bodenfeuchte von der Evapotranspiration des Bodens und der Pflanzen beeinflusst (BLUM 1992: 88). Da der Wassergehalt des Bodens zu Messbeginn von großer Bedeutung für die Infiltrationskapazität und den Verlauf der Infiltrationskurve ist und die Infiltrationsmessungen zu verschiedenen Zeiten und nach unterschiedlichen Witterungsbedingungen stattfanden, wurde der Wassergehalt im Boden zu Messbeginn bestimmt. Diese Wassergehaltsbestimmung erfolgte auf Grundlage des Volumenanteils in Anlehnung an die DIN ISO 11461. Die entnommenen und luftdicht transportierten Stechzylinderproben wurden nach der Wägung im Trockenschrank bei 105 °C bis zu ihrer Gewichtskonstanz getrocknet. Die Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Wägungen im Abstand von vier Stunden betrug weniger als 0,1 Massenanteile in % der zuletzt bestimmten Masse. Anschließend wurden die Proben im Exsikkator abgekühlt und ihr absolutes Trockengewicht bestimmt (die beschriebenen Wägungen erfolgten bereits bei der Bestimmung der Wasserkapazität). Der Wassergehalt zu Beginn der Messung lässt sich nun aus der Differenz der Werte und dem Volumen bestimmen (vgl. Gleichung 4). Dieses Wasser welches dem Boden durch die Trocknung entzogen werden kann, wird als Bodenwasser bezeichnet (KNOTHE 2000: 311).

$\theta_{Vol} = \frac{m_{ff} - m_t}{m_t - m_t}$	(Gl. 4)
$V \cdot \rho_w$, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,

Dabei ist:	$ heta_{\it Vol}$	der Wassergehalt [Vol%],
	m_{ff}	die Masse des feldfeuchten Bodens [g],
	m_t	die Masse des trockenen Bodens [g],
	V	das Volumen des Stechzylinders [cm ³] mit V = π r ² h und
	$ ho_w$	die Dichte des Wassers bei Bodentemperatur [g/cm ³].

Für die Dichte des Wassers wurde für die Berechnung der Wert 1 g/cm³ angenommen. Bei den Masseangaben handelt es sich um die Nettomassen. Die Masse der Stechzylinder und der Verschlüsse wurde abgezogen.

4.2.5 Datenberechnung und -ableitung weiterer bodenphysikalischer Parameter

Um die Infiltrationsergebnisse besser diskutieren zu können, wurde die Trockenrohdichte bzw. Lagerungsdichte (vgl. Gleichung 5) ermittelt. Die Trockenrohdichte (ρ_i) bezieht die Masse der bei 105 °C getrockneten Probe auf das Bodenvolumen und gibt somit Auskunft über den Verfestigungsgrad (BILLWITZ 2000: 186). Ihre Bestimmung erfolgte nach der DIN ISO 11272.

$$\rho_t = \frac{m_t}{V} \tag{Gl. 5}$$

Dabei ist: ρ_t die Trockenrohdichte des Bodens [g/cm³], m_t die Masse der bei 105 °C getrockneten Probe [g] undVdas Volumen der Probe [cm³].

Aus zeittechnischen Gründen war eine Korngrößenanalyse der Proben nicht möglich. Somit kann auch die effektive Lagerungsdichte (*eff. Ld*), die mittels einer empirischen Funktion aus der Trockenrohdichte und dem Tongehalt in Prozent bestimmt wird, nur mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005: 342) oder der DIN 4220 (DIN 4220: 13) über die Trockenrohdichte abgeleitet werden.

4.3 Statistische Verfahren

Um zu überprüfen, ob Abhängigkeiten zwischen den ermittelten Parametern (z. B. der Infiltrationsrate) und der Landnutzung bestehen, wurden mit SPSS einfaktorielle Varianzanalysen (Anova, *Analysis of Variance*) durchgeführt. Sie erlauben es mehrere Mittelwerte miteinander zu vergleichen. Außerdem führt die Prozedur Vergleichstests durch an Hand derer festgestellt werden kann zwischen welchen Gruppen signifikante Mittelwertunterschiede auftreten.

Mit Hilfe des Levene-Tests werden die Daten zunächst auf Varianzhomogenität überprüft. Ist die Hypothese, dass die Varianzen der Gruppen in der Grundgesamtheit gleich seien zu widerlegen, kann die Nullhypothese abgelehnt werden (BROSIUS 2006: 402) und eine Anova durchgeführt werden. Der ermittelte Signifikanzwert der Anova gibt an, ob und mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit sich die Gruppenwerte voneinander unterscheiden. Ist dieser Unterschied signifikant werden zwei multiple Vergleichstests (Bonferroni und Scheffé) durchgeführt, die Aussagen darüber ermöglichen, ob der untersuchte Parameter abhängig ist von der Landnutzungsklasse. Um die Gefahr fehlerhafter Schlussfolgerungen zu vermeiden wurde im Anschluss der S-N-K-Test durchgeführt.

Um Aussagen über die Streuung der minimalen Infiltrationsraten treffen zu können wird zunächst die Variationsbreite, unter der die Differenz zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert der Datenreihe verstanden wird, errechnet. Da dieses Maß jedoch nur Auskunft gibt über die Größe des Intervalls, wird zusätzlich der Variationskoeffizient (*v*) (vgl. Gleichung 6) ermittelt, der die Streuung in Prozent des arithmetischen Mittels angibt. Nur mit Hilfe von diesem relativen Streuungsmaß kann das unterschiedlich hohe Niveau der Variablenwerte, das sich in den verschiedenen arithmetischen Mitteln ausdrückt, berücksichtigt werden (BAHRENBERG et al. 1999: 56f.).

$$v = \frac{s}{\overline{x}} \cdot 100 \tag{Gl. 6}$$

Dabei ist:

v

Variationskoeffizient [%],

s die Standardabweichung mit
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})^2}{n}}$$
 und \overline{x} der arithmetische Mittelwert mit $\overline{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$.

Um lineare Zusammenhänge zwischen zwei Parametern zu überprüfen, z. B. zwischen der Infiltrationsrate und der Lagerungsdichte, wurde das Bestimmtheitsmaß ermittelt.

5 Darstellung der Ergebnisse

Im diesem Kapitel werden zunächst als Grundlage kurz die einzelnen Standorte in Bezug auf ihre Standorteigenschaften und ihre Flächennutzungsverhältnisse beschrieben (Kapitel 5.1) und im Anschluss die einzelnen Untersuchungsergebnisse dargelegt. Um die Ergebnisse in Abhängigkeit ihrer Landnutzung darstellen zu können wurde, auf Grund der hohen Anzahl an Landnutzungstypen, eine Klassifizierung in drei Gruppen vorgenommen: die Gruppe der Forststandorte (Forst, dunkelgrün), die Gruppe der landwirtschaftlich genutzten Standorte (LWS, braun) und eine separate Gruppe der Wiesen- und Weidestandorte (W&W, hellgrün). Die Gruppe der Wiesen- und Weiden wurde von den landwirtschaftlichen Nutzflächen separiert, um ihr Infiltrationsverhalten gegenüber Ackerflächen besser abgrenzen zu können.

Bei der Darstellung werden landnutzungsabhängig zuerst die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen wiedergegeben (Kapitel 5.2). In Kapitel 5.3 folgen die nach Landnutzungskategorien differenzierten Ergebnisse der bodenphysikalischen Kennwerte und der Bodenwasserhaushaltsgrößen. Im Anschluss werden die Ergebnisse der verschiedenen Landnutzungsklassen zusammenfassend einander gegenübergestellt (Kapitel 5.4)

5.1 Kurze Beschreibung der Untersuchungsstandorte

Arbeit Im Rahmen dieser wurden Infiltrationsmessungen, Sondierungen und Stechzylinderentnahmen an 20 Standorten, die chronologisch nummeriert sind, durchgeführt. Die Lokalisierung der Standorte im Einzugsgebiet der Schweinitz ist aus Abbildung 20 zu entnehmen. Die Standorte 1 und 2 wurden im Zuge der Überblicksexkursion bearbeitet, die Standorte 3 - 11 und 11 - 20 während des ersten bzw. des zweiten Geländeaufenthaltes. Insgesamt wurden zehn Forststandorte beprobt, sechs Standorte landwirtschaftlicher Nutzflächen und vier Wiesen und Weiden. Innerhalb der Gruppe der landwirtschaftlichen Nutzflächen handelt es sich bei zwei Standorten ebenfalls um Wiesen, jedoch ist nicht bekannt, wie lange diese schon als Wiesen und nicht als Ackernutzflächen fungieren. Da CORINE sie nicht explizit als Wiesen und Weiden ausweist, werden sie zu den Landwirtschaftsstandorten gezählt.

Bei der Beschreibung der Standorte werden zunächst die Lage, die Höhenlage, die Exposition und die Hangneigung (Bezeichnungen und Klassifizierungen nach AG BODEN 2005: 58f.) genannt. Im Anschluss folgt eine Charakterisierung in Hinblick auf die Landnutzung und die Vegetation. Im Anhang befindet sich neben den Datenblättern zu den einzelnen Standorten auch eine tabellarische Übersicht aller Standorte mit ihren spezifischen Angaben.



Abb. 20: Die Lage der Untersuchungsstandorte

Kurzbeschreibung Standort 1:

- Der erste Standort befindet sich auf tschechischer Seite im Westen auf 609 m über NN. Er ist der westlichste Standort des Einzugsgebietes.
- Der Hang ist nach Nordosten exponiert und die Hangneigung beträgt 5°.
- Nach den CORINE-Daten handelt es sich um einen Laubwald, vorgefunden wurde ein Fichten-Lärchenwald mit vereinzelter Lichtung und Aufforstung. Eine ausgeprägte Grasvegetation war vorhanden.

Kurzbeschreibung Standort 2:

- Standort 2 befindet sich im deutschen Teil des Einzugsgebietes im Nordwesten und ist mit einer Höhe von 568 m über NN der am niedrigsten gelegene Standort. Positioniert ist der Standort auf der Verflachung eines gestuften Hanges.
- Die Exposition orientiert sich 330° NW und der Hang ist mit 13° stark geneigt.
- Nach CORINE befindet sich dort ein Nadelwald. Für die Umgebung war dies zutreffend, die Messungen wurden jedoch auf einer Mischwaldfläche, die von Buchenbewuchs dominiert wurde, durchgeführt. Außerdem existierte eine flächendeckende Laubauflage.

Kurzbeschreibung Standort 3:

- Standort 3 liegt im Naturschutzgebiet Hirschberg Seiffener Grund im Nordwesten des Untersuchungsgebietes des deutschen Einzugsgebietteils auf 604 m über NN.
- Die Exposition beträgt 282° WW und die Hangneigung 10,5°.
- Die CORINE-Daten verorten einen Laubwald. Vorzufinden war ein Laub-Mischwald. Neben den vorherrschenden jungen Buchen kamen vereinzelt Birken und Flächen mit Fichtenbewuchs vor. Weiterhin war eine mächtige Laubschicht charakterisierend.

Kurzbeschreibung Standort 4:

- Der Standort 4 befindet sich nahe der Schweinitz im Osten des Einzugsgebietes in Deutschland auf einer Höhe von 690 m über NN.
- Der Hang ist 158° nach Süden exponiert und die Hangneigung beträgt 6°.
- Vorzufinden war eine Wiese (CORINE-Klasse Wiesen und Weiden), die laut Anwohnerinformationen seit einigen Jahren brach liegt.

Kurzbeschreibung Standort 5:

- Dieser Standort ist im Nordosten des deutschen Einzugsgebietes lokalisiert. Er liegt auf einer Höhe von 715 m über NN.
- Die Exposition ist 75° nach Osten orientiert und verfügt über eine Hangneigung von 6°.
- Es handelte sich um ein Rapsfeld nahe Deutscheinsiedel, das der Landnutzungskategorie unbewässertes Ackerland angehört.

Kurzbeschreibung Standort 6:

- Der sechste Standort befindet sich im Norden des Untersuchungsgebietes nahe des Kurortes Seiffen auf einer Höhe von 713 m über NN.
- Die Exposition beträgt 338° NN und der Hang ist mit 8° mittel geneigt.
- Bei der von CORINE als komplexe Parzellenstruktur ausgewiesenen Fläche handelte es sich um einen frisch besäten Acker.

Kurzbeschreibung Standort 7:

- Der Standort 7 liegt im Norden des Untersuchungsgebietes in der Bundesrepublik Deutschland auf einer Höhe von 740 m über NN.
- Die Exposition ist 10° nach Norden orientiert und die Hangneigung beträgt 6°.

• Diese als komplexe Parzellenstruktur ausgewiesene Fläche war eine Wiese, die laut Gesprächen vor Ort einmal im Jahr geschnitten wird.

Kurzbeschreibung Standort 8:

- Standort 8 liegt sehr zentral im Einzugsgebiet auf deutscher Seite auf 747 m über NN.
- Die Exposition ist 320° nach Nordwesten ausgerichtet. Die Hangneigung ist mit 13° als stark einzustufen.
- Es handelte sich um einen Mischwald in dem Birken und Kiefern stark dominant sind.

Kurzbeschreibung Standort 9:

- Der neunte Standort befindet sich nahe an der Schweinitz gelegen, westlich des achten Standortes, ebenfalls auf deutscher Seite auf einer Höhe von 640 m.
- Die Exposition ist 188° nach Süden orientiert und die Hangneigung mittel geneigt (9°).
- In Bezug auf die Flächennutzung handelte es sich um eine am Mittelhang gelegene Wiese.

Kurzbeschreibung Standort 10:

- Bei diesem Standort handelt es sich um den nördlichsten Untersuchungsstandort, der mit einer Höhe von 750 m über NN auf der deutschen Seite der Schweinitz lokalisiert ist.
- Die Exposition beträgt 230° SW und die Hangneigung 12°.
- Vorzufinden war frisch gesätes Getreide, das zur Kategorie des nicht bewässerten Ackerlandes gehört.

Kurzbeschreibung Standort 11:

- Standort 11 liegt nahe des Ortes Oberseiffenbach auf 697 m über NN.
- Die Exposition ist 238° nach Südwesten orientiert. Die Hangneigung beträgt 7°.
- Vorgefunden wurde ein kürzlich gepflügter und noch unbewirtschafteter Acker, der der CORINE-Klasse der komplexen Parzellenstrukturen zuzuordnen ist.

Kurzbeschreibung Standort 12:

- Der zwölfte Standort liegt auf 705 m über NN in der Tschechischen Republik.
- Die Exposition beträgt 355° NN. Der Standort verfügt mit 2,5° über die geringste Hangneigung aller untersuchten Standorte.

 Vorzufinden war eine ca. 10.000 m² große Birkenwaldfläche, die umgeben war von Mischwald. Laut CORINE-Daten handelt es sich um die Landnutzungskategorie Wald-Strauch-Übergangstadien. Die Bodenbedeckung besteht aus Gras und Moos.

Kurzbeschreibung Standort 13:

- Standort 13 ist auf dem tschechischen Einzugsgebietteil im Westen des Untersuchungsgebietes auf einer Höhe von 710 m über NN lokalisiert.
- Die Exposition orientiert sich 80° nach Osten und die Hangneigung beläuft sich auf 4°, ist also nur schwach geneigt.
- Der Nadelwald bestand aus 20 m hohen Fichten, deren unteren 10m keine Nadeln mehr trugen. Fällungen, Totholz und eine dichte Nadelauflage waren auffallend.

Kurzbeschreibung Standort 14:

- Dieser Standort liegt im Südosten des Untersuchungsgebietes und folglich in der Tschechischen Republik. Die Höhe beträgt 745 m über NN.
- Die Exposition ist 340° nach Norden ausgerichtet, der Neigungswinkel entspricht 10°.
- Es handelte sich um einen Laubwald der über dichten mittelhohen Grasbewuchs und viele kleine Sträucher verfügte. Die Birken und Buchen waren noch relativ jung und nur fünf bis maximal zehn Meter hoch. Generell war die Fläche sehr uneben und wurde von kleinen Gerinnen entwässert.

Kurzbeschreibung Standort 15:

- Standort 15 liegt im Osten des tschechischen Einzugsgebietteils auf 700 m über NN.
- Die Exposition ist 259° nach Westen orientiert und die Hangneigung beträgt 9°.
- Die am Mittelhang gelegene gemähte Wiese wird nach CORINE als Kategorie der Wiesen und Weiden ausgewiesen.

Kurzbeschreibung Standort 16:

- Standort 16 befindet sich im Norden des deutschen Einzugsgebietteils auf einer Höhe von 655 m über NN.
- Die Exposition beträgt 238° SW und die Hangneigung 6°.
- Der ausgewiesene und vorgefundene Nadelwald bestand aus mittelalten bis zu 20 m hohen Fichten und wurde teils leicht gelichtet. Er verfügte über eine ausgeprägte Nadelstreuauflage.

Kurzbeschreibung Standort 17:

- Der siebzehnte und östlichste Untersuchungsstandort befindet sich 775 m über NN auf deutscher Seite des Einzugsgebietes.
- Exponiert ist der Standort 150° nach Südosten mit einer Hangneigung von 9°.
- Bei der als Wald-Strauch-Übergangsstadium ausgewiesenen Fläche handelte es sich um einen ungestörten (Tothölzer sind nicht weggeräumt) jungen Buchenwald mit vereinzelten Lärchen. In der Umgebung waren umzäunte Buchenaufforstungsgebiete zu finden.

Kurzbeschreibung Standort 18:

- Standort 18 ist der südlichste und mit einer Höhe von 862 m über NN gleichzeitig der höchste Untersuchungsstandort am Rand des tschechischen Einzugsgebietteils.
- Die Exposition beträgt 295° NW und die Hangneigung 4°.
- Es handelte sich um eine Wiesenfläche, die von Wiesen und Weiden umgeben war.

Kurzbeschreibung Standort 19:

- Der vorletzte Standort befindet sich auf 670 m über NN in Hora Svaté Kateřiny nahe der Grenze auf tschechischem Gebiet.
- Die Exposition ist 335° nach Nordwesten orientiert. Der Standort verfügt über eine Hangneigung von 7°.
- Bei der Fläche, die laut CORINE-Daten zu der Kategorie der Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung gehört, handelte es sich um eine Wiese, die nach Beobachtungen teils auch als Weide genutzt wurde. Während der Messungen war zu beobachten, dass die Wiese von einem Auto befahren wurde.

Kurzbeschreibung Standort 20:

- Standort 20 liegt ebenfalls auf tschechischer Seite des Untersuchungsgebietes auf einer Höhe von 770 m über NN.
- Der Hang ist 44° nach Nordosten exponiert. Die Hangneigung ist mit 17° sehr stark und wird von keinem anderen Untersuchungsstandort erreicht.
- Nach den CORINE-Daten handelt es sich um eine Laubwaldregion. Vorzufinden war eine Laubwaldlichtung in einer von Mischwald geprägten Umgebung mit Birken, Eschen, Fichten und Lärchen.

5.2 Ergebnisse der Infiltrationsmessungen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der im Gelände durchgeführten Infiltrationsmessungen dargestellt. Die minimalen Infiltrationsraten der einzelnen Standorte und ihre Streuung werden genannt und auf ihre mögliche Landnutzungsabhängigkeit geprüft.

5.2.1 Darstellung der minimalen Infiltrationsraten

In Tabelle 3 sind zu jedem Standort die minimalen Infiltrationsraten der drei Messungen dargestellt. Darüber hinaus ist die aus den Einzelmessungen errechnete durchschnittliche minimale Infiltrationsrate des Standortes aufgeführt. Am ersten Standort wurde auf Grund der hohen Variationsbreite nach den ersten drei Messungen eine vierte Messung durchgeführt. Da es während der zweiten Messung des zwölften Standortes beim Auffüllen des Außenringes zum Ansteigen des Wasserspiegels im Innenring kam, weil dieser sehr locker saß und das hydrostatische Gleichgewicht gestört wurde, wurde die Messung als ungültig gewertet.

Vorab lässt sich festhalten, dass die Werte der minimalen Infiltrationsrate nach KOHNKE (1968: 30) alle mittel (20 - 63 mm/h) bis sehr hoch (> 254 mm/h) ausfallen. Zwölf der 20 Werte sind der Infiltrationsklasse der sehr hohen minimalen Infiltrationsraten (> 254 mm/h) zuzuordnen, während der Klasse der mittleren minimalen Infiltrationsraten (20 - 63 mm/h) nur zwei Standorte zuzuteilen sind. Dabei ist zu beachten, dass die mit dem Doppelring-Infiltrometer ermittelten Werte höher ausfallen, als die realen Werte. Dieses Problem und mögliche Gründe für die sehr hohen Werte werden in Kapitel 6.3.1 der Diskussion noch einmal aufgegriffen.

Standorte																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. Mess.	90	220	880	200	120	60	120	960	240	40	260	320	200	220	60	380	120	240	20	300
2. Mess.	480	120	600	700	40	160	40	1200	320	60	200	-	80	60	180	2280	460	660	20	20
3. Mess.	1060	160	1480	380	60	400	180	1160	440	60	440	240	640	20	360	360	600	600	100	480
4. Mess.	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340	-	-	-	-	-	-	-	-
Ø min. IR [mm/h]	453	167	987	427	73	207	113	1107	333	53	300	300	307	100	173	1007	567	500	47	267

Tab. 3: Übersicht über die einzelnen und die durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten [mm/h] der Standorte (Ø min. IR steht für durchschnittliche minimale Infiltrationsrate. Die Extremwerte der Nutzungsklassen sind fett gedruckt.)

Aus Tabelle 3 und Abbildung 21, in der die durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der Standorte dargestellt sind, lässt sich entnehmen, dass die Variationsbreite sowohl zwischen den Einzelmessungen jedes Standortes als auch zwischen den einzelnen Standorten sehr groß ist. Der Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten beträgt 1.107 mm/h (Standort 8) und wurde in einem Mischwald gemessen. Danach folgt die Rate mit 1.007 mm/h (Standort 16), die ebenfalls an einem forstlich genutzten Standort auftrat. Diesmal handelt es sich um einen leicht gelichteten Nadelwald. Ebenfalls eine hohe durchschnittliche minimale Infiltrationsrate weisen der von Buchen dominierte Laub-Mischwaldstandort (Standort 3, 987 mm/h) mit dichter Laubauflage, der in einer Aufforstungsregion gelegene Waldstrauchübergangstandort (Standort 17) mit 567 mm/h und eine Wiese (Standort 18) mit 500 mm/h auf. Die restlichen Standorte verfügen über minimale Infiltrationsraten von unter 500 mm/h. Der Minimalwert von 47 mm/h (Standort 19) wurde auf einer Wiese gemessen, die auch als Weidefläche genutzt wird und nach CORINE zu der Kategorie der Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung gehört. Drei weitere Standorte mit landwirtschaftlicher Nutzung (Standort 10, 5 und 7) weisen mit 53 bzw. 73 und 100 mm/h ebenfalls niedrige Werte auf. Der von Gras und Sträuchern bewachsene Forststandort 14 lässt ebenfalls eine niedrige durchschnittliche Infiltrationsrate (100 mm/h) erkennen.



Abb. 21: Darstellung der durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der Standorte

Insgesamt lässt sich feststellen, dass mit Ausnahme des zweiten, des 14. und des 20. Standortes die durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der Forststandorte die der landwirtschaftlich genutzten Flächen überschreiten bzw. gleich hoch sind (vgl. Standort 12). Das arithmetische Mittel der drei Landnutzungskategorien zeigt, dass die Forststandorte die höchste und die landwirtschaftlich genutzten Flächen die niedrigste durchschnittliche minimale Infiltrationsrate aufweisen. Der Durchschnittswert aller im Einzugsgebiet der Schweinitz untersuchten Standorte beläuft sich auf 374 mm/h (vgl. Tabelle 4). Unter dem Durchschnittswert der Landwirtschaftsstandorte liegt nur ein Forststandort (Standort 14).

Flächennutzungsart	Arithmetische Mittel der minimalen Infiltrationsraten [mm/h]				
Forststandorte	525,92				
Wiesen- und Weidestandorte	358,33				
landwirtschaftlich genutzte Standorte	132,22				
Gesamtheit aller Standorte	374,29				

 Tab. 4:
 Durchschnittswerte der minimalen Infiltrationsraten der drei übergeordneten Nutzungsklassen

In Abbildung 22 ist der Infiltrationsverlauf von drei Standorten unterschiedlicher Landnutzung dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Infiltrationskapazität und die minimale Infiltrationsrate des Forststandortes ein höheres Niveau annehmen. Ebenfalls ist zu erkennen, dass die Infiltrationsrate zu Beginn höher und stärkeren Schwankungen unterlegen ist. Im Laufe der Zeit sinkt die Rate und wird gegen Ende deutlich konstanter. Nach dem Auffüllen des Innenzylinders nimmt die Infiltrationsrate auf Grund des erhöhten Druckes kurzzeitig zu.



Abb. 22: Infiltrationsverlauf eines Forst- eines Wiesen und Weide- und eines Landwirtschaftsstandortes (S steht für Standort und M für Messung.)

Um zu überprüfen, ob die minimale Infiltrationsrate tatsächlich abhängig ist von der Landnutzung wurde mit SPSS eine einfaktorielle Anova durchgeführt. Mit Hilfe des Levene-Tests wurde zunächst festgestellt, dass keine Varianzhomogenität vorhanden ist. Da die Hypothese, dass die Varianzen der Gruppen in der Grundgesamtheit gleich seien nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,0 % eintrifft, kann die Nullhypothese abgelehnt werden. Der Signifikanzwert von 0,000 deutet also auf einen Unterschied zwischen den Varianzen (BROSIUS 2006: 402).

Der Signifikanzwert der im Anschluss durchgeführten Varianzanalyse beträgt 0,005. Daraus geht hervor, dass sich die Gruppenmittelwerte signifikant voneinander unterscheiden. Zwei multiple Vergleichstests (Bonferroni und Scheffé) ergaben, dass sich die minimalen Infiltrationsraten zwischen den Forststandorten und den landwirtschaftlich genutzten Standorten auf einem 5 %-Niveau auch statistisch signifikant unterscheiden (Signifikanz von 0,005 bzw. 0,004). Die Unterschiede zwischen der Landnutzungskategorie Forst und der der Wiesen und Weiden (0,464 Scheffé und 0,651 Bonferroni), sowie zwischen der der Wiesen und Weiden und der der Landwirtschaft (0,304 Scheffé und 0,374 Bonferroni) sind nicht signifikant. Auch der zur Minimierung der Gefahr fehlerhafter Schlussfolgerungen durchgeführte S-N-K-Test bestätigt, dass sich die Forststandorte von den landwirtschaftlich genutzten Standorten unterscheiden, nicht jedoch die Wiesen- und Weidestandorten von den Forst bzw. den Landwirtschaftsstandorten. Zwischen den 95 % Konfidenzintervallen des Mittelwertes des Forstes und der Wiesen und Weiden kommt es zu Überschneidungen. Das ist ein Zeichen dafür, dass die Innergruppenvarianz größer ist als die Zwischengruppenvarianz. Die gleichen Ergebnisse werden erzielt, wenn die Extremwerte der Landnutzungsklassen vernachlässigt werden.

5.2.2 Streuung der minimalen Infiltrationsraten

Nicht nur der Vergleich der einzelnen Parallelmessungen an einem Standort, sondern auch die durchschnittlichen Ergebnisse der einzelnen Standorte zueinander weisen hohe Variationsbreiten auf. Die Variationsbreiten der Standorte sind in Abbildung 23 dargestellt.



Abb. 23: Die standortspezifischen Variationsbreiten der minimalen Infiltrationsraten sortiert nach der Größe der Werte (Die Angabe in Klammer gibt die Anzahl der Messungen an.)

Besonders auffällig ist die hohe Variabilität des 16. Standortes. Die Differenz aus der niedrigsten und der höchsten gemessenen minimalen Infiltrationsrate ergibt hier 1.920 mm/h. Sowohl die Forststandorte als auch die Ackerstandorte verfügen über ein großes Streuungsmaß. Die höchste durchschnittlich gemessene Infiltrationsrate auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche ist 17mal größer als der niedrigste Wert (Standort 6: Standort 10). In Bezug auf die Forststandorte ist der höchste Wert 19mal so hoch (Standort 16: Standort 12). Werden jedoch die Extremwerte einer Nutzungskategorie eliminiert, so reduziert sich das Verhältnis bei den landwirtschaftlichen Nutzflächen auf das Dreifache und bei den Forststandorten auf das Zehnfache. Um das unterschiedlich hohe Niveau der arithmetischen Mittel zu berücksichtigen wurde zusätzlich der Variationskoeffizient gebildet (vgl. Tab. 5).

	Forststandorte	Wiesen- und Weidestandorte	Landwirtschafts- standorte
Variationsbreite der durchschnittlichen min. IR	1006,67 mm/h	326,67 mm/h	253,33 mm/h
Variationskoeffizient	99 %	57 %	94 %

 Tab. 5: Streuungsmaße der Landnutzungskategorien

Die Variationsbreite zwischen den durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der Forststandorte beträgt zwischen dem achten und dem 14. Standort 1.007 mm/h. Dennoch trifft die Annahme, dass die Variabilität bei Forststandorten besonders stark ist auf die ermittelten Daten nicht zu. Die Unterschiede der Forststandorten (v = 99 %) sind nur minimal größer als die der landwirtschaftlich genutzten Standorten (v = 94 %).

Die Lage und Verteilung der Einzelmessungen der unterschiedlichen Landnutzungskategorien veranschaulicht Abbildung 24. Auf der x-Achse sind die Kategorien aufgetragen und auf der y-Achse die minimalen Infiltrationsraten der einzelnen Messungen. Die horizontale Linie innerhalb der Box kennzeichnet die Lage des Medians (50 %-Perzentil). Das 75 bzw. 25 %-Perzentil wird durch die Ober- bzw. Untergrenze der Box gekennzeichnet. Die dünnen Querstriche ober- bzw. unterhalb entsprechen den größten bzw. kleinsten Werten, die noch keine Ausreißer darstellen. Bei den Kreisen handelt es sich um Ausreißerwerte, d. h. Werte, deren Entfernung zur Box zwischen dem 1,5-fachen und dem Dreifachen der Boxhöhe liegen. Aus Abbildung 24 sind also die höhere Variationsbreite der minimalen Infiltrationsraten und die insgesamt auf einem höheren Niveau liegenden Raten der Forststandorte zu entnehmen.



Abb. 24: Landnutzungsspezifische Darstellung der Lage und Verteilung der minimalen Infiltrationsrate

5.2.3 Zusammenfassende Betrachtung

Die zentralen Ergebnisse des Kapitels lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die minimalen Infiltrationsraten sind bei 60 % der Standorte sehr hoch (KOHNKE 1968: 30). Die Werte liegen zwischen 1.107 und 47 mm/h.
- Das arithmetische Mittel der minimalen Infiltrationsraten der landwirtschaftlich genutzten Standorte liegt unter dem der Forststandorte. Das arithmetische Mittel der Wiesen und Weiden ist dazwischen einzuordnen.
- Auch statistisch betrachtet ist das Infiltrationspotential abhängig von der Landnutzung. Es sind signifikante Unterschiede zwischen Forst- und Landwirtschaft festzustellen, nicht jedoch zwischen Wiesen- und Weidestandorten und Forststandorten bzw. zwischen Wiesen und Weidestandorten und landwirtschaftlich genutzten Standorten.
- Die Streuung der Ergebnisse ist sowohl zwischen den Einzelmessungen als auch zwischen den verschiedenen Untersuchungsstandorten sehr stark. Die höchste Variationsbreite wurde mit 1.920 mm/h an einem Forststandort gemessen. In Bezug auf die durchschnittlichen minimalen Infiltrationsraten der einzelnen Standorte beträgt sie bei den Forststandorten 1.007 mm/h und bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten 253 mm/h. Die relative Variabilität dagegen weist kaum landnutzungsspezifische Unterschiede auf.

5.3 Ergebnisse der bodenphysikalischen Kennwerte und der Bodenwasserhaushaltsgrößen

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der bodenphysikalischen Kennwerte (Bodenart (5.3.1), WDPT (5.3.2) und Lagerungsdichte (5.3.3)) und anschließend der Bodenwasserhaus haltsgrößen (Bodenvorfeuchte (5.3.4), Bodenkennwerte (5.3.5)) dargestellt. Innerhalb der Darstellung der Ergebnisse eines Parameters werden diese bereits nach Landnutzungsgruppen getrennt. Nach einer zusammenfassenden Betrachtung der zentralen Ergebnisse (5.3.6) erfolgt in Kapitel 5.4 eine direkte Gegenüberstellung der Nutzungsklassen.

5.3.1 Ergebnisse der Bodensondierungen

Da die Bodenarten ausschließlich im Gelände bestimmt wurden und eine hohe Fehlerquelle vermuten lassen, wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Darstellung aller Sondierungen verzichtet. Die Sondierungen ergaben Bodenmächtigkeiten zwischen 58 und 100 cm. In Bezug auf die Bodenartenhauptgruppen ergaben die Ansprachen im Gelände, dass die Sande dominieren. Es wurde fast ausschließlich die Bodenartengruppe der Lehmsande vorgefunden. Die Bodenarten mittellehmiger Sand (Sl3) und schwach lehmiger Sand (Sl2) wurden am häufigsten verzeichnet. Schwach schluffiger und mittel schluffiger Sand (Su2 und Su3) sowie

schwach toniger Sand (St2) und stark sandiger Lehm (Ls3) wurden ebenfalls mehrfach vorgefunden. Der Vollständigkeit halber sind die Ergebnisse aller Sondierungen im Anhang bei dem jeweiligen Standort zu finden.

5.3.2 Ergebnisse des WDPT Tests

Die Ergebnisse des WDPT Tests werden nur bedingt dargestellt, da kein Zusammenhang zu den gemessenen Infiltrationsraten festgestellt werden konnte. Insgesamt ist die Variabilität der WDPT sehr hoch und eine graphische Darstellung der sehr stark streuenden Werte nicht aussagekräftig. Die durchschnittliche Zeit (Durchschnittszeit der drei Tropfen pro Probe), die ein Tropfen benötigte um in eine Probe einzudringen betrug zwischen < 1s - 9540 s (=159 min). Nach DOERR et al. (2006: 745) entspricht das den Klassen nicht benetzungsgehemmt (Klasse 0) bis extrem benetzungsgehemmt (Klasse 9). Klasse 10 (> 5 h) tritt als einzige nicht auf. Die durchschnittliche WDPT eines Standortes (Durchschnitt von drei Proben mit je drei Tropfen) liegt bei den Forststandorten zwischen 1,3 und 1584 s, bei den Wiesen und Weiden zwischen 1 und 103 s und bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten bei 634 s bei den Wiesen und Weiden und den landwirtschaftlich genutzten Flächen bei 18 respektive 59 s. Da alle Signifikanzwerte über 0,388 liegen, kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Landnutzung und der WDPT festgestellt werden.

Auch eine Korrelation zwischen der gemessenen minimalen Infiltrationsrate und der WDPT liegt nicht vor. Als stark benetzungsgehemmt ausgewiesene Standorte verfügen sowohl über sehr hohe als auch über sehr niedrige minimale Infiltrationsraten.

Da nur Stechzylinderproben aus dem Oberboden entnommen wurden, können keine Ergebnisse in Abhängigkeit von der Tiefe ermittelt werden. Laut DOERR et al. (2006: 747) nimmt die WDPT mit der Tiefe ab.

5.3.3 Standortspezifische Darstellung der Lagerungsdichte

Aus Abbildung 25 können die Anzahl der entnommenen Stechzylinderproben und deren Lagerungsdichte abgelesen werden. Außerdem ist der Durchschnittswert von jedem Standort der Abbildung zu entnehmen.



Abb. 25: Darstellung der Lagerungsdichte der Standorte

Es wurden durchschnittliche Lagerungsdichten berechnet, die zwischen 0,77 und 1,36 g/cm³ liegen. Der niedrigste Wert wurde an dem dritten Standort (Forststandort) gemessen und der höchste ist der Landnutzungskategorie der Wiesen und Weiden zuzuordnen (Standort 15). Der Durchschnittswert aller Lagerungsdichten beträgt 1,08 g/cm³ und ist nach der DIN 4220 (DIN 4220 13) als sehr gering (<1,25g/cm³) einzustufen. Trockenrohdichten unter 1,25 g/cm³ entsprechen einer sehr geringen effektiven Lagerungsdichte von unter 1,4 und Trockenrohdichtewerte zwischen 1,25 und 1,45 g/cm³ einer geringen effektiven Lagerungsdichte von 1,4 bis 1,6 (AG BODEN 2005: 342). Insgesamt weisen 85 % eine sehr geringe Lagerungsdichte auf und nur drei Standorte weisen eine geringe Lagerungsdichte (1,25 -1,45 g/cm³) auf. Bei diesen drei Standorten handelt es sich um zwei landwirtschaftlich genutzte Standorte und eine Wiese. Der Durchschnitt bei den Forststandorten liegt mit 0,99 g/cm3 unter dem Gesamtdurchschnitt und die Durchschnitte der Wiesen und Weiden und der landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen mit 1,14 g/cm³ respektive 1,18 g/cm³ über dem Gesamtdurchschnitt. Die Durchführung einer Anova zeigt, dass sich auch statistisch betrachtet die Gruppenmittelwerte signifikant (0,008) voneinander unterscheiden. Die Abhängigkeit der Landnutzung wird auch dadurch gezeigt, dass sich mit einer Signifikanz von 0,016 (Scheffé) und 0,012 (Bonferroni) die Forststandorte und die landwirtschaftlich genutzten Standorte Zwischen den Kategorien der Wiesen und unterscheiden. Weiden und der Landwirtschaftsstandorten lässt sich kaum ein Unterschied feststellen. Ein solcher liegt aber zwischen den Standorten der Kategorie der Wiesen und Weiden und den Forststandorten vor. Dieser ist mit 0,134 (Scheffé) und 0,138 (Bonferroni) jedoch nicht signifikant.

In Bezug auf die relative Streuung der einzelnen Proben ist festzuhalten, dass diese bei den Forststandorten etwas mehr als ein Viertel des Mittelwertes beträgt (v = 26,45%). Die relativen Streuungen der Wiesen und Weiden (v = 16,03%) und der landwirtschaftlich genutzten Standorte (11,99%) sind niedriger. Verdeutlicht werden die stärkere Streuung der Forststandorte und die insgesamt niedrigere Lagerungsdichte mit Hilfe des folgenden Boxplottdiagrammes (vgl. Abbildung 26, zur Erklärung des Diagramms siehe S. 59).



Abb. 26: Landnutzungsspezifische Darstellung der Lage und Verteilung der Lagerungsdichte

Betrachtet man den in Abbildung 27 dargestellten Zusammenhang zwischen den minimalen Infiltrationsraten und den Lagerungsdichten, so lässt sich tendenziell erkennen, dass hohe Lagerungsdichten mit niedrigen minimalen Infiltrationsraten einhergehen. Laut dem Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,15$) ist jedoch kein statistisch signifikanter linearer Zusammenhang festzustellen.



Abb. 27: Beziehung zwischen Lagerungsdichte und minimaler Infiltrationsrate

5.3.4 Ergebnisse der Bodenvorfeuchtebestimmung

Abbildung 28 zeigt den durchschnittlichen Wassergehalt der Standorte zu Messbeginn in Volumenprozent. Da am ersten und am zweiten Standort zu verschiedenen Zeitpunkten infiltriert wurde und der Wassergehalt eine instabile Größe ist, gibt es dort zwei Angaben zur Bodenvorfeuchte. Die genauen Werte sowie das Datum und die Anzahl der Stechzylinderproben aus denen der Mittelwert für den jeweiligen Standort berechnet wurde, sind im Anhang zu dem jeweiligen Standort aufgeführt.


Abb. 28: Wassergehalt zu Messbeginn in Volumenprozent

Die Untersuchungen der Wassergehaltsmessungen ergaben, dass der Boden aller Standorte zu Beginn der Messung eine Wassersättigung zwischen 15,29 Vol.-% und 46,71 Vol.-% aufwies. Den geringsten Sättigungswert weist der Ende April beprobte neunte Standort auf. Die höchste Bodenvorfeuchte wurde Mitte Mai am zwölften Standort gemessen. Tendenziell war die Bodenvorfeuchte während des Geländeaufenthaltes vom 28.04. bis zum 01.05.2007 (Standort 3 bis 11) geringer. Das Mittel aller Standorte beträgt 28,04 Vol.-%. Der Wassergehalt in Volumenprozent ist allein nicht aussagekräftig, da der Bodenfeuchtezustand abhängig ist von der Bodenart. So gilt ein Lehm bei 20 % Wassergehalt als trocken, ein Sand dagegen als feucht. Unter Annahme der eigens ermittelten dominierenden Bodenarten entspricht ein durchschnittlicher Wassergehalt von 28,04 Vol.-% laut DIN 4220 (DIN 4220: 24) einem pF-Wert von ca. 1,5 (Sl2) bzw. ca. 1,7 (Sl3). Dies entspricht nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005: 115) einem sehr feuchten Boden (pF-Bereich von 2,1 bis > 1,4). Orientiert man sich an den Angaben aus der BODENKONZEPTKARTE SACHSEN (2006), so ergibt sich bei einem Wassergehalt von durchschnittlich 28,04 Vol.-% ein pF-Wert von ca. 2,4 (Ls3) bzw. ca. 2,8 (Ls2), der wiederum einem feuchten (pF-Bereich von 2,7 bis > 2,1) bzw. schwach feuchten (pF-Bereich von 4,0 bis > 2,7) Boden entsprechen würde.

5.3.5 Ergebnisse der Bodenkennwerte

Die durchgeführten Methoden zur Bestimmung der maximalen Wasserkapazität und der Feldkapazität erlauben Rückschlüsse auf das Gesamtporenvolumen und auf den Volumenanteil der engen Grobporen, der Mittel- und Feinporen sowie durch die Differenz der beiden Werte auf die Luftkapazität. Die Werte der einzelnen Standorte sind in Abbildung 29 dargestellt.

Der Höchstwert der maximalen Wasserkapazität bzw. des Gesamtporenvolumens wurde von dem zwölften Standort mit 65,65 % erreicht. Das niedrigste Gesamtporenvolumen wurde mit 43,55 % am achten Standort gemessen. Bei beiden Standorten handelt es sich um Forststandorte. Mit einem durchschnittlichen Volumenanteil von 53,55 % ist das Gesamtporenvolumen nach der DIN 4220 (DIN 4220: 15) als hoch einzustufen. Insgesamt liegen nur zwei Werte im mittleren Bereich. 50 % der Werte weisen ein hohes und 40 % ein sehr hohes Gesamtporenvolumen auf. Der Durchschnitt der Forststandorte ist mit 55,83 % am höchsten und der der Wiesen und Weiden mit 50,14 % am niedrigsten. Ebenfalls ist der Variationskoeffizient der Forststandorte mit 17 % am höchsten ($v_{W\&W} = 9$ % und $v_{LWS} = 7$ %). In Bezug auf die Landnutzung lässt sich zwischen den Forst- und den Wiesen- und Weidestandorten zwar ein Unterschied verzeichnen, dieser ist jedoch statistisch nicht signifikant (Signifikanz 0,116).



Abb. 29: Die Bodenkennwerte in Volumenprozent

Der Wassergehalt in Volumenprozent, der nach zweitägigem Austropfen noch in der Bodenprobe enthalten ist, entspricht etwa der Feldkapazität und somit dem Volumen der Summe aus den engen Grobporen und den Mittel- und Feinporen. Die einzelnen Ergebnisse ähneln in ihrer relativen Höhe denen der Wasserkapazität und sind ebenfalls in Abbildung 30 dargestellt. Im Gesamtdurchschnitt liegt die Feldkapazität bei einem Volumenanteil von 48,79 % und ist damit nach DIN 4220 (DIN 4220: 14) hoch. Zwei Standorte werden als mittel (26 - \leq 39 Vol.-%), zwölf, d. h. 60 % der untersuchten Standorte, als hoch (39 - \leq 52 Vol.-%) und sechs als sehr hoch (\geq 52 Vol.-%) eingestuft. Der Maximal- und der Minimalwert wurden genau wie bei der Wasserkapazität am zwölften bzw. am achten Standort gemessen. Außerdem ist auch bei der Feldkapazität der Durchschnitt der Forststandorte am höchsten (50,40 %) und der der Wiesen und Weiden am niedrigsten (46,54 %). Auch der Variationskoeffizient ist erneut bei den Forststandorten am höchsten (21 %) und liegt bei den anderen beiden Landnutzungskategorien bei 7 % (Wiesen und Weiden) und 8 % (LWS). Nach der Anova sind keine landnutzungsspezifischen Unterschiede zu verzeichnen.

Aus der Differenz zwischen der Wasser- und der Feldkapazität ergeben sich die Anteile der weiten Grobporen, die zwischen 9,09 % (Standort 1) und 1,03 % (Standort 19) liegen und durch ein arithmetisches Mittel von 4,76 % gekennzeichnet sind. Auch hier fallen die Anteile bei den Forststandorten leicht höher aus (5,42 %) als bei den landwirtschaftliche genutzten Standorten (4,44 %) und den Wiesen und Weiden (3,60 %).

5.3.6 Zusammenfassende Betrachtung

Als Abschluss des Kapitels sollen die zentralen Unterschiede und Ähnlichkeiten der bodenphysikalischen Kennwerte und der Wasserhaushaltsgrößen der Landnutzungskategorie zusammengefasst werden.

- Die Variabilität der Forststandorte ist in Bezug auf die WDPT deutlich höher als die der landwirtschaftlich genutzten Standorte und der Wiesen- und Weidestandorte. Die insgesamt als sehr niedrig einzustufenden Lagerungsdichten des obersten Horizontes fallen bei den Forststandorten durchschnittlich um fast 0,2 g/cm³ geringer aus.
- In Bezug auf die Bodenkennwerte lässt sich festhalten, dass sowohl die maximale Wasserkapazität und das daraus abgeleitete Gesamtporenvolumen als auch die Feldkapazität als hoch einzustufen sind. Auch bei diesen Parametern sind die Forststandorte durch höhere Variationskoeffizienten gekennzeichnet. Dennoch ist besonders bei der Feldkapazität und somit bei dem Anteil der engen Grobporen und der Mittel- und Feinporen der Durchschnitt mit 50,40 % nur geringfügige 3,86 % höher als der bei der Landnutzungs-

kategorie der Wiesen und Weiden ermittelte geringste Durchschnitt (46,54 %). Auch das Gesamtporenvolumen ist bei den untersuchten Wiesen- und Weidestandorten mit 50,14 % am geringsten und bei den Forststandorten mit 55,38 % am höchsten.

 Bei der Betrachtung der Bodenart und der Bodenvorfeuchte sind erwartungsgemäß keine relevanten landnutzungsspezifischen Unterschiede festzustellen. Unter Berücksichtigung der BODENKONZEPTKARTE SACHSEN (2006) herrschen Normallehme vor und unter Annahme der eigenen Bodenansprachen im Gelände sind Lehmsande dominant. Der durchschnittliche Wassergehalt zu Messbeginn, der bei den Waldstandorten eine höhere Variationsbreite aufweist, lag bei 28,04 % und ist je nach angenommener Bodenart somit als schwach feucht bis feucht (Normallehme) bzw. sehr feucht (Lehmsande) einzustufen.

5.4 Gegenüberstellung der Ergebnisse der verschiedenen Landnutzungsklassen

Bei der Betrachtung der Ergebnisse in Abhängigkeit von ihrer Landnutzung ergeben sich einige deutliche Unterschiede.

Die Forststandorte verfügen insgesamt über höhere minimale Infiltrationsraten. Auf Grund der insgesamt höheren und umfangreicheren Werte ist zwar die Variationsbreite nicht jedoch die relative Variabilität höher. Die höhere Variationsbreite gilt auch für die WDPT. Außerdem ist die Lagerungsdichte der Forststandorte im Durchschnitt fast 0,2 g/cm³ niedriger als die der anderen Landnutzungsklassen.

Auch die minimalen Infiltrationsraten der Wiesen- und Weidestandorte und der Landwirtschaftsstandorte sind als hoch einzustufen; dennoch sind sie deutlich niedriger als die der Forststandorte. Ihre Variationsbreite ist geringer, die relative Variabilität der landwirtschaftlich genutzten Standorte nimmt aber gleiches Ausmaß an wie die der Forststandorte. Ihre Lagerungsdichte ist zwar immer noch sehr gering, dennoch aber höher als die der Forststandorte.

Die Landnutzungsabhängigkeit des Infiltrationspotentials und der Lagerungsdichte ist zwischen den Forststandorten und den landwirtschaftlich genutzten Standorten auch statistisch signifikant. In Bezug auf das Gesamtporenvolumen und den Volumenanteil der engen Grobporen und der Mittel- und Feinporen sind gemäß der Anova keine signifikanten Unterschiede zwischen den Landnutzungskategorien zu erkennen. Eindeutig signifikante Zusammenhänge zwischen der Lagerungsdichte und der minimalen Infiltrationsrate sind nicht festzustellen. Darüber hinaus liegt keine Abhängigkeit zwischen der minimalen Infiltrationsrate und den Anteilen der Porenvolumina bzw. der WDPT vor.

In Tabelle 6 sind noch einmal die Durchschnittswerte der ermittelten Parameter der einzelnen Landnutzungskategorien zusammenfassend dargestellt.

Landnutzung		Forststandorte	Wiesen- und Weidestandorte	Landwirtschafts- standorte
Parameter				
Durchschnittliche minimale Infiltra- tionsrate [mm/h]		525,92	358,33	132,22
Streuungsmaße der minimalen Infiltrationsraten	Variations- breite[mm/h]	1006,67	326,67	253,33
	Variations- koeffizient [%]	99	57	94
WDPT [s]		633,95	18,42	59,24
Lagerungsdichte [g/cm ³]		0,99	1,14	1,18
Bodenvorfeuchte [Vol%]		31,09	23,29	25,09
Wasserkapazität / Gesamtporenvolumen [Vol%]		55,83	50,14	52,04
Feldkapazität / Volumen der engen Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]		50,40	46,54	47,60
Luftkapazität / Volumen der weiten Grobporen [Vol%]		5,42	3,60	4,44

Tab. 6:Übersicht der Landnutzungsklassen und ihrer bodenhydrologischen Parameter (Durch das
Rechnen mit gerundeten Werten kann es zu minimalen Abweichungen kommen.)

6 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse diskutiert und bewertet. Die Diskussion soll Erklärungsansätze für die jeweiligen Ergebnisse liefern, sie auf ihre Aussagekraft überprüfen und ihre Zusammenhänge aufzeigen und erläutern. Darüber hinaus sollen mögliche Fehlerquellen berücksichtigt, Probleme dargestellt und die ausgewählten Methoden bezüglich ihrer Eignung für die Zielerreichung reflektiert werden. Um die Nachvollziehbarkeit zu erleichtern, erfolgt dies entgegen der Reihenfolge der Darstellung der Ergebnisse zunächst einzeln anhand der bodenphysikalischen Kennwerte (6.1) und der Bodenwasserhaushaltsgrößen (6.2). So kann in der Diskussion der minimalen Infiltrationsraten (6.3) bereits auf diese Parameter und ihre Güte Bezug genommen werden und bei der Betrachtung des Infiltrationspotentials in Abhängigkeit von der Landnutzung auf diese zurückgegriffen werden.

6.1 Bewertung der bodenphysikalischen Kennwerte

Bodenart

In Bezug auf die Bodenartenverteilung wurde in Kapitel 5.3.1 bereits auf die beschränkte Aussagekraft der Ergebnisse hingewiesen. Vergleicht man die im Gelände angesprochenen Angaben mit der BODENKONZEPTKARTE SACHSEN 2006, die für den deutschen Teil des Einzugsgebietes der Schweinitz schwach sandigen und mittel sandigen Lehm (Ls2 und Ls3) ausweist, so ist festzustellen, dass die Unterschiede nicht allzu gravierend sind. Der Sandgehalt wurde überbewertet¹³ und der Masseanteil von Ton und Schluff entsprechend unterschätzt. Dennoch werden die Ergebnisse hier nicht weiter diskutiert und auch bei der Diskussion der Infiltrationsraten in Kapitel 6.3 nur bedingt aufgegriffen, obwohl kein Zweifel besteht, dass die Bodenart als einer der ereignisunabhängigen Einflussfaktoren das Infiltrationspotential stark beeinflusst (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1996: 395 und Kapitel 2). Um die Bodenarten angemessen in die Diskussion mit einbeziehen zu können, wären Korngrößenanalysen, die aus zeitlichen Gründen nicht umgesetzt werden konnten, von den entnommenen Proben im Labor erforderlich. Interessant wäre auch die Korngrößenverteilung in Abhängigkeit von der Tiefe.

<u>WDPT</u>

Da aus zeittechnischen Gründen keine Beprobungen in der Tiefe möglich waren, kann nicht überprüft werden, ob die Persistenz und die Stärke des Benetzungswiderstandes tatsächlich mit der Tiefe abnehmen (WAHL et al. 2002: 46 und DOERR et al. 2006: 745). Dass der

¹³ Der Masseanteil an Sand beträgt bei einem Sl2 bis zu 85 %, während ein wie in der BODENKONZEPTKARTE SACHSEN 2006 aufgeführter Ls2 nur bis zu 43 % Sand verzeichnet (AG BODEN 2005: 144).

Benetzungswiderstand im Zusammenhang mit dem Humusgehalt steht (DOERR et al. 2006: 750), kann auch nur bedingt gezeigt werden. So ist zutreffend, dass die WDPT durchschnittlich bei Forststandorten höher ausfällt und diese generell über höhere Humusgehälter verfügen. Da nur Proben aus dem oberen Horizont entnommen wurden und die Bestimmung des Organikgehalts nur bedingt möglich gewesen wäre, wurde der Organikanteil nicht bestimmt. Folglich können keine genauen Aussagen formuliert werde. Die teils hohen Werte können nicht auf die erhöhte Benetzungsgehemmtheit trockener Böden zurückgeführt werden (DOERR et al. 2006: 751), da der Boden nicht sehr trocken war. Der mögliche Einfluss der WDPT auf die Infiltration wird in Kapitel 6.3.2 noch einmal aufgegriffen.

Lagerungsdichte

Mit einer durchschnittlichen Lagerungsdichte von 1,08 g/cm³ befinden sich die ermittelten Ergebnisse im unteren Spektrum üblicher Werte, die nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002: 164) zwischen knapp 1,0 und 2,0 g/cm3 liegen. Diese Angaben beziehen sich jedoch auf Mineralböden, die einen C-Gehalt von 2 % aufweisen (ebd.), welcher wiederum, unter Annahme eines mittleren C-Gehaltes der organischen Substanz von 58 %, einem Humusgehalt von 3,4 % entspricht (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002: 75). Aus diesen Angaben lässt sich bereits schlussfolgern, dass die Lagerungsdichte abhängig ist von dem organischen Anteil der Probe. Ein erhöhter Organikgehalt begünstigt die Bildung eines stabilen Aggregatgefüges und trägt so besonders bei Forststandorten zu geringeren Trockenrohdichten bei (HINTERMAYER-ERHARD & ZECH 1997: 37). Auch bei den Untersuchungen von LÖHE (2006: 71) wird mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,69 die Korrelation zwischen dem Anteil organischer Substanz und der Trockenrohdichte in einer Tiefe von 20 cm nachgewiesen. Da nur Proben aus dem oberen Horizont zur Verfügung stehen und der Organikgehalt nicht bestimmt wurde, können keine Rückschlüsse von dem organischen Anteil einer Probe auf deren Lagerungsdichte getroffen und keine Aussagen über die erwartungsgemäße Zunahme der Trockenrohdichte mit der Tiefe formuliert werden.

Für alle im Zuge dieser Arbeit untersuchten Standorte weist der oberste Horizont eine nach DIN 4220 (DIN 4220: 13) geringe Lagerungsdichte auf, für 85 % sogar eine sehr geringe. Bei den drei Standorten, deren durchschnittliche Lagerungsdichte nicht unter 1,25 g/cm³ liegt, handelt es sich um die landwirtschaftlichen Standorte fünf und sieben und um den Wiesenstandort 15. Diesen Standorten ist gemein, dass eine nutzungsbedingte Verdichtung anzunehmen ist. Der fünfte Standort, ein Rapsfeld, wird mit Landwirtschaftsfahrzeugen

bearbeitet, wie sich vor Ort erkennen ließ. Der siebte Standort ist heute eine kaum genutzte Wiese, die einmal im Jahr geschnitten wird. Aus Gesprächen mit Anwohnern ging hervor, dass die Fläche früher landwirtschaftlich und vor wenigen Jahren noch weidewirtschaftlich genutzt wurde. Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben kann die Regenerierung verdichteter Böden sehr lange dauern (HORN & HARTGE 2001: 15). Nicht zu vernachlässigen ist darüber hinaus die stark verdichtend wirkende Beweidung der Wiese, die außerdem zu Trittschäden an der Grasnarbe führen kann (NIEHOFF 2001: 19). Über die Wiese mit der höchstgemessenen durchschnittlichen Lagerungsdichte (Standort 15) sind der Verfasserin dieser Arbeit keine weiteren Informationen bekannt. Vor Ort wurde jedoch beobachtet, dass ein PKW die Wiese überquerte und so zumindest stellenweise zur Verdichtung beitrug.

Die Lagerungsdichten der Forststandorte sind deutlich niedriger. Besonders auffallend sind die niedrigen Werte des zweiten und des dritten Standortes. Drei der vier Proben des zweiten Standortes liegen unter 0,80 g/cm³ (vgl. Abbildung 25). Der Ausreißerwert ist auf einen Stein zurückzuführen, der einen Großteil des Volumens der Stechzylinderprobe in Anspruch nahm, und somit vernachlässigbar. Der Mittelwert müsste demnach deutlich niedriger sein als in den Ergebnissen dargestellt (0,64 statt 0,86 g/cm³). Der dritte Standort, der ebenfalls eine Lagerungsdichte von unter 0,80 g/cm³ aufweist, liegt als einziger Standort in einem Naturschutzgebiet. Sicherlich handelt es sich folglich um einen ungestörten und von Forstfahrzeugen nicht belasteten Waldabschnitt, der deshalb über niedrige Lagerungsdichtewerte verfügt. Auffallend war auch der naturnahe Standort 17, der sich in der Umgebung von umzäunten unzugänglichen Waldabschnitten befand, die systematisch zu geschlossenen Wäldern aufgeforstet werden sollen. Generell lässt sich die Tendenz erkennen, dass Waldstandorte, die durch geringe bis gar keine Bewirtschaftungsintensität gekennzeichnet sind (Standort 2, 3, 17 und 20), eine geringe Lagerungsdichte aufweisen.

Die unter Kapitel 2.2 beschriebenen Effekte der Landnutzung bzw. der Bewirtschaftungsform sind also in den eigens ermittelten Werten erkennbar. Wie die Anova zeigt (vgl. Kapitel 5.3.3) ist die Ausprägung der Lagerungsdichte auch statistisch gesehen abhängig von der Landnutzung. Diese Abhängigkeit ist zumindest für die Forststandorte und für die landwirtschaftlich genutzten Standorte signifikant. Das plausible relative Werteverhältnis zwischen den Standorten der unterschiedlichen Landnutzungskategorien kann sicherlich als Gütemerkmal für eine korrekte Bestimmung der Lagerungsdichte herangezogen werden. Dennoch sind kleine Fehler und eine systematische Unterschätzung nicht auszuschließen. Probleme bei der Entnahme einer ungestörten Bodenprobe und Messungenauigkeiten im Labor müssen berücksichtigt werden. Beim Entfernen der Frischhaltefolien, die teils zum Verschließen der Stechzylinder verwendet werden mussten, sowie beim Versehen der Proben mit Filterpapier für die Aufsättigung und das Entfernen dieser vor der Trocknung, können geringe Probenverluste nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ergeben Untersuchungen, dass die Bestimmung der Lagerungsdichte über die Stechzylinderbeprobung geringere Werte ergibt (RIEK et al. 2006: 44) als z. B. die so genannte PU-Schaum-Methode (DEUTSCHMANN et al. 1994: 79). Diese Unterschätzung ist auf einen hohen Skelettgehalt zurückzuführen, der in den Stechzylinderproben unterrepräsentiert ist und die geringeren Werte bedingt. Skelettfraktionen über einem bestimmten Äquivalenzdurchmesser werden bei der Stechzylinderbeprobung nicht erfasst. Da jedoch die Substanzdichte des Skeletts höher liegt als die Trockenrohdichte des Feinbodens inklusiv der luftführenden Poren, wird die Trockenroh-dichte skeletthaltiger Böden tendenziell zu gering eingeschätzt (RIEK et al. 2006: 44). Der Skelettanteil der Proben wurde im Zuge dieser Arbeit nicht bestimmt. Es lässt sich jedoch nicht ausschließen, dass die Werte wie auch bei LÖHE (2006: 52ff.) im mittleren bis hohen Bereich lägen und eine Unterschätzung mit sich bringen würden.

6.2 Bewertung der Bodenwasserhaushaltsgrößen

Bodenvorfeuchte

Der Feuchtezustand ist für die minimale Infiltrationsrate eines gesättigten Bodens nebensächlich. Von entscheidender Bedeutung ist er für die Infiltrationskapazität, besonders für die Anfangsinfiltration, und die Abflussbildung (SCHWARZ 1985: 200 und HORTON 1933: 456f.), die jedoch nicht Bestandteil dieser Arbeit ist. Interessant wäre sie ebenfalls bei einer saisonalen Betrachtung der Infiltrationskapazität, die jedoch aus zeitlichen Gründen in einer Staatsexamensarbeit nicht realisierbar ist. Während der Vegetationszeit spielt die hohe Verdunstung im Wald für die Ausschöpfung des Bodenwasservorrates eine zentrale Rolle, so dass eine größere Retention für Infiltrationswasser geschaffen wird (LEHNARDT 1985: 259). Es wäre daher interessant den Feuchtezustand im Jahresverlauf zu beobachten.

Auch bei der Ermittlung des Wassergehaltes sind kleine Messfehler, die jedoch vernachlässigbar sind, nicht unrealistisch. Durch das Entfernen des Klebebandes und der nassen Filter kam es zu minimalen Masseverlusten.

Bodenkennwerte

In Bezug auf die Bodenkennwerte darf nicht vernachlässigt werden, dass es sich bei den ermittelten Werten nur um Annäherungswerte handelt. Ein zentrales Problem bei der Methode zur Ermittlung des Gesamtporenvolumens über die maximale Wasserkapazität, wie sie bei

BARSCH & BILLWITZ (1990:114f.) und WAHL et al. (2002: 48) beschrieben ist, besteht darin, dass es nach mündlicher Mitteilung von Diplom Geologe G. Schukraft, Laborleiter des Labors für Geomorphologie und Geoökologie der Universität Heidelberg, fast unmöglich sei die Probe komplett aufzusättigen. Luftpolster in der Probe seien nur dann zu vermeiden, wenn der Versuch im Vakuum stattfände. Außerdem wird bei der Methode unterstellt, dass sich durch Wasserzufuhr und -entzug nur die Porenfüllung verändert und nicht die Porenverteilung (SCHLICHTLING et al. 1995: 105). Unter Einbezug der nach DIN 4220 (DIN 4220: 15) sehr hohen Werte von LÖHE (2006: 53) mit einem durchschnittlichen Gesamtporenvolumen im Oberboden von knapp 70 % und einem Gesamtdurchschnitt von 58 % scheinen die eigenen hohen Werte (53,55 %) jedoch realistisch. Ebenfalls gehen sie mit den von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002: 164) angegebenen Schwankungsbreiten, die für Sande und Lehme zwischen 30 und 56 % liegen, einher. In Bezug auf die Methoden zur Bestimmung der Feldkapazität ist zu beachten, dass sich die Bedingungen im Boden von denen im Labor unterscheiden. Nach BARSCH & BILLWITZ (1990: 114) soll der gesamte Boden aufgesättigt, abgedeckt und nach 48 Stunden beprobt werden. Diplom Geologe G. Schukraft bestätigte die Annahme, dass es möglich sei die Proben im Labor aufzusättigen und 24 Stunden auslaufen zu lassen. Leicht veränderte Bedingungen können jedoch zu Abweichungen der realen Werte führen. Besonders durch den trotz Abdeckung nicht komplett möglichen Verdunstungsschutz werden die Werte leicht verfälscht. Dies beweist eine zur Verdunstungsüberprüfung eigens angelegte Probe, die unten luft- und wasserdicht verschlossen war, oben mit Filterpapier und Alufolie abgedeckt war und dennoch Massenverluste verzeichnete. Auch wenn bei der Methode keine unterschiedliche Behandlung der großen und kleinen Stechzylinderproben notwendig ist, wäre es grundsätzlich empfehlenswert für die Beprobungen die gleiche Größe zu verwenden, um direkte Vergleiche zu gewährleisten. Dennoch erscheinen die eigenen Werte im Vergleich zu den ermittelten Werten von LÖHE (2006: 58ff.) in ihrer Höhe und dem Verhältnis der Landnutzungsklassen zueinander realistisch. Der Vergleich der Werte mit der mittleren pF-Kurve der vorherrschenden Bodenart (DIN 4220: 24), bei der der Wassergehalt in Volumenanteil bei einem pF-Wert von 1,8 je nach Bodenart bei ca. 30 % liegt, zeigt, dass die eigenen Werte tendenziell überschätzt werden. Die Bestimmung des Organik- und Tongehaltes wäre sinnvoll, um ggf. Zu- und Abschläge für die Werte berücksichtigen zu können (KUNTZE 1993: 137). Eine sinnvolle Methode um genauere Angaben u. a. zur Feldkapazität zu erhalten, wäre die Unterdruckmethode bei der mit Hilfe einer keramischen Platte in einer Saugspannungsapparatur ein Unterdruck erzeugt wird. Die entsprechende Saugspannung erlaubt so Rückschlüsse auf die Porengrößenverteilung (KNOTHE 2000: 314ff.). Dennoch liefern die gewählten Methoden brauchbare Annäherungswerte, die eine gute Alternative zu der kostspieligen und zeitaufwendigen Methode darstellen.

Die Werte der drei ermittelten Parameter sind bei den Forststandorten im Durchschnitt am höchsten und bei den Wiesen- und Weidestandorten am niedrigsten. Bei dem Gesamtporenvolumen beträgt die Differenz 5,69 %, bei dem Anteil der engen Grobporen und der Fein- und Mittelporen 3,86 % und bei dem errechneten Anteil der weiten Grobporen 1,82 %. Die Annahme, dass forstlich genutzte Standorte einen vergleichsweise höheren Anteil an Grobporen aufweisen (SEEGERT et al. 2003: 419), scheint bestätigt. Da der Anteil der engen Grobporen nicht bekannt ist, kann der Annahme jedoch nicht mit voller Sicherheit zugestimmt werden. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002: 428) äußert sich eine Bodenverdichtung in einer Verkleinerung des Porendurchschnittes. Eine Verdichtung wird generell eher für die landwirtschaftlich genutzten Standorte angenommen und kann somit Ursache sein für die leicht niedrigeren Porenvolumina dieser Landnutzungskategorie. Dass die Werte der Forststandorte trotz der sehr viel höheren Infiltrationsraten nicht deutlicher über denen der anderen Landnutzungskategorien liegen ist nicht verwunderlich. Die Angaben über die Porenverteilung und deren Anteile beschränkt sich auf die Mikroporeninfiltration, der Anteil der Sekundärporen wird nicht berücksichtigt. Es lässt sich daher folgern, dass die Makroporeninfiltration für die hohen durchschnittlichen Infiltrationsraten der Forststandorte die entscheidende Rolle spielt.

6.3 Bewertung der Infiltrationsraten

In diesem Teil der Diskussion wird zu Beginn die Güte der Ergebnisse der Infiltrationsmessungen kritisch reflektiert. Dies geht einher mit einer Methodenkritik und der Darlegung möglicher Alternativmethoden für ein zukünftiges Vorgehen (6.3.1). In dem Kapitel 6.3.2 wird die Bedeutung der soeben diskutierten, teilweise landnutzungsabhängigen bodenhydrologischen Parameter für die Infiltration herausgearbeitet und bewertet. Unter 6.3.3 werden die Auswirkungen der Landnutzung auf die einzelnen Parameter und auf die Infiltrationsraten der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz analysiert. Eine zusammenfassende Betrachtung der Infiltrationspotentiale in Abhängigkeit von der Landnutzung erfolgt in Kapitel 6.3.4.

6.3.1 Güte der Ergebnisse und Methodenkritik

Neben Messungenauigkeiten, die bei der Ermittlung der minimalen Infiltrationsrate nicht ausgeschlossen werden können, besteht die Gefahr, dass die Werte der minimalen Infiltrationsraten von den realen Werten abweichen. Eine Fehlerquelle beruht darin, dass der Boden möglicherweise am Ende der Messung noch nicht vollständig wassergesättigt war und somit nicht die gesättigte Durchlässigkeit gemessen wurde. Bei den Messungen wurde zwar gewartet, bis sich eine konstante Rate eingependelt hat, dennoch ist nicht auszuschließen, dass zu diesem Zeitpunkt die minimale Infiltrationsrate noch nicht erreicht war. Die Böden waren zu Messbeginn je nach angenommener Bodenart schwach bis sehr feucht. Bedingt durch die regionalen Witterungsbedingungen sollte der Boden im Frühjahr gut durchfeuchtet sein. Da die ersten Messungen jedoch unter trockenen (es herrschte extreme Waldbrandgefahr) und die Messungen des zweiten Geländeaufenthaltes unter wechselhaften Witterungsbedingungen durchgeführt wurden, ist eine unvollständige Wassersättigung zu Ende der Messung und somit eine überschätzte minimale Infiltrationsrate nicht auszuschließen. Als Begründung dafür kann der erste Standort dienen. Die Infiltrationsmessung lief dort über drei Stunden und die Infiltrationsrate war zwar nach einer Stunde schon sehr konstant, sank aber sehr langsam und kontinuierlich noch auf einen niedrigeren Wert. Vielleicht wäre sie über einen längeren Messzeitraum hinweg noch stärker abgesunken. Die Messungen liefern jedoch keine eindeutigen Hinweise dafür, dass die minimalen Infiltrationsraten an Standorten mit niedriger Bodenvorfeuchte höher ausfallen. Längere Zeitspannen bis zum Abbruch der Messung werden auch in der Literatur vorgeschlagen. Bei DIAMOND und SHANLEY (2003: 36) sind es vier bis acht Stunden, bei EIJELKAMP (1999: 2) sind es zwei Stunden pro Messung und bei SCHLICHTLING et al. (1995: 190) bis zu einer Stunde. Bei SCHAMS (1967: 121) heißt es sogar, dass der Boden mit Hilfe des Doppelring-Infiltrometers nicht komplett gesättigt werden kann und sich daher für eine kf-Wert Messung nicht eignet.

Als methodische Fehlerquelle bei der Messung mit dem Doppelring-Infiltrometer ist der Wasserüberstau von meist mehreren Zentimetern zu nennen, der keine natürlichen Verhältnisse widerspiegelt (WOHLRAB et al. 1992: 90) und zu erhöhten Infiltrationsraten beiträgt. Die Begründung liegt darin, dass durch die Wassersäule im Infiltrometer ein Überdruck entsteht, der Poren aller Größenordnungen zu einer stärkeren Aktivierung forciert. Da es fast unmöglich ist die Überstauhöhe beider Zylinder durchgehend gleich zu halten, kommt es bei höherem Überstau im Außenzylinder zu geringeren Werten im Innenzylinder und bei einer zu geringen Überstauhöhe im Außenzylinder verringert sich die Pufferwirkung gegen laterales Versickern (EIJKELKAMP 1999: 6). Untersuchungen von LINK (2000: 131) haben ergeben, dass die Infiltrationsrate erneut steigt, wenn nach Erreichen eines konstanten Wertes die Überstauhöhe erhöht wird. Dieses Phänomen lässt sich in den eigenen Messungen auch erkennen (vgl. Abbildung 22, S. 56). DURNER (2007: 18) weist darauf hin, dass eine Verminderung der Überstauhöhe von 5 auf 1 cm die Infiltrationsrate um 15 – 30 % reduziert.

Durch den Doppelring wird seitliches Austreten zwar eingeschränkt (EIJKELKAMP 1999: 2), nicht jedoch eliminiert. Diese laterale Wasserbewegung kann daher besonders bei trockenen Böden ebenfalls zu überhöhten Werten führen (DIAMOND & SHANLEY 2003: 36). Viele Autoren führen die fehlende Übereinstimmung der gemessenen und der realen Werte auf die genannten Faktoren, die Überstauhöhe und die laterale Komponente des Wasserflusses, zurück (DURNER 2007: 19; DIAMOND & SHANLEY 2003: 36, und EIJKELKAMP 1999: 2ff.). Ein weiterer Kritikpunkt ist die geringe Messfläche des Doppelring-Infiltrometers, die gewählt wurde um den Wasserverbrauch teils schwer zugänglicher Standorte zu reduzieren. Wurzel- und Tiergänge z. B. können nicht repräsentativ erfasst werden (SCHAFFER & COLLINS 1966: 198). Größere Radien würden ein verbessertes Verhältnis zwischen Fläche und Umfang gewährleisten, das Problem der räumlichen Variabilität mindern (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 200 und YOUNGS 1987: 629) und so präzisere Aussagen zur Infiltrationskapazität ermöglichen (DURNER 2007: 16). Kleinräumige enorme Unterschiede in der Durchlässigkeit, die auf Grund von Makroporen besonders im Wald auftreten, lassen sich laut SCHWARZ (1982: 209) und LEHNARDT (1985: 250) mit dem Doppelring-Infiltrometer nicht ausgleichen Untersuchungen von SCHWARZ (1982: 209) ergaben einen im Mittel hohen Variationskoeffizienten von 71 %. Würde man verlangen, dass der Fehler unter fünf Prozent beträgt, so wären pro Waldstandort im Mittel kaum praktikable 639 Messungen erforderlich. Nach SCHWARZ (1982: 211) sind Infiltrationsmessungen mit dem Doppelring-Infiltrometer auf Grund der hohen Streuung zumindest für Waldböden nicht zu empfehlen. Beregnungsversuche, bei denen die Infiltrationsrate über die Differenz zwischen Niederschlag und Abfluss zu errechnen und die Verdunstung vernachlässigbar ist, wären auf Grund ihrer Großflächigkeit sinnvoll (SCHWARZ 1985: 209 und LEHNARDT 1985: 252). Sie könnten außerdem Informationen zur Abflussbildung liefern.

Das Zusammenspiel der oben angemerkten Fehlerquellen kann eine Ursache sein für die sehr hohen minimalen Infiltrationsraten. Nach der häufig angeführten Einteilung von KOHNKE (1968: 30, u. a. zitiert in KUNTZE 1993: 141) sind alle minimalen Infiltrationsraten als mittel bis sehr hoch einzustufen. Es gibt jedoch in der Literatur viele Angaben die weit unter den ermittelten Werten liegen. Laut GRAY (1973: 5.5) liegen die minimalen Infiltrationsraten verschiedener Böden bei unterschiedlicher Bodenbedeckung zwischen 0,5 und 76,2 mm/h. Nach DUNNE & LEUPOLD (zitiert in WILHELM 1997: 33) liegen sie je nach Bodenart (tonige Böden bzw. Sande) zwischen 1 - 12 mm/h. Die minimalen Infiltrationsraten der Einzelmessungen von LÖHE (2006: 64f.) fallen ähnlich hoch aus. Die repräsentativen minimalen Infiltrationsraten sind deshalb niedriger, da LÖHE auf Grund der Überschätzung der Werte den jeweils höchsten gemessenen Wert für die Berechnung der repräsentativen minimalen Infiltrationsrate eines Standortes ausklammert (ebd.). Da die Literatur keine Hilfestellung zum Umgang mit den stark streuenden Ergebnissen bietet und es keine genauen Angaben gibt in welchem Ausmaß die Werte überschätzt werden, wurden sie in dieser Arbeit nicht korrigiert. Es muss also beachtet werden, dass die Werte von den realen Werten abweichen. Bei DUNNE & LEUPOLD (zitiert in WILHELM 1997: 34) liegen sie zwei- bis zehnfach über den realen Werten und bei WAHL et al. (2002: 49) fallen die mit dem Doppelring-Infiltrometer ermittelten hydraulischen Leitfähigkeitswerte und folglich auch die minimalen Infiltrationsraten bis zu einer Zehnerpotenz höher aus als die Werte der Haubeninfiltrometermessungen (WAHL 2002: 49). Werden die eigens ermittelten Werte um eine Zehnerpotenz verringert, so liegt die durchschnittliche minimale Infiltrationsrate aller Standorte bei 37,43 mm/h und wäre nach KOHNKE (1968: 30) in die Klasse der mittleren Raten einzustufen.

Trotz der angeführten Kritik handelt es sich für die Zwecke dieser Arbeit um eine brauchbare Methode, deren Werte Tendenzen sehr gut erkennen lassen. Nach KOCH et al. (2005: 456) sind die Doppelring-Infiltrometermessungen eine sehr nützliche und genaue Methode zur Bestimmung der Infiltrationsraten. Beregnungsversuche, größere Messflächen und grundsätzlich mehr Messungen waren auf Grund des höhere Aufwandes nicht möglich.

6.3.2 Bedeutung der ermittelten Kennwerte für das Infiltrationspotential

Wie in Kapitel 2 angeführt wird das Infiltrationspotential eines Bodens von vielen Faktoren beeinflusst. Die ermittelten Kennwerte sollen hier diskutiert werden, bevor in Kapitel 6.3.3 die Landnutzung als entscheidender Faktor thematisiert wird.

Der Wassergehalt des Bodens zu Messbeginn spielt in Bezug auf die Infiltrationskapazität und die Abflussbereitschaft eine bedeutende Rolle. Ist ein Boden bereits stark gesättigt, wie es zum Beispiel vor den Starkniederschlagsereignissen im Einzugsgebiet der Elbe im August 2002 der Fall war, ist er kaum in der Lage noch Wasser aufzunehmen. Ein trockener Boden dagegen kann die Infiltrationskapazität positiv beeinflussen (SCHWARZ 1986: 168). In Bezug auf die minimale Infiltrationsrate eines Bodens, die bei kompletter Bodensättigung bestimmt wird, ist die Bodenvorfeuchte irrelevant. Bei den soeben angesprochenen sehr trockenen Böden besteht die Gefahr der Hydrophobizität und der Verschlämmung. Stark benetzungsgehemmte Böden zeigen zunächst geringe Infiltrationsraten, die im Verlauf kurz ansteigen und dann konstant absinken (IMESON, 1992: 349). Für die eigens ermittelten Infiltrationsraten lässt sich jedoch kein Zusammenhang zwischen der WDPT und den Infiltrationsmessungen feststellen. Eine mögliche Ursache kann hier der erzeugte Überstau sein, der die Benetzungseigenschaften eines Bodens in den Hintergrund drängt. Darüber hinaus ist die Hydrophobizität bei der Betrachtung der Anfangsinfiltration, die bei hydrophoben Böden nicht der maximalen Infiltrationsrate entspricht und zu Oberflächenabfluss führen kann, eher relevant als bei der Endinfiltration (KOHNKE 1968: 29). Ist der Benetzungswiderstand z. B. durch die aufliegende Wasserlast überwunden und der Boden und die Streu wie in hochwasserrelevanten Situationen durchfeuchtet, spielt die Hydrophobizität für den Infiltrationsverlauf kaum mehr eine Rolle (SCHÜLER 2006: 136).

Wichtiger für das Infiltrationspotential sind daher die ereignisunabhängigen Faktoren wie z. B. die Bodenart, die wiederum die Lagerungsdichte und das Porenvolumen mit beeinflusst (FELDWISCH et al. 2001:26). Bei den Sondierungen ließ sich feststellen, dass die Humusauflage der Waldstandorte besonders mächtig, der Organikgehalt relativ hoch und der oberste Horizont oft noch von Durchwurzelung gekennzeichnet war. Diese Faktoren können sich positiv auf die Infiltrationsleistung auswirken. Nach SCHÜLER (2006: 133f.) ist die Entstehung von Oberflächenabfluss umso geringer, je mächtiger der wasseraufnehmende Oberboden ist. Generell weisen grobkörnige Böden höhere Infiltrationsraten auf (GREY 1979: 5.5 und DUNNE & LEUPOLD 1978 zitiert in WILHELM 1997: 33). Sandige Böden verfügen zwar gegenüber schluffig-tonigen Böden über einen höheren Anteil an Grob- und Mittelporen, dafür ist deren Konnektivität jedoch geringer, was sich negativ auf die Infiltrationsleistung auswirkt (WAHL et al. 2002: 53). Die hohen Infiltrationswerte im Einzugsgebiet der Schweinitz gehen daher mit der je nach Annahme charakterisierenden Bodenart (Sande und Lehme) grundsätzlich einher. Auch die locker gelagerte Hauptlage der periglazialen Deckschichten (vgl. Kapitel 3.5) kann, sofern vorhanden, mitverantwortlich sein für die hohen Infiltrationswerte. Ob es auf Grund der weniger durchlässigen oft stauend wirkenden Basislage zum Interflow kommt, ist mit Hilfe der Doppelring-Infiltrometermessungen nicht überprüfbar.

Von der Lagerungsdichte bzw. von dem Volumenanteil der engen Grobporen und der Feinund Mittelporen sind die gemessenen hohen minimalen Infiltrationsraten mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,15$ bzw. $R^2 = 0,14$ nur sehr bedingt abhängig. Das Bestimmtheitsmaß für den Zusammenhang zwischen der minimalen Infiltrationsrate und der Lagerungsdichte beträgt 0,22, wenn der zweite Standort auf Grund des erwähnten Ausreißerwertes eliminiert wird. Dass das Gesamtporenvolumen keinen Einfluss auf die Infiltrationswerte nimmt, zeigt sich besonders am zwölften Standort, der über den höchsten Gesamtporenvolumenanteil (65,65%), jedoch über eine für den Forst mit 300 mm/h recht geringe minimale Infiltrationsrate verfügt. Dass diese Parameter nicht eindeutig mit den minimalen Infiltrationsraten korrelieren ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass den Infiltrationsergebnisse zwei verschiedene Infiltrationsmechanismen zugrunde liegen, die sich in ihrer Rate stark unterscheiden. Das Auftreten von Mikro- und Makroporeninfiltration muss auch bei der Einstufung der ermittelten Infiltrationswerte in Klassen berücksichtigt werden. Es ist durchaus möglich, dass es sich bei den in der Literatur verwendeten Klassen um sekundärporenfreie oder dicht gelagerte Böden handelt und die Werte, da sie keine Makroporeninfiltration beinhalten, dementsprechend niedrig ausfallen. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002: 221) unterscheiden sich die gesättigten Wasserleitfähigkeitswerte sekundärporenfreier und sekundärporenreicher Böden sehr stark voneinander. Sie variieren zwischen 0,004 mm/h bei sekundärporenfreien gesättigten Tonen und 12.500 mm/h bei sekundärporenreichen gesättigten Sanden. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben schließen viele Wissenschaftler von der gesättigten Wasserleitfähigkeit auf die minimale Infiltrationsrate. Demnach spielt auch bei diesen Werten der Sekundärporenanteil eine bedeutende Rolle. Es bleibt teilweise jedoch offen, ob sich die sehr niedrigen Werte in der Literatur auf sekundärporenfreie Böden beziehen. Aus den Wasserleitfähigkeitswerten von SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL und den Werten der angeführten Infiltrationsklassen lässt sich folgerichtig schließen, dass die Makroporeninfiltration für die von uns ermittelten hohen Werte verantwortlich ist. Da der kf-Wert für die untersuchten Standorte nicht ermittelt wurde, kann er den gemessenen minimalen Infiltrationsraten nicht gegenübergestellt werden. Infiltrationswerte, die die Wasserleitfähigkeit überschreiten, könnten als Indiz für eine makroporenbeeinflusste Infiltration gelten. Tendenziell lässt sich bei den ermittelten Werten festhalten, dass die niedrigen Raten auf überwiegend langsame Mikroporeninfiltration, die auf dem durch die Korngrößenzusammensetzung der Bodenmatrix bedingten Primärporensystem beruht, zurückzuführen sind. Das Makroporensystem, in dem die Infiltration 100 bis 400mal schneller vonstatten geht (GERMANN 1981: 82) und das durch die Überstauung im Zylinder besonders schnell aktiviert wird, erklärt die hohen Raten. Das Wasser wird über die Makroporen schnell in tiefere Bodenbereiche abgeleitet (LFL 2006: 8). Die insgesamt sehr niedrigen Lagerungsdichten sind kein Beweis, jedoch eine Voraussetzung für die Ausprägung eines Makroporensystems.

Die angeführten Erläuterungen beantworten die eingangs formulierte Frage, ob Zusammenhänge zwischen den bodenphysikalischen Kennwerten und den Bodenwasserhaushaltsgrößen bestehen und zeigen, dass aus den erhobenen Kennwerten nur bedingt Rückschlüsse auf das Infiltrationspotential gezogen werden können und, dass der Makroporeninfiltration eine zentrale Rolle zukommt. Welche Faktoren bedingen nun aber das Vorhandensein und die Entwicklung eines Makroporensystems? In diesem Zusammenhang scheinen die Vegetationsform, die Bestandesdichte und vor allem die Landnutzung sowie dessen Bearbeitung und Intensität von größerer Relevanz.

6.3.3 Auswirkungen der Landnutzung auf das Infiltrationspotential

Die Abhängigkeit des Infiltrationspotentials von der Landnutzung ist auch statistisch nicht zu verkennen. Die insgesamt höheren Werte der Forststandorte sind in erster Linie auf das stärker ausgeprägte Makroporensystem zurückzuführen. Diese Annahme geht einher mit den höheren Variationsbreiten der forstlich genutzten Standorte, da grundsätzlich bei fehlenden Makroporen und einer matrixbestimmten Infiltrationsrate die Streuung geringer ist. Die starke Variationsbreite hängt zum einen mit dem unterschiedlich ausgeprägten Makroporensystem zusammen und ist zum anderen davon abhängig, ob eine dieser Makroporen bereits an der Oberfläche getroffen wurde und zur Tiefeninfiltration in die Matrix beiträgt (BEVEN & GERMANN 1982: 1319). Auffallend durch besonders hohe Infiltrationswerte und gleichzeitig sehr geringe Porenvolumina sind die Forststandorte 8 und 16. Standort 8 (vgl. Abbildung 30) ist ein noch relativ junger Mischwald. Eine dichte, hohe Grasvegetation und ein stark durchwurzelter, sehr skelettreicher Boden, der bei der erschwerten Stechzylinderentnahme auffiel, können Grund dafür sein, dass alle drei Einzelmessungen sehr hoch ausfielen. Der geringe Anteil der Porenvolumina lässt ein ausgeprägtes bei der Porenverteilung vernachlässigtes Makroporensystem annehmen. Die zweithöchste Rate war in einem Nadelwald (Standort 16, vgl. Abbildung 31) mit stark ausgeprägter Streuauflage zu verzeichnen. Hier lässt sich eine Überschätzung jedoch nicht ausschließen. Zwei der Einzelmessungen lagen unter 400 mm/h. Die zweite Messung mit 2280 mm/h reißt den Wert förmlich in die Höhe und provoziert so den Verdacht einer getroffenen Makropore. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass eine nach außen gedrückte Wurzel während des Messvorgangs als Wasserleitbahn diente und somit zu einer Verfälschung der minimalen Infiltrationsrate beitrug. Künstliche Lichtungen und anthropogen angelegte Totholz-Ansammlungen lassen auf eine mögliche Befahrung mit forstwirtschaftlichen Geräten schließen und unterstützen die Annahme einer fälschlichen Überbewertung des Infiltrationspotentials. Die äußerst hohe Variationsbreite spricht für eine heterogene Bodenstruktur.



Abb. 30: Standort 8 - naturnaher Mischwald Minimale Infiltrationsrate: 1.107 mm/h:



Abb. 31: Standort 16 - Nadelwald Minimale Infiltrationsrate: 1.007 mm/h

Standort 3 (vgl. Abbildung 32) weist drei relativ hohe Infiltrationsmessungen auf. Da sich dieser Standort im Naturschutzgebiet befindet, lassen sich Zerstörungen des Bodengefüges durch anthropogene Einflüsse weitestgehend ausschließen. Es kann ein tiefreichendes, dichtes Wurzelsystem mit großen Wurzeldurchmessern angenommen werden, dem durch die auflockernde Wirkung und die Hohlräume bei Waldböden eine bedeutende Rolle zukommt (LEHNARDT 1985: 244). Indiz dafür ist die sehr geringe Lagerungsdichte sowie der hohe Porenvolumenanteil des Oberbodens. Die relativ hohen Streuungswerte lassen außerdem auf ein dichtes Makroporensystem schließen.



Abb. 32: Standort 3 - Laub-Mischwald Minimale Infiltrationsrate: 987 mm/h



Abb. 33: Standort 14 - junger Laubwald Minimale Infiltrationsrate: 100 mm/h

Eine sehr niedrige Infiltrationsrate weist Standorte 14 (vgl. Abbildung 33) auf. Der sehr unebene Standort verfügt über eine hohe Bestandesdichte an Sträuchern; umso verwunderlicher ist die niedrige Infiltrationsrate, die mehrere Gründe haben kann. Einerseits befindet sich der Standort am Forstrand und ist noch relativ jung, so dass er womöglich über eine geringere Durchwurzelung als der zentrale Waldbereich verfügt. Andererseits zeigten die Sondierungen in geringer Tiefe eine verhältnismäßig tonige sehr feuchte wasserstauende Schicht.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Ausprägung des Makroporensystems großen Einfluss auf die Infiltrationswerte nimmt (GERMANN 1981: 87). Dieses ist wiederum abhängig von dem Alter des Forstbestandes, der Bestandesdichte und der Art der Vegetation, die u. a. das Wurzelsystem beeinflussen. Naturnahe Waldstandorte, deren Poren und Porenkontinuität nicht durch Lasteinträge zerstört werden und deren Bodenleben nicht durch Sauerstoffmangel gemindert wird (HILDEBRAND & WIEBEL 1982: 24), verfügen über starke Wasserleitfähigkeit und hohe Infiltrationsraten. Die starken Variationsbreiten sprechen für eine kleinräumige Heterogenität der Forststandorte.

Die gering ausgeprägten bis fehlenden Makroporensysteme der landwirtschaftlich genutzten Standorte haben verschiedene nutzungsbedingte Ursachen. Durch den Einsatz des Pfluges und anderer schwerer landwirtschaftlicher Geräte kommt es zu Bodenverdichtungen und zur Zerstörung von Makroporen. Diese Schadverdichtung wirkt sich wiederum mindernd auf den Grobporenanteil aus (HORN & HARTGE 2001: 15) und bringt Konsequenzen mit für das Pflanzenwachstum, den Luft- und Bodenwasserhaushalt und die Aktivität der Bodenorganismen (FELDWISCH et al. 2001: 26). Die verfestigte Zone bedingt eine flache Durchwurzelung geringerer Dichte (VAN DE PLOEG et al. 2006: 82f.). Nicht nur die Verminderung des Porenvolumens sondern auch die Zerstörung ihrer Kontinuität führt zu einer lang andauernden teils irreversiblen bis zu einem Meter tiefen Verdichtung und zur Reduzierung der Infiltrationskapazität (VAN DE PLOEG et al. 2006: 83; SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 199 und HORN & HARTGE 2001: 15). Ein weiterer Hinweis auf die verdichtete Bodenstruktur sind die bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten signifikant niedrigeren Lagerungsdichten. Neben der Befahrung ist auch der Ackerbewuchs, der nur über geringe Wurzeldurchmesser verfügt, ungünstig für die Entstehung von Makroporen. Ein tiefreichendes, kräftiges und verzweigtes Wurzelsystem, das auf Grund seiner Leitbahnenfunktion die Infiltrationswerte fördern würde, wird nicht ausgebildet. Das Zusammenspiel der Faktoren mindert die Infiltrationskapazität (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 197) und kann so zu verstärktem Oberflächenabfluss und erhöhter Erosionsgefährdung führen (FELDWISCH et al. 2001: 27).

Die Standorte 5, 10 und 19 weisen die niedrigsten Infiltrationsraten auf. Der niedrigste Wert stammt von Standort 19 (vgl. Abbildung 34a und b). Beobachtungen ergaben, dass die Wiese teils auch als Weide genutzt wird. Es ist nicht auszuschließen, dass die die Umgebung kennzeichnenden großen Viehherden auch diese Grünfläche nutzen, den Oberboden zerstören und Trittschäden an der Grasnarbe verursachen. Außerdem wurde mehrfach beobachtet wie innerhalb der Arbeitszeit vor Ort die Grünfläche von PKWs überquert wurde. Beides kann Grund sein für eine verstärkte Bodenverdichtung.



Abb. 34: Standort 19 - CORINE-Klasse Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung (34a: Blick nach Norden und 34b: Blick nach Osten)

Minimale Infiltrationsrate: 47 mm/h

Die zweitniedrigste Infiltrationsrate (53 mm/h) wurde an Standort 10 gemessen. Ein Pflughorizont als Zeichen für eine Schadverdichtung durch Lastgeräte, die das Porenvolumen und so die Wasserspeicherkapazität verringert (VAN DE PLOEG et al. 2006: 85), wurde jedoch nicht festgestellt. Dennoch ist eine Verdichtung als Begründung nicht auszuschließen. Der frisch gepflügte, vegetationslose Standort 11 (vgl. Abbildung 35) weist eine verhältnismäßig hohe minimale Infiltrationsrate auf. Die kürzliche Auflockerung auf Krumentiefe könnte eine mögliche Erklärung liefern. Die hohe Rate des sechsten Standortes, einem spärlich bedeckten Acker (vgl. Abbildung 36), lässt sich mit den vorgefundenen Bedingungen und den ermittelten Kennwerten nicht erklären. Da von den drei Einzelmessungen eine sehr hoch ist und so den hohen Durchschnittswert bedingt, lässt sich nicht ausschließen, dass bei dieser Messung eine Makropore getroffen wurde. Die Infiltrationsmessungen vermieden und können daher bei der niedrigsten Messung ausgeschlossen werden.



Abb. 35: Standort 11 - frisch gepflügter Acker Minimale Infiltrationsrate: 53 mm/h



Abb. 36: Standort 6 - Acker Minimale Infiltrationsrate: 300 mm/h

Es zeigt sich also, dass auch bei Landwirtschaftsstandorten das Makroporengefüge als Begründung für den hohen Variationskoeffizienten herangezogen wird. Auch hier ist die Ausprägung des Bodengefüges durch die Landnutzung bedingt. Gemäß FELDWISCH et al. (2001: 27) wird die potenzielle Verdichtungsgefährdung zwar überwiegend durch die Bodenart bestimmt, dennoch spielen Faktoren wie die Bearbeitungsintensität und die Art des Bewuchses für die tatsächliche Verdichtungsgefährdung und somit für das Infiltrationspotential eine wichtige Rolle. Konservierend bearbeitete Ackerflächen sollten, da sie die Verschlämmungsanfälligkeit mindern und das Entstehen von Makroporen fördern (SCHMIDT et al. 2006: 36), höhere Infiltrationspotentiale aufweisen (SCHÖNLEBER 2006: 84). Da Daten darüber, welche der Ackerflächen pfluglos bearbeitet werden, nach mündliche Mitteilung von Diplom Geograph Ch. Reinhardt nicht verfügbar sind, wäre die Begründung höherer Infiltrationspotentiale durch die konservierende Bearbeitung rein spekulativ. Gleiches gilt für die zur Sicherung der Bodenstruktur und zur Steigerung der Wurzelintensität durchgeführten Kalkungen (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 200 und SCHÜLER 2006: 146).

Das Infiltrationspotential der Wiesen und Weiden, das insgesamt am geringsten variiert (vgl. Kapitel 5.2.2), befindet sich zwischen dem der landwirtschaftlich und der forstlichwirtschaftlich genutzten Standorte. Im Vergleich zu Äckern können Wiesen- und Weideböden mit ihrer ganzjährig geschlossenen Grasnarbe und auf Grund ihrer lockereren und dennoch stabilen Struktur Regen und Schmelzwasser leichter aufnehmen (VAN DE PLOEG et al. 2006: 87). Die Ausprägung der minimalen Infiltrationsrate ist also auch hier abhängig von der Nutzungsintensität. Am Standort 4 liegt die Wiese nach Anwohnerinformationen seit einigen Jahren brach. Über die anderen Wiesen liegen keine Informationen vor. Eine mögliche verdichtende und die Grasnarbe zerstörende Weidenutzung der Standorte mit geringerer Infiltrationsrate ist nicht auszuschließen. Dennoch lässt sich für die Wiesen- und Weideflächen festhalten, dass die Nutzungsintensität auch hier das Makroporengefüge und so die Infiltration beeinflusst.

6.3.4 Zusammenfassende Betrachtung der Infiltrationspotentiale in Abhängigkeit von der Landnutzung und Ausblick

In Übereinstimmung mit dem bisherigen Kenntnisstand sind die Infiltrationsraten der Böden auch im Einzugsgebiet der Schweinitz abhängig von der Landnutzung. Mit einer Signifikanz von 0,005 ist diese Annahme auch statistisch aussagekräftig. Bodenphysikalische Parameter, die, wie z. B. die Lagerungsdichte, teilweise selbst durch die Art der Landnutzung bestimmt werden, und Bodenwasserhaushaltsgrößen sind für das Infiltrationspotential eines Bodens wichtig. Ein wesentlicher Grund dafür, dass die ermittelten Kennwerte zur Porengrößenverteilung kaum Erklärungen für die Infiltrationsraten liefern, ist die fehlende Berücksichtigung der Sekundärporen. Die Landnutzung, die neben der Nutzungsart und -intensität auch die Vegetationsbedeckung und die Bestandesdichte umfasst, und die Bildung von Sekundärporen beeinflusst, spielt also bei den unterschiedlich stark ausgeprägten Infiltrationsleistungen eines Bodens die entscheidende Rolle. Das Zusammenspiel aller Faktoren erklärt das vorgefundene Bodengefüge, das sich, je nachdem welcher der Infiltrationsprozesse (Makroporen- oder Matrixfluss) dominiert, wiederum auf die aktuelle Infiltrationskapazität eines Bodens auswirkt (KOCH et al. 2005: 453). Die Frage, ob es Zusammenhänge zwischen der Landnutzungsweise der Standorte und deren Infiltrationsraten gibt ist somit eindeutig zu bejahen.

Es ist anzunehmen, dass die naturnahen Wälder, die anthropogen kaum beeinflusst werden, über ausgeprägte Wurzelsysteme und lockere Lagerungen verfügen und somit die Voraussetzungen eines ausgeprägten Makroporensystems und eines beachtlichen Infiltrationspotentials erfüllen (vgl. Standort 3). Auch bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten und den Wiesen und Weiden spielt die Nutzungsintensität die entscheidende Rolle. Intensive Land- und Weidewirtschaft verstärkt die Porenvolumen reduzierende Schadverdichtung des Bodens und vermindert auf Grund beeinträchtigter Bodendurchlüftung die biologische Porenbildung. Ökologisch bewirtschaftete Böden weisen dagegen eine höhere Anzahl an Regenwürmern, eine höhere biologische Diversität und höhere Aggregatstabilität auf (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 201). Der Einsatz von Pestiziden und monotone Fruchtfolgen (ebd.) wirken sich ebenfalls negativ auf die biologische Aktivität und auf das Makroporensystem und deren Kontinuität aus, welches wiederum von der Vegetationsbedeckung und dem damit verbundenen Wurzelsystem abhängt. Vermindernde Infiltrationspotentiale sind die Folge. Diese Prozesse und Erscheinungen bedürften weitere Untersuchungen lassen sich aber auch für das Untersuchungsgebiet vermuten.

Aus den eigenen Erkenntnissen und der Literatur geht hervor, dass Böden besonders naturnaher Wälder (vgl. Standorte 3 und 8), wenn sie nutzungsbedingt nur gering beansprucht werden, zur Vermeidung von Horton'schen Oberflächenabfluss und zur Verzögerung und Verminderung von Hochwasser beitragen können, da ihr ausgeprägtes Makroporensystem hohe Sättigungsinfiltrationsraten bedingt (SCHWARZ 1985: 227 und LEHNARDT 1985: 259). Gleiches gilt nach der Literatur (vgl. Kapitel 2.2.1) für nichtwendende Bearbeitung von Ackerflächen und extensive Weidewirtschaft, die ebenfalls positive Auswirkungen auf das Abflussverhalten und die Erosionsgefahr zeigen. Da sich eine hohe Infiltrationskapazität mindernd auf die Intensität von Hochwasserereignissen auswirkt (SCHNUG & HANEKLAUS 2002: 199) können ein hoher Anteil naturnaher standortgerechter Wälder (MENDEL 2000: 45) und das Zurückgreifen auf konservierende, die Infiltration fördernde landwirtschaftliche Bodenbearbeitung (SCHMIDT et al. 2006: 33 und SCHÖNLEBER 2006: 86) einen entscheidenden Beitrag zum dezentralen, vorbeugenden und zukunftweisenden Hochwasserschutz liefern. Der hohe Waldanteil im Untersuchungsgebiet ist in Bezug auf die Infiltrationskapazität positiv zu bewerten und stellt eine günstige Voraussetzung für das Einzugsgebiet der Schweinitz dar.

Um genauere Aussagen über das Infiltrationspotential, welches das Niederschlags-Abfluss-Verhalten der Böden beeinflusst, treffen zu können, sind weitere Untersuchungen wünschenswert. Eine höhere Anzahl an Messungen an einem Standort sowie die Untersuchung mehrerer Standorte u. a. zu verschiedenen Jahreszeiten wäre aufschlussreich und würde der Inhomogenität gerechter werden und die Variabilität mindern. Tiefenabhängige Ermittlungen der Korngrößenverteilung, der Lagerungsdichte, der Porenvolumina und des Organikgehaltes, die wiederum Ableitungen über die Pedotransferfunktionen nach RENGER (1971: 53ff.) zulassen und Vergleiche ermöglichen würden, und die genauere Ermittlung der Verteilung der Porenvolumina sind erstrebenwert. Interessant, wenn auch kaum realisierbar, wären darüber hinaus tiefenabhängige Infiltrationsmessungen. Wertvoll wären Beregnungsversuche in einer, um die laterale Wasserbewegung einzuschränken, feuchten Umgebung (SCHWARZ 1985: 210), deren Werte mit denen der Infiltrometermessungen verglichen werden könnten. Dennoch liefern die ermittelten Ergebnisse bereits fundierte Erkenntnisse über das Infiltrationspotential der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz.

7 Zusammenfassung

Den Hintergrund der vorliegenden Staatsexamensarbeit bildet das Projekt "Dezentraler, integrierter und grenzübergreifender Hochwasserschutz in den deutsch-tschechischen Einzugsgebieten der Kammlagen des Mittleren Erzgebirges" (DINGHO), in dessen Rahmen zwei Dissertationen zur Niederschlags-Abfluss-Modellierung vorgesehen sind. Für die Simulationen von Niederschlagsabfluss, die mit NASIM bzw. WaSiM-ETH durchgeführt werden, sind bodenphysikalische Angaben und Informationen zum Infiltrationspotential der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz, die bisher sehr lückenhaft sind, unverzichtbar. Die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse können somit für diese Modelle einen Beitrag leisten. Da die genannten Parameter von der Landnutzung und der Bewirtschaftungsart und -intensität beeinflusst werden, steht das Infiltrationspotential in dieser Arbeit in Abhängigkeit von der Landnutzung im Mittelpunkt. Die Untersuchungsstandorte verschiedener Landnutzungen lassen sich in drei Kategorien gliedern. Die Kategorie der Forststandorte ist auf Grund der Landnutzungsverteilung am stärksten vertreten. Außerdem wurden landwirtschaftliche Nutzflächen sowie Wiesen- und Weidestandorte in die Untersuchung mit einbezogen. Aus den Ergebnissen der Gelände- und Laborarbeit ergaben sich Aussagen über das Infiltrationspotential der Böden in Abhängigkeit von der Landnutzung.

Im Folgenden werden die zentralen Ergebnisse der Arbeit anhand der drei eingangs formulierten Fragen zusammengefasst.

I. Welche Infiltrationswerte charakterisieren die Untersuchungsstandorte?

Die Infiltrationsmessungen ergaben hohe minimale Infiltrationsraten für das gesamte Untersuchungsgebiet. Die ermittelten Werte liegen zwischen 1.107 mm/h und 47 mm/h. Die durchschnittliche minimale Infiltrationsrate beträgt bei den Forststandorten 526 mm/h, bei den Wiesen- und Weidestandorten 358 mm/h und bei den landwirtschaftlich genutzten Standorten 132 mm/h. Die hohen Werte können auf das bei den Forststandorten sehr viel stärker ausgeprägte Makroporensystem zurückgeführt werden. Dieses ist grundsätzlich auch für den hohen Variationskoeffizienten aller Landnutzungsklassen und für die hohe Variationsbreite der Forststandorte verantwortlich. Bei den Messungen mit dem Doppelring-Infiltrometer kommt es auf Grund der nicht realen Überstauhöhe und der lateralen Komponente des Wasserflusses jedoch zu einer Überschätzung der ermittelten minimalen Infiltrationsraten gegenüber den realen Werten. II. Lassen sich Zusammenhänge zwischen den Infiltrationsraten und den bodenphysikalischen Parametern bzw. den Bodenwasserhaushaltsgrößen erkennen?

Die Anteile der verschiedenen Porenvolumina fallen für alle drei Landnutzungsklassen relativ hoch aus. Die höchsten Durchschnittswerte sind bei den Forststandorten zu finden; die niedrigsten ergaben sich bei den Wiesen- und Weidestandorten. Rückschlüsse von dem Gesamtporenvolumen und der Porengrößenverteilung auf die gemessene minimale Infiltrationsrate sind nicht möglich, da kein Zusammenhang zwischen den Anteilen der Porenvolumina und den Infiltrationsraten nachgewiesen werden konnte. Zurückzuführen ist dies auf die fehlende Berücksichtigung des Makroporensystems bei der Porenvolumenverteilung. Obwohl die generell sehr niedrige Lagerungsdichte statistisch signifikant abhängig ist von der Landnutzung, lassen sich nur sehr bedingt Rückschlüsse auf die zu erwartende Infiltrationsrate vornehmen. Die Werte für die Forststandorte sind im Durchschnitt um fast 0,2 g/cm³ geringer als die der anderen beiden Nutzungsklassen.

III. Sind landnutzungsbedingte Unterschiede zwischen den Infiltrationspotentialen erkennbar und wie sind diese zu begründen?

Die Ergebnisse des Untersuchungsgebietes bestätigen die bisher in der Literatur aufgestellten Gesetzmäßigkeiten und zeigen deutlich, dass die minimale Infiltrationsrate sehr stark von der jeweiligen Landnutzung und der Vegetation abhängt. Der Unterschied zwischen den Durchschnittswerten der Landnutzungsklasse der forst- und der landwirtschaftlich genutzten Standorte ist auch statistisch hoch signifikant. Begründet wird dies mit dem starken Einfluss der Nutzungsintensität und der Bewirtschaftungsweise auf die Beschaffenheit der Bodenoberfläche und der Bodenstruktur. Daraus ergeben sich wiederum Wirkungen auf die Ausprägung und Erhaltung von Sekundärporen. Es ist anzunehmen, dass es im Einzugsgebiet der Schweinitz durch die oft intensive Bearbeitung von landwirtschaftlich genutzten Flächen, die mit häufigen Lasteinträgen verbunden ist, zur Bodenverdichtung und zur Zerstörung der Makroporen kommt. Durch die Verdichtung verringert sich die biologische Aktivität und folglich der Volumenanteil und die Kontinuität der Makroporen. Der Makroporenfluss wird reduziert und die durch niedrigere Infiltrationsraten gekennzeichnete Matrixinfiltration tritt in den Vordergrund. Die höhere Infiltrationskapazität der Forststandorte lässt sich mit der geringeren und lokal begrenzten Bearbeitungsintensität, einer höheren Bioaktivität und einer stärkeren Durchwurzelung erklären. Ein ausgeprägtes, gut vernetztes Makroporensystem begünstigt die schnelle Infiltration in tiefere Schichten und steigert das Infiltrationspotential beachtlich. Die überwiegend nutzungsbedingte hohe räumliche Variabilität der die Infiltration mitbestimmenden Parameter, vor allem der Makroporenverteilung, führt zu den hohen Unterschieden der Infiltrationsmessungen.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lässt sich schlussfolgern, dass standortgerechte und naturnahe Wälder sowie eine konservierende Bodenbearbeitung zur Vermeidung von Oberflächenabfluss und so zu einer Verzögerung sowie einer Verminderung von Hochwasserund Erosionsgefahr beitragen können. Der hohe Waldanteil des Untersuchungsgebietes stellt somit eine günstige Voraussetzung für eine hohe Infiltrationskapazität der Böden dar. Die Kenntnis der landnutzungsabhängigen Infiltrationspotentiale der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz und der lokalen Niederschlagsverhältnisse sowie weiterer bodenhydrologischer Kennwerte ermöglichen eine genauere Parametrisierung und Eichung der Niederschlags-Abfluss-Modelle. Daraus ergibt sich eine bessere Abschätzung von Hochwassergefahren und die Möglichkeit einer geeigneten Anpassung der Hochwasserschutzmaßnahmen.

8 Literaturverzeichnis

AG BODEN (Hrsg.) (2005): AG Boden. 5. Auflage, Hannover.

AG BODEN (Hrsg.) (1994): AG Boden. 4. Auflage, Hannover.

- ASSMANN, A. (1999): Die Planung dezentraler, integrierter Hochwasserschutzmaßnahmen. In: Schriftenreihe des Landesamtes für Flurneuordnung und Landentwicklung Baden-Württemberg, Heft 11, Kornwestheim.
- ASSMANN, A. und GÜNDRA, H. (1999): Die Bedeutung integrierter Planungsverfahren für die Umsetzung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jahrgang 43, Heft 4, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, S. 160-164.
- ASSMANN, A., GÜNDRA, H., SCHUKRAFT, G. und SCHULTE, A. (1998): Konzeption und Standortauswahl bei der dezentralen, integrierten Hochwasserschutzplanung für die Obere Elsenz (Kraichgau). In: Wasser und Boden, Jahrgang 50, Heft 8, S. 15-19.
- **BAHRENBERG, G., GIESE, E. und NIPPER, J. (1999):** Statistische Methoden in der Geographie. Univariate und bivariate Statistik, Band 1, 4. Auflage, Teubner Studienbücher der Geographie, Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- **BÁRDOSSY, A., PAKOSCH, S. und BROMMUNDT, J. (2006):** Analyse extremer Hochwasserabflüsse unter instationären Klimabedingungen. In: Tag der Hydrologie 2006, Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse, Universität der Bundeswehr München, München.
- BARSCH, H., BILLWITZ, K. und BORK, H.-R. (Hrsg.) (2000): Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie. 1. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart.
- **BARSCH, H. und BILLWITZ, K. (Hrsg.) (1990):** Physisch-geographische Arbeitsmethoden. 1. Auflage, Hermann Haack Verlagsgesellschaft, Gotha.
- BARTHEL, H., MANNSFELD, K. und SANDNER, E. (1973): Flächen gleicher Abflussbereitschaft bei sommerlichen Starkregen (dargestellt am Beispiel der Flöha im Erzgebirge). In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Jahrgang 117, Heft 2, S. 107-116.
- **BAUMGARTNER, A. und LIEBSCHER, H.-J. (Hrsg.) (1996):** Allgemeine Hydrologie Quantitative Hydrologie. 2. Auflage, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- BENDA, I. (1995): Das Quartär Deutschlands. Gebrüder Borntraeger, Berlin und Stuttgart.
- **BENECKE, P. (1996):** Versickerung und Bodenfeuchte. In: BAUMGARTNER, A. und LIEBSCHER, H.-J. (Hrsg) (1996): Allgemeine Hydrologie Quantitative Hydrologie. 2. Auflage, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart. S. 380-415.
- **BENS, O. und HÜTTL, R. F. (Hrsg.) (2002):** Bodengeographische Studien stark veränderter Standorte Monitoring, Modellierung und Bewertung. Aktuelle Reihe 4/2002, BTU Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Eigenverlag.

- **BERNHARDT, A. (1995):** 4.2.3 Mittelerzgebirge. In: MANNSFELD, K. und RICHTER, H. (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 238, Trier, S. 184–188.
- **BERNHARDT, A. und RICHTER, H. (1995):** 4.2 Erzgebirge. In: MANNSFELD, K. und RICHTER, H. (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 238, Trier, S. 166-172.
- **BEVEN, K. und GERMANN, P. (1982):** Macropores and Water Flow in Soils. In: Water Resources Research, American Geophysical Union, Band 18, Heft 5, S. 1311-1325.
- **BILLWITZ, K. (2000):** 4.2 Substrat- und Bodenaufnahme. In: BARSCH, H., BILLWITZ, K. und BORK, H.-R. (Hrsg.) (2000): Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie. 1. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart. S.172-209.
- BILLWITZ, K., JÄGER, K.-D. UND JANKE, W. (HRSG.) (1992): Jungquartäre Landschaftsräume: Aktuelle Forschungen zwischen Atlantik und Tienschan. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- BLUM, W. E. H. (1992): Bodenkunde in Stichworten. 5. Auflage, Ferdinand Hirt in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin, Stuttgart.
- **BOHN, U. und WELB, W. (2003):** Die potenzielle natürliche Vegetation. In: LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.) (2003): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 3, Klima, Pflanzen und Tierwelt. Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- BRAKENSIEK, D. L. und RAWLS, W. J. (1994): Soil containing rock fragments: effects on infiltration. In: Catena, Band 23, Heft 1 / 2, Elsevier, S. 99-110.
- BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K. UND SCHMIDT, M. (Hrsg.) (1993): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 7. Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- **BRONSTERT, A., SEIERT, S. UND OBERHOLZER, G. (1993):** Maßnahmen der Flurbereinigug und ihre Wirkungen auf das Abflussverhalten ländlicher Gebiete. Schriftenreihe des Landesamtes für Flurneuordnung und Landentwicklung Baden-Württemberg, Heft 3, Kornwestheim.
- BROSIUS, F. (2006): SPSS 14, mitp, 1. Auflage, Heidelberg.
- **BRUNOTTE, E. et al. (Hrsg.) (2001/2002):** Lexikon der Geographie in vier Bänden. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- BÜDEL, J. (1981): Klima-Geomorphologie. 2. Auflage, Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- **BÜTTNER, U., FÜGNER, D. und WINKLER, U. (2001):** Das Hochwasser am 5./6. Juli 1999 im Raum Marienberg im Erzgebirge. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jahrgang 45, Heft 3, S. 102-112.
- CLAUSS, H. (Hrsg.) (1996): Das Erzgebirge. Historische Landeskunde, Weltbild Verlag, Augsburg.

- **DEGGAU, M. (2006):** Nutzung der Bodenfläche. Flächenerhebung 2004 nach Art der tatsächlichen Nutzung. In: Wirtschaft und Statistik, Statistisches Bundesamt Deutschland, Heft 3, Wiesbaden, S. 212-219.
- **DEUTSCHMANN, G., MALESSA, V. und RUMMENHOHL, H. (1994):** Bestimmung der Lagerungsdichte in stark skeletthaltigen Böden. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Band 157, Heft 2, VCH, Weinheim, S. 77-79.
- **DOERR, S. H., SHAKESBY, R. A., DEKKER, L. W. und RITSEMA, C. J. (2006):** Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land-use types in a humid temperature climate. In: European Journal of Soil Science, Jahrgang 57, Heft 5, S. 741-754.
- **DIERCKE WELTATLAS (2002):** 5. Auflage, Westermann Schulbuch Verlag GmbH, Braunschweig.
- **DIN 4220:1998-07:** Bodenkundliche Standortbeurteilung. Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen).
- **DIN 19682-7:2006-09:** Bodenbeschaffenheit Felduntersuchungen Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrometer. Entwurf.
- **DIN ISO 10381-4:2003-08:** Bodenbeschaffenheit Probenahme Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung natürlicher, naturnaher und Kulturstandorten (ISO 10381-4:2003).
- DIN ISO 11272:2001-01: Bodenbeschaffenheit. Bestimmung der Trockenrohdichte.
- **DIN ISO 11461:2001-05:** Bodenbeschaffenheit. Bestimmung des Wassergehaltes des Bodens als Volumenanteil mittels Stechzylinder gravimetrische Verfahren.
- **DUTTMANN, R. (2001):** Bodenfeuchte als Steuergröße der Bodenerosion. In: Geographische Rundschau, Jahrgang 53, Heft 5, S. 24-32.
- DUNNE, T. und LEUPOLD, L. B. (1978): Water in the environmental planing, San Francisco.
- **DURNER, W. (2007):** Bodenhydrologische Versuche im Praktikum Hydrologie I. Skript, Institut für Geoökologie, Abteilung Bodenkunde und Bodephysik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.
- **EEA = EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2006):** CORINE Land Cover 2000. Kopenhagen.
- **EIJKELKAMP AGRISEARCH EQUIPMENT (Hersteller) (1999):** Gebrauchsanweisung zum Doppelring-Infiltrometer Set.Giesbeek.
- **EINSELE, G. (Hrsg.) (1986):** Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpar Schönbuch. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Forschungsbericht, VCH, Weinheim.

- EISSMANN, L. (1995): Sachsen. In: BENDA, I. (Hrsg.) (1995): Das Quartär Deutschlands. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, S. 171-198.
- EITEL, B. (2001): Bodengeographie. Das Geographische Seminar, Westermann, Braunschweig.
- **ENDLICHER, W. (2000):** Mitteleuropa und Alpen. In: WEISCHET, W. und ENDLICHER, W. (Hrsg.) (2000): Regionale Klimatologie. Teil 2: Die Alte Welt, Europa, Afrika, Asien. B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig. S. 23-328.
- **FELDWISCH, N., KUNTZ und S., MAYER, S. (2001):** Methodenvergleich zur Datengewinnung und- nutzung im Bereich des Bodenschutzes. In: Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte, 38/01, Forschungsbericht 299 71 236, Berlin.
- FENNER, S: (1997): Langjährige Verdichtungswirkung durch unterschiedliche Achslasten auf einem Löß-Ackerstandort. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Band 160, Heft 2, S. 157-164
- **FOJT, W. (1973):** Niederschlag. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin, S. 80-94.
- **FOJT, W. (1968a):** Karte 1:500.000 "Normalwerte der Niederschlagssumme Jahr" (11). Kartografické nakladatelství, Prag. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin.
- **FOJT, W. (1968b):** Karte 1:500.000 "Normalwerte der Niederschlagssumme Juli" (14). Kartografické nakladatelství, Prag. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin.
- FOJT, W. (1968c): Karte 1:500.000 "Mittlere Zahl der Tage mit Schneedecke November bis April" (19). Kartografické nakladatelství, Prag. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin.
- GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U. und REUBER, P. (Hrsg.) (2007): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. 1. Auflage, Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München.
- **GERMANN, P. (1981):** Untersuchungen über den Bodenwasserhaushalt im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach. Mitteilungen des Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nummer 51, Zürich.
- GLAWION, R. (2007): Biogeographie. In: GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U. und REUBER, P. (Hrsg.) (2007): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. 1. Auflage, Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München.

- **GRAY, D. M. (1973):** Handbook on the principles of hydrology. Water information center, Port Washington, New York.
- HAAKE, R. und KÖRBER, H. (HRSG.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin.
- HARTGE, K. H. und HORN, R. (1999): Einführung in die Bodenphysik. 3. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- **HENDL, M. (2002):** Das Klima. In: LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart, S. 17-126.
- **HENNIG, L. (2002):** Foto zum Artikel: Sicherer ohne Dorfmitte von BURGER, R.. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 13. August 2007, Nr. 186, Frankfurt, S. 4.
- **HENNINGSEN, D. und KATZUNG, G. (2002):** Einführung in die Geologie Deutschlands. 6. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- **HERING, S. (2005) (unveröffentl.):** Einführung zur Exkursion "Erzgebirge" am 23.05.2005 der Freien Universität Berlin. Landesforstpräsidium Olbernhau, Abt. Waldökologie und Forsteinrichtung, Referat Waldbau, Olbernhau.
- HILDEBRAND, E. E. und WIEBEL, M. (1982): Der Einfluss der Befahrung auf die Qualität von Forststandorten, dargestellt an bodenphysikalischen Kenngrößen. In: Allgmeine Forst- und Jagdzeitung, Jahrgang 153, Heft 1/2, S. 24-34.
- HINTERMAIER-ERHARD, G. und ZECH, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- HORN, R. und HARTGE, K. H. (2001): Das Befahren von Ackerflächen als Eingriff in den Bodenwasserhaushalt. In: Wasser & Boden, Jahrgang 53, Heft 9, S. 13-19.
- HORTON, R. E. (1933): The Role of infiltration in the hydrologic cycle. In: Transactions of the American Geophysical Union, Jahrgang 14, S. 446-460.
- HUNGER, W. (1994): Über Waldböden im Erzgebirge. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 74, Oldenburg, S. 17-22.
- IMESON, A. C., VERSTRATEN, J. M., MULLIGEN, E. J. VAN und SEVINK, J. (1992): The Effectos of Fire and Water Repellency on Infiltration and Runoff under Mediterranean Type Forest. In: Catena, Band 19, Heft 1, Elsevier, S. 345-361.
- JORDAN, H. und WEDER, H.-J. (Hrsg.) (1995): Hydrogeologie Grundlagen und Methoden, Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. 2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- **KADEN, A. (2001):** Rauchschäden im Erzgebirge Teil I. In: Sächsische Heimatblätter, Zeitschrift für sächsische Geschichte, Denkmalpflege, Natur und Umwelt, 47. Jahrgang, Heft 1, S. 2-15.

- KAULFUB, W. und KRAMER, M. (2000): Naturlandschaften und Nutzungspotentiale Sachsens. In: KOWALKE, H. (Hrsg.) (2000): Sachsen. Perthes Länderprofile, 1. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart. S. 49-88.
- **KAULFUB, W. (1997):** Veränderungen der Agrarlandschaft im sächsischen Mittelgebirgsraum (Osterzgebirge). In: Dresdener Geographische Beiträge, Heft 1, Technische Universität Dresden, Dresden, S. 23-37.
- KLINK, H.-J. und SLOBODDA, S. (2002): Vegetation. In: LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart, S. 183-254.
- **KNOTHE, D. (2000):** 5.2 Physikalische Untersuchungen. In: BARSCH, H., BILLWITZ, K. und BORK, H.-R. (Hrsg.) (2000): Arbeitsmethoden in Physiogeographie und Geoökologie. 1. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart. S. 295-322.
- **KOCH, R. et al. (2005):** The Influence of Spatial Heterogeneity and Land Use on Soil Water Infiltration on the Swiss Jura Plateau – Results from Dye Tracer and Infiltration Experiments. In: Die Erde, Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, Band 136, Heft 4, S. 449-468.
- KOHNKE, H. (1968): Soil Physics. McGraw-Hill, New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney.
- KOWALKE, H. (2000): Sachsen. Perthes Länderprofile, 1. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart.
- KUNTZE, H. (1993): 3 Boden. In: BRETSCHNEIDER, H., LECHER, K. und SCHMIDT, M. (Hrsg.) (1993): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. 7. Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, S. 119-150.
- LANG, S. und BLASCHKE, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS, Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- LEHMANN, J. und PRÄGER, F. (1992): Reliefentwicklung und periglaziäre Schuttdecken im oberen Erzgebirge. In: BILLWITZ, K., JÄGER, K.-D. und JANKE, W. (Hrsg.) (1992): Jungquartäre Landschaftsräume: Aktuelle Forschungen zwischen Atlantik und Tienschan. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 110-126.
- **LEHNARDT, F. (1985):** Einfluss der morpho-pedologischen Eigenschaften auf Infiltration und Abflussverhalten von Waldstandorten. In: DVWK Schriften, Beiträge zur Oberflächenabfluss und Stoffabtrag bei künstlichen Starkniederschlägen, Heft 71, Hamburg, Berlin, S. 231-260.
- LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.) (2003): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Band 3, Klima, Pflanzen und Tierwelt. Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- LFL = SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2006): Dezentraler Hochwasserschutz – Vorbeugende Maßnahmen im ländlichen Raum. Freistaat Sachsen, Dresden, S. 1-32.

- LFUG = SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002a): Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002. Version 5, Landeshochwasserzentrum, Dresden.
- LFUG = SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2002b): SCHMIDT, P. A. et al. (2002): Potenzielle Natürliche Vegetation Sachsens mit Karte 1:200 000. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege, Dresden.
- LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart.
- LINK, M. (2000): Das Einring-Infiltrometer mit Schwimmergeregelter Überstauhöhe Ein neues Gerät zur Messung von Infiltrationsraten in Böden. In: Geoöko, Band 21, S. 121-132.
- LÖHE, A. (2006): Die bodenphysikalischen Charakterisierungen von Flächen unterschiedlicher Nutzung hinsichtlicher ihrer Wirkung auf den Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet der Natzschung – eine Untersuchung im Mittleren Erzgebirge. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin, Berlin.
- LTV = LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREITSTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2004): Hochwasserschutzkonzeption Mulden und Weiße Elster im Regierungsbezirk Chemnitz. Los 8 - Flöha bis Pegel Borstendorf mit Schweinitz und Schwarzer Pockau, Endbericht. Lengefeld.
- MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- MANNSFELD, K. und RICHTER, H. (Hrsg.) (1995): Naturräume in Sachsen. Forschungen zur deutschen Landeskunde, Band 238, Trier.
- MARCINEK, J. und SCHMIDT, K.-H. (2002): Gewässer und Grundwasser. In: LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart, S. 157-182.
- MEINERT, N. und HAGEN, D. (1993): Karte zur Hydrogeologie der Bundesrepublik Deutschland (östlicher Teil), Flussgebiete und Grundwasserdynamik. Maßstab 1: 500 000. In: JORDAN, H. und WEDER, H-J. (Hrsg.) (1995): Hydrogeologie - Grundlagen und Methoden, Regionale Hydrogeologie: Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. Ferdinand Enke Verlag, 2. Auflage, Stuttgart.
- **MENDEL, H. G. (2000):** Elemente des Wasserkreislaufs Eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. BfG = Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.), Analytica, Berlin.
- **NIEHOFF, D. (2001):** Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf die Hochwasserentstehung in der Mesoskala. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- **PESCHKE, G. (2001):** Bodenwasserhaushalt und Abflussbildung. In: Geographische Rundschau, Jahrgang 53, Heft 5, S. 18-23.

- **PFEFFER, K.-H. (2006):** Arbeitsmethoden der Physischen Geographie. Geowissen kompakt, WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt.
- PLOEG, R. R. VAN DER, EHLERS, W. und HORN, R. (2006): Schwerlast auf dem Acker. In: Spektrum der Wissenschaft, Heft 8, S. 80-88.
- **RAMELOW, M. (2006):** Erstellung einer digitalen Bodenkarte für das Einzugsgebiet der Natzschung im Mittleren Erzgebirge. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin, Berlin.
- **RENGER, M. (1971):** Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Band 130, Heft 1, S. 53-67.
- **RICHTER, H. (2002):** Die Mittelgebirge zwischen Weißer Elster und Görlitzer Neiße. In: LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perhtes, Gotha, Stuttgart, S. 520-538.
- **RIEK, W. et al. (2006):** Evaluierung von Verfahren zur Erfassung des Grobbodenanteils von Waldböden Erarbeitung von Empfehlungen für die Anwendung dieser Verfahren im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald. Wald und Boden Umweltconsult GmbH, Auftraggeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Falkenberg.
- SCHAFFER, G. und COLLINS, H.-J. (1966): Eine Methode zur Messung der Infiltrationsrate im Felde. In: Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung. Jahrgang 7, Heft 1, S. 193-199.
- SCHAMS, H. (1967): Die Problematik der Wasserdurchlässigkeitsmessung in Labor- und Felduntersuchungen auf Mineralböden. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- SCHLICHTLING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte und für Geowissenschaftler. Pareys Studientexte, 81, 2. Auflage, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, Wien.
- SCHMIDT, R. (2002): Böden. In: LIEDTKE, H. und MARCINEK, J. (Hrsg.) (2002): Physische Geographie Deutschlands. 3. Auflage, Klett-Perthes, Gotha, Stuttgart, S. 255-287.
- SCHMIDT, W., ZIMMERLING, B., NITZSCHE, O. und ZACHARIAS, S. (2006): Möglichkeiten der Hochwasserminderung in der Landwirtschaft. In: RÖTTCHER, K, KOEHLER, G. und KLEEBERG, H.-B. (Hrsg): Dezentraler Hochwasserschutz. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftun, Beiträge zum Seminar am 16./17. Oktober 2006 in Koblenz, Heft 17.2006, Hennef, S. 33-44.
- SCHNEIDER, H. (1996): Die erzgebirgische Landschaft. In: CLAUSS, H. (Hrsg.) (1996): Das Erzgebirge. Historische Landeskunde, Weltbild Verlag, Augsburg. S. 9-17.

- SCHNUG, E. und HANEKLAUS, S. (2002): Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden – Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. In: FAL Agricultural Research (Hrsg.): Landbauforschung Völkernrode. Jahrgang 52, Heft 4, Braunschweig, S. 197-203.
- SCHÖNLEBER, H.-F. (2006): Konservierende Bodenbearbeitung in einem sächsischen Ackerbaubetrieb als Beitrag zum dezentralen Hochwasserschutz. In: RÖTTCHER, K, KOEHLER, G. und KLEEBERG, H.-B. (Hrsg): Dezentraler Hochwasserschutz. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Beiträge zum Seminar am 16./17. Oktober 2006 in Koblenz, Heft 17.2006, Hennef, S. 83-86.
- SCHRÖDER, R. (2000): Modellierung von Verschlämmung und Infiltration in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten. In: Bonner Geographische Abhandlungen, Band 101, Sankt Augustin.
- SCHÜLER, G. (2006): Dezentraler Wasserrückhalt im Wald in Abhängigkeit des Standortpotenzials. In: RÖTTCHER, K, KOEHLER, G. und KLEEBERG, H.-B. (Hrsg): Dezentraler Hochwasserschutz. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Beiträge zum Seminar am 16./17. Oktober 2006 in Koblenz, Heft 17.2006, Hennef, S. 131-160.
- SCHWARZ, O. (1986): Zum Abflussverhalten von Waldböden bei künstlicher Beregnung. In: EINSELE, G. (Hrsg.) (1986): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Forschungsbericht, VCH, Weinheim, S. 161-179.
- SCHWARZ, O. (1985): Direktabfluss, Versickerung und Bodenabtrag in Waldbeständen Messungen mit einer transportablen Beregnungsanlage in Baden-Württemberg. In: DVWK-Schriften, Beiträge zu Oberflächenabfluss und Stoffabtrag bei künstlichen Starkniederschlägen, Heft 71, Hamburg, Berlin, S. 185-231.
- SCHWARZ, O. (1982): Ein Vorschlag zur Ermittlung der minimalen Infiltrationsrate von Waldböden. In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, Jahrgang 153, Heft 11, S. 208-212.
- SEEGERT, J., ARMBRUSTER, M., FEGER, K. H. und BERNHOFER, C. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bestockung auf die Dynamik des Gebietsabflusses. In: AFZ Der Wald, Jahrgang 58, Heft 8, S. 419-423.
- SIEBER, H. U. (2002): Auswirkungen des Extremhochwassers vom August 2002 auf die Sicherheit der Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Wasserspeicher der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen – eine erste Einschätzung. Deutsches Talsperrenkomitee (DTK), Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna.
- SMUL = STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2006): Waldzustandsbericht 2006. Dresden.
- SMUL = STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2005): Klimawandel im Sachsen – Sachstand und Ausblick 2005. Dresden

- SMUL = STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2004): Waldzustandsbericht 2004, Dresden.
- **TREFNÁ, E. (1973a):** Lufttemperatur und Inversion. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin, S. 26-65.
- **TREFNÁ, E. (1973b):** Temperatur im Erdboden. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin, S. 66-79.
- **TREFNÁ, E. (1968):** Karte 1: 500 000 "Normalwerte der Lufttemperatur Jahr" (3). Kartografické nakladatelství, Prag. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin.
- VEIT, H., MAILÄNDER, R. und VONLANTHEN, C. (2002): Periglaziale Deckschichten im Alpenraum: bodenkundliche und landschaftsgeschichtliche Bedeutung. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Jahrgang 146, Heft 4, S. 6-14.
- **VOIGT, S. (1973):** Wind. In: HAAKE, R. und KÖRBER, H. (Hrsg.) (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der Deutschen Demokratischen Republik, Nr. 104, Band XIII, Akademie Verlag, Berlin, S. 120-124.
- VÖLKEL, J., LEUPOLD, M. MAHR, A. und RAAB, T. (2002): Zur Bedeutung kaltzeitlicher Hangsedimente in zentraleuropäischen Mittelgebirgslandschaften und zu Fragen ihrer Terminologie. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Jahrgang 146, Heft 2, S. 50-59.
- VÖLKEL, J., ZEPP, H. und KLEBER, A. (2002): Periglaziale Deckschichten in Mittelgebirgen - ein offenes Forschungsfeld. In: Berichte zur deutschen Landeskunde, Band 76, Heft 2/3, Selbstverlag Deutsche Akademie für Landeskunde e.V., Flensburg, S. 101-114.
- WAGENBRETH, O. und STEINER, W. (1990): Geologische Streifzüge, Landschaft und Erdgeschichte zwischen Kap Arkona und Fichtelberg. 4. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- WAGENBRETH, O. und WÄCHTLER, E. (1990): Bergbau im Erzgebirge Technische Denkmale und Geschichte. 1. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- WAHL, N. A., BENS, O., SCHÄFER, B. und HÜTTL, R. F. (2002): Veränderung pedohydrologischer Eigenschaften als Folge differenzierter Bewirtschaftung von Waldböden. In: BENS, O. und HÜTTL, R. F. (Hrsg.) (2002): Bodengeographische Studien stark veränderter Standorte – Monitoring, Modellierung und Bewertung. Aktuelle Reihe 4/2002, BTU Cottbus, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Eigenverlag, S. 46-56.
- WALTER, R. (1995): Geologie von Mitteleuropa. 6. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- WEISCHET, W. und ENDLICHER, W. (Hrsg.) (2000): Regionale Klimatologie. Teil 2: Die Alte Welt, Europa, Afrika, Asien. B.G. Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- WILHELM, F. (1997): Hydrogeograhie. Das Geographische Seminar. 3. Auflage, Westermann Verlag, Braunschweig.
- WOHLRAB, B., ERNSTBERGER, H., MEUSER, A. und SOKOLLEK, V. (1992): Landschaftswasserhaushalt. Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum. Veränderung durch Bodennutzung, Wasserbau und Kulturtechnik. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- YOUNGS, E. G. (1987): Estimating hydraulic conductivity values from ring infiltrometer measurements. In: The Journal of Soil Science, Jahrgang 38, Heft 4, S. 623-632.
- **ZEPP, H. und HERGET, J. (2001):** Bodenwasser Grundlagen, Einflussfaktoren und geoökologische Bezüge. In: Geographische Rundschau, Jahrgang 53, Heft 5, S. 10-17.
- **ZÜHLKE, D. (Hrsg.) (1985):** Um Olbernhau und Seiffen. Ergebnisse der heimatkundlichen Bestandsaufnahme in den Gebieten von Zöblitz, Olbernhau, Neuwernsdorf und Rübenau. In: Werte unserer Heimat, Band 43, Akademie-Verlag, Berlin.

Internetquellen

LANDESFORSTPRÄSIDIUM SACHSEN (Hrsg.) (2007): Sächsischer Wald, Standortserkundung, Forstliche Standortverhältnisse. http://www.forsten.sachsen.de/de/wu/organisation/obere_behoerden/landesforstpraesidiu m/graupa/waldundumwelt/ (Zugriff 18.07.2007)

- INSTITUT FÜR GEOGRAPHISCHE WISSENSCHAFTEN (Hrsg.) (2007a). Fachrichtung Angewandte Geographie. DINGHO. http://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/projekte/dingho/ (Zugriff 18.07.2007)
- INSTITUT FÜR GEOGRAPHISCHE WISSENSCHAFTEN (Hrsg.) (2007b). Fachrichtung Angewandte Geographie. DINGHO Projektbeschreibung. http://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/projekte/dingho/ projektbeschreibung/index.html (Zugriff 18.07.2007)
- STATISTISCHES LANDESAMT DES FREISTAATES SACHSEN (Hrsg.) (2007): Kreisstatistik Sachsen. Kreisstatistik 2007 für Mittlerer Erzgebirgskreis. http://www.statistik.sachsen.de/index/22kreis/unterseite22.htm (Zugriff 21.07.2007)

Kartenverzeichnis

- **BODENKARTE DES FREISTAATES SACHSEN (1998)**: Blatt L 5346 Olbernhau. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden, Maßstab 1:50.000
- BODENKARTE (1991): Blatt Litvínov 2-31. Hrsg.: Tschechisches Katasteramt, Prag, Maßstab 1:50.000
- **BODENKONZEPTKARTE SACHSEN (2006):** Blatt 5346, Olbernhau. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg, Maßstab 1:25.000.
- **BODENKONZEPTKARTE SACHSEN (2006):** Blatt 5347, Deutscheinsiedel Ost. Hrsg.: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg, Maßstab 1:25.000.
- GEOLOGISCHE SPEZIALKARTE DES KÖNIGREICHS SACHSEN (1888): Section Olbernhau-Purschenstein. Hrsg.: Königliches Finanzministerium, No. 130 und No. 131, Dresden, Maßstab 1: 25.000
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5346, Olbernhau. Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 3. Auflage, Dresden, Maßstab 1:25.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5347, Deutscheinsiedel Ost. Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 3. Auflage, Dresden, Maßstab 1:25.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5346-NO, Neuhausen (Erzgebirge). Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 2. Auflage, Dresden, Maßstab 1:10.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5346-SO, Kurort Seiffen (Erzgebirge). Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 2. Auflage, Dresden, Maßstab 1:10.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5346-SW, Olbernhau-Rothenthal. Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 2. Auflage, Dresden, Maßstab 1:10.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (2001):** Blatt 5347-SW, Deutscheinsiedel Ost. Hrsg.: Landesvermessungsamt Sachsen, 2. Auflage, Dresden, Maßstab 1:10.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (1982):** Blatt 02-313, Nova Ves v Horách. Hrsg.: Tschechisches Katasteramt, Prag, Maßstab 1:25.000.
- **TOPOGRAPHISCHE KARTE (1982):** Blatt 02-314, Litvínov. Hrsg.: Tschechisches Katasteramt, Prag, Maßstab 1:25.000.

9 Anhang

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
12.04.2007 / 09.05.2007	RW 4598878 HW 5610672	609	5	NE	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Laubwald	Nadelwald, Fichten- Lärchenwald	Gras, Moos	trocken, sonnig	CZ, NW					

Standort 1: Nadelwald südlich von Brandov

Bodensondierungen									
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung					
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart				
0-16	B-Verlust	1-20	B-Verlust	0-4	Ut2				
16-20	Sl2 (humusreich)	20-27	Su3 (humusreich, durchwurzelt)	4-7	St2				
20-29	S12	27-31	Su3	7-42	Slu				
29-62	S13	31-40	Su2	42-73	Su4				
62-100	S13	40-64)-64 Sl2						
		64-100	S12						

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen							
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	4. Probe	Durchschnittswert		
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,26	0,63	1,54	0,98	1,10		
Water-Drop-Penetration Time [s]	1,60	16,60	-	-	9,10		
Bodenvorfeuchte [Vol.%]	23,75 (12.04.)	30,79 (12.04.)	18,77 (09.05.)	18,69 (09.05.)	27,27 (12.04.) 18,73 (09.05.)		
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol.%]	51,48	65,73	46,13	46,61	52,49		
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol.%]	41,78	61,69	44,95	41,57	47,50		
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol.%]	9,70	4,04	1,18	5,04	4,99		

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung			
Messtermin	12.04.2007	12.04.2007	09.05.2007	09.05.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	90	480	1060	180			
durchschnittliche minimale Infiltrationsrate [mm/h]		452,5					
Variationsbreite [mm/h]		97	70				

 Tab. 7: Standort 1 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 37: Standort 1 - Nadelwald

Standort 2: Mischwald am Ilsenweg

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
12.04.2007	RW 4600636	596	12	220°NW	Mittalhang				
28.04.2007	HW 5611557	580	15	550 NW	wittennang				
Landnutzung nach	Landnutzung /	Padanhadaakung	Wittorung	Laga im EZC	Pasandarhaitan				
CORINE	Vegetation	Bodenbedeckung	witterung		Desonderneiten				
Nadelwald	Mischwald, Buche	Strouguflago	trocken sonnig	D NW					
	dominierend	Streuaunage	trocken, sonnig	D, NW					

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-8	B-Verlust	0-10	B-Verlust	0-10	Slu			
08-14	Sl2 (humusreich)	10-24	Su4	10-48	St2			
14-24	S12	24-34	Su3	48-71	Ls4			
24-44	S12	34-65	S12					
44-50	Su2	65-73	Su2					
50-54	Su2	73-83	B-Verlust					
54-68	S12	83-87	Su2					

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen									
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	4. Probe	5. Probe	Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	0,72	0,54	0,54	1,71	0,77	0,86			
Water-Drop-Penetration Time [s]	13,33	1,33	3,66	31,66	5,00	11,00			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	43,31 (12.04.)	44,98 (12.04.)	46,55 (12.04.)	30,75 (28.04.)	21,22 (28.04.)	44,95 (12.04.) 25,99 (28.04.)			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	59,57	63,99	70,94	49,93	40,61	57,01			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	53,12	62,61	64,45	45,39	32,76	51,67			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	6,45	1,38	6,49	4,54	7,85	5,34			

Infiltrationsmessungen							
1. Messung 2. Messung 3. Messung 4. Messung							
Messtermin	12.04.2007	12.04.2007	28.04.2007	28.04.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	220	120	160	180			
durchschnittliche minimale		1/	70				
Infiltrationsrate [mm/h]		170					
Variationsbreite [mm/h]		10	00				

 Tab. 8: Standort 2 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 38: Standort 2 - Mischwald

Standortkundliche Beschreibung							
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief		
28.04.2007	RW 4599961 HW 5612039	604	10,5	282°WW	Mittelhang		
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten		
Laubwald	Laub- Mischwald, Buche dominierend	mächtige Laubschicht	trocken, sonnig	D, NW	Waldbrandstufe 3		
		Dedensendiemun					
1 Sondierun	σ	2 Sono	lierung	3 Sond	lierung		
Mächtigkeit [cm]	s Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart		
0-22	B-Verlust	0-8	B-Verlust	0-19	B-Verlust		
22-27	Su3	8-19	Su3 (humusreich)	19-30	S13		
27-43	Su4	19-46	Su3	30-57	Su4		
43-69	Su4	46-86	Su4	57-80	Su4		
69-86	Su4						
	Bodenphysikalische	Parameter und Bo	denwasserhaushalts	größen			
	1. Probe	2. Probe			Durchschnittswert		
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,05	0,48			0,77		
Water-Drop-Penetration Time [s]	103,33	40,66			72,00		
Bodenvorfeuchte [Vol%]	34,87	33,88			34,38		
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	51,95	67,72			59,84		
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	49,80	65,05			57,43		
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	2,15	2,67			2,41		

Standort 3: Laub-Mischwald am Dreiweg / Sachsenweg (NSG)

Infiltrationsmessungen								
	1. Messung	2. Messung	3. Messung					
Messtermin	28.04.2007	29.04.2007	30.04.2007					
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	880	600	1480					
durchschnittliche minimale		086.67						
Infiltrationsrate [mm/h]		980,07						
Variationsbreite [mm/h]		880						

Tab. 9: Standort 3 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 39: Standort 3 - Laub-Mischwald

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
29.04.2007	RW 4604456 HW 5609955	690	6	158°SS	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Wiesen und Weiden	Wiese		trocken, sonnig	D, O	Waldbrandstufe 3				

Standort 4: brachliegende Wiese, Brüderwiese / Kupferweg

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Mächtigkeit [cm] Bodenart M		Bodenart			
0-11	B-Verlust	0-7	B-Verlust	0-8	B-Verlust			
11-26	Su2	7-20	Su3	8-27	Su2			
26-54	B-Verlust	20-25	S13	27-33	S12			
54-66	St2	25-46	B-Verlust	33-66	B-Verlust			
66-81	St3	46-58	S12	66-83	S12			
		58-64	B-Verlust					
		64-86	St2					

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	Durchschnittswert				
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,15	1,31	1,06	1,17				
Water-Drop-Penetration Time [s]	5,00	3,00	3,00	3,67				
Bodenvorfeuchte [Vol%]	18,27	18,77	16,34	17,80				
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	50,04	44,88	45,09	46,67				
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	47,96	42,92	43,48	44,79				
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	2,08	1,96	1,61	1,88				

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	29.04.2007	29.04.2007	29.04.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	200	700	380				
durchschnittliche minimale		176 67					
Infiltrationsrate [mm/h]		426,67					
Variationsbreite [mm/h]		500					

Tab. 10: Standort 4 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 40: Standort 4 - brach liegende Wiese

Standort 5: Rapsfeld nahe Deutscheinsiedel

	Star	ndortkundliche Beso	chreibung					
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief			
29.04.2007	RW 4605772	715	6	75°EE	Mittelhang			
	HW 5612042	/15						
Landnutzung nach	Landnutzung /	Padanhadaakung	Witter	Lage im EZG	Pasandarhaitan			
CORINE	Vegetation	Bouenbeueckung	witterung		Desonderneiten			
nicht bewässertes Ackerland	LWS, Rapsfeld		trocken, sonnig	D, NO	Waldbrandstufe 3			

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-15	B-Verlust	0-10	B-Verlust	0-7	B-Verlust			
15-38	Su2	10-30	S13	7-27	S13			
38-55	S12	30-75	S12	27-81	S12			
55-89	S12							

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,33	1,38	1,32		1,34			
Water-Drop-Penetration Time [s]	7,33	3,33	6,33		5,66			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	22,83	24,45	22,48		23,25			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	47,05	44,99	48,02		46,69			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	44,86	42,46	46,17		44,50			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	2,19	2,53	1,85		2,19			

Infiltrationsmessungen							
1. Messung 2. Messung 3. Messung							
Messtermin	29.04.2007	29.04.2007	29.04.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	120	40	60				
durchschnittliche minimale Infiltrationsrate [mm/h]		73,33					
Variationsbreite [mm/h]		80					

Tab. 11: Standort 5 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 41: Standort 5 - Rapsfeld

Standortkundliche Beschreibung								
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief			
29.04.2007	RW 4609613 HW 5612550	713	8	338°NN	Mittelhang			
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten			
komplexe Parzellenstruktur	LWS, Acker	spärlich, frisch besät	trocken, sonnig	D, N	Waldbrandstufe 3			
		Dedensondiemun						

Standort 6: frisch besäter Acker nahe des Katzenhübels

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-7	B-Verlust	0-7	B-Verlust	0-10	B-Verlust			
7-24	S12	7-18	S12	10-18	S12			
24-33	S13	18-33	S13	18-32	S13			
33-50	B-Verlust	33-55	St2	32-40	S13			
50-69	S13	55-76	St3	40-46	S13			
69-82	St2			46-64	St3			
				64-70	S12			

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,16	1,18	1,13		1,16			
Water-Drop-Penetration Time [s]	18,33	6,00	11,66		12,00			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	26,70	32,83	30,58		30,04			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	46,91	51,30	53,55		50,59			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol. %]	43,12	48,88	49,99		47,33			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	3,79	2,42	3,56		3,26			

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	29.04.2007	29.04.2007	29.04.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	60	160	400				
durchschnittliche minimale		206.67					
Infiltrationsrate [mm/h]		206,67					
Variationsbreite [mm/h]		340					

Tab. 12: Standort 6 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 42: Standort 6 - frisch besäter Acker

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
30.04.2007	RW 4604600 HW 5612144	740	6	10°NN	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
komplexe Parzellenstruktur	Wiese		trocken, sonnig	D, NO	extreme Waldbrandgefahr				
Bodensondierungen									
1 Sondierung		2 Sondierung		3 Sond	3 Sondierung				

Standort 7: Wiese zwischen Katzenhübel und Deutscheinsiedel

Bodensondierungen							
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung			
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart		
0-13	B-Verlust	0-9	B-Verlust	0-13	B-Verlust		
13-33	Su2	9-19	Su2	13-22	Su2		
33-41	St2	19-23	St2	22-43	S12		
41-65	St3	23-37	St2	43-58	S12		
65-85	Lts	37-52	St3	58-65	Su2		
		52-70	St3				
		70-78	Su3				

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen						
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert	
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,27	1,02	1,50		1,26	
Water-Drop-Penetration Time [s]	86,66	1,33	5,33		31,11	
Bodenvorfeuchte [Vol%]	21,97	16,46	24,84		21,09	
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	54,91	54,85	50,46		53,41	
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	48,29	51,16	47,65		49,03	
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	6,62	3,69	2,81		4,37	

Infiltrationsmessungen						
	1. Messung	2. Messung	3. Messung			
Messtermin	30.04.2007	30.04.2007	30.04.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	120	40	180			
durchschnittliche minimale Infiltrationsrate [mm/h]		113,33				
Variationsbreite [mm/h]		140				

Tab. 13: Standort 7 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 43: Standort 7 - Wiese

Standort 8: Mischwald am Kieferbergweg

Standortkundliche Beschreibung								
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief			
30.04.2007	RW 4603475 HW 5610314	747	13	320°NW	Oberhang			
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten			
Mischwald	Birken-Kiefernwald		trocken, sonnig	D, zentral	extreme Waldbrandgefahr			

Bodensondierungen						
1. Sondierung		2. Sond	2. Sondierung		lierung	
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	
0-10	B-Verlust	0-11	B-Verlust	0-14	B-Verlust	
10-24	St2	11-14	St2	14-18	n. b.	
24-36	St3	14-24	St2	18-31	B-Verlust	
36-48	Ts4	24-27	St2	31-40	n. b.	
48-56	B-Verlust	27-32	B-Verlust	40-48	St3	
56-59	St3	32-64	St3	48-60	St2	
				60-87	Sl4	

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen							
	1. Probe	2. Probe	3. Probe]	Durchschnittswert		
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,10	1,05	1,13		1,09		
Water-Drop-Penetration Time [s]	696,66	1386,66	9540,00		3874,44		
Bodenvorfeuchte [Vol%]	18,96	17,85	12,75		16,52		
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	49,03	45,65	35,97		43,55		
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	38,87	32,83	32,41		34,70		
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	10,16	12,82	3,56		8,85		

Infiltrationsmessungen						
	1. Messung	2. Messung	3. Messung			
Messtermin	30.04.2007	30.04.2007	30.04.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	960	1200	1160			
durchschnittliche minimale		1106.67				
Infiltrationsrate [mm/h]		1100,07				
Variationsbreite [mm/h]		240				

Tab. 14: Standort 8 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 44: Standort 8 - Mischwald

	/cutsentathan	licitori			
	Sta	ndortkundliche Bes	chreibung		
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief
30.04.2007	RW 4601941 HW 5609717	640	9	188°SS	Mittelhang
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten
Wiesen und Weiden	Wiese		trocken, sonnig	D, zentral	extreme Waldbrandgefahr

Standort 9: Wiese bei Deutschkatharinenberg

Bodensondierungen							
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung			
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart		
0-12	B-Verlust	0-2	B-Verlust	0-10	B-Verlust		
12-16	S12	2-11	Su3	10-11	Su2 (reich an Organik)		
16-28	Su2	11-50	Su2	11-31	Su2		
29-59	Su2	50-55	B-Verlust	31-44	S12		
59-61	S12	55-100	S12	44-69	Su2		

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen							
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert		
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,09	1,08	0,79		0,99		
Water-Drop-Penetration Time [s]	5,33	1,00	103,33		36,55		
Bodenvorfeuchte [Vol%]	15,60	16,10	14,18		15,29		
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	54,26	46,70	50,86		50,61		
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	49,91	41,75	41,22		44,29		
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	4,35	4,95	9,64		6,31		

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	30.04.2007	30.04.2007	30.04.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	240	320	440				
durchschnittliche minimale		222.22					
Infiltrationsrate [mm/h]		333,35					
Variationsbreite [mm/h]		200					

Tab. 15: Standort 9 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 45: Standort 9 - Wiese

Standort 10: A	Acker nahe	e der Kammbaude	e
----------------	------------	-----------------	---

	Standortkundliche Beschreibung								
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
01.05.2007	RW 4604561	750	12	230°SW	Obarbang				
	HW 5613600	750			Obernang				
Landnutzung nach	Landnutzung /	Dadanhadaalaana	Wittomung	Logo im EZC	Deconderheiten				
CORINE	Vegetation	Bodenbedeckung	witterung	Lage im EZG	Desonderneiten				
nicht bewässertes Ackerland	LWS, Acker	frisch gesähtes Getreide	trocken, sonnig	D, N					

Bodensondierungen						
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung		
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	
0-2	B-Verlust	0-24	S13	0-30	S13	
2-30	S13	24-60	S12	30-40	S13	
30-64	S12	60-87	S12	40-73	S12	
64-71	B-Verlust	87-97	B-verlust			
71-99	SI2					

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen						
	1. Probe	2. Probe			Durchschnittswert	
Trockenrohdichte [g/cm ³]	0,98	1,07			1,03	
Water-Drop-Penetration Time [s]	28,33	42,66			35,50	
Bodenvorfeuchte [Vol%]	31,97	27,19			29,58	
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	61,01	58,52			59,77	
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	53,24	52,93			53,09	
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	7,77	5,59			6,68	

Infiltrationsmessungen						
	1. Messung	2. Messung	3. Messung			
Messtermin	01.05.2007	01.05.2007	01.05.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	40	60	60			
durchschnittliche minimale		52.22				
Infiltrationsrate [mm/h]		55,55				
Variationsbreite [mm/h]		20				

Tab. 16: Standort 10 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 46: Standort 10 - Acker

Standort 11: Acker bei Oberseiffenbach

Standortkundliche Beschreibung							
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief		
01.05.2007	RW 4603009 HW 5611566	697	7	238°SW	Mittelhang		
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten		
komplexe Parzellenstruktur	Acker	keine	trocken, sonnig	D, N	Regenwürmer im Boden		

Bodensondierungen						
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung		
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	
0-17	S13	0-5	B-Verlust	0-21	S13	
17-26	SI2	5-20	S12	21-30	S12	
26-30	S13	20-24	S12	30-40	S12	
30-50	SI2	24-26	B-Verlust	40-70	S12	
50-85	S13	26-41	Su2	70-93	S13	
85-100	S13	41-81	S12	93-100	S13	

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen						
	1. Probe	2. Probe		Durchschnittswert		
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,19	1,14		1,17		
Water-Drop-Penetration Time [s]	7,66	47,33		27,50		
Bodenvorfeuchte [Vol%]	28,68	31,90		30,29		
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	52,56	57,33		54,95		
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	42,05	49,66		45,86		
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	10,51	7,67		9,09		

Infiltrationsmessungen						
	1. Messung	2. Messung	3. Messung			
Messtermin	01.05.2007	01.05.2007	01.05.2007			
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	260	200	440			
durchschnittliche minimale		300				
Infiltrationsrate [mm/h]	500					
Variationsbreite [mm/h]		240				

Tab. 17: Standort 11 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 47: Standort 11 - Acker

	Sta	ndortkundliche Bes	chreibung			
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief	
08.05.2007	RW 4605478	703	2	355°NN	Mittelleane	
	HW 5609881				Witteniang	
Landnutzung nach	Landnutzung /	Dadanhadaalaana	Wittomma	Logo im EZC	Deconderheiten	
CORINE	Vegetation	Bodenbedeckung	witterung	Lage Im EZG	Desonderneiten	
Wald-Strauch-	Birkenfläche im	Cros Maas	ragnariaah	C7 0		
Übergangsstadium	Mischwald	Glas, MOOS	regnerisch	CZ, 0		

Bodensondierungen					
1. Sondierun	g	2. Sond	lierung		
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart		
0-10	B-Verlust	0-5	Su4		
10-19	n. b. (humusreich)	5-35	Ls2		
19-24	S13	35-38	S13		
24-40	St3				
40-60	Ls4				
60-65	St3				
65-69	St3				

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen						
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert	
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,18	0,92	0,82		0,97	
Water-Drop-Penetration Time [s]	12,66	67,66	20,33		33,55	
Bodenvorfeuchte [Vol%]	54,45	47,96	37,73		46,71	
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	65,01	64,99	66,96		65,65	
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	60,70	58,61	57,75		59,02	
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	4,31	6,38	9,21		6,63	

Infiltrationsmessungen						
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung		
Messtermin	08.05.2007	08.05.2007	08.05.2007	08.05.2007		
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	320	-	240	340		
durchschnittliche minimale		200				
Infiltrationsrate [mm/h]		500				
Variationsbreite [mm/h]		100				

Tab. 18: Standort 12 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 48: Standort 12 - Birkenwald

Standort 13: Nadelwald an der Bachmanka

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
09.05.2007	RW 4600331 HW 5608714	710	4	80°EE	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Nadelwald	Nadelwald		regenerisch, wechselhaft	CZ, W	viele Fällungen				

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sono	dierung	3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-19	B-Verlust	0-6	B-Verlust	0-10	B-Verlust			
19-29	Su2	6-15	n. b. (humusreich)	10-25	Su2			
29-59	S12	15-17	B-Verlust	25-46	S12			
59-100	Ss	17-26	n. b. (humusreich)	46-60	S12			
		26-34	Su3					
		34-51	S12					
		51-90	S12					
		90-100	Su2					

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	Durchschnittswert				
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,31	1,10	1,03	1,15				
Water-Drop-Penetration Time [s]	3,00	1584,66	1464,33	1017,33				
Bodenvorfeuchte [Vol%]	26,40	20,35	21,52	22,76				
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	53,84	53,88	51,43	53,05				
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	49,39	48,13	47,31	48,28				
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	4,45	5,75	4,12	4,77				

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	09.05.2007	09.05.2007	09.05.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	200	80	640				
durchschnittliche minimale		206 67					
Infiltrationsrate [mm/h]		500,07					
Variationsbreite [mm/h]		560					

Tab. 19: Standort 13 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 49: Standort 13 - Nadelwald

Standort 14:Laubwald bei U jezírka

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
09.05.2007	RW 4604753	745	10	340°NN	Mittalhaua				
	HW 5606568			540 1414	writteinang				
Landnutzung nach	Landnutzung /	Padanhadaalaung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
CORINE	Vegetation	Bouenbeueckung							
I submuld	Loubwold	Gras, Laub, kl.	wechselhaft, zuvor	C7 S0	uneben				
Laudwald	Laubwald	Sträucher	regnerisch	CZ, 50					

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-4	B-Verlust	0-3	B-Verlust	0-14	B-Verlust			
4-19	n. b. (humusreich)	3-14	n. b. (humusreich)	14-20	n. b. (humsureich)			
19-35	Ls2	14-40	Lt3 (stauende Schicht)	20-37	Sl2 (reich an Organik)			
35-65	S12	40-57	S13	37-49	S12			
65-85	S12	57-77	S12	49-63	S12			
				63-83	S12			

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	0,91	1,00	1,04		0,98			
Water-Drop-Penetration Time [s]	1,66	66,66	5,00		24,44			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	56,57	37,63	43,68		45,96			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	69,38	53,25	57,74		60,12			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	66,04	50,78	54,64		57,15			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	3,34	2,47	3,10		2,97			

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	09.05.2007	09.05.2007	09.05.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	220	60	20				
durchschnittliche minimale		100					
Infiltrationsrate [mm/h]		100					
Variationsbreite [mm/h]		200					

Tab. 20: Standort 14 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 50: Standort 14 - Laubwald

Standort 15: Wiese nahe U křížku

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
09.05.2007	RW 4605574 HW 5610524	700	9	259°WW	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Wiesen und Weiden	Wiese	Gras	heiter wolkig, zuvor regnerisch	CZ, O					

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung				
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart			
0-15	B-Verlust	0-17	S12	0-12	B-Verlust			
15-29	Su2	17-43	S13	12-25	Sl2 (durchwurzelt)			
29-44	Su3	43-80	Su2	25-56	S12			
44-100	Ss			56-89	Su2			
				89-100	Su2			

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	ſ	Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,42	1,43	1,24		1,36			
Water-Drop-Penetration Time [s]	5,00	6,00	1,00		4,00			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	32,61	36,56	26,50		31,89			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	54,39	55,44	51,49		53,77			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	49,72	51,38	47,03		49,38			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	4,67	4,06	4,46		4,40			

Infiltrationsmessungen								
	1. Messung	2. Messung	3. Messung					
Messtermin	09.05.2007	09.05.2007	09.05.2007					
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	60	180	280					
durchschnittliche minimale		172 22						
Infiltrationsrate [mm/h]		175,55						
Variationsbreite [mm/h]		220						

Tab. 21: Standort 15 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 51: Standort 15 - Wiese

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
10.05.2007	RW 4601417 HW 5612644	655	6	238°SW	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Nadelwald	Nadelwald		heiter, zuvor regnerisch	D, N					

Standort 16: Nadelwald am Ilsenweg / Krummerweg

Bodensondierungen									
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung					
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart				
0-10	B-Verlust	0-12	B-Verlust	0-8	B-Verlust				
10-30	Su3	12-29	Su3	8-34	n. b.				
30-45	Us	29-49	Su2	34-40	S12				
45-49	Su2	49-56	B-Verlust	40-73	B-Verlust				
49-55	B-Verlust	56-71	Su2	73-100	S12				
55-84	Su2								

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,11	0,96	1,01		1,03			
Water-Drop-Penetration Time [s]	233,33	1440,00	21,00		564,78			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	19,26	18,41	10,78		16,15			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	44,91	50,37	38,08		44,45			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	39,89	41,64	29,90		37,14			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	5,02	8,73	8,18		7,31			

Infiltrationsmessungen								
	1. Messung	2. Messung	3. Messung					
Messtermin	10.05.2007	10.05.2007	10.05.2007					
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	380	2280	360					
durchschnittliche minimale		1006 67						
Infiltrationsrate [mm/h]		1000,07						
Variationsbreite [mm/h]		1920						

Tab. 22: Standort 16 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 52: Standort 16 - Nadelwald

Standort 17: Junger Buchenwald am Tannenweg

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
10.05.2007	RW 4606848 HW 5613309	775	9	150°SE	Mittelhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Wald-Strauch- Übergangsstadium	Buchenwald		freundlich, zuvor wechselhaft	D, NO					

Bodensondierungen									
1. Sondierung		2. Sondierung		3. Sondierung					
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart				
0-3	B-Verlust	0-11	B-Verlust	0-9	Ut2				
3-16	Ut2	11-24	Su3	9-25	S13				
16-60	S13	24-93	Su3	25-77	S13				
60-80	S13			77-92					

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	0,93	0,84	1,14		0,97			
Water-Drop-Penetration Time [s]	9,33	52,66	5,00		22,33			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	41,78	33,71	45,75		40,41			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	62,93	63,94	64,51		63,79			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	53,78	57,37	56,37		55,84			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	9,15	6,57	8,14		7,95			

Infiltrationsmessungen								
	1. Messung	2. Messung	3. Messung					
Messtermin	10.05.2007	10.05.2007	10.05.2007					
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	120	460	1120					
durchschnittliche minimale		566 67						
Infiltrationsrate [mm/h]		566,67						
Variationsbreite [mm/h]		1000						

Tab. 23: Standort 17 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 53: Standort 17 - junger Buchenwald

Standort 18: Wiese nahe Rudolice v Horách

Standortkundliche Beschreibung									
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief				
10.05.2007	RW 388332 HW 5604741	862	4	295°NW	Oberhang				
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten				
Wiesen und Weiden	Wiese		freundlich, zuvor wechselhaft	CZ, SW					

Bodensondierungen								
1. Sondierung		2. Sond	lierung					
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart					
0.5	Feinboden mSfS,	0.40	S2					
0-3	Grobboden mGr2	0-40	Su3					
5-8	B-Verlust	31-40	B-Verlust					
8 18	Feinboden mSfS,	40.55	Sha					
8-18	Grobboden mGr2	40-33	Siu					
19.45	Feinboden mS,							
18-45	Grobboden gGr3							
45-58	B-Verlust							

Bodenphysikalische Parameter und Bodenwasserhaushaltsgrößen								
	1. Probe	2. Probe	3. Probe		Durchschnittswert			
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,06	1,07	1,00		1,04			
Water-Drop-Penetration Time [s]	1,33	57,33	29,66		29,44			
Bodenvorfeuchte [Vol%]	26,05	33,92	24,54		28,17			
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	48,82	50,66	49,03		49,50			
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	46,93	49,25	46,87		47,68			
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	1,89	1,41	2,16		1,82			

Infiltrationsmessungen							
	1. Messung	2. Messung	3. Messung				
Messtermin	10.05.2007	10.05.2007	10.05.2007				
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	240	660	600				
durchschnittliche minimale		500					
Infiltrationsrate [mm/h]		300					
Variationsbreite [mm/h]		420					

 Tab. 24: Standort 18 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 54: Standort 18 - Wiese

Standort	19:	Wiese /	Weide	bei	Hora	svaté	Kateřiny

	Sta	ndortkundliche Res	chreihung		
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief
11.05.2007	RW 4602094 HW 5608939	670	7	335°NW	Mittelhang
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten
Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung	Wiese / Weide		freundlich, zuvor wechselhaft	CZ, zentral	

		Bodensondierun	gen		
1. Sondierun	g	2. Sondierung			lierung
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart
0-5	B-Verlust	0-10	B-Verlust	0-8	B-Verlust
5-25	Su3	10-22	Su3	8-27	Su3
25-80	Su4	22-85	Su4	27-83	Su4

	Bodenphysikalische	Parameter und Bo	denwasserhaushalts	sgrößen	
	1. Probe				Durchschnittswert
Trockenrohdichte [g/cm ³]	1,15				1,15
Water-Drop-Penetration Time [s]	243,66				243,66
Bodenvorfeuchte [Vol%]	16,27				16,27
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	46,81				46,81
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	45,78				45,78
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	1,03				1,03

		Infiltrationsmessu	ingen	
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	
Messtermin	11.05.2007	11.05.2007	11.05.2007	
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	20	20	100	
durchschnittliche minimale		16 67		
Infiltrationsrate [mm/h]		40,07		
Variationsbreite [mm/h]		80		

Tab. 25: Standort 19 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 55: Standort 19 - Wiese / Weide

	Sta	ndortkundliche Bes	chreibung		
Zeitpunkt der Messung	Koordinaten	Höhe [mm ü. NN]	Hangneigung [°]	Exposition	Lage im Relief
12.05.2007	RW 4602148 HW 5607025	770	17	44°NE	Mittelhang
Landnutzung nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG	Besonderheiten
Laubwald	Laubwald-Lichtung im Mischwald		regnerisch, zuvor freundlich	CZ, S	

Standort 20: Laubwaldlichtung im Mischwald zwischen Lesenská Pláň und Pachenkov

		Bodensondierun	gen		
1. Sondierun	g	2. Sondierung		3. Sond	lierung
Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart	Mächtigkeit [cm]	Bodenart
0-18	B-Verlust	0-18	B-Verlust	123	B-Verlust
18-29	S13	18-30	S13	23-35	S13
29-45	Lt2	30-39	S14	35-57	St2
45-61	Su3	39-43	B-Verlust	57-74	B-Verlust
61-88	Su2	43-60	Lts	74-83	Su2
		60-79	Su2		

	Bodenphysikalische	Parameter und Bo	denwasserhaushalts	größen
	1. Probe	2. Probe	3. Probe	Durchschnittswert
Trockenrohdichte [g/cm ³]	0,83	0,98	1,02	0,94
Water-Drop-Penetration Time [s]	4,00	2125,00	2,66	710,55
Bodenvorfeuchte [Vol%]	34,27	27,60	37,93	33,27
maximale Wasserkapazität / GPV [Vol%]	57,28	64,50	53,15	58,31
Feldkapazität / enge Grobporen, Mittel- und Feinporen [Vol%]	54,76	60,55	50,66	55,32
Luftkapazität / weite Grobporen [Vol%]	2,52	3,95	2,49	2,99

		Infiltrationsmessu	ingen	
	1. Messung	2. Messung	3. Messung	
Messtermin	12.05.2007	12.05.2007	12.05.2007	
minimale Infiltrationsrate [mm/h]	300	20	480	
durchschnittliche minimale		266.67		
Infiltrationsrate [mm/h]		200,07		
Variationsbreite [mm/h]		460		

Tab. 26: Standort 20 - Untersuchungsergebnisse der Feld- und Labormessungen



Abb. 56: Standort 20 - Laubwaldlichtung im Mischwald

ь.
00
2
a
4
2
∇
- 1
\mathcal{O}

			-		Stan	dortkundliche Bes	chreibung				
Standort	Zeitpunkt der Messung	GPS-Daten	m über NN	Hangneigung in °	Exposition	Lage im Relief	Landnutzungsklasse nach CORINE	Landnutzung / Vegetation	Bodenbedeckung	Witterung	Lage im EZG
-	12.04.2007/09.05.2007	RW 4598878, HW 5610672	609	S	NE	Mittelhang	Laubwald	Fichten-Lärchenwald	Gras, Moos	trocken, sonnig	CZ, W
2 6	12.04.2007/28,04.2007	RW 4600636, HW 5611557 PW 4500661, HW 5612020	586	13	330°NW	Mittelhang	Nadelwald Laudwald	Mischwald, Buche dominierend Laub Mischwald, Bucha dominiarand	Litter, Streuauflage machaine Laubechicht	trocken, sonnig trocken souris Waldbeaufattea 3	D, NW
0 4	29.04.2007	RW 4604456, HW 5609955	H00	66	158°SS	Mittelhang	Wiesen und Weiden	Laud-Mischward, Buche domininer end Wiese	macinge Lauoscinein Gras	trocken, sonnig, Waldbrandstufe 3 trocken, sonnig, Waldbrandstufe 3	D.0
5	29.04.2007	RW 4605772, HW 5612042	715	6	75°EE	Mittelhang	nicht bewässertes Ackerland	Raps		trocken, sonnig, Waldbrandstufe 3	D, NO
6	29.04.2007	RW 4609613, HW 5612550	713	8	338°NN	Mittelhang	komplexe Parzellenstruktur	Acker	frisch bestt	trocken, sonnig, Waldbrandstufe 3	D, N
7	30.04.2007	RW 4604600, HW 5612144	740	6	10°NN	Mittelhang	komplexe Parzellenstruktur	Wiese	Gras	trocken, sonnig, extreme Waldbrandgefahr	D, NO
× •	2004-2007	RW 4605475, HW 2610514 DW 4601641 HW 5606717	/4/	0	320°NW 199°SS	Otemang	MISCIWAR Wissen und Weiden	Birken-Kuelemwald	Gree	trocken, sonnig, extreme Waldheardoafahr	D, Zentral
9	01.05 2007	RW 4604561 HW 5613600	750	cl Cl	ANS-02.C	Oberhane	nicht howsteartes Ackerland	Gras/Geneide	frisch ossites Gotreide	trocken sonnig	N C
=	01.05.2007	RW 4603009, HW 5611566	697	7	238°SW	Mittelhang	komplexe Parzellenstruktur	Acker	keine	trocken, sonnig	D.N
12	08.05.2007	RW 4605478, HW 5609881	703	3	355°NN	Mittelhang	Wald-Strauch-Übergangsstadien	Birkenwald	Gras, Moos	regnerisch	CZ, 0
13	09.05.2007	RW 4600331, HW 5608714	710	4	80°EE	Mittelhang	Nadelwald	Nadelwald		regnerisch, wechselhaft	CZ, W
14	09.05.2007	RW 4604753, HW 5606568	745	10	340°NN	Mittelhang	Laubwald	Laubwald	Gras, Laub, kl. Sträucher	weehselhaft, zuvor regnerisch	CZ, SO
15	09.05.2007	RW 4605574, HW 5610524	200	6	259°WW	Mittelhang	Wresen und Werden	Wiese	Gras	heiter wolkig, zuvor regnerisch	CZ, 0
9 5	10.05.2001	BW 4601411/, HW 2612500	600 255	0	238-5W	Mittelhang	Weld Chemick (Thermonication	Weld Commentation		netter, Zuvor regnerisch	N YO
10	1002.2001	BW/ 200546, HW 2012309 BW/ 200237 LW/ 5504741	c//	<i>*</i> *	100'SE 705%NW	Ohochong	Wald-Strauch-Ubergangsstadten Witaraa und Weidan	Wakt-Strauch-Ubergangsstadten	Gara	Fermidition, Zuvor weense main	D, NU C7 CW
0	2006 2011	B W 4607064 HW 5608039	200		335°NW	Mittelhang	I and wirts haft mit natürlicher Rockerbodse bum	Wiese / Words	Grae	freundlich zuwerwechselbaft	CZ, 200
20	12.05.2007	RW 4602148, HW 5607025	770	17	44°NE	Mittelhang	Laubwald	Laubwald-Lichtung im Mischwald, Buche	01100	regnerisch, zuvor freundlich	CZ, S
		Bedrockersheeper									
		Douenpnysikausche Fa	Lameter unu bouenw	assermausmansgrouen							
Standort	Trockenrohdichte g/cm ³	WDPT s	Bodenvorfeucht [Vol%]	GPV [Vol%]	FK [Vol%]	LK Vol%					
_ <	1,10	910	27,27 / 18,73	52,49	47,50	4,99					
3	0.77	72.00	34.38	59.84	57.43	241					
4	1,17	3,67	17,80	46,67	44,79	1,88					
5	1,34	5,66	23,25	46,69	44,50	2,19					
6	1,16	12,00	30,04	50,59	47,33	3,26					
-	1.26	31,11	21,09	53,41	49,03	4,38					
× •	1,02	36.55	15 20	40,55 16 (1	04.70	5,65					
9	1.03	05.50	23 5 82	10,00	44.22 53 (19	160					
2	1 16	27.50	30.39	11/50	45 R6	000					
12	0.97	33.55	46.71	54155 (4665	50.02	663					
19	1.15	1017.33	22.76	53.05	48.28	4.77					
14	0.98	24,44	45,96	60.12	57,15	2.97					
15	1,36	4,00	31,89	53,77	49.38	4,40					
16	1,03	564,78	16,15	44,45	37,14	7,31					
17	0,97	22,33	40,41	63.79	55,84	7,95					
18	101	29,44	28,17	49,50	47,68	1,82					
6	0.1	242,00	33.37	40,81	40./8	1,05					
Durchschnitt	1.08	57855	28,04	1000	48.79	476					
	20011	21/222	1.0 5.0	A. 19 A. 19	21 ⁵ 21						
			1.3-1	4				_			
				rauonsmessungen							
Standart	min. Infiltrationsrate	min. Infiltrationsrate	min. Infiltrationsrate	min. Infiltrationsrate	6 min. Infiltrations-	Streuungsmaß der	durchechnittliche Geenntwessermange []]				
100000	1. Messung [mm/h]	2. Messung [mm/h]	3. Messung [mm/h]	4. Messung [mm/h]	rate [mm/h]	IR [mm]					
_	90	480	1060	180	452,50	970	keine Angaben	-			
2	220	120	160		166,67	100	keine Angaben				
	000	000	200		900,07 406.67	000	CGI. 110 22 EO	T			
	007	00	090	ī	420,0f 73.33	000	Cal. 20 25 10	T			
4	60	191	400		2006	240	Ca. 10 Ca. 20				
-	120	40	180		113.33	140	ca. 15				
8	096	1200	1160			240	ca. 100				
9	240	320	440		333,33	200	ca. 50	-			
= :	40	60	09 91		53,33	20	ca. 10				
12	320	-	240	340	300.00	100	ca. 50 ca. 60				
13	200	80	640		306,67	560	ca. 35				
14	220	09	20		100,00	200	ca. 25				
15	00	180	280		173,33	220	keine Angaben				
16	380	22.80	360		1006/67	1920	ca. 140				
16	071	005	0711		100.00	000	ca. 30 25 50				
19	20	20	100		46.67	80	ca. 10	1			
20	300	20	480			460	ca. 30				
Durchschnitt					374,29	434					
I and antimuter	East	Wissess and Weiden	1 M/C								
S INTERNET	FUI3U	MIGSOII IIIIII MOIALI	LW3								
Hangneigung	schwach geneigt, 2 - < 5	mittel geneigt, 5 - < 10	stark geneigt, 10 - < 15	sehr stark geneigt, 15 - < 20							
				r							
Exposition	Sonnseite	Schattseite									
] :						1				
	:										





Abb. 57: Topographische Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schweinitz (Kartengrundlage: TK 25, Blatt 5346 Olbernhau, Blatt 5346 Deutscheinsiedel Ost, Blatt 02-313 Nova Ves v Horách und Blatt 02-314 Litvínov)

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit über das Thema "Infiltrationspotentiale der Böden im Einzugsgebiet der Schweinitz (Mittleres Erzgebirge) in Abhängigkeit von der Landnutzung" in der gesetzten Frist selbständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe. Alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken wörtlich oder sinngemäß entnommen sind, sind unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Die Zeichnungen, Kartenskizzen, bildlichen Darstellungen und Statistiken sind von mir verfasst, soweit nicht als Entlehnung gekennzeichnet.

Berlin, den 24. August 2007

Katja Henke