

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

vertreten durch das

Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie

Abschlussbericht

Beak-Nr.: 2004_0085

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Az.:13-8802.3529/33

KliWEP – Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten
Klimaveränderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet
der Parthe

Teil 1

Parametrisierung, Anpassung und Kalibrierung des Bodenwasserhaushaltsmodells
WaSiM-ETH für das Einzugsgebiet der Parthe sowie Berechnung von
drei Landnutzungsszenarien auf Grundlage der Klimaprognose für Sachsen



Consultants GmbH

Ökologie
Geologie, Bergbau
Altlasten
Informationsverarbeitung
Kartographie

Am St.-Niclas-Schacht 13

09599 Freiberg

Tel.: 03731 781350; Fax: 03731 781352

e-Mail: postmaster@beak.de; <http://www.beak.de>

Projektleiter Dr. Thomas Hertwig

November 2004

Berichtskennblatt

1. Abschlussbericht Beak-Nr. 2004_0085	2. Berichtszeitraum Juni – November 2004
3. Titel des Berichts Parametrisierung, Anpassung und Kalibrierung des Bodenwasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH für das Einzugsgebiet der Parthe sowie Berechnung von drei Landnutzungsszenarien auf Grundlage der Klimaprognose von Sachsen	
4. Autor Dr. Th. Hertwig	5. Abschlussdatum 01.12.2004
6. Durchführende Institution(en), Projektleiter Beak Consultants GmbH, Am St. Niclas Schacht 13, 09599 Freiberg Projektleiter: Dr. Thomas Hertwig	7. Aktenzeichen 13-8802.3529/33
8. Fördernde Institution(en) Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Vertreten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie	9. Gesamtlaufzeit 21.05.2004 – 01.12.2004
10. Zusätzliche Angaben, Sonstiges	11. Seitenzahl 143
	12. Tabellen (Anzahl) 46
	13. Abbildungen (Anzahl) 77
	14. Anlagen (Anzahl) 22
15. Kurzfassung: Das BWH-M WaSiM-ETH wurde für das unterirdische Einzugsgebiet der Parthe bis zum Pegel Thekla aufgebaut. Der Aufbau beinhaltete die Parametrisierung der Boden- und Flächennutzungsarten sowie die Anpassung wesentlicher Programmparameter. Die Flächennutzung wurde auf der Grundlage der CIR-Kartierung (1992) sowie einer prognostischen Flächennutzung zum Zeitpunkt 2050 abgeleitet. Es erfolgte eine Kalibrierung des Verdunstungsmodells an den Messwerten der Lysimeterstation Brandis, der Abflüsse im Gerinne von 6 Pegeln an der Parthe und eines Pegels am Schnellbach. Auf der Grundlage der Klimaprognose für das Parthegebiet bis zum Jahre 2050 sind Simulationsrechnungen durchgeführt worden. Die Kopplung von WaSiM-ETH mit dem externen Grundwasser-/Oberflächenwassermodell (GW-M) PCGEOFIM© basiert auf der monatlichen Übergabe der flächenkonkreten Grundwasserneubildungsrate an das GW-M und des daraus berechneten Grundwasserstandes an WaSiM-ETH. Die Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Grundwasserstände für 1980-2003 ist zufriedenstellend, die simulierten Abflüsse am Pegel Thekla sind im Schnitt 9 % geringer als die gemessenen. Weitere Verbesserungen der Parametrisierung sowie eine weitere Kalibrierung beider Modelle sind notwendig, um belastbarere Prognoseergebnisse zur Entwicklung der Verdunstung, der Boden- und Oberflächenwasserverhältnisse, der Grundwasserneubildungsraten sowie der Grundwasserstände im Untersuchungsgebiet zu erhalten. Insbesondere sind entsprechende Modifizierungen an WaSiM-ETH durchzuführen, um die Kopplung mit einem externen GW-M auf eine verbesserte Grundlage zu stellen.	
16. Schlagwörter, Deskriptoren Bodenwasserhaushalt, Simulationsmodell, WaSiM-ETH, Parthe-Einzugsgebiet, Szenariorechnungen	

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	10
2	Aufgabenstellung.....	10
3	Datenübernahme.....	11
3.1	Geobasis- und Landnutzungsdaten.....	11
3.2	Meteorologie und Lysimeterergebnisse.....	11
3.3	Forst und Landwirtschaft.....	11
3.4	Pegel.....	12
3.5	Sonstige Daten.....	12
4	Theoretische Grundlagen des Modells WaSiM-ETH.....	12
4.1	Einleitung und Definitionen.....	12
4.2	Modellkomponenten.....	13
4.2.1	Übersicht.....	13
4.2.2	Preprocessing.....	14
4.2.3	Teilmodule des Modells.....	15
4.2.4	Bodenmodell.....	17
4.2.5	Güte der Modellierung.....	19
5	Modellaufbau.....	20
5.1	Grundlagen.....	20
5.1.1	Untersuchungsgebiet.....	20
5.1.2	Zellgröße.....	20
5.1.3	Parameterdateien.....	20
5.1.4	Datenvorbereitung.....	20
5.2	Grids.....	20
5.2.1	DGM.....	20
5.2.2	Flächennutzung.....	21
5.2.3	Boden und Geologie.....	27
5.3	Meteorologie.....	30
5.3.1	Datenvorbereitung.....	30
5.3.2	Regionalisierung.....	31
5.4	Parametrisierung.....	31
5.4.1	Quellen.....	31
5.5	Flächennutzung im Jahr 2050 (Prognose).....	32
5.5.1	Waldmehrung.....	32
5.5.2	Allgemeiner Flächenverbrauch/Versiegelung.....	35
5.5.3	Landwirtschaftliche Nutzung.....	37
5.5.4	Parametrisierung der Landwirtschaftsflächen.....	38
6	Meteorologische Bedingungen im Untersuchungsgebiet.....	39
7	Kalibrierung 1980-2003.....	47
7.1	Anpassung der modellierten Verdunstungshöhen an die Lysimetermessungen.....	47
7.1.1	Allgemeines.....	47
7.1.2	Wintergetreide.....	47
7.1.3	Zuckerrüben.....	50
7.1.4	Futtergras und Futterklee.....	52
7.1.5	Kartoffeln.....	53
7.1.6	Grünbrache.....	56
7.1.7	Dauergrünland.....	57
7.1.8	Sommergetreide.....	57
7.2	Anpassung der modellierten Abflüsse in den Teileinzugsgebieten (TE).....	59
7.2.1	Allgemeines.....	59
7.2.2	Großbardau (Schnellbach).....	59
7.2.3	Glasten (Parthe).....	61
7.2.4	Pomßen (Parthe).....	64
7.2.5	Thekla (Parthe).....	65

7.3	Gesamtfläche - Abflüsse an den Pegeln	69
8	Berechnungen 1980-2003 und Prognose 2004-2050	73
8.1	Klimatische Wasserbilanz	73
8.2	Reale Evapotranspiration (ETR)	80
8.3	Bodenwasservorräte	85
8.4	Abflüsse.....	89
8.4.1	Oberflächenwasser	89
8.4.2	Landoberflächenabfluss, Interflow und Basisabfluss	93
8.5	Grundwasserneubildungsrate (WaSiM-ETH)	97
8.6	Grundwasserflurabstand (WaSiM-ETH).....	101
9	Modellkopplung PCGEOFIM – WaSiM-ETH.....	103
9.1	Methodik der Kopplung PCGEOFIM/WaSiM-ETH.....	103
9.2	Probleme bei der Kopplung PCGEOFIM/WaSiM-ETH	103
9.2.1	Berechnung der Grundwasserneubildung.....	103
9.2.2	Oberflächenlandabfluss und Interflow	106
9.3	Kalibrierung des Modells PART2004/WaSiM-ETH.....	106
9.4	Schlussfolgerungen zur Modellkopplung.....	110
10	Sensitivitätsanalyse	111
11	Bilanzbetrachtungen.....	113
12	Zusammenfassende Ergebnisse und Schlussfolgerungen	114
13	Literatur.....	118

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Waldtypen im Parthegebiet.....	22
Tabelle 2:	Weitere forstliche Nutzungen	23
Tabelle 3:	Flächeninhalt forstlicher Nutzung.....	23
Tabelle 4:	Flächenentwicklung Ackerbau Parthegebiet.....	24
Tabelle 5:	Prozentuale Belegung der Landwirtschaftflächen in ausgewählten Gemeinden.....	24
Tabelle 6:	Landwirtschaftliche Nutzung im Parthegebiet.....	25
Tabelle 7:	Zusammenstellung Flächennutzung Zeitschnitt 1992 (Basis: CIR).....	25
Tabelle 8:	Waldtypen Parthegebiet 1992 und Prognose 2050	34
Tabelle 9:	Zusammenstellung der Flächennutzungsänderungen.....	37
Tabelle 10:	Zusammenstellung landwirtschaftliche Anbauanteile	38
Tabelle 11:	Langjährige Monatsmittelwerte der Niederschläge und Tagestemperaturen im UG	39
Tabelle 12:	Schwankungsbreite der mittleren monatlichen Niederschlagssummen	40
Tabelle 13:	Langjährige Monatsmittelwerte des Niederschlags je Dekade	41
Tabelle 14:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Winterweizen (Modell: ETR +EI) 1988.....	47
Tabelle 15:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Zuckerrüben (Modell: ETR + EI) 1981	50
Tabelle 16:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Zuckerrüben (Modell: ETR +EI) 1990	50
Tabelle 17:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Futter (Modell: ETR + EI) 1984	52
Tabelle 18:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Futter (Modell: ETR + EI) 1995	52
Tabelle 19:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Kartoffeln (Modell: ETR + EI) 1985	53
Tabelle 20:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Kartoffeln (Modell: ETR + EI) 1987	54
Tabelle 21:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Grünbrache (Modell: ETR + EI) 1993	56
Tabelle 22:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Grünbrache (Modell: ETR + EI) 1994	56
Tabelle 23:	Vergleich der Verdunstungshöhen für Sommergetreide (Modell: ETR + EI) 1997.....	58
Tabelle 24:	Abflussanteile Pegel Parthe, Monatsmittel, Simulationsergebnisse	63
Tabelle 25:	Abflussanteile Pegel Thekla	67

Tabelle 26:	Jahresmittelwerte Abflüsse Pegel Thekla (Messung und Simulation).....	72
Tabelle 27:	Abflüsse an den Pegeln 1986.....	73
Tabelle 28:	Monatsmittel der KWB je Dekade.....	77
Tabelle 29:	Mittlere jährliche Verdunstungshöhen in den Dekaden.....	81
Tabelle 30:	ETR für Flächennutzungsarten, Dekaden und Flächennutzungsszenarios.....	82
Tabelle 31:	Bodenfeuchtigkeit in der Wurzelzone, nFK [1/1].....	88
Tabelle 32:	Gesamtmittelwerte und Tagesminima und -maxima Bodenwassergehalte.....	89
Tabelle 33:	Hauptzahlen Durchflüsse Pegel Thekla, FN92.....	89
Tabelle 34:	Hauptzahlen Durchflüsse Pegel Thekla, FN2050.....	92
Tabelle 35:	Direktabfluss im Parthe-Einzugsgebiet, FN92.....	93
Tabelle 36:	Interflow im Parthe-Einzugsgebiet, FN92.....	94
Tabelle 37:	Basisabfluss im Parthe-Einzugsgebiet, FN92.....	94
Tabelle 38:	Direktabfluss im Parthe-Einzugsgebiet, FN2050.....	95
Tabelle 39:	Interflow im Parthe-Einzugsgebiet, FN2050.....	95
Tabelle 40:	Basisabfluss im Parthe-Einzugsgebiet, FN2050.....	95
Tabelle 41:	Zusammenstellung der Abflusskomponenten im Parthe-Einzugsgebiet, FN92 und FN2050.....	96
Tabelle 42:	Abflüsse auf Landwirtschafts- und Siedlungsflächen.....	96
Tabelle 43:	Langjährige Mittelwerte der GWN im Parthegebiet [mm].....	97
Tabelle 44:	Online-Kopplung PCGEOFIM/WaSiM-ETH.....	103
Tabelle 45:	Bilanzen 1984-1986 und 1994-1996.....	113
Tabelle 46:	Bilanzen 1981-2050 (Dekadenwerte).....	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Der Aufbau des Modells (aus SCHULLA & JASPER, 1998).....	14
Abbildung 2:	DGM und Expositionsverhältnisse im UG.....	21
Abbildung 3:	Einzugsgebiete, Fließkonzentration und Fließzeitschema im UG.....	21
Abbildung 4:	Niederschläge und Lufttemperaturen in Abhängigkeit von der Höhenlage der Stationen im Parthegebiet 1980-2003).....	31
Abbildung 5:	Waldmehrungsfläche Glasten.....	33
Abbildung 6:	Waldmehrungsfläche westlich Belgershain (Legende vgl. Abbildung 5).....	34
Abbildung 7:	Wald- und Siedlungsflächenvergrößerung südlich Grimma (Legende vgl. Abbildung 5).....	36
Abbildung 8:	Änderung der Flächennutzung bis 2050.....	37
Abbildung 9:	Klimadiagramm 1980-2003.....	39
Abbildung 10:	Klimadiagramm 2004-2050.....	40
Abbildung 11:	Monatliche Niederschläge im Zeitraum 1980-2019.....	42
Abbildung 12:	Monatliche Niederschläge im Zeitraum 2020-2050.....	43
Abbildung 13:	Jahresniederschläge im Parthegebiet.....	44
Abbildung 14:	Niederschlagsverteilung im Gesamtgebiet, 7 Einzelbilder 1980-2050 und Legende vgl. S. 45.....	44
Abbildung 15:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 5, Wintergetreide 1988.....	48
Abbildung 16:	Differenzen zwischen gemessener und modellierter Verdunstung, Wintergetreide 1988.....	49
Abbildung 17:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Wintergetreide 1988.....	49
Abbildung 18:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 11, Zuckerrübe 1981.....	51
Abbildung 19:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Zuckerrübe 1990.....	51
Abbildung 20:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Futtergras 1984.....	53

Abbildung 21:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Kartoffeln 1985	54
Abbildung 22:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Kartoffeln 1987	55
Abbildung 23:	Gemessene und modellierte (WaSiM-ETH und BOWAM) Verdunstung, Lysimeter 7, Kartoffeln 1996	55
Abbildung 24:	Gemessene und modellierte (WaSiM-ETH und BOWAM) Verdunstung, Lysimeter 7, Grünbrache 1993	57
Abbildung 25:	Gemessene und modellierte Verdunstung, Lysimeter 9, Sommergetreide 1997	58
Abbildung 26:	Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Zonengrid TE Großbardau: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)	59
Abbildung 27:	Anpassung der Abflüsse am Pegel Großbardau 1986	60
Abbildung 28:	R ² -Werte von drei Simulationsergebnissen Großbardau	61
Abbildung 29:	Anpassung der Abflüsse am Pegel Glasten 1986	62
Abbildung 30:	Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Einzugsgebietsgrid TE Glasten ca. 1:50 000: Unterteileinzugsgebiete (rechts)	62
Abbildung 31:	Anteile der Abflussarten Pegel Glasten 1980-2003, Simulationsergebnisse	63
Abbildung 32:	Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte), Einzugsgebietsgrid TE Pomßen ca. 1:200 000: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)	64
Abbildung 33:	Anpassung der Abflüsse am Pegel Pomßen 1986	64
Abbildung 34:	R ² -Werte der Simulationsergebnisse Pomßen	65
Abbildung 35:	Geländemodell (links), Gesamtlegende zum DGM (Mitte,) Einzugsgebietsgrid TE Thekla ca. 1:400 000: Unterteileinzugsgebiete, Routingstrecken (rechts)	66
Abbildung 36:	Anpassung der Abflüsse im TE Thekla, Pegel Thekla 1986	66
Abbildung 37:	Anteile der Abflussarten Pegel Thekla, langjährige Monatsmittel 1980-2003, Simulationsergebnisse	67
Abbildung 38:	Anteile der Abflussarten Pegel Thekla in den Jahren 1980-2003, Simulationsergebnisse	68
Abbildung 39:	Abflüsse am Pegel Thekla 1986	69
Abbildung 40:	Abflüsse an den Pegeln Großbardau und Pomßen 1986	70
Abbildung 41:	Anpassungsgüte R ² Gesamtgebiet (Abszisse: Zeitschritte, Ordinate: R ² -Werte)	71
Abbildung 42:	Niederschläge (Gesamtgebiet) und Abflüsse Pegel Thekla 1980-1997	72
Abbildung 43:	Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz, Mittelwert über UG	73
Abbildung 44:	Monatsmittel von KWB; Niederschlag und Lufttemperatur Zeiträume 1980-2003 und 2004-2050	74
Abbildung 45:	Monatssummen der KWB in ausgewählten Dekaden	75
Abbildung 46:	Mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz im UG (Legende vgl. S. 79)	78
Abbildung 47:	Jährliche ETR und Niederschläge im UG	80
Abbildung 48:	Mittlere Monatssummen ETR, beide Flächennutzungsvarianten	81
Abbildung 49:	ETR auf Lysimetern und WaSiM-ETH-Ergebnisse für Landwirtschaftsflächen	82
Abbildung 50:	Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92	83
Abbildung 51:	Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92 und FN2050	84
Abbildung 52:	Mittlere jährliche reale Evapotranspiration im UG, FN92 und FN2050	84
Abbildung 53:	Bodenwassergehalte (Anteil (1/1) der nFK) in der Wurzezone und der gesamten ungesättigten Zone 1980–2050	85
Abbildung 54:	Jahresmittel der Bodenwassergehalte (Anteil (1/1) der nFK) in der Wurzezone und der gesamten ungesättigten Zone 1980-2050	86
Abbildung 55:	Monatsmittel der Bodenwassergehalte (Anteil (1/1) der nFK)	87
Abbildung 56:	Monatliche Schwankungsbreiten der Bodenwassergehalte (Anteil (1/1) der nFK)	87
Abbildung 57:	Hauptzahlen Durchflüsse Pegel Thekla, 1980-1990, FN92	91
Abbildung 58:	Hauptzahlen Durchflüsse Pegel Thekla, 2041-2050, FN92	91
Abbildung 59:	Hauptzahlen Durchflüsse Pegel Thekla 2041-2050, FN92 und FN2050	93

Abbildung 60:	Basisabfluss, FN92, 1991-2000 und 2041-2050	94
Abbildung 61:	Q_{Direkt} auf LW-Flächen FN92 und FN2050.....	97
Abbildung 62:	Jährliche Grundwasserneubildungsrate, FN92 und FN2050.....	98
Abbildung 63:	Monatliche Grundwasserneubildungsrate, FN92 und FN2050.....	99
Abbildung 64:	GWN 1991-2000, FN92	100
Abbildung 65:	GWN 2041-2050, FN92 und FN2050 (Legende vgl. Abbildung 64)	100
Abbildung 66:	GW-Flurabstände TE Thekla, FN92 und FN2050.....	101
Abbildung 67:	GW-Stand (Grid) und Isohypsen, 01.01.2004	102
Abbildung 68:	Grundwasserneubildung und Grundwasserflurabstand im August 1982 nach WaSiM-ETH (gelb: $GWN \leq -1$ mm/Mon, grau: -1 mm/Mon $< GWN < 1$ mm/Mon, zyan: $GWN \geq 1$ mm/Mon, Isolinien: Grundwasserflurabstand [m])	104
Abbildung 69:	Ausschnitt aus dem von WaSiM-ETH genutzten digitalen Geländemodell	105
Abbildung 70:	Oberflächenlandabfluss und Interflow am Pegel Thekla	106
Abbildung 71:	Messstelle 47410222.....	107
Abbildung 72:	Berechnete Grundwasserneubildung Modell PART2004/WaSiM-ETH.....	108
Abbildung 73:	Berechnete Grundwasserneubildung Modell PART2004/Lysimeter	109
Abbildung 74:	Vergleich der mit dem Modell PART2004/Lysimeter (durchgezogene Linien) und PART2004/WaSiM-ETH- ETH (gestrichelte Linien) berechneten Grundwasserstände im GW 1.5, GWL 1.6 und GWL 1.7 am 01.01.2004.....	110
Abbildung 75:	Erhöhung der ETR bei Verringerung von R_{sc}	111
Abbildung 76:	Abflüsse Pegel Glasten, unterschiedliche Entwässerungsdichten (verschiedene Farben).....	112
Abbildung 77:	Bilanz Niederschlag, ETR und Abfluss	113

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtsplan; oberirdische Teileinzugsgebiete mit Durchflusspegeln des Oberflächenabflusses, Maßstab 1:50 000
- Anlage 2: Übersichtsplan; digitales Geländemodell (DGM) Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 3: Geologie, Maßstab 1:50 000
- Anlage 4: Flächennutzung, aus CIR abgeleitet, Stand 1992; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 5: Flächennutzung, Prognose, Stand 2050; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 6: Waldnutzungen, aus CIR abgeleitet, Stand 1992; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 7: Landwirtschaftliche Nutzflächen und Fruchtfolgen, aus CIR und Feldblöcken abgeleitet, Stand 1992; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 8: Waldnutzungen, Prognose 2050, Stand 2004; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 9: Landwirtschaftliche Nutzflächen und Fruchtfolgen, Prognose für 2050, Stand 2004; Rasterweite 125 m, Maßstab 1:50 000
- Anlage 10: Leitprofile der geologischen Einheiten
- Anlage 11: landuse- und soil-tables für WaSiM-ETH
- Anlage 12: Steuerdateien für WaSiM-ETH
- Anlage 13: Kalibrierung der Kopplung PCGEOFIM/WaSiM-ETH
- Anlage 14: Grundwasserstände an GWMS 2004-2050, FN92
- Anlage 15: Grundwasserstände an GWMS 2004-2050, FN2050
- Anlage 16: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Grundwassergleichen 01.01.1984, Maßstab 1:50 000
- Anlage 17: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Grundwassergleichen 01.01.1994, Maßstab 1:50 000
- Anlage 18: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Grundwassergleichen 01.01.2004, Maßstab 1:50 000
- Anlage 19: Grundwassergleichen, Vergleich der Modellierungsergebnisse von WaSiM-ETH- und PCGEOFIM, 01.01.2004, Maßstab 1:50 000
- Anlage 20: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Flächennutzungsszenario FN92, Grundwassergleichen Prognose 2025 und 2050, Maßstab 1:50 000
- Anlage 21: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Flächennutzungsszenario FN2050, Grundwassergleichen Prognose 2025 und 2050, Maßstab 1:50 000
- Anlage 22: WaSiM-ETH-Modellierungsergebnisse, Vergleich der Flächennutzungsszenarien FN92 und FN2050, Grundwassergleichen Prognose 2050, Maßstab 1:50 000

Abkürzungsverzeichnis

AG	Auftraggeber
AN	Auftragnehmer
BWH-M	Bodenwasserhaushaltsmodell
BZT	Bestandeszieltyp
CIR	Colorinfrarot(-Kartierung)
DGM	digitales Geländemodell
ETP	Potenzielle Evapotranspiration
ETR	Reale Evapotranspiration
FN	Flächennutzung(-sszenario)
GWL	Grundwasserleiter
GW-M	Grundwassermodell
GWN	Grundwasserneubildungsrate
HN	Höhennormal
HQ	höchster Durchflusswert gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
IBGW	Ingenieurbüro für Grundwasser GmbH, Leipzig
IDW	Inversdistanzwägung
kf	gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
KWB	Klimatische Wasserbilanz
LfL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
LFP	Landesforstpräsidium Sachsen
LFQ	Lithofascieskarte Quartär
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
MQ	Mittlerer Durchflusswert gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
MHQ	Mittlerer höchster Durchflusswert gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
MNQ	Mittlerer niedrigster Durchflusswert gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
mm/Mon	Niederschlag pro Monat
NQ	Niedrigster Durchflusswert gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
nFK	nutzbare Feldkapazität
P	Niederschlag
pF	dekadischer Logarithmus der Wasserspannung
PWP	permanenter Welkpunkt
Q	Durchfluss
TE	Teileinzugsgebiet
UBG	Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft
UG	Untersuchungsgebiet
WG	Wassergehalt

1 Zusammenfassung

Wir legen hiermit die zusammengefassten Arbeitsergebnisse zum F & E-Vorhaben "Parametrisierung, Anpassung und Kalibrierung des Bodenwasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH für das Einzugsgebiet der Parthe sowie Berechnung von zwei Landnutzungsszenarien auf Grundlage der Klimaprognose von Sachsen" vor.

Für dieses Gebiet baute der AN das Bodenwasserhaushaltsmodell (BWH-M) WaSiM-ETH (Basis: Richards-Gleichung und angeschlossenes Grundwassermodell) auf, parametrisierte und kalibrierte es. Als Grundlagenkarten entstanden ein DGM, eine geologische Karte mit 18 geologischen Einheiten und 166 Untereinheiten (mit 166 geologischen Normalprofilen) und Flächennutzungskarten mit Stand 1992 und 2050 (Prognosekarte).

Es erfolgte eine Kalibrierung des Verdunstungsmodells an den Messwerten der Lysimeterstation Brandis sowie der berechneten Abflüsse im Gerinne an den Pegelmesswerten von 6 Pegeln an der Parthe sowie dem Schnellbach für den Zeitraum 1980 bis 2003.

Für den Prognosezeitraum 2004 bis 2050 standen die Klimadaten der Klimaprognose von Sachsen zur Verfügung.

Es konnten Ableitungen zur Entwicklung der Niederschlags- und Temperaturverhältnisse, zur Prognose der klimatischen Wasserbilanz, der ETR, der Grund- und Bodenwasserverhältnisse sowie der Abflüsse in den Vorflutern getroffen werden.

Die Kopplung des BWH-M mit dem externen Grundwassermodell PCGEOFIM basierte auf einer monatlichen Übergabe der Grundwasserneubildungsrate an das GW-Modell und des daraus berechneten Grundwasserstandes an WaSiM-ETH. Die Übereinstimmung der gemessenen und simulierten Grundwasserstände für 1980-2003 ist zufriedenstellend, die simulierten Abflüsse am Pegel Thekla sind im Schnitt rd. 9 % geringer als die gemessenen. Weitere Verbesserungen der Parametrisierung sowie eine weitere Kalibrierung beider Modelle sind notwendig.

Im Verlaufe des F & E-Projektes stellten sich einige Eigenschaften von WaSiM-ETH heraus, die für die Aufgabenstellung des Projektes ungünstig waren:

- Programm war mit Bodentabelle 2 nicht lauffähig (Berücksichtigung eines Bodenprofils pro geologischer Einheit),
- Grundwasserneubildungsrate ist im Modell bilanziert und stellt deshalb in ihrer Höhe nicht die benötigte treibende Variable des externen Grundwassermodells dar,
- die gerouteten Abflüsse waren nicht an den einzelnen Flussabschnitten abrufbar.

Für eine weitere Verwendung von WaSiM-ETH im Rahmen einer Kopplung mit einem externen GW-Modell ist das BWH-M zu modifizieren.

2 Aufgabenstellung

Die für Sachsen bis 2050 prognostizierten Klimaveränderungen waren zur Grundlage zu nehmen, eventuell von ihnen abhängige Veränderungen im Wasser- und Stoffhaushalt des geologischen Untergrundes abzuschätzen (Klimaprognose für Sachsen bis 2050; KliWEP).

Für das definierte Einzugsgebiet der Parthe im mitteldeutschen Tiefland war das Bodenwasserhaushaltsmodell (BWH-M) WaSiM-ETH anzupassen, zu parametrisieren und für den Zeitraum von 1980 bis 2003 zu kalibrieren, damit für den Prognosezeitraum bis 2050 mit zu erstellenden prognostischen Landnutzungsszenarien die Bodenwasserhaushalts- sowie Oberflächenwasser- und Grundwassersituation im Gebiet abgeschätzt werden können.

Im Rahmen dieses F & E-Vorhabens war weiterhin die Online-Kopplung des Bodenwasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH mit dem Grundwassermodell (GW-M) PCGEOFIM© herzustellen, indem die Grundwasserstände zeitschrittweise an das BWH-M übergeben und von diesem die Grundwasserneubildungsraten übernommen werden.

Im Ergebnis der Kalibrierungen, Prognoserechnungen und Modellkopplungen waren folgende Schwerpunkte zu erläutern:

- Höhe der realen Verdunstung, Inanspruchnahme der Bodenwasservorräte unter verschiedenen Landnutzungsbedingungen und geologischen Bedingungen,

- Verlauf der einzelnen Abflusskomponenten an den Oberflächenwassermessstellen,
- Grundwasserstandsentwicklung und –vorratsveränderungen in den Grundwasserleitern unter dem Einfluss der veränderten Klimabedingungen.

3 Datenübernahme

3.1 Geobasis- und Landnutzungsdaten

Am 10.06.2004 wurden die Biotoptypen- und Landnutzungskartierung Sachsens (CIR) sowie die IRS-1C-Daten vom Auftraggeber (AG) an den Auftragnehmer (AN) übergeben.

Mit Datum vom 21.06.2004 übergab der AG folgende Geobasisdaten:

RD25 (Rasterdaten 1:25 000):

- ATKIS ®-DLM25 (Digitales Landschaftsmodell)
- ATKIS ®-DGM25 (Digitales Geländemodell der Qualitätsstufe 2)

in der räumlichen Ausdehnung der Blätter 4540-4542; 4640-4642; 4740-4742; 4840-4842.

3.2 Meteorologie und Lysimeterergebnisse

Der AG stellte die "CliSax-Daten 1980-2003" für die Station Leipzig-Schkeuditz wie folgt zur Verfügung:

- Lufttemperatur, Globalstrahlung, rel. Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, ETP: 01.01.1981 – 31.12.2000
- Niederschläge: 01.01.1981-31.08.1998.

Die Klimadaten sowie die Lysimeterergebnisse der Lysimeterstation Brandis (1980-2003) wurden von der Station (UBG, FB 31) zur Verfügung gestellt, ebenso wie die Beschreibung der phänologischen Entwicklung der Pflanzenbestände auf den Lysimetern (1981-1999) und die gemessenen Niederschlagshöhen für die Messstationen im Parthegebiet (01.01.1980-24.03.2003, z. T. 01.11.1981-31.08.2003 (Glasten, Naunhof, Pomßen) bzw. 01.11.1981-17.09.1993 (Fuchshain)):

- Ammelshain
- Ballendorf
- Beiersdorf
- Bernbruch
- Brandis
- Grethen
- Großbardau
- Großsteinberg
- Jesewitz
- Rohrbach
- Sermuth
- Threna
- Glasten
- Naunhof
- Pomßen

Für die oben genannten Stationen (außer für Pomßen) übergab der AG folgende "WEREX-Daten 2001-2050" für das Parthegebiet (02.08.2004):

Lufttemperatur, Sonnenscheindauer, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Niederschläge.

3.3 Forst und Landwirtschaft

Waldgeometrien sind vom Landesforstpräsidium (LFP) nicht übergeben worden. Ohne Schaden für das Projekt wurden stattdessen für die Festlegung der Forst- und Waldflächen die Ergebnisse der CIR-Kartierung verwendet.

Die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) übergab folgende Daten:

- Geometrien der Feldblöcke im Parthegebiet
- prozentuale Verteilung der angebauten Feldfruchtarten pro Gemeinde (1994-2003) sowie voraussichtliche Anteile der Feldfruchtarten zum Zeitpunkt des Jahres 2050

3.4 Pegel

Wasserstände [cm] und Abflüsse [m³/s] erhielt der AN für die folgenden Pegel (vollständige Datensätze):

Pegel	Gewässer	Kurzbezeichnung
– Thekla	Parthe	
– Naunhof	Parthe	-S03
– Pomßen	Parthe	-S1 und S2
– Großsteinberg	Gladegraben	-M6
– Großbardau	Schnellbach	-S13
– Glasten	Parthe	-S16

3.5 Sonstige Daten

Drainagen: Keine Datenübergabe durch den Auftraggeber.

(Die Nichtberücksichtigung der durch die Drainagen aus dem Bodenbereich abgeführten infiltrierten Wasser wird in der Simulation mit dem BWH-M eine etwas größere GWN ergeben als es für diese Flächen faktisch der Fall sein dürfte. Da die Größe der drainierten Flächen nicht bekannt ist, kann der Grad der Abweichungen für die Gesamtfläche nicht abgeschätzt werden.)

Überleitung gereinigter Abwässer: Jahresberichte von Abwassereinleitungen in die Parthe:

- Kläranlage Naunhof 1997-1999
- Übergangskläranlage Panitzsch 1998-1999
- Verbandskläranlage Parthe 1999-2003

(Für die Zeiten vor und nach den übergebenen Daten wurde eine niederschlagsabhängige Regression als Grundlage für die in das Programm eingespeisten Werte benutzt.)

Grundwasserförderung im Wasserwerk Naunhof: Geförderte Jahressummen der Wasserwerke Naunhof 1 und 2 aus den Jahren 1997 bis 2003.

(Für die Simulationen mit WaSiM-ETH sind für die Zeiten vor und nach den Übergabewerten die vom Modell PART (PCGEOFIM) verwendeten Werte übernommen bzw. angepasst worden (Übergabe von IBGW, 02.09.2004 und 12.10.2004.)

4 Theoretische Grundlagen des Modells WaSiM-ETH

4.1 Einleitung und Definitionen

Das numerische Modell WaSiM-ETH ist ein deterministisches, flächendifferenziert arbeitendes hydrologisches Einzugsgebietsmodell zur Simulation des Wasserkreislaufs auf und unter der Landoberfläche. Das Modell ist eine Kombination aus physikalisch basierten und konzeptionellen Prozessbeschreibungen.

Das zu modellierende reale System wird durch geometrische und stoffliche Systemparameter beschrieben und steht mit der Umgebung über die über die Systemgrenzen wirkenden Ein- und Ausgangsgrößen, die Randbedingungen, in Wechselwirkung. Das heißt, es ist offen. Das Modellgebiet in WaSiM-ETH schließt vertikal die Vegetationsdecke, den verdunstungsrelevanten Boden sowie eine nicht eindeutig abgrenzbare Schicht des tieferen Bodens bzw. des geologischen Unterbaus ein (bei der Benutzung des angeschlossenen Grundwassermodells umfasst sie den gesamten obersten Grundwasserleiter). Die Obergrenze des Systems bildet in der schneefreien Zeit die Vegetationsschicht bzw. bei fehlender Vegetation der Boden, die Bebauung oder das anstehende Gestein. Ist eine Schneedecke vorhanden, bildet diese die Obergrenze des Systems. In horizontaler Richtung wird

es durch die Einzugsgebietsgrenzen begrenzt. In natürlichen Systemen sind diese Grenzen nicht absolut, sie sind weder für Stoff- noch für Energieflüsse undurchlässig. Diese Flüsse werden wegen ihrer Größenordnung oder aufgrund ausgleichender Flüsse in WaSiM-ETH vernachlässigt. Dazu gehören die Tiefenversickerung, die im Allgemeinen für die Abflussbildung nicht mehr wirksam ist, und die Speicherung von Wasser in Flora und Fauna (weitere Informationen in SCHULLA, 1997).

Die räumliche Verteilung der physiographischen Gebietseigenschaften wird in WaSiM-ETH durch die Einteilung des Einzugsgebiets in ein regelmäßiges Gitter berücksichtigt. Das Modell ist in der Lage, die Abflüsse von Einzugsgebieten mit Größen von <1 km² bis zu mehreren 10.000 km² zu berechnen. Zusätzlich kann das Einzugsgebiet in beliebig viele verschiedene TE gegliedert werden. Deren Grenzen orientieren sich ebenfalls an dem Gitter. Einschränkungen ergeben sich aus den Gültigkeitsbereichen der verwendeten Teilmodelle. Das Gitterformat birgt den Vorteil, dass die Daten leicht mit vielen verschiedenen anderen Modellen und Softwarepaketen ausgetauscht werden können. Die Eingangsdaten können meist schnell und ohne Genauigkeitsverlust an die gewünschte Modellauflösung angepasst werden.

Die meteorologischen Daten werden während des Modelllaufs für jede einzelne Zelle des Gitters interpoliert. Für jede Gitterzelle werden daraufhin folgende hydrologischen Prozesse simuliert (verändert nach SCHULLA, 1997):

- Schnee-Entwicklung (Akkumulation, Schmelze, Verdunstung)
- Interzeption
- Infiltration bzw. Bildung von Oberflächenabfluss durch Infiltrationsüberschuss
- Speicherung des Wassers in der durchwurzelten Bodenzone
- Entnahme von Wasser durch Evapotranspiration
- Versickerung infiltrierten Wassers und kapillarer Aufstieg in Feuchtgebieten als Ausgleich von Verdunstungsverlusten durch oberflächennahes Wasser
- Sättigungsflächenabfluss
- vertikale Wasserbewegungen in der Bodenzone (Zwischenabfluss, Grundwasserabfluss).

Der auf den einzelnen Gitterzellen gebildete Oberflächenabfluss wird anhand eines Fließzeitschemas dem Gerinne zugeführt. Die Abflusskonzentration bis zum Teilgebietsauslass erfolgt anhand von Einzellinearspeichern getrennt für die Abflusskomponenten Direktabfluss, Interflow und Basisabfluss. Der weitere Weg des Abflusses im Gewässernetz vom Pegel des Gesamteinzugsgebietes wird durch ein Abflussrouting beschrieben.

4.2 Modellkomponenten

4.2.1 Übersicht

Im sog. Preprocessing erfolgt die Datenbeschaffung, die Konvertierung dieser Daten in modellkonforme Formate und die Berechnung von abgeleiteten Daten. Der zeitliche Aufwand hängt im Allgemeinen stark davon ab, wie viele Daten in welcher Auflösung benötigt werden, welche dieser Daten verfügbar sind oder wie schnell sie verfügbar gemacht werden können. Der Vorteil von WaSiM-ETH besteht darin, dass die Menge minimal benötigter Eingangsdaten relativ gering ist und dass die Eingangsdaten zu den in Behörden vorhandenen „Standarddaten“ gehören, so dass im Normalfall keine eigenen Erhebungen, Messungen oder Kartierungen benötigt werden.

Die Modellrechnung selbst erfolgt unter Nutzung der im Preprocessing bereitgestellten Daten und der vorgegebenen oder selbst recherchierten Parameter. Der Zeitaufwand für einen Modelldurchlauf hängt von der gewählten räumlichen und zeitlichen Auflösung ab und von den zu Verfügung stehenden Rechnerkapazitäten.

Nach der Modellrechnung folgt ein Postprocessing, das sich im einfachsten Fall auf eine graphische Darstellung der errechneten Ganglinie und auf Bilanzbildung beschränkt.

Abbildung 1 zeigt die einzelnen Modellkomponenten von WaSiM-ETH.

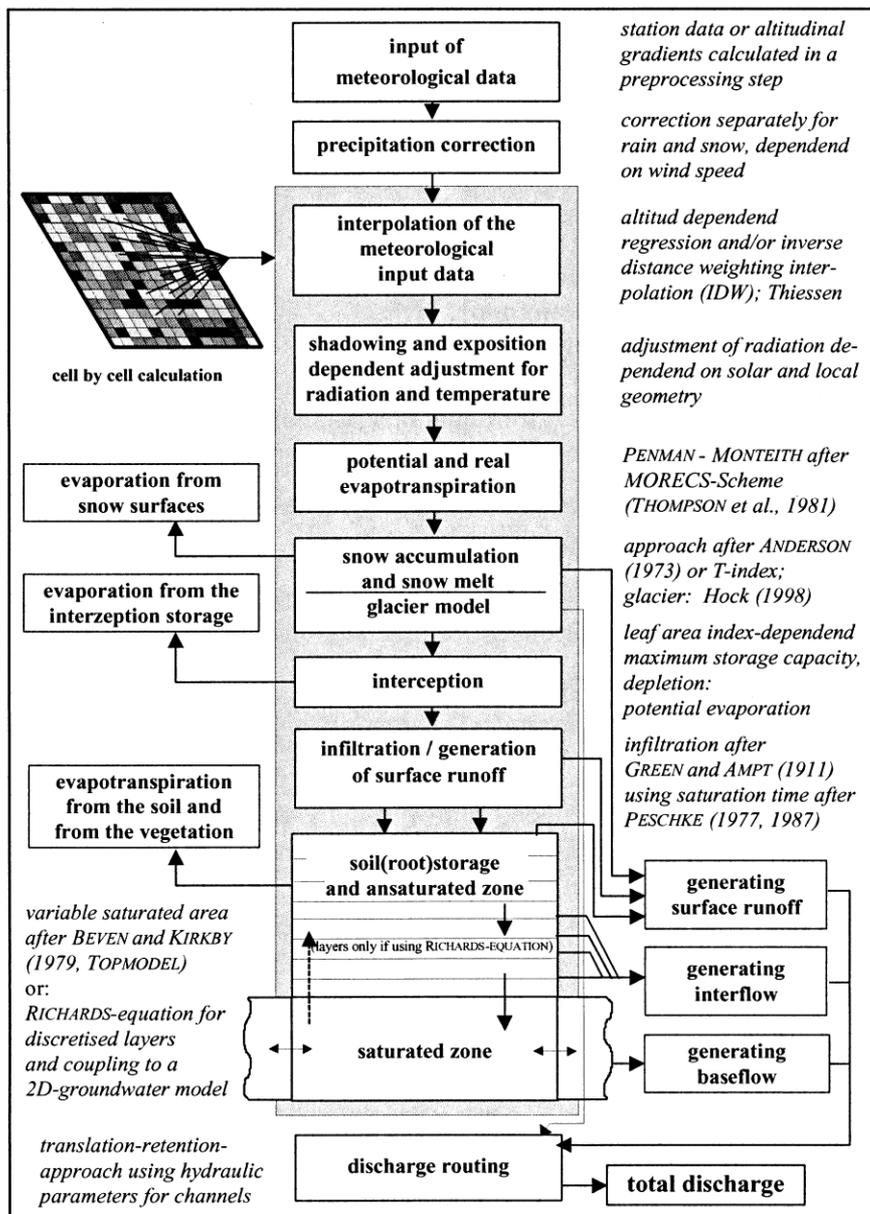


Abbildung 1: Der Aufbau des Modells (aus SCHULLA &, JASPER, 1998)

4.2.2 Preprocessing

Die Eingangsdaten, die aus verschiedenen Quellen stammen und in unterschiedlichen Datenformaten bzw. zeitlichen und räumlichen Auflösungen vorliegen, müssen an die vom Modell WaSiM-ETH geforderte Schnittstelle angepasst werden. Alle graphischen Datensätze müssen dabei bezüglich ihrer Dimensionen und Koordinaten deckungsgleich sein. Zusätzlich werden aus diesen Eingangsdaten weitere Modellparameter abgeschätzt. Die dafür erforderlichen Werkzeuge werden innerhalb des Programmpaketes zur Verfügung gestellt.

Bei den Eingangsdaten werden drei verschiedene Arten von Daten unterschieden:

- Geographische Daten
- Meteorologische Daten
- Hydrologische Daten

Geographische Daten werden benötigt, um die räumliche Struktur sowie die räumlich verteilten, zeitlich konstanten Eigenschaften des zu modellierenden Einzugsgebietes darzustellen. Dazu gehören verschiedene Boden-

daten, Landnutzungsdaten sowie als eine der wichtigsten Datengrundlagen ein digitales Höhenmodell (SCHULLA, 1997).

Durch das Programm TANALYS, das in WaSiM-ETH enthalten ist, wird eine umfangreiche topographische Analyse des digitalen Höhenmodells durchgeführt. Erzeugt werden unter anderem Datensätze für Gefälle, Exposition, Fließzeiten und Fließzeitsummen, Flusstiefen, Flussbreiten, Routingstrecken, die Einzugsgebiete und schließlich die Entwässerungsstruktur mit Gerinneparametern. Sie können ohne weitere Anpassungen im Modell verwendet werden. Man kann eigene Datensätze, z. B. gemessene Flussbreiten, nutzen und diese alternativ in das Modell integrieren. (Davon ist aber nur nach reiflicher Überlegung Gebrauch zu machen, da durch TANALYS das "System" Flussbreiten und -tiefen sehr stark auf den zu realisierenden Basisabfluss "geeicht/voreingestellt" wird.)

Mit weiteren Programmen können weitere Datensätze generiert werden, die von verschiedenen optionalen Teilmodulen benötigt werden. Ihre Funktionsweise ist in SCHULLA (1997) und SCHULLA & JASPER (1998) beschrieben

Neben den geographischen Eingangsdaten benötigt das Modell einige meteorologische Informationen. Es müssen Zeitreihen von Temperatur und Niederschlag vorhanden sein. Außerdem können gemessene Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit, Wasserdampfdruck, relative Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer genutzt werden. Die Zeitschrittweite sollte dabei an die Aufgabenstellung angepasst sein. So empfehlen sich für Hochwassermodellierung mindestens stündlich aufgelöste Daten, für Wasserhaushaltsberechnungen genügen im Allgemeinen tägliche Mittelwerte. Die Zeitreihen sollten möglichst lang sein. Besonders bei Abschätzungen der Größe und Häufigkeit von seltenen Ereignissen, aber auch bei der Bewertung von klimatischen Trends, wird eine Beobachtungsperiode von wenigstens 30 Jahren für notwendig erachtet.

Aus den Stationsdaten wird ein Höhengradient berechnet, mit Hilfe dessen WaSiM-ETH die meteorologischen Daten über den Raum interpoliert.

Die hydrologischen Daten, d. h. Abflusszeitreihen als integrale Informationen für TE oder das gesamte Einzugsgebiet, sind nicht zwingend zur Modellierung notwendig. Sie werden zur Ermittlung der Güte des Modells und zur Kalibrierung und Validierung benötigt.

4.2.3 Teilmodule des Modells

In diesem Abschnitt werden die Teilmodule behandelt, die für die Berechnung der Szenarien und für Überlegungen zur Übertragbarkeit nötig sind. Genauere Informationen auch zu den anderen Teilmodulen des Programms finden sich in SCHULLA (1997), SCHULLA & JASPER (1998) und SCHULLA & JASPER (2000).

4.2.3.1 Niederschlagskorrektur

Niederschlagsmessungen sind mit systematischen Fehlern behaftet. Der Messfehler hängt von der Windgeschwindigkeit, der Art und Intensität des Niederschlags sowie erheblich von der Umgebung des Niederschlagsmessers ab. Besonders durch den Windeinfluss fällt die Niederschlagsmessung in der Regel zu klein gegenüber dem tatsächlichen Niederschlag aus. In der meteorologischen Literatur gibt es daher für die verschiedenen Niederschlagsmessgeräte jeweils mehrere Korrekturvorschläge. Auch das Programm WaSiM-ETH hat ein Modul implementiert, mit Hilfe dessen Niederschlagswerte korrigiert werden können. Näheres kann in SCHULLA & JASPER (1998) nachgelesen werden.

Bei der Korrektur der Niederschläge ist man nicht an die im Programm vorgegebenen Verfahren gebunden. Wenn korrigierte Stationsdaten vorliegen, ist es möglich, diese Werte einzulesen.

4.2.3.2 Interpolation der meteorologischen Eingangsdaten

Die meteorologischen Eingangsdaten liegen meist als Stationswerte vor, die auf die einzelnen Zellen des Modellgitters interpoliert werden müssen. Dafür können mehrere Methoden genutzt werden:

- Höhenabhängige Regression.
- Inverse-Distance-Weighting Interpolation (IDW, abstandsgewichtete Interpolation) oder Thiessen-Polygone.
- Eine Kombination aus höhenabhängiger Regression und der IDW.

Erstere Methode bietet sich für alle Größen an, die eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit aufweisen. Dazu zählen Lufttemperatur, der Dampfdruck und die Windgeschwindigkeit. Gerade in gebirgigen Einzugsgebieten sind die höhenbedingten Änderungen dieser Größen im Allgemeinen weit wichtiger und deutlicher als die horizontalen Änderungen (SCHULLA, 1997). Auch die Globalstrahlung kann über ihre Höhenabhängigkeit interpoliert werden, wenn horizontale Änderungen über eine Kombination mit der IDW-Methode erfasst werden. Eine weitere Voraussetzung für die Interpolation der Eingangsdaten durch höhenabhängige Regression ist das Vorhandensein von mindestens drei Stationen zur Bestimmung des Höhengradienten. Das Gelände wird dabei durch das Programm in zwei oder drei Höhenabschnitte unterteilt, getrennt durch Inversionen, die jeweils eigene Regressionsgeraden für die zu interpolierenden Werte aufweisen.

Die abstandsgewichtete Interpolation geht davon aus, dass der Wert einer Messgröße an einer Interpolationsstelle durch die Entfernungen der Interpolationsstelle zu den verschiedenen Stützstellen, also den Stationsstandorten, und deren Messwerte beschrieben werden kann. Diese Annahme trifft bei genügender Messwertdichte in ausreichendem Maße z. B. auf den Niederschlag und auf die Sonnenscheindauer zu, wenn beide Größen in kurzen Zeitintervallen interpoliert werden sollen. Bei der abstandsgewichteten Interpolation können entweder die Inverse Distance Weighting Interpolation (IDW) zur Anwendung kommen oder es werden Thiessen-Polygone als Spezialfall der IDW genutzt. Der Interpolationswert bei der IDW ergibt sich aus der Summe aller beitragenden gewichteten Stützstellenwerte. Dabei können in WaSiM-ETH die Gewichtung p , eine maximale Entfernung d_{\max} , bis zu welcher Stützstellen zur Berechnung des Ergebnisses an der Interpolationsstelle herangezogen werden können, sowie zwei Parameter zur Festlegung einer Anisotropie in der räumlichen Gewichtung festgelegt werden (SCHULLA & JASPER, 1998).

In WaSiM-ETH besteht die Möglichkeit, die abstandsgewichtete und höhenabhängige Interpolation mit unterschiedlicher Gewichtung zu kombinieren. Dies hat sich vor allem für Tageswerte und ganz besonders für Wochen-, Monats- oder Jahreswerte von Niederschlag und Sonnenscheindauer als sinnvoll erwiesen.

4.2.3.3 Verdunstungsmodell

Generell wird zwischen aktueller (tatsächlicher) und potenzieller (unter den gegebenen meteorologischen Bedingungen maximal möglicher) Verdunstung unterschieden (HUPFER & KUTTLER, 1998). Zur Bestimmung der potenziellen Evapotranspiration können mehrere Ansätze genutzt werden. Sie unterscheiden sich in der Zahl ihrer Eingangparameter und in ihrer physikalischen Nachvollziehbarkeit. Es ist empfehlenswert, die Beziehung nach Penman-Monteith zu benutzen, da sie die Schwankungen über den Tag bzw. über das Jahr am besten wiedergibt. In diesem Ansatz werden zusätzlich zur klassischen Definition der potenziellen Verdunstung das spezifische Verdunstungspotential der Vegetation und der Feuchtezustand des Bodens (beides bei unbeschränkter Wasserversorgung) berücksichtigt. Die Vegetation geht in die Gleichung durch einen Blattflächenwiderstand, die effektive Wuchshöhe, die Albedo für die Landoberfläche und die Wurzeltiefen mit ein. Oberflächenwiderstand und Wurzeltiefen beziehen sich auf zu bestimmende phänologische Stützpunkte. Auf diese Weise können verschiedene Nutzungsformen berücksichtigt werden. Der ganzjährig verwendete Albedo-Wert wird während einer Simulation nur durch das Schneemodell verändert, um so das erhöhte Reflexionsvermögen einer schneebedeckten Bodenoberfläche zu berücksichtigen.

Neben dem Verfahren nach Penman-Monteith stehen im Modell auch Verfahren nach Haude, Wendling und Hamon zur Verfügung. Sie benötigen weniger Eingangparameter (Niederschlag und Lufttemperatur in allen drei Fällen, bei Wendling zusätzlich die Globalstrahlung). Sie berechnen nur die Grasverdunstung.

4.2.3.4 Schneemodell

Im Schneemodell wird die quantitative Akkumulation des Schnees sowie dessen Schmelze modelliert. Der Anteil der Schnees am Niederschlag wird im Modell anhand der Lufttemperatur, einer Grenztemperatur, bei der 50 % des Niederschlags als Schnee fallen, und der Weite dieses Übergangsbereichs zwischen Schnee und Regen berechnet. Der ermittelte feste Niederschlag wird als Schneedecke akkumuliert. In WaSiM-ETH können verschiedene Algorithmen zur Berechnung der Schneeschmelze benutzt werden: Das Temperatur-Index-Verfahren, das Temperatur-Wind-Index-Verfahren nach BRAUN (1985) und ein kombiniertes Verfahren nach ANDERSON

(1973). Letzteres stellt die Verhältnisse am genauesten dar, ist allerdings für Tageswerte entwickelt worden, so dass dieses Verfahren nur unter Vorbehalten für Stundenwerte angewendet werden sollte. Nach SCHULLA 1996 kann für Stundenwerte ohne weiteres eines der ersten beiden Verfahren verwendet werden.

4.2.3.5 Interzeptionsmodell

Interzeption ist die Speicherung von Niederschlags- und Schmelzwasser auf der Vegetation, der Streuschicht und der Geländeoberfläche. In WaSiM-ETH wird nur ein einfacher Überlaufspeicher eingesetzt, der alle Interzeptionseffekte gemeinsam berücksichtigt. Der Interzeptionsspeicher ist im Modell dem Schneespeicher nachgeordnet, so dass die Schneeschmelze über den Interzeptionsspeicher geleitet wird. So kann eine Speicherung von Schmelzwasser in Bodenmulden und in der Mulchsicht berücksichtigt werden (SCHULLA & JASPER, 1998). Die Kapazität dieses Speichers hängt von der Pflanzenart, deren jeweiligem Blattflächenindex und vom Vegetationsbedeckungsgrad ab. Auch Felsen, unbewachsener Boden und Siedlungsfläche werden zur Berücksichtigung von Benetzungsverlusten mit Parametern belegt. Bei der Modellierung wird davon ausgegangen, dass sich auf allen Oberflächen eine gleich dicke Schicht Wasser aus allen Niederschlagsformen halten kann. Die Füllung des Interzeptionsspeichers erfolgt durch Niederschlag und Schneeschmelze. Seine Ausschöpfung geschieht durch Verdunstung (potenzielle Evapotranspiration). Ist der Interzeptionsspeicher gefüllt, tropft weiteres Niederschlags- oder Schmelzwasser auf die Bodenoberfläche durch. Dieser Bestandesniederschlag bildet den Zufluss zum Infiltrationsmodell.

4.2.3.6 Infiltrationsmodell

Das Infiltrationsmodell ist in das Bodenmodell integriert und nutzt eine Reihe an Daten, die auch dort benötigt werden (u. a. Bodenfeuchte, K_s -Wert, typische Wassergehalte). Zur Beschreibung des Eindringens von Wasser in den Boden wird ein auf dem Infiltrationsmodell von GREEN UND AMPT (1911) aufbauendes sogenanntes „Zweistufenmodell für homogene Böden“ von PESCHKE (DYCK & PESCHKE, 1995) eingesetzt. In diesem Ansatz ist es möglich, diskontinuierliche Niederschläge zu verarbeiten. Das Modell setzt einen homogenen, ungeschichteten Boden voraus, bei dem der Matrixfluss gegenüber dem Makroporenfluss dominiert. Die Niederschlagsintensität wird als über das Zeitintervall konstant angenommen. Der Infiltrationsvorgang wird in zwei Phasen unterteilt: Die Sättigungsphase bei ungesättigten Verhältnissen und eine Rückgangphase bei gesättigten Verhältnissen. Das eindringende Niederschlagswasser wird im Modell als sprunghaft vorrückende Feuchtefront idealisiert. Deren Vorrücken wird vom Sättigungsdefizit und den bodenphysikalischen Kenngrößen hydraulische Leitfähigkeit des Bodens und Saugspannung an der Feuchtefront bestimmt. Diese Kenngrößen sind in der Bodentabelle des Modells aufgelistet (KATZENMAIER et al., 2000). Das Ergebnis der Berechnungen des Infiltrationsmodells ist eine Aufteilung des Niederschlags in Infiltrationsüberschuss, der zu Direktabfluss wird und infiltrierendes Wasser, das an das Bodenmodell übergeben wird. Das Wasser, das einmal zum Direktabfluss deklariert wurde, versickert nicht erneut.

4.2.4 Bodenmodell

In WaSiM-ETH kann zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Modulen zur Berechnung der (vertikalen) Abflussbildung auf und unter der Landoberfläche gewählt werden: Dem konzeptionellen Topmodel-Ansatz und dem physikalischen Ansatz mit Richards-Gleichung. Im vorliegenden Fall wurde auftragsgemäß letzterer gewählt.

Die diskretisierte RICHARDS-Gleichung hat für die Beschreibung der eindimensional vertikalen Wasserbewegung in der ungesättigten Zone folgende Form (nach SCHULLA & JASPER, 1989):

$$\frac{\Delta \Theta}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta z} = q_{in} - q_{out} \quad (1)$$

mit q_{in} = Zuflüsse in die betrachtete Bodenschicht

q_{out} = Abflüsse aus der Bodenschicht (einschließlich Interflow, Drainage) [m/s]

Ist der Boden gesättigt, so vereinfacht sich die RICHARDS-Gleichung und nimmt die Form des DARCY-Gesetzes an. Zur Bestimmung der pF-WG-Funktion (Matrixpotential-Wassergehalt) sowie der Leitfähigkeit-

WG-Funktion wird in WaSiM-ETH der Ansatz von VAN GENUCHTEN (1980) genutzt. Die hierfür notwendigen Parameter werden über Pedotransferfunktionen abgeschätzt.

Als zweite Methode können auch Messwerte für Matrixpotenzial und relative Leitfähigkeit in Abhängigkeit vom Sättigungsgrad des Bodens in Tabellenform für verschiedene Bodenarten angegeben werden. Das Modell interpoliert dann zwischen den einzelnen Messwerten. Allerdings kann hier die Hysterese zwischen Be- und Entwässerung nicht berücksichtigt werden.

Zur Beschreibung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone wird der Boden aus numerischen Gründen für jede Gridzelle in eine vom Nutzer festzulegende Anzahl von Schichten unterteilt, die im Fall von WaSiM-ETH alle mit den gleichen Bodeneigenschaften und der gleichen Mächtigkeit ausgestattet sind. Zur Lösung der Bewegungsgleichung wird ein vertikal eindimensionales Finite-Differenzen-Verfahren angewandt. Obere Randbedingung ist die berechnete Infiltrationsmenge F . Zunächst wird die Infiltrationsmenge bis zur Schicht m berechnet. Dabei kann der Interflow abgezweigt werden. Dann erfolgt die Flussberechnung. Der Interflow wird berechnet und schließlich die Infiltration aus Flüssen bzw. die Exfiltration aus dem Grundwasser in Flüsse. Exfiltration kann dabei in jeder Zelle berechnet werden, Infiltration nur an solchen Flussabschnitten, die im Modell als Routingstrecken bezeichnet sind. Diesem Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass bei hinreichend klein gewählten Teilgebieten in den Entstehungsgebieten des Abflusses in der Regel ein hydraulisches Gefälle vom Grundwasser zum Fluss besteht. Dieses Gefälle kann sich nach dieser Annahme nur in großen Stromtälern umdrehen, wenn von oberhalb große Abflussmengen in die Flussstrecke strömen (SCHULLA & JASPER, 1998). Schließlich wird über Fluss- und Gradientenrestriktionen überprüft, ob es zu Übersättigung oder Austrocknung kommen kann. Daneben werden Transpirationsentnahmen berechnet. In dem Modell können Bewässerung, Drainagen, Stauhорizonte, Überstau und der Grundwasserstand berücksichtigt werden. Außerdem werden die Grundwasserneubildung sowie der Basisabfluss als Exfiltration von Grundwasser in Oberflächengewässer modelliert.

In WaSiM-ETH sind das Modell für die ungesättigte Zone und das Grundwassermodell periodisch gekoppelt. Dadurch kann die Zeitschrittdauer im Grundwassermodell größer als im Modell der ungesättigten Zone sein. Die Kopplung erfolgt in beide Richtungen.

Daneben ist in der WaSiM-ETH-Version mit Richards-Gleichung die Möglichkeit gegeben, den Transport und die Mischung idealer Tracer zu modellieren. Es können radioaktive Zerfallsprozesse (z. B. für Tritium), Vermischungsprozesse sowie Konzentrationserhöhungen (Anreicherung) bei Verdunstung für Salze modelliert werden (SCHULLA & JASPER, 1998). Dabei wird nur advektiver Transport berechnet, Diffusion und Dispersion werden gegenüber den advektiven Komponenten als vernachlässigbar angesehen.

4.2.4.1 Abflusskonzentration und Abflussrouting

Der Basisabfluss wird für ein Teilgebiet als Mittelwert gebildet. Der Interflow wird genauso wie der Oberflächenabfluss als Summe aus schneeinternem Abfluss, Infiltrationsüberschuss und Sättigungsflächenabfluss potenziell für jede Rasterzelle gebildet. Dort wird der Interflow bereits einer Speicherwirkung unterzogen. Der Mittelwert aller Interflow-Komponenten der einzelnen Gridzellen eines Teilgebiets ist der mittlere Gebietsinterflow. Der Direktabfluss wird dagegen intervallweise zum Gebietsausfluss verschoben.

Der Oberflächenabfluss fließt nach seinem Entstehen in den einzelnen Gitterzellen dem topographischen Gefälle folgend zum nächsten Gewässerlauf und weiter bis zum Gebietsauslass. Die Dauer und der zeitliche Verlauf dieses Konzentrationsprozesses werden von Oberflächengefälle und Oberflächenrauigkeit, von der Gewässerdichte und der Größe des Gebiets beeinflusst. Die Zeitverschiebungen zwischen Entstehung des Oberflächenabflusses und seinem Durchfluss am Gebietsauslass (Translationszeit) sowie die Abflachung der Ganglinie durch Retentionseffekte auf der Landoberfläche und im Gewässernetz werden dabei berücksichtigt.

Mit Hilfe des Programmes TANALYS wurden im Preprocessing Fließzeiten von jeder Rasterzelle zum Gebiets- bzw. Teilgebietsauslass berechnet. Diese Fließzeiten pro Rasterzelle werden zu Fließzeitonen mit jeweils gleichen Fließzeiten zusammengefasst. Zu Beginn jedes Zeitschritts wird der in der jeweiligen Fließzeitzone gebildete Oberflächenabfluss in die jeweils unterhalb gelegene Zone geleitet. Nur der in der untersten Fließzeitzone befindliche Abfluss wird vom Modell nach Berechnung der Retention als Direktabfluss zu Interflow und Basisabfluss addiert, um so den Gesamtabfluss des Teilgebietes für einen Zeitschritt zu erhalten. Für die Retentionsberechnung wird der Oberflächenabfluss aus der untersten Fließzeitzone über einen Einzellinearspeicher geleitet. Am Beginn des folgenden Zeitschrittes ist die oberste Fließzeitzone leer gelaufen, während in den folgenden Zonen bereits Oberflächenabfluss auf dem Weg zum Gebietsauslass sein kann. Zum Abfluss kommt nun der im aktuellen Intervall neu gebildete Abfluss hinzu.

Das Abflussrouting selbst beschreibt den weiteren Weg des Abflusses eines TEs im Gewässernetz unten liegender TE. Es bildet die Translations- und Retentionsvorgänge im Hauptbett sowie bei Überschreiten von dessen Kapazität im Vorland nach. Dies kann besonders für die Hochwassermodellierung entscheidend sein, da sich große Unterschiede bei der Höhe und Breite des Hochwasserscheitels ergeben, wenn sich Hochwasserwellen aus verschiedenen TEn gleichzeitig oder hintereinander in das Hauptgerinne ergießen. Die Gerinneretention wird getrennt für Hauptbett und Vorland mit Hilfe von zwei Einzellinearspeichern simuliert. Dabei wird zuerst die Translation berechnet, daraufhin die Wellenabflachung - die Retention bzw. Diffusion - und schließlich werden die gerouteten Abflüsse aus unterschiedlichen Quellgebieten mit dem im Zwischengebiet selbst gebildeten Abfluss zum Gesamtabfluss des Gebiets überlagert (SCHULLA, 1997).

4.2.5 Güte der Modellierung

Um die Güte der Modellierung einschätzen zu können, werden in WaSiM-ETH mehrere Gütekriterien berechnet. Dazu sind gemessene Abflussdaten notwendig. Die modellierten Abflüsse werden mit den gemessenen verglichen. Als Gütekriterium wird das Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet. Alle Formeln wurden aus SCHULLA & JASPER (1998) übernommen.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i \varepsilon_i^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - x_i)^2}{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_i x_i \right)^2} \quad (2)$$

mit y_i = simulierter Wert (z. B. Abfluss [mm])

x_i, \bar{x} = gemessener Wert (z. B. Abfluss [mm]), mittlerer gemessener Wert

ε_i = Abweichung gemessen – modelliert ($y_i - x_i$) zum Zeitpunkt i

n = Anzahl der Intervalle, für die R^2 berechnet wird

Das Bestimmtheitsmaß setzt streng genommen normalverteilte Stichproben voraus. Abflussdaten erfüllen diese Voraussetzung meist nicht. SCHULLA (1997) schlägt vor, das Bestimmtheitsmaß in obiger Form bei der Modellierung von Hochwasser einzusetzen, da hier die Überbewertung der Abflussspitzen gegenüber Normalabfluss sinnvoll ist. Liegt der Schwerpunkt der Modellierung bei der Simulation von Niedrigwasser oder des Abflusskontinuums, muss das Bestimmtheitsmaß in eine Normalverteilung transformiert werden. Als einfachste Transformation schlägt SCHULLA (1997) die Bildung von Logarithmen vor. WaSiM-ETH berechnet beide Formen von Bestimmtheitsmaßen.

Ein weiteres Gütemaß ist die erklärte Varianz.

$$EV = 1 - \frac{\sum_i (\varepsilon_i - \mu_\varepsilon)^2}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} = 1 - \frac{\sum_i \varepsilon_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_i \varepsilon_i \right)^2}{\sum_i x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_i x_i \right)^2} \quad (3)$$

mit ε_i = Abweichung gemessen – modelliert ($y_i - x_i$) zum Zeitpunkt i

μ_ε = mittlere Abweichung der berechneten von den gemessenen Werten = $E(\varepsilon_i)$

x_i, \bar{x} = gemessener Wert (z. B. Abfluss [mm]), mittlerer gemessener Wert

n = Anzahl der Intervalle, für die EV berechnet wird

Genauso wie das Bestimmtheitsmaß gilt die erklärte Varianz eigentlich nur für normalverteilte Stichproben. Auch hier berechnet das Programm die normale und die logarithmierte Form des Gütemaßes.

Die erklärte Varianz erkennt systematische Ordinatenverschiebungen der modellierten gegenüber den gemessenen Daten und eliminiert diesen Einfluss.

Der Vergleich dieser beiden Gütemaße liefert Hinweise auf systematische Fehler.

Schließlich kann man das Modell auch mit Hilfe gemessener Parameter, die im Modell simuliert wurden, validieren. Beispiele sind die Schneedecke, die Infiltration, Bodenverhalten, Tracer, Evaporation o. ä..

5 Modellaufbau

5.1 Grundlagen

5.1.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (UG) mit einer Größe von 443,66 km² (Anlage 1) umfasst das unterirdische Einzugsgebiet der Parthe wie es im GW-M PCGEOFIM definiert ist. Es ist somit wesentlich größer als das oberirdische Einzugsgebiet bis zum Pegel Thekla (308,66 km²).

Die Verwendung des unterirdischen Einzugsgebietes ist der Beeinflussung der Grundwasserstände durch die Absenkungstrichter der Braunkohlentagebaue im südlichen Leipziger Raum bzw. dem Grundwasserwiederanstieg geschuldet.

5.1.2 Zellgröße

Die Zellgröße im Grid wurde in Abhängigkeit der entsprechenden Größen im GW-M gewählt. Das GW-M benutzt im Allgemeinen eine Zellgröße von 500 m x 500 m, die sich aber in 2 Lupenbereichen über 250 m x 250 m bis auf 125 m x 125 m verringert (Umgebung der Wasserwerke Naunhof 1, Naunhof 2). Da WaSiM-ETH auf einheitlicher Zellgröße basiert, ist für das BWH-M die Zellgröße von 125 m x 125 m zugrunde gelegt worden.

5.1.3 Parameterdateien

WaSiM-ETH wird jeweils mit einer Parameterdatei (Textdatei) gestartet, die alle notwendigen Steuerparameter enthält. Diese Datei ist in einer Grundversion im Lieferumfang des BWH-M enthalten und muss an die konkreten Gegebenheiten des UG angepasst werden (programmimmanente Parameter sowie Landnutzungs- und Bodenparameter).

5.1.4 Datenvorbereitung

Die vom BWH-M WaSiM-ETH benötigten räumlichen Daten sind als ASCII- bzw. binäre Grids, die treibenden Variablen der Meteorologie sowie weitere Daten, wie Abflüsse an den Pegeln, externe Wasserzu- und -ableitungen sind als Dateien in Tabellenform (ASCII- bzw. binäre Formatierung) bereitzustellen. Die Vorbereitung der Grids für WaSiM-ETH erfolgte im ArcView 3.2.

Die Vorlagen für die Flächennutzungs- und Geologiegrids sind als Shape-Files erstellt worden. Sie bildeten die Grundlage für 5 m-Grids, aus denen über die Berechnungsart der mehrheitlich einheitlichen Nachbarschaft

```
BlockStats(#GRID_STATYPE_MAJORITY,)
```

ein 125 m-Grid hergestellt wurde.

Insbesondere im Fall der Flächennutzung waren vor der Grid-Vergrößerung mehrere Flächenvereinigungen vorzunehmen, damit zum Beispiel eine Straße in der Umgebung vieler kleiner Waldflächen diese nicht dominierte.

Die Formatvorschriften sind aus den Programmunterlagen ersichtlich.

5.2 Grids

5.2.1 DGM

Das ATKIS ®-DGM25 in Rasterform hat eine Zellgröße von 20 m x 20 m. Um mit ArcView 3.2 auf die Zielgröße von 125 m zu kommen, war die Erstellung einer Zwischenstufe von 5 m x 5 m notwendig.

Aus dem DGM (Anlage 2) wurde mittels des WaSiM-ETH-eigenen Präprozessing-Programms TANALYS das Höhenmodell für das BWH-M erstellt (*.dhm). Dabei leitet TANALYS weitere benötigte Grids ab wie zum Beispiel Hangneigung, Exposition, Hangwölbungen, Flussbreiten und -tiefen, Fließkonzentration, Fließzeitsummen, Gerinne- und Routingstrecken (Abbildung 2, Abbildung 3).

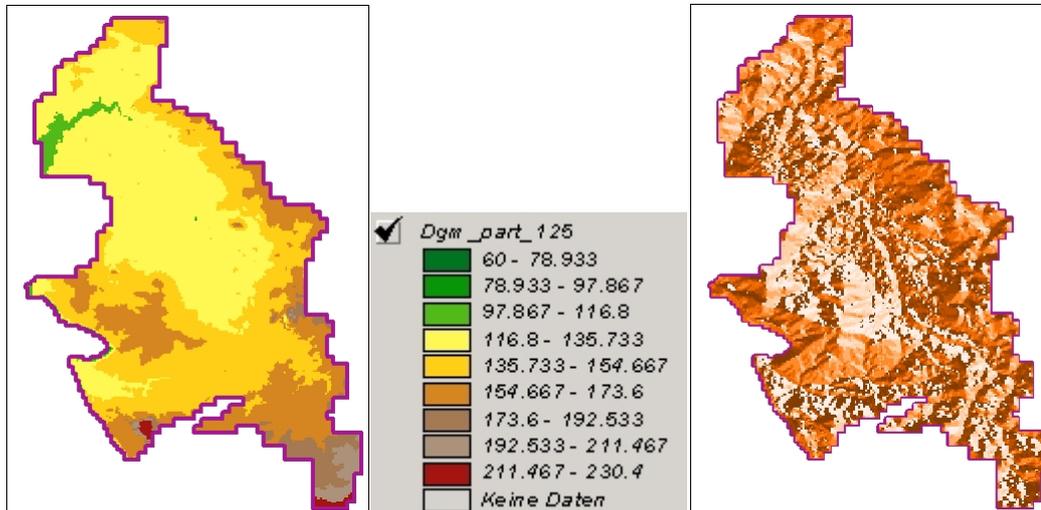


Abbildung 2: DGM und Expositionsverhältnisse im UG

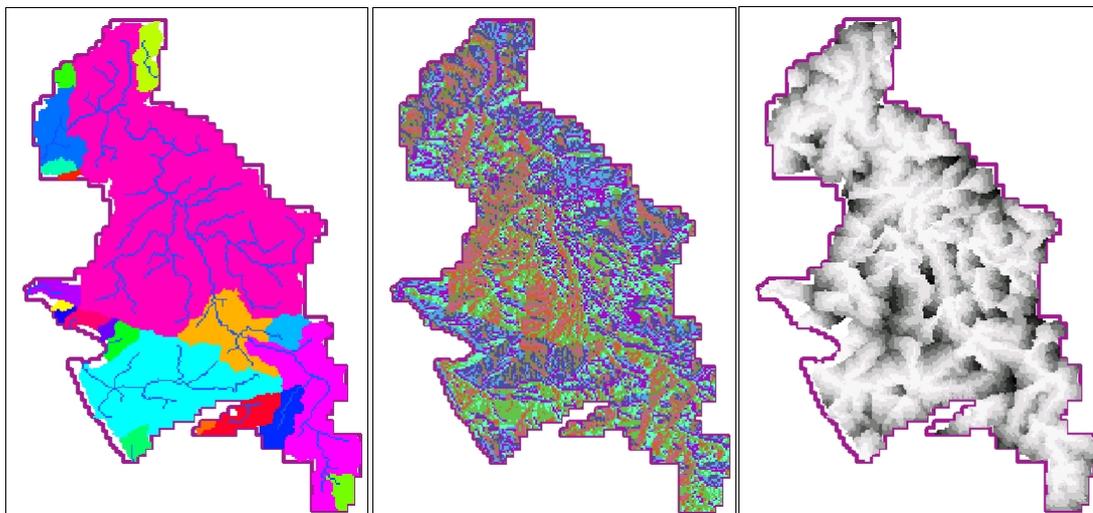


Abbildung 3: Einzugsgebiete, Fließkonzentration und Fließzeitenschema im UG

5.2.2 Flächennutzung

Die Flächennutzung für den Kalibrierungszeitraum von 1980-2003 war, gemäß der Besprechung vom 10.06.2004, mittels der CIR-Daten (Zeitschnitt 1992) und der aus den IRS-IC-Daten abgeleiteten Flächennutzung (Zeitschnitt 2002) abzubilden (Anlage 4).

Wie sich während der Bearbeitung herausstellte, war die aus den IRS-IC-Daten abgeleitete Flächennutzung methodisch nicht mit der Herangehensweise der CIR-Auswertung vergleichbar. Somit drückten unterschiedliche Flächennutzungen bzw. Flächennutzungsanteile zwischen den Zeitschnitten 1992 und 2002 keine zeitlich begründeten Änderungen in der Flächennutzung aus. Darauf wurde mit dem Schreiben des AN vom 28.07.2004 hingewiesen. Am 23.08.2004 erfolgte die Festlegung, dass für den Kalibrierungszeitraum von 1980-2003 die von den CIR-Daten abgeleitete Flächennutzung zu verwenden ist.

Inhaltliche und geometrische Grundlage der zur Modellierung benutzten Flächennutzung bilden die CIR-Daten. Für ganz Sachsen gelten rd. 8.000 unterschiedliche Flächennutzungs- bzw. Biotoptypen. Diese Detailliertheit der Flächennutzungsarten ist für ein BWH-M nicht zu parametrisieren und in ihrer Umfänglichkeit und Vielfältigkeit auch nicht notwendig.

In den WaSiM-ETH-Parameterdateien sind relativ grobe Flächennutzungsarten codiert, die meist nur folgendes umfassen:

- Wasserflächen
- Ortschaften
- Laub-, Nadel- und Mischwald
- Landwirtschaftsflächen
- Grünland
- Gartenkulturen und
- Felsbereiche

Auf der Arbeitsberatung am 10.06.2004 wurde festgelegt, dass für die Projektbearbeitung die landwirtschaftliche und forstliche Nutzung detailliert zu differenzieren ist.

Forstliche Nutzung: Nach Vorgaben des LFP Graupa (14.06.2004) und unter Mitwirkung des Naturschutzes (NSI) Freiberg (Dipl.-Forstingenieur A. Golde) sind für das Parthegebiet 15 verschiedene **Waldtypen** ausgehalten worden (Anlage 4, Anlage 6, Tabelle 1):

Tabelle 1: Waldtypen im Parthegebiet

Flächennutzung und Waldtypen	Codes_92
Buchenwälder und -forste	1
edellaubbaumdominierte Wälder	2
Pionierbesiedlung	3
Fichtenwälder und -forste	4
Kiefernwälder und -forste	5
Nadelmischwälder	6
Laub-Nadel-Mischwälder	7
Moorwaldkomplexe	8
Nadel(KI)-Laub-Mischwälder	9
Nadel-Laub-Mischwälder	10
Buchenmischwälder	11
Eichenmischwälder	12
Wiederaufforstung/Laubaufforstung	13
Wiederaufforstung/Nadelaufforstung	14
Lärchenforste	38

Zusätzlich sind folgende Nutzungen für das Parthegebiet übernommen worden, da für sie Parametrisierungen aus dem EMTAL-Projekt verwendet bzw. angepasst werden konnten (Tabelle 2):

Tabelle 2: Weitere forstliche Nutzungen

Flächennutzung und Waldtypen	Codes_92
Waldrandbereiche/Vorwälder	22
gewässerbegleitende Vegetation, Uferstauden	23
Alleen	30
Hecken	31
Gartenbau (Sonderkulturen, Obstplantagen, Baumschulen)	36

Für den Zeitschnitt 1992 sind für die forstliche Nutzung folgende Flächen und Flächenanteile auszuhalten (Tabelle 3):

Tabelle 3: Flächeninhalt forstlicher Nutzung

Code	Wald/Forst FN	Gridflächen	Flächeninhalt	
			[ha]	[%]
1	Buchenwald	334	521,9	8,0
2	Laubwald_1	963	1.504,7	23,1
3	Birkenwald	566	884,4	13,6
4	Fichtenwald	29	45,3	0,7
5	Kiefernwald	496	775,0	11,9
6	Nadelwald_1	71	110,9	1,7
7	LN_Mischwald	55	85,9	1,3
8	Moorwald	15	23,4	0,4
9	KI_LWald1	414	646,9	9,9
10	NW1_LWald1	9	14,1	0,2
11	BU_LWald1	25	39,1	0,6
12	EI_LWald1	676	1.056,3	16,2
13	Laubwald1_/2	128	200,0	3,1
14	Nadelwald1_/2	18	28,1	0,4
38	Lärche	46	71,9	1,1
22	bushes	133	207,8	3,2
30	alley	13	20,3	0,3
31	hedges	170	265,6	4,1
	Summen		6.501,6	100,0
	Laubwald		4.206,3	64,7
	Nadelwald		1.031,3	15,9
	Mischwald		770,3	11,8

Landwirtschaftliche Nutzung (Anlage 7): Die LfL stellte für den Zeitraum von 1994-2003 die flächenhafte Ausdehnung der Feldfruchtarten und -kulturen in den einzelnen Gemeinden des UG bereit. Dabei handelt es sich aber um die an die LfL aus bestimmten Gründen gemeldeten Flächen und nicht um die jeweils vorhandenen landwirtschaftlichen Nutzflächen, wie die folgende Zusammenstellung zeigt, die für einzelne Gemeinden im Jahre 2003 eine um bis zu 2.000 % vergrößerte Anbaufläche gegenüber dem Jahr 1995 ausweist (Tabelle 4).

Tabelle 4: Flächenentwicklung Ackerbau Parthegebiet

Gemeinden	1995 [ha]		2003 [ha]		2003 zu 1995 [%]	
	gesamt	Ackerbau	gesamt	Ackerbau	gesamt	Ackerbau
Doberschütz	1.216,8	1.051,6	5.964,7	5.207,1	390	395
Eilenburg	162,0	161,5	1.356,7	1.203,2	737	645
Krostitz	3.090,5	2.504,1	4.014,3	3.598,6	30	44
Mockrehna	286,1	242,1	6.041,9	5.453,9	2.012	2.153
Schönwelkau	4.621,6	3.881,9	4.078,5	3.593,4	-12	-7
Zschortau	3.529,7	3.050,1	3.461,6	3.458,1	-2	13
Zwochau	63,2	56,5	73,4	66,4	16	18

Für die Belegung des Flächennutzungsgrids für WaSiM-ETH sind die flächenmäßig größeren Meldejahre besser, um eine möglichst große inhaltliche Flächenbelegung durchführen zu können. Somit ist für das Flächennutzungsgrid die Belegung mit Feldfruchtarten und -kulturen aus dem Jahre 2003 übernommen worden. Die ebenfalls vom LfL übergebenen Feldblockdaten (Flächengeometrien) entstammen auch dem Jahre 2003.

Auch wenn die gemeldeten Flächengrößen zwischen den Jahren 1994-2003 oft sehr unterschiedlich ausfallen, sind die Unterschiede der Feldfruchtarten und -kulturen innerhalb dieser Flächen weitaus geringer wie die folgende Tabelle belegt (Tabelle 5). Damit kann die Vergleichbarkeit der für das Jahr 2003 übernommenen prozentualen Belegung mit dem Zeitschnitt 1992 angenommen werden.

Tabelle 5: Prozentuale Belegung der Landwirtschaftsflächen in ausgewählten Gemeinden

2003 Flächenanteile [%]							
	Getreide	Erbsen	Raps	Mais/Luzerne	Dauergrünland	Zuckerrüben	Summe
Doberschütz	44,5	8,0	9,1	8,7	15,0	1,9	87,3
Eilenburg	50,78	13,80	9,32	0,39	10,16	4,21	88,7
Krostitz	57,94	7,26	15,33	0,16	4,65	4,06	89,4
Mockrehna	53,53	7,84	5,93	9,25	10,57	2,39	89,5
Schönwelkau	57,06	6,65	10,91	5,22	4,36	3,86	88,1
Zschortau	65,73	0,00	12,51	2,28	2,45	7,69	90,7
Zwochau	54,04	3,42	10,59	8,07	1,99	12,36	90,5
Mittel	54,8	6,7	10,5	4,9	7,0	5,2	89,1
1995 Flächenanteile [%]							
	Getreide	Erbsen	Raps	Mais/Luzerne	Dauergrünland	Zuckerrüben	Summe
Doberschütz	43,00	2,36	7,89	20,29	8,54	4,35	86,42
Eilenburg	33,74	0,00	0,00	7,62	58,08	0,33	99,78
Krostitz	63,17	3,50	9,09	0,03	0,39	4,84	81,02
Mockrehna	29,52	18,91	5,56	0,65	27,14	2,78	84,57
Schönwelkau	52,80	4,29	6,47	11,49	4,06	4,44	83,55
Zschortau	50,92	3,84	4,28	15,47	2,88	9,02	86,41
Zwochau	48,51	14,74	1,42	2,15	2,29	5,66	74,78
Mittel	45,95	6,81	4,96	8,24	14,77	4,49	85,22

Für die weiteren Betrachtungen sind die im UG flächenhaft am verbreitetsten landwirtschaftlichen Nutzungen verwendet worden (Tabelle 6):

Tabelle 6: Landwirtschaftliche Nutzung im Parthegebiet

Code	Landwirtschaft FN	Gridflächen	Flächeninhalt	
			[ha]	[%]
101	Sommergetreide	1.037	1.620,3	7,0
102	Wintergetreide	5.382	8.409,4	36,5
103	Triticale	574	896,9	3,9
104	Mais	145	226,6	1,0
105	Erbsen	491	767,2	3,3
106	Raps	1.284	2.006,3	8,7
107	Zuckerrüben	235	367,2	1,6
108	Kartoffeln	57	89,1	0,4
120	Dauergrünland	2.491	3.892,2	16,9
121	Ackerfutter	612	956,3	4,2
122	Ruderalfluren	1.739	2.717,2	11,8
123	Futtermais	610	953,1	4,1
124	Gemüse	70	109,4	0,5
Summen			23.010,9	100,0

In der Zusammenstellung aller Flächennutzungsarten des UG ergibt sich folgender Stand:

Tabelle 7: Zusammenstellung Flächennutzung Zeitschnitt 1992 (Basis: CIR)

Code	Name FN	Gridflächen	Flächeninhalt	
			[ha]	[%]
1	Buchenwald	334	521,9	1,18
2	Laubwald_1	963	1.504,7	3,39
3	Birkenwald	566	884,4	1,99
4	Fichtenwald	29	45,3	0,10
5	Kiefernwald	496	775,0	1,75
6	Nadelwald_1	71	110,9	0,25
7	LN_Mischwald	55	85,9	0,19
8	Moorwald	15	23,4	0,05
9	KI_LWald1	414	646,9	1,46
10	NW1_LWald1	9	14,1	0,03
11	BU_LWald1	25	39,1	0,09
12	EI_LWald1	676	1.056,3	2,38
13	Laubwald1_/2	128	200,0	0,45
14	Nadelwald1_/2	18	28,1	0,06

Fortsetzung Tabelle 7

Code	Name FN	Gridflächen	Flächeninhalt	
			[ha]	[%]
20	running_water	0		
21	water	316	493,8	1,11
22	bushes	133	207,8	0,47
23	greenland	10	15,6	0,04
24	settlements außerorts	753	1.176,6	2,65
25	settlements innerorts	1.125	1.757,8	3,96
26	grass	2.332	3.643,8	8,21
27	rock	1	1,6	0,00
28	soil_fallow	657	1.026,6	2,31
30	alley	13	20,3	0,05
31	hedges	170	265,6	0,60
32	industry	713	1.114,1	2,51
33	green_areas	1.455	2.273,4	5,12
34	streets	123	192,2	0,43
35	railway	161	251,6	0,57
36	horticulture	150	234,4	0,53
37	Abgrabungen	354	553,1	1,25
38	Lärche	46	71,9	0,16
99	agriculture	1.356	2.118,8	4,78
101	Sommergetreide	1.037	1.620,3	3,65
102	Wintergetreide	5.382	8.409,4	18,95
103	Triticale	574	896,9	2,02
104	Mais	145	226,6	0,51
105	Erbsen	491	767,2	1,73
106	Raps	1.284	2.006,3	4,52
107	Zuckerrüben	235	367,2	0,83
108	Kartoffeln	57	89,1	0,20
120	Dauergrünland	2.491	3.892,2	8,77
121	Ackerfutter	612	956,3	2,16
122	Ruderalfluren	1739	2.717,2	6,12
123	Futtermais	610	953,1	2,15
124	Gemüse	70	109,4	0,25
Summen			44.365,6	100,00
	Zwischensummen		[ha]	[%]
	Wald/Forst		6.501,6	14,65
	Landwirtschaft		21.237,5	47,87
	Grünland/Dauergrünland		6.181,3	13,93
	Bebauung		4.048,4	9,13
Summe				85,58

Zwischen den Feldblockdaten des LfL und der Ackerbelegung in den CIR-Daten bestehen teilweise Inkonsistenzen. Wenn in den CIR-Daten Acker ausgehalten war und in den Feldblockdaten nicht, dann ist die Codenummer 99 "agriculture" übernommen worden, mit der in den WaSiM-ETH-Unterlagen eine "durchschnittliche" landwirtschaftliche Nutzung parametrisiert ist.

Am Beispiel des im 125 m-Grid nicht mehr vorhandenen Fließgewässernetzes lässt sich die Auswirkung der Gridzellenvergrößerung für sehr schmale, lineare Flächennutzungselemente vom 5 m-Grid zum 125 m-Grid erkennen.

5.2.3 Boden und Geologie

Die geologischen Bedingungen im UG sind die Grundlage für das von WaSiM-ETH benötigte sog. land_use_grid (Anlage 3). Grundlage für die Kartenerstellung bildete die Hydrotypenkarte für einen Teil des oberirdischen Einzugsgebietes der Parthe (BUTWILOWSKY (2002) in HERTWIG (2002)).

Für die Belange von WaSiM-ETH und der dort einzubringenden Parametertabelle "soil_table_2" ist neben der flächenhaften Verbreitung der geologischen Einheiten auch der Schichtaufbau der ungesättigten Zone bis in den ersten Grundwasserleiter hinein zu spezifizieren. Dafür sind folgende Arbeiten ausgeführt worden.

Grundlage: Basis der Erstellung von Bodenprofilen bis etwa zum ersten Grundwasserspiegel (teilweise auch darüber hinaus) bilden folgende Unterlagen:

- Digitale Bodenkarte (LfUG)
- Bodenleitprofile Sachsen (LfUG)
- Geologische Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen – 1:50 000 mit den Blättern Eilenburg, Leipzig, Wurzen, Zeitz und Mittweida
- Lithofazieskarte Quartär (LFQ) 1:50 000 mit den Blättern Eilenburg, Leipzig, Wurzen, Zeitz und Mittweida
- Integrale Altlastenerkundungen Liebertwolkwitz und Engelsdorf-Mölkau, unveröff. Bericht Beak Consultants GmbH
- von IBGW übergebene Flurabstandskarte der Grundwasserleiter (Oberkante GW-M).

Methodik: Die auf der Geologischen Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete von Sachsen dargestellten geologischen Einheiten wurden übernommen, wobei eine Verallgemeinerung im Sinne von Flächenzusammenlegung durchgeführt worden ist (z. B. alle Flächen Geschiebelehm, glazigene Sande, Kiese usw.). Für die Bewertung der für Sickerwässer durchlässigkeitsrelevanten Bereiche dürfte diese Pauschalisierung genügen. Relativ kleine Flächen werden von ausstreichenden tertiären Lockergesteinen gebildet. Bei den Auen wurden drei verschiedene „lithologische Faziesbereiche“ ausgehalten. Insgesamt entstanden somit 18 Einheiten (Legende Anlage 3).

Die einzelnen Flächen der oberflächennahen geologischen Einheiten sind von verschiedenen Böden überdeckt. Im vorgegebenen Einzugsgebiet werden insgesamt 89 Aggregierungsnummern mit jeweils ihren charakteristischen Leitprofilen in der vom LfUG zur Verfügung gestellten Unterlage genannt. Hinzu kommt, dass die ausgehaltenen Flächen von verschiedenen Gesteinen unterlagert werden, so dass demnach eine Splittung der oberflächennahen geologischen Einheiten vorgenommen werden musste. Da es sich teilweise um sehr kleine Flächen handelt, konnte unmöglich jede Fläche des Leitprofils Berücksichtigung finden, da diese wiederum von verschiedenen hydraulisch leitfähigen Gesteinen unterlagert werden. Um nicht in eine hohe Zahl nicht überschaubarer Einzelflächen abzugleiten, wurden die Splitterflächen limitiert. Es entstanden ca. 166 Splitterflächen, für die das jeweilige (stark vereinfachte) geologische Profil in einer Exceltabelle aufgezeigt wird.

Es ist zu bemerken, dass auf Grund der Kleinheit der Bodenleitprofilflächen diese zusammengefasst worden sind (auf der Basis der oberflächennahen geologischen Einheiten), d. h. es sind für die Splitterflächen „leitende Leitprofile“. Das schließt auch Gebiete ohne Aggregierungsnummer bzw. Ortschaften, Wald, Wasser und nicht kartierte Einheiten (nk) ein. Gebiete mit Versiegelung, Wasser usw. müssen ohnehin bei der Berechnung der Sickerwasserraten „herausgerechnet“ werden.

Die geologischen Profile wurden an Hand der Lithofazieskarte Quartär (LFQ) abgeleitet. Dies war stellenweise nur mit gewissen Einschränkungen möglich, mussten doch verschiedene Lithofazieskarten angefertigt, mit verschiedenen Untersuchungs- und Erforschungsgraden erstellt und zu unterschiedlichen Zeiten ausgewertet werden (teilweise war festzustellen, dass an Blatträndern keine Übereinstimmung der faziellen Einheiten besteht).

Nach der Teufe nimmt die Kenntnisunsicherheit der Gesteine hinsichtlich ihrer Grenzen und vor allem ihrer Mächtigkeit schnell zu. Wegen des geologischen Baus (eiszeitlich gestaucht, enge und sehr kleine Faziesräume)

variieren Verbreitung und Mächtigkeiten enorm. Aus diesem Grund waren pauschale Betrachtungen und grob gerundete Mächtigkeitsangaben nicht zu umgehen.

Von einigen geologischen Einheiten wurden Mächtigkeitsangaben aus der Integralen Altlastenerkundung (Bericht Beak Consultants GmbH) abgeleitet. Das stimmt nicht in jedem Fall auch mit der LFQ an diesen Stellen überein, was selbstverständlich auf den unterschiedlichen Erkundungsgrad zurückzuführen ist. Ausgehend davon, wurden für entlegenere Gebiete Mächtigkeitsangaben aus Liebertwolkwitz/Engelsdorf/Mölkau übertragen (z. B. Mächtigkeit des Decktones (schluffiger Ton-Tu3) von 10 m, unter dem Deckton liegt der tertiäre Grundwasserleiter 2.2 (GWL 2.2), ebenfalls mit einer Mächtigkeit von rund 10 m, für das Tertiär TT3 wurden 15 m verwendet usw.). Diese Angaben sind sehr allgemein und nur als Richtwerte für das Gesamtgebiet zu werten.

Die Bodenprofile gehen i. d. R. bis zum Grundwasserleiter und in vielen Fällen noch weit tiefer bis zum 2. oder 3. stauenden Horizont. Bei den Auensedimenten (z. B. bei den nachfolgend beschriebenen Einheiten 2 bis 4) ist der Flurabstand sehr gering und beträgt wenige Dezimeter bis vielleicht maximal 2,50 m unter Gelände. Da der Flurabstand auf Grund stellenweise hoher hydraulischer Gradienten starkem Wechsel unterliegt, konnte nicht für jede der zu betrachtenden Einheiten (von den ca. 166) der Flurabstand ermittelt werden. Es wird aber eingeschätzt, dass die aufgelisteten Bodenprofile mächtig genug sind, um die ungesättigte Zone jeweils betrachten (berechnen) zu können. Deshalb wurde für jede der ausgegliederten Flächen ein mittlerer Flurabstand abgeleitet und mit dem betreffenden Bodenprofil verschnitten.

Wie aus Anlage 10 hervorgeht, enthält jedes Bodenprofil:

- eine Nummer (12.5 bedeutet: Fläche 5 von Einheit 12 (der 18 Einheiten enthaltenden Legende) – die Nummer ist in der beigegefügteten digitalen Karte eingetragen),
- in der ersten Spalte die Aggregierungsnummer Boden und eine Hilfsinformation zur Geologie,
- in der zweiten Spalte die Angabe der Unterkante des Bodens bzw. der geologischen Einheit und
- in der dritten Spalte die „granulometrische Zusammensetzung“ (i. S. einer Bodenart für den Gesamtboden bzw. für das Bodensubstrat).

Kurzbeschreibung der 18 geologischen Einheiten

Einheit 1

Diese Einheit umfasst 5 einzelne Flächen (1.1 bis 1.5) und betrifft die in der Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete eingetragenen Aufschüttungen, vor allem Deponien. Auf Grund der Randlage im Bereich des SW-Randes der/des Braunkohlentagebaue(s) kann derzeit nicht eingeschätzt werden, ob es sich noch um einen offenen Tagebau oder um bereits stattgefundenen Verfüllungen - letzteres ist wahrscheinlich - handelt. Angaben zum Leitbodenprofil, zu Auffüllung und Geologie sind nicht ableitbar (1.5).

Mächtigkeitsangaben liegen nur bei 1.2 (Halde Trages bei Espenhain) mit rund 60 m und bei Deponie Liebertwolkwitz (1.1) mit ca. 20 m vor. Bei den beiden anderen Flächen wurden jeweils 5 m angenommen.

Einheit 2

Umfasst die holozänen Talfüllungen (vorwiegend geneigter Wiesenlehm), Auenlehmgebiete, Gebiete mit Füllungen der kleinen Tälchen mit Lehmen und sandigen Substraten mit geringer Mächtigkeit (nicht mehr als 2 m). Im Allgemeinen beträgt der Grundwasserflurabstand 0,50 m bis 1,50 m. Hierzu gehört auch das Sediment der Parthe im Oberlauf.

Einheit 3

Diese Einheit umfasst das Parthesediment im Mittellauf des Flusses. Grundwasserflurabstand ca. 2 m.

Einheit 4

Parthesediment im Unterlauf des Flusses, vermutlich ca. 2,50 m Flurabstand.

Die Abgrenzung der Einheiten 2, 3 und 4 wurde aus der Lithofazieskarte entnommen. Mächtigkeiten und Flurabstände sind aus Analogien abgeleitet.

Einheit 5

Gebiete mit Löss- und Gehängelehmverbreitung. Für die Mächtigkeit wurden 2 m veranschlagt. Unter dem Boden wurde für das Substrat Ls3 angenommen. Insgesamt sind 6 Flächen verbreitet.

Einheit 6

Es existiert nur eine einzige Fläche von quartärem Fein- bis Grobschutt (dQW) der Weichsel-Kaltzeit östlich von Bad Lausick. Unter dem Boden wurde für das Substrat Lu(X)4 (stark steiniger schluffiger Lehm) postuliert.

Einheit 7

Es handelt sich um Flächen mit Geschiebelehmverbreitung. Hierbei sind alle Geschiebelehme und -mergel zusammengefasst. Als Kornzusammensetzung wurde grundsätzlich für alle Geschiebelehme und -mergel Tl(G)1 angenommen. Das ist eine möglicherweise zu sehr verallgemeinerte Zusammensetzung (liegt sonst zwischen Tt, Uu und Lt2 im U-T-S-Bodenartendiagramm). Ein schwacher kiesiger Anteil ist durch das Auftreten von Geschieben angezeigt, deshalb sehr schwach kiesig (G1).

Insgesamt gibt es 58 einzelne Flächen mit sehr unterschiedlichem Bodenaufbau. Je nach Altersstellung des Geschiebelehmes bzw. des -mergels lagern darunter pleistozäne Sande, Kiese sowie Tertiär.

Einheit 8

Einheit 8 umfasst pleistozäne glazifluviale Sande und Kiese. Gemäß Kartendarstellung sind es vorwiegend sandige, untergeordnet kiesige Ablagerungen. Es wurde von einem schwach kiesigen Fein- bis Mittelsand ausgegangen (f-mS(G)1). Die Mächtigkeiten betragen, von örtlichen Gegebenheiten abgesehen, 2 m bis 4 m, im Mittel 3 m.

Einheit 9

Sie umfasst 46 Einzelflächen von kiesig-sandigen Quartärsedimenten, vorwiegend von glazifluviatilen, stark kiesigen Mittel- bis Grobsanden (m-gS(G)4) bzw. im Falle des Ausstrichs von Sedimenten der saalezeitlichen Hauptterrasse (fSf), sehr stark kiesiger, schwach lehmiger Sand (Sl2(G)5). Die Sedimente werden von verschiedensten Locker- und Festgesteinen unterlagert. Die Mächtigkeit der glazifluviatilen Lockergesteine wurde im Mittel mit etwa 5 m angenommen. Für die Hauptterrasse existieren Mächtigkeitsangaben in der LFQ.

Einheit 10

In der Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete ist bei Grimma eine Fläche mit glazilimnischem Schluff- und Feinsand (Elsternachschüttbildung) eingetragen. Die Mächtigkeit dürfte schätzungsweise bei 3 m liegen. Für sie wurde die Bodenart sandiger Schluff (Us) vergeben. Sie wird vermutlich unterlagert von etwa 5 m mächtigem elsterkaltzeitlichem Geschiebelehm.

Einheit 11

Glazilimnischer Schluff und Ton der Saale 1-Nach- bis Saale 2-Vorschüttbildung ist bei Naunhof vorhanden. Die Mächtigkeit dieses stark tonigen Schluffes liegt bei ca. 3 m. Darunter folgen wahrscheinlich gS (Saale-Geschiebelehm) und fSf (Hauptterrasse).

Einheit 12

Drei Flächen mit saalezeitlichem glazilimnischem Ton, Schluff und Feinsand treten bei Taucha und bei Espenhain auf. Auf Grund der Angaben in der Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete wurde als Bodenart für das Substrat sandig-toniger Lehm (Lts) vergeben. Die geschätzten 3 m werden von Saale-Geschiebelehm unterlagert.

Einheit 13

Östlich von Bad Lausick ist in der Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete tertiärer Sand und Schluff eingetragen (TT2-3). Die Mächtigkeit beträgt etwa 5 m. Das Sediment liegt über rhyolithischen Festgesteinen. Es handelt sich um eine einzige Fläche (stark schluffiger Sand).

Einheit 14

Eine weitere, einzige Fläche, mit „Kies und Sand mit Ton und Schluff“ des Tertiärs (lt. Legende der Karte der eiszeitlich bedeckten Gebiete - TT4) befindet sich bei Espenhain. Die granulometrischen Angaben veranlassten, das Substrat als stark kiesigen, stark lehmigen Sand auszugliedern (S14(G)4).

Einheit 15

Im Gebiet Espenhain, Liebertwolkwitz, Taucha und Borsdorf/Brandis streichen kleine Vorkommen von tertiären Decktonen (TT4) an der Oberfläche aus. Sie werden offenbar unterlagert von GWL 2.2., der ebenfalls noch zum TT4 gehört (Hauptbodenart fSu4 = stark schluffiger Feinsand, wie aus den geologischen Schnitten um Liebertwolkwitz hervorgeht). Für den Deckton wurde Tu3 als Gesamtbodenart vergeben. Die Mächtigkeit beträgt im Mittel 10 m.

Einheit 16

Bei Borsdorf/Brandis und östlich von Bad Lausick kommt schwach kiesig-schluffiger Sand des TT4 vor. Die Mächtigkeiten sind unterschiedlich einzuschätzen.

Einheit 17

Fluvialer Kies und Sand des TT5 tritt bei Borsdorf/Brandis auf. Es handelt sich um einen stark kiesigen Sand (S(G)4).

Einheit 18

Im südöstlichen Teil des Parthe-Einzugsgebietes sind rhyolithische Vulkanite verbreitet. Für sie wird eine 1 m mächtige Zersatzzone über dem Fels postuliert. Als Bodenart für diese Zersatzzone wurde ein stark grusigsteiniger sandiger Schluff angenommen. Unter der Zersatzzone folgt der klüftige Fels.

Die 18 geologischen Einheiten sind durch 166 verschiedene Normalprofile beschrieben worden. Durch die Aggregation des 5 m-Grids zum 125 m-Grid entfielen 3 Einheiten (Nr. 7.3, Nr. 8.21 und Nr. 9.4 (Nr.7.3 ... Einheit 7, Untereinheit 3)), deren Flächenanteil zu gering war.

Aus dem anfangs genannten land_use_grid sind über die Geologie folgende Flächennutzungen gelegt worden: Ortschaften inner- und außerorts, Industrieflächen, stehende und fließende Gewässer. Die Fließgewässer sind aus dem *.lin-Grid aus WaSiM-ETH entnommen worden. Hauptsächlich über den kf-Wert werden diese Flächen dann mit im Bodenmodell berücksichtigt.

5.3 Meteorologie**5.3.1 Datenvorbereitung**

Von WaSiM-ETH wird eine Mindestanzahl von meteorologischen Daten benötigt, die für den Programmablauf bereitzustellen sind. Sie standen als Tagesmittelwerte bzw. -summen zur Verfügung:

- Lufttemperatur,
- relative Luftfeuchte,
- Windgeschwindigkeit,
- Sonnenscheindauer und
- Niederschläge.

Niederschläge: Messwerte von den meisten der o. g. Stationen liegen vom 01.01.1980 bis zum 31.03.2002 vor, mit Ausnahme der Stationen Glasten, Naunhof und Pomßen (hier vom 01.11.1981 bis zum 31.08.2003). Die Station Pomßen wurde nicht weiter verwendet, da für Sie die "WEREX-Daten 2001-2050" sowie die Nachinterpretationen (ENKE, 2004) fehlen.

Die Prognosewerte des Niederschlages für die genannten Stationen bis zum Jahre 2050 sind den "WEREX-Daten 2001-2050" entnommen 0.

Die Windfehlerkorrektur der Niederschläge erfolgte gemäß RICHTER (1995).

Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer: Die verwendeten Stationswerte stellen für den Zeitraum zwischen 1980 und 2000 räumliche Interpolationswerte zwischen den 5 nächstliegenden Klimastationen Chemnitz (WST), Gera-Leumnitz, Leipzig (AWST), Leipzig-Schkeuditz und Torgau auf Tageswertbasis dar (ENKE, 2004). Als Interpolationsmethode ist durch ENKE (2004) die "Inverse Distance" (IDW) benutzt worden.

Die Prognosewerte für die genannten Stationen bis zum Jahre 2050 sind den "WEREX-Daten 2001-2050" entnommen (ENKE, 2004).

Für WaSiM-ETH war für jeden der meteorologischen Parameter eine gesonderte Textdatei zu erstellen. Dabei ist auf Übereinstimmung der Maßeinheiten und weiterer in der Parameterdatei vorgegebener Konventionen zu achten (Stellenzahl, Nodata-Werte usw.).

Die "WEREX-Daten 2001-2050" liegen in der Form vor, dass für jede der 5 Dekaden 20 Jahre prognostiziert worden sind. Dabei ist jede der Modellierungen in 10 unterschiedlichen Wiederholungen durchgeführt worden (Modelllauf 0 bis 09). Nach Durchsicht der Daten durch den Auftraggeber wurde festgelegt, dass jeweils die ersten 10 Jahre je Dekade und immer die Wiederholung Nr. 05 als Datengrundlage zu verwenden ist.

5.3.2 Regionalisierung

WaSiM-ETH baut für jeden Berechnungsschritt neue Grids der meteorologischen Daten auf. Es werden unterschiedliche Interpolationsverfahren angeboten: "idw" (Inversdistanzwägung), "regress" (höhenabhängige Regression), "idw-regress" (Mischung aus beiden Methoden) und "Thiessen" (entspricht Voronoi-Mosaik).

Da die Niederschläge und Lufttemperaturen höhenabhängig sind (Abbildung 4), wurde für diese Parameter sowie die relative Luftfeuchtigkeit die Methode "regress" ausgewählt, für die Windgeschwindigkeit und die Sonnenscheindauer - als Parameter mit mehr zufälliger Verteilung - die Methode "idw".

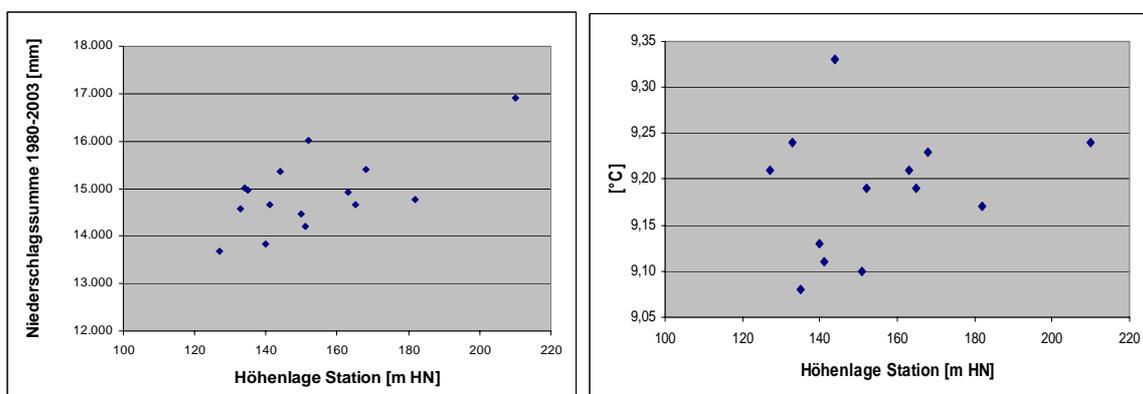


Abbildung 4: Niederschläge und Lufttemperaturen in Abhängigkeit von der Höhenlage der Stationen im Parthegebiet 1980-2003)

5.4 Parametrisierung

5.4.1 Quellen

In den Modellbeschreibungen von WaSiM-ETH sind die grundsätzlichen Parametrisierungen für die [land_use_table] → verdunstungsbestimmende Parameter und die [soil_table] → Bodenparameter sowie für programminterne Parameter enthalten. Sie werden hauptsächlich für die Flächennutzungsarten herangezogen, die in den anderen Quellen nicht bzw. ungenügend parametrisiert sind.

Flächennutzungsparameter: Als wesentlichste Quelle für die Parametrisierung des Modells für das Parthegebiet stellt sich PÖHLER (2004) dar. Hier findet sich eine detaillierte Zusammenstellung zu den Parametern Albedo, Oberflächenwiderstand (rsc), Blattflächenindex (LAI), Vegetationsbedeckungsgrad und Wurzeltiefe für eine Vielzahl von Flächennutzungen (Zitate aus: SCHULLA & JASPER (1998 und 2000), HUPFER & KUTTLER (1998) PEIXOTO & OORT (1992), METEOSAT, LANDSAT-TM, MÜNCH (1994)).

Weitere Quellen mit zum Teil nur einzelnen Hinweisen auf einzelne Parameter sind: KUMMER (2004), DVWK-MERKBLÄTTER 238/1996, MERKBLATT ATV-DVWK-M 504 (2002), PIEPHO (2003).

Die langjährigen Unterlagen zur phänologischen Entwicklung der Pflanzenbestände auf den Lysimetern der Station Brandis dienten zur Anpassung der Stützpunkte d_1 bis d_4 für das Verdunstungsmodell (Vegetationsbeginn (d_1), volle Entfaltung der Vegetation, Beginn und Ende des Laubabwurfs (d_4)).

Insbesondere zur Parametrisierung der **Waldbestände** konnten die Unterlagen von MÜNCH & DITTRICH (2004) mit aktuellen Werten und Betrachtungen beitragen.

Bodenparameter: Einzelne Hinweise zur Parametrisierung der Bodenprofile ergaben folgende Quellen: PÖHLER (2004), NITSCHKE (2001), ZÖRNER (2003), KRÖNERT et al. (1999), DREYHAUPT (2002), BIEMELT (2003), SIEKER (2002), ZIMMERLING et al. (2001).

Abschätzung der Bodenparameter für die 166 verschiedenen geologischen Einheiten (Profile): Die Parameter werden in die **Bodentabelle 1 bzw. 2** geschrieben. Beiden Tabellen ist gemeinsam, dass für die jeweilige geologische Einheit bzw. das entsprechende Normalprofil der ungesättigten Zone die meisten Parameter für das gesamte Profil gelten.

Das bedeutet im gegebenen Falle, dass aus den Korngrößenangaben der einzelnen Profilschichten (Anlage 10) ein über die entsprechenden Schichtmächtigkeiten gewogenes Mittel berechnet wurde. Mit diesen Mittelwerten sind unter Zuhilfenahme des Programms **RETC** (RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils. VAN GENUCHTEN, LEIJ und Yates. U. S. Salinity Laboratory. Juni 1991) die geforderten Parameter Wassergehalt bei Sättigung bzw. permanenter Welkpunkt (PWP), gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (kf) und die van-Genuchten-Parameter n und α abgeschätzt worden.

Für die **Bodentabelle 2** werden zusätzlich die kf-Werte für die einzelnen Bodenschichten und der Verlauf der pF- sowie der Wassergehalts-kf-Kurven (10 bis 14 Stützpunkte) benötigt. Auch diese Informationen werden mittels RETC erstellt.

Die Parameter in ihrer angepassten (kalibrierten Form) sind in der Anlage 12 zusammengestellt (Parameterdatei für WaSiM-ETH).

5.5 Flächennutzung im Jahr 2050 (Prognose)

Belastbare Vorgaben zur konkreten Flächennutzungsentwicklung im Untersuchungsgebiet existieren nicht. Auf mit dem AG, der LfL und dem LFP abgestimmter Basis sind mögliche Entwicklungstendenzen festgelegt worden:

- Waldmehrung im Bereich einer Flächenvergrößerung von derzeit rd. 15 % auf rd. 22 %,
- Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen für die Waldmehrung,
- erhöhter Flächenverbrauch für Verkehrsanlagen und Siedlungs- und Industriebau.

Die auf dieser Grundlage im Verhältnis zur aktuellen Flächennutzung anders genutzten Flächen (Anlage 5) stellen keine flächenkonkreten Veränderungen dar, sondern sind lediglich Ausdruck einer **potenziellen Flächennutzungsänderung**. Aus diesem Grunde ist diese Operation auch im 125 m-Grid durchgeführt worden und nicht an den flächenkonkreten Shape-Files.

5.5.1 Waldmehrung

Für die Waldmehrung gelten folgende Prinzipien: Infrage kommen Flächen, für die eine geringere Wertigkeit für die landwirtschaftliche Nutzung vorausgesehen werden kann:

- Acker- und Grünlandbereiche mit Hangneigungen größer 9 % ($> 5^\circ$),
- Grünlandbereiche in Auen – zusammenhängende Flächen > 200 ha,
- Acker- und Grünlandbereiche in Höhenlagen > 155 m HN.

Bei einer Waldfläche im Jahre 1992 von 6.502 ha (14,7 %) wären die für das Jahr 2050 angestrebten 22 % Waldfläche 9.731 ha, d. h., die Waldfläche müsste um 3.229 ha zunehmen.

Unter Anwendung der o. g. Prinzipien stünden rd. 7.650 ha zur Verfügung. (Dabei gehen aber keine Grünland-Auenbereiche mit ein, da diese immer kleiner als die geforderten zusammenhängenden 200 ha sind.) Der „Flä-

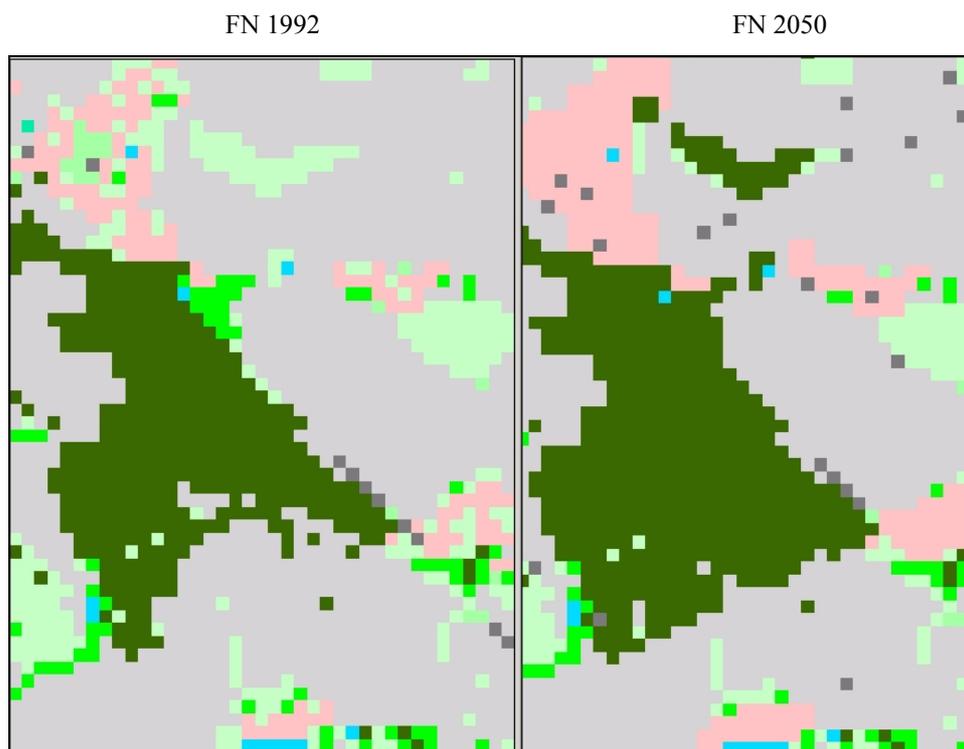


Abbildung 6: Waldmehrungsfläche westlich Belgershain (Legende vgl. Abbildung 5)

Auf allen terrestrischen und wechselfeuchten Waldstandorten sowie allen Waldmehrungsstandorten außerhalb der ursprünglichen Auenbereiche - ausgenommen sind Flächen, die bereits mit Buche oder Edellaubböhlzern bestockt sind - wird der **Bestandeszieltyp (BZT)** "Eiche-Hainbuche-Linde" vorgesehen.

Alle Buchenbestände werden dem Bestandeszieltyp "Buche-Nadelbäume" zugeordnet. Edellaubbaumbestände sind dementsprechend dem BZT "Eiche-Edellaubbäume" zuzuweisen.

Die Auenbereiche sollen zukünftig ebenfalls den BZT "Eiche-Edellaubbäume" tragen.

Die in der Prognosekarte aufgeführten Waldflächen stellen demzufolge fast ausschließlich die Typen dar (Tabelle 8).

- 150 EiHBuLi Eiche-Hainbuche-Linde
- 151 EiEdellaub Eiche-Edellaubbäume
- 152 BuN Buche-Nadelbäume

Nur die sog. Moorwaldkomplexe und die Waldrandbereiche sind in der alten Codierung belassen worden.

Tabelle 8: Waldtypen Parthegebiet 1992 und Prognose 2050

Waldtyp	aktuelle Typen (1992)		Bestandszieltypen (Prognose)	
	Landuse-Code	Parametersatz	Waldtyp/Parametersatz	Landuse-Code
Buchenwälder und -forste	1	Buche	BuN	152
Edellaubbaumdominierte Wälder	2	Laubwald 1	EiEdellaub	151
Pionierbesiedlung	3	Birke	EiHBuLi	150
Fichtenwälder und -forste	4	Fichte	BuN	152
Kiefernwälder und -forste	5	Kiefer	BuN	152
Lärchenforste	38	Lärche	BuN	152
Nadelmischwälder	6	Nadelwald 1	BuN	152

Fortsetzung Tabelle 8

Waldtyp	aktuelle Typen (1992)		Bestandszieltypen (Prognose)	
	Landuse-Code	Parametersatz	Waldtyp/ Parametersatz	Landuse-Code
Laub-Nadel-Mischwälder	7	Eiche/Buche/Birke mit Nebenbaumarten	BuN	152
Moorwaldkomplexe	8	Birke und Kiefer	bleibt bzw. Ei-Edellaub	8
Nadel-Laub-Mischwälder	9	Kiefer und Laubwald 1	BuN	152
Nadel-Laub-Mischwälder	10	Nadelwald 1 und Laubwald 1	BuN	152
Buchenmischwälder	11	Buche und Laubwald 1	BuN	152
Eichenmischwälder	12	Eiche und Laubwald 1	EiHBuLi	150
sonstige Laubmischwälder	2	Laubwald 1	EiEdellaub	151
Birkenmischbestände	3	Birke	EiHBuLi	150
sonstige Nadelmischwälder	6	Nadelwald 1	BuN	152
Schlucht- und Schatthangwälder	2	Laubwald 1	EiEdellaub	151
Waldrandbereiche/Vorwälder	22	Büsche	bleibt	22
Wiederaufforstung/Laubaufforstung	13	Laubwald 1 mit halber Höhe	EiHBuLi mit halber Höhe	150-
Wiederaufforstung/Nadelaufforstung	14	Nadelwald 1 mit halber Höhe	BuN mit halber Höhe	152-

5.5.2 Allgemeiner Flächenverbrauch/Versiegelung

In Sachsen betrug der tägliche Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen Anfang der 90er Jahre 8,75 ha/Tag und im Jahre 2001 ca. 8,1 ha/Tag.

(<http://www.smul.sachsen.de/wu/umweltstatus/Flächenverbrauch>).

Unter der sehr konservativen Annahme, dass dieser Verbrauch von 8,1 ha/Tag auch bis zum Jahre 2050 anhält, ist in Sachsen mit einem Anwachsen der Siedlungs- und Verkehrsflächen um rd. 174.434 ha zu rechnen. Das UG stellt mit seinen rd. 444 km² Fläche nur rd. 2,41 % Sachsens dar. Daraus kann man einen Flächenverbrauch von rd. 4.200 ha für Siedlungs- und Verkehrsflächen prognostizieren.

Eine plausible Vorgabe, wo diese neuen Flächennutzungen entstehen, existiert nicht. Als Behelf wird wie folgt vorgegangen:

Die aus den Satellitenbilddaten abgeleitete Flächennutzung (IRS-1C-Daten) beinhaltet – in Form des 125 m-Rasters - deutlich mehr **Straßen- und Eisenbahntrassen** als die von der CIR-Kartierung abgeleitete Flächennutzung. (Nach der Satellitenbilddatenauswertung wurde das Straßennetz, von den ATKIS-Daten abgeleitet und auf das Raster aufgeprägt.) Diese Flächenvergrößerung um 581 ha ist am derzeitigen Straßennetz verortet.

Die aus den Satellitenbilddaten abgeleitete **Siedlungsfläche** ist, auswertemethodisch bedingt, um 3.579 ha größer als die aus den CIR-Daten abgeleiteten. Logischerweise liegen diese Mehrflächen an den bekannten Siedlungspunkten. Es werden mit dieser Auswertemethode innerhalb liegende (in der CIR-Kartierung als nicht bebauten Flächen ausgehaltene Pixel) Flächen "aufgefüllt" und Außenbereiche in ihren Umrisse deutlich "geglättet" (Abbildung 7).

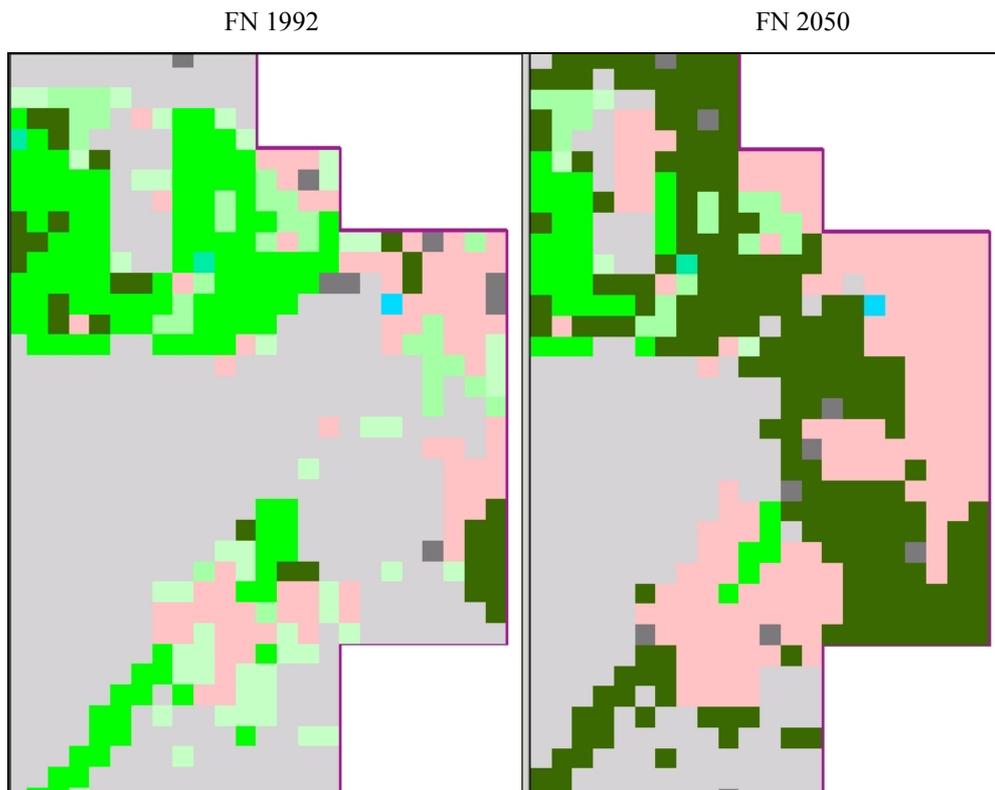


Abbildung 7: Wald- und Siedlungsflächenvergrößerung südlich Grimma (Legende vgl. Abbildung 5)

Die aus den unterschiedlichen Interpretationsmethoden erhaltenen Mehrflächen betragen also 581 ha Straßen und Eisenbahntrassen und 3.579 ha Siedlungsfläche, in der Summe 4.160 ha. Diese Summe stimmt zufällig! genau mit dem unter stark konservativem Ansatz abgeleiteten Flächenmehrverbrauch bis zum Jahre 2050 von 4.200 ha überein. Somit wäre eine Methode gefunden, die Mehrflächen auch an den "richtigen" Orten entstehen zu lassen.

Technisch wurde folgendermaßen vorgegangen: Als Basis für die Erstellung der Flächennutzung im Jahre 2050 dient das Flächennutzungsgrid zum Zeitschnitt 1992 (CIR-Basis). Auf diesem Grid erfolgte der Schritt der "Waldmehrung", wie oben beschrieben. Auf das somit entstandene Grid wurden die Siedlungsflächen aus der Satellitenbildauswertung aufgeprägt. Sie erhielten den Status "Siedlung außerorts". Darauf wurde die "Siedlungen innerorts" aus der CIR-Auswertung gelegt, um zu realistischen Siedlungskernen zu kommen. Damit die Flächenrelationen der CIR-Auswertung für "Siedlung außerorts" und "Siedlung innerorts" auch für die zukünftige Nutzungsperiode ungefähr beibehalten werden, wird um die Gridzellen "Siedlung innerorts" ein Saum von jeweils einer Zelle gelegt. Dadurch werden deutlich unregelmäßige Umrisse der innerörtlichen Siedlungsbereiche stark "geglättet". Zum Schluss wird auf dieses Grid das Straßen- und Eisenbahnnetz aus dem Grid der Satellitenbildauswertung aufgeprägt.

In der Zusammenstellung der Flächennutzungsänderungen (Abbildung 8) ergeben sich durch die sukzessive Anwendung der oben beschriebenen Flächenbelegungen kleinere Abweichungen von den absoluten Flächenveränderungen (Tabelle 9). Diese sind hauptsächlich darin begründet, dass die Ausdehnung der Siedlungsfläche zuletzt durchgeführt wurde ohne auf die dabei "verbrauchte" Flächennutzung zu achten.

Tabelle 9: Zusammenstellung der Flächennutzungsänderungen

Flächennutzung		[ha]				
		1992	2050	1992	2050	Zu-/Abnahme
Ackerfläche				19.119	17.769	-1.350
Grünland	Dauergrünland	3.892	3.064	9.809	5.196	-4.613
	Grünland	5.917	2.132			
Wald/Forst	Nadel-	1.031	(349)	6.007	8.694	2.687
	Laub-	4.206				
	Misch-	770	8.345			
Siedlungen/Industrie	innerorts	1.758	3.644	4.049	8.405	4.356
	außerorts	1.177	3.363			
	Industrie	1.114	1.398			
Straßen, Eisenbahn				444	964	520
Summe				39.428	41.028	1.600

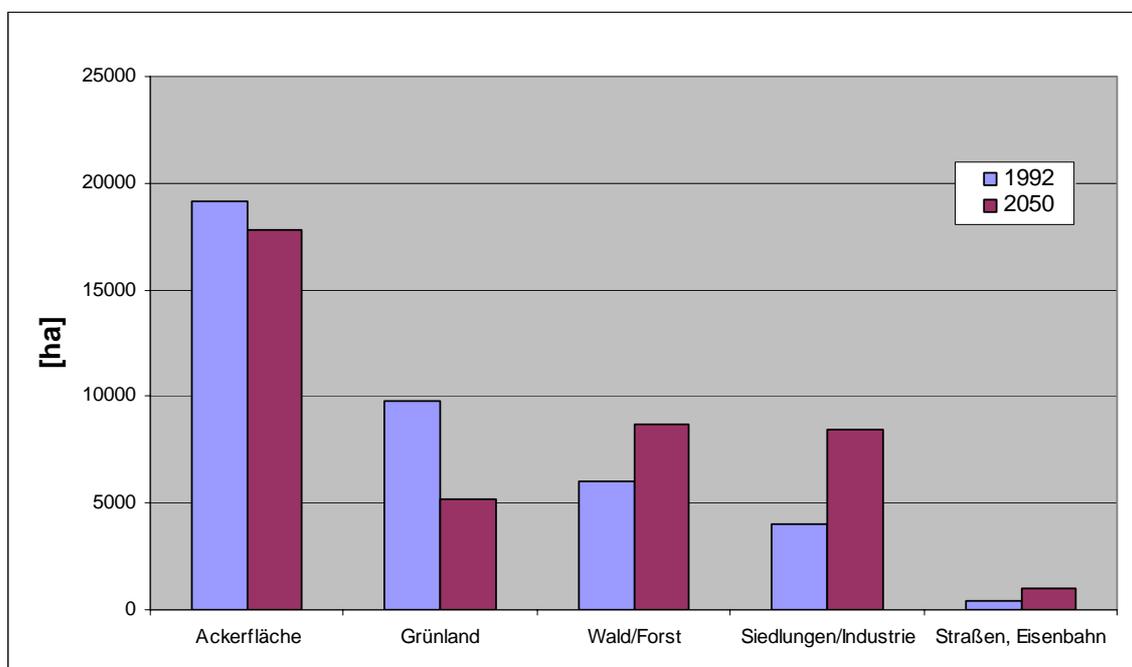


Abbildung 8: Änderung der Flächennutzung bis 2050

5.5.3 Landwirtschaftliche Nutzung

Laut LfL (Mitteilung vom 19./20.08.2004) sollen sich die Anbauverhältnisse im UG bis zum Jahre 2050 wie folgt darstellen (Anlage 9, Tabelle 10):

- 36 % Winterweizen
- 10 % Wintergerste
- 10 % Triticale
- 14 % Mais
- 2 % Winterroggen
- 20 % Ölsaaten
- 5 % Dauergrünland
- je 1 % Futtergras, Hackfrüchte und Obstanlagen

Der Anbau ist überwiegend mit bodenkonservierenden Maßnahmen durchzuführen.

Tabelle 10: Zusammenstellung landwirtschaftliche Anbauanteile

Anbau	[%]	
	2003	2050
Sommergetreide	7	0
Wintergetreide, Triticale	40	58
Mais	5	14
Raps, Ölsaaten	9	20
Hackfrüchte	2	1
Grünland (Dauer-, Ruderalfluren etc.)	29	5
Futtergras	4	1
Obstanlagen	1	1
Erbsen, Gemüse usw.	3	0
Summe	100	100

5.5.4 Parametrisierung der Landwirtschaftsflächen

Gemäß Vorgaben der LfL erfolgt im Prognosezeitraum auf den Ackerflächen der Anbau mit bodenkonservierenden Maßnahmen. In <http://www.gkb-ev.de/konservierende%20BB/%F6kologische%20Vorteile.pdf> werden die für WaSiM-ETH relevanten Effekte dieser Bearbeitungsmethode zusammengestellt:

- 20 % höhere Lagerungsdichte
- 75 % höhere Wasserinfiltration
- 20 % höheres Wasserhaltevermögen
- 4mal höheres Bioporenvolumen
- 22 % höherer Gehalt an organischer Bodensubstanz
- 6mal mehr Regenwurmgänge

Obwohl sie eher maximale als optimale Werte verkörpern, sind sie gerade deshalb als Begründung für die Parameteränderungen herangezogen worden. Gemäß Aufgabenstellung waren **Entwicklungsrichtungen** der Flächennutzungsänderungen für Prognoseaussagen zugrunde zu legen und nicht zeitlich und inhaltlich marginale Änderungsmargen wie sie vielleicht praktisch eher zu verzeichnen sind. In diese Richtung geht auch die Vorgabe, das veränderte Flächennutzungsszenario FN2050, welches eigentlich die prognostischen Verhältnisse zum Zeitpunkt des Jahres 2050 beschreiben soll, im Simulationslauf ("sprunghaft") ab dem Jahre 2004 anzuwenden.

Für die Parametrisierung von WaSiM-ETH bedeutet das ein Bündel von Parameteränderungen in der Bodentabelle, die nur auf den Gridzellen mit Ackernutzung ausgeführt werden:

- Erhöhung des kf-Wertes um das Zweifache
- Erhöhung von Theta-Sat um 20 %
- Erhöhung von MaxRatio von 90 auf 120
- Erhöhung des Vegetationsbedeckungsgrades an d1 und d4 um 0,1
- Vergrößerung der *drainage density* um 2
- Veränderung des Wurzeldichteparameters von 1 auf 0 (größere Betonung auf oberflächennah besser ausgebildetes Wurzelsystem als vorher).

Die eingesetzten Parameter erhöhen in ihrer Gesamtheit deutlich die Infiltration der Niederschläge in den Boden. Durch die Erhöhung der MaxRatio von 90 auf 120 sowie des veränderten Wurzeldichteparameters werden besonders die Veränderungen in der obersten Bodenschicht berücksichtigt. Die Veränderung des Infiltrationsverhaltens der obersten Bodenschicht mit dem Jahresgang wird über den Vegetationsbedeckungsgrad gesteuert (Bestandsniederschlag aus dem Interzeptionsmodell bildet den Zufluss zum Infiltrationsmodell (Kapitel 4.2.3.5):

Bei der künftig sicherlich möglichen Anwendung der "Bodentabelle 2" ist eine explizite Ansprache der einzelnen Bodenschichten über die gesättigte Wasserleitfähigkeit möglich.

Die Parametrisierung des Pflanzenanbaus mit bodenkonservierenden Maßnahmen sollte eine erhöhte Infiltration in den Boden und sein erhöhtes Wasserspeichervermögen bewirken. Damit einhergehend sollte eine erhöhte Verdunstungsleistung sowie Grundwasserneubildungsrate ableitbar sein. Da aber, wie aus Tabelle 10 ersichtlich, gleichzeitig mit der Umstellung der Bodenbearbeitungsmethode eine nicht unwesentliche Veränderung der Flächenanteile unterschiedlicher landwirtschaftlicher Kulturen zu prognostizieren war, können die über den Boden "eingebrachten" Veränderungsrichtungen wieder aufgehoben werden, da zum Beispiel eine anteilige Vergrößerung der Maisanbaufläche auf das Dreifache ersichtlich ist (die eher den Oberflächenabfluss erhöhen wird und nicht die Infiltrationsbereitschaft des Bodens).

6 Meteorologische Bedingungen im Untersuchungsgebiet

Durch WaSiM-ETH werden die meteorologischen Parameter für die einzelnen Zonen des UG sowie über das gesamte UG gemittelt berechnet (Interpolationsmethoden: Kapitel 5.3.2).

Die mittleren Monatssummen der Niederschläge bzw. die monatlichen mittleren Tagestemperaturen für das gesamte Untersuchungsgebiet sind in der folgenden Tabelle 11 zusammengestellt und in Abbildung 9 und Abbildung 10 illustriert.

Tabelle 11: Langjährige Monatsmittelwerte der Niederschläge und Tagestemperaturen im UG

[mm]	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
1980-2050	47,2	44,2	49,4	47,6	52,3	67,6	81,2	64,7	53,8	45,1	45,9	61,4	660,6
1980-2003	42,9	42,8	52,1	53,8	51,5	69,9	81,3	62,3	54,1	43,0	51,5	57,0	662,1
2004-2050	49,4	45,0	48,1	44,4	52,7	66,5	81,1	66,0	53,7	46,2	43,1	63,7	659,8
[°C]													Mittel
1980-2050	2,2	2,4	5,0	8,7	13,9	17,0	19,1	19,1	14,4	10,1	4,7	3,5	10,0
1980-2003	0,5	0,9	4,7	8,2	13,5	16,2	18,2	18,2	14,1	9,6	4,1	1,5	9,1
2004-2050	3,0	3,2	5,2	8,9	14,2	17,4	19,5	19,5	14,5	10,3	5,0	4,4	10,4

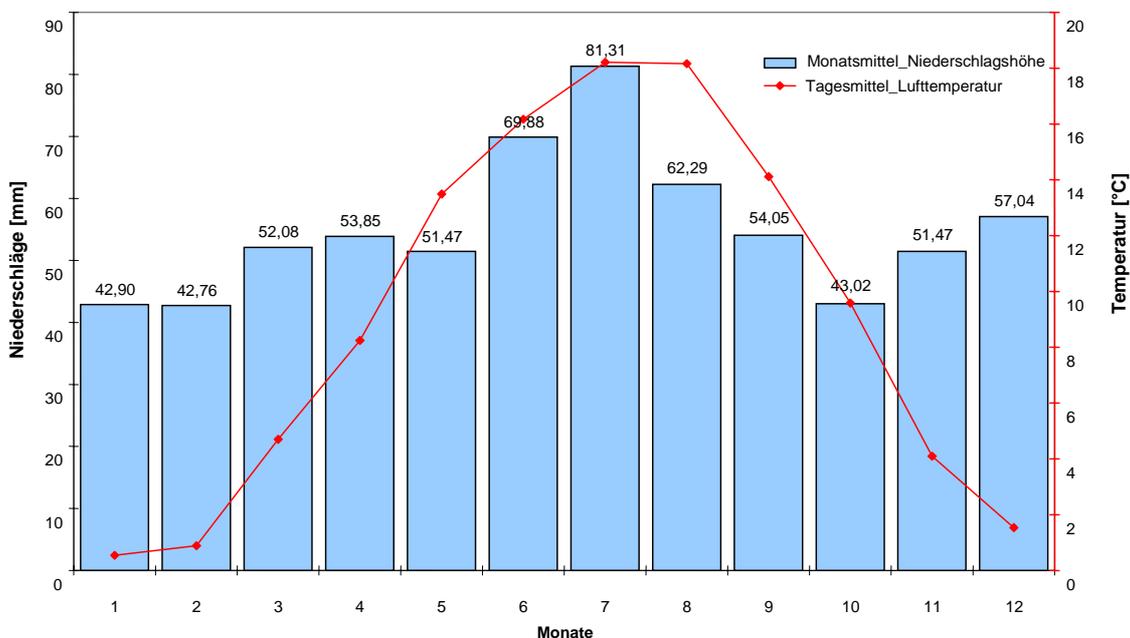


Abbildung 9: Klimadiagramm 1980-2003

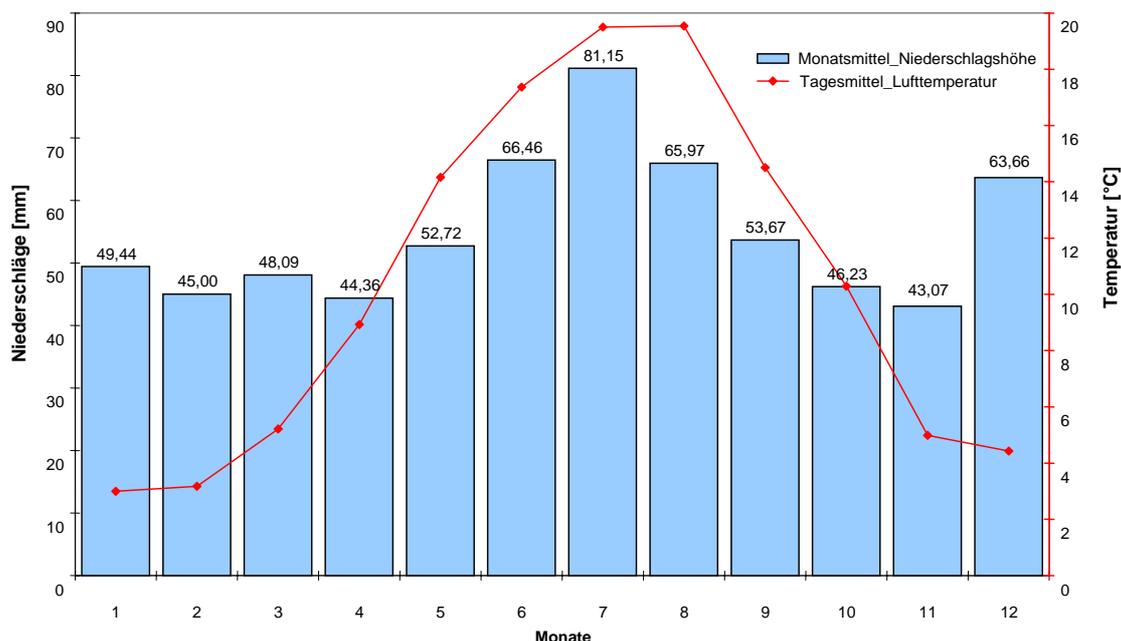


Abbildung 10: Klimadiagramm 2004-2050

Die mittleren Jahressummen der Niederschläge für das Gesamtgebiet unterscheiden sich für die beiden Perioden 1980-2003 bzw. 2004-2050 mit 662 mm zu 660 mm nicht. Unterschiede zeigen sich in den mittleren Monatssummen, die im Prognosezeitraum in den Monaten Dezember bis Februar deutlich höher ausfallen, als während der Messungen 1980-2003. In den selben Monaten wird auch eine deutlich höhere mittlere Tagestemperatur prognostiziert.

Von März bis Oktober weisen meist die Messwerte höhere mittlere Monatssummen auf (März, April, Juni und September).

Im Mittel fallen im gesamten UG zwischen 1,46 mm (Oktober) und 2,62 mm Niederschlag täglich (Juli) (Tabelle 12). Die maximalen täglichen Niederschlagsmengen schwanken in den einzelnen Monaten zwischen 24,3 mm (Dezember) und 77,9 mm (August).

Tabelle 12: Schwankungsbreite der mittleren monatlichen Niederschlagssummen

Niederschlag	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
tägliche Niederschläge [mm]												
Mittel	1,52	1,57	1,59	1,59	1,69	2,25	2,62	2,09	1,79	1,46	1,53	1,98
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Max.	27,0	25,7	35,2	56,9	32,1	70,5	73,8	77,9	31,2	30,2	28,8	24,3
monatliche Niederschlagssumme [mm]												
Mittel	47,2	44,2	49,4	47,6	52,3	67,6	81,2	64,7	53,8	45,1	45,9	61,4
Min.	2,6	9,1	9,0	6,8	8,9	26,0	18,9	22,2	7,8	10,8	14,8	23,3
Max.	103,3	147,1	128,4	137	100,7	214,8	227,8	247,2	120,3	103	116,3	111,2

Die mittleren Monatssummen im Gesamtzeitraum der Niederschläge schwanken zwischen 44,2 mm im Februar und 81,2 mm im Juli. Das Minimum an monatlichen Niederschlägen im Gesamtzeitraum tritt mit 2,6 mm im Januar auf, das Maximum mit 247 mm im August. Die langjährigen Monatsmittelwerte für die einzelnen Dekaden zeigt die Tabelle 13.

Tabelle 13: Langjährige Monatsmittelwerte des Niederschlags je Dekade

	Niederschläge [mm]											
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1980-1990	47,4	40,1	42,5	65,9	50,9	69,8	64,7	70,8	49,9	41,5	53,9	60,1
1991-2000	42,3	43,9	61,3	46,2	57,5	71,3	93,5	63,4	60,3	46,2	50,5	53,1
2001-2010	43,6	51,0	65,3	50,9	56,4	66,3	87,9	53,8	68,2	39,3	42,6	65,7
2011-2020	44,2	43,5	49,5	49,5	53,2	74,2	75,9	47,0	48,8	40,0	43,0	71,1
2021-2030	45,6	45,2	38,4	40,0	44,8	76,4	82,0	90,7	48,7	54,1	46,2	53,4
2031-2040	53,9	39,0	52,9	38,1	59,9	74,0	97,8	97,7	56,4	49,9	55,9	62,2
2041-2050	53,1	49,5	40,4	42,7	52,4	54,4	92,3	47,9	50,2	49,1	30,4	61,1

Die mittleren Tagestemperaturen für die beiden Perioden 1980-2003 bzw. 2004-2050 betragen 9,1 °C bzw. 10,4 °C. Dabei werden für den Prognosezeitraum in allen Monaten höhere mittlere Tagestemperaturen prognostiziert (Tabelle 11).

Aus der Abbildung 11 und Abbildung 12 ist ersichtlich, dass im Prognosezeitraum die Anzahl der Einzelmonate stark zunimmt, für die maximale Niederschlagshöhen prognostiziert werden. Weisen im Zeitraum bis 2003 die maximalen monatlichen Niederschlagshöhen immer Werte <150 mm auf, so werden ab 2010 Einzelmonate mit >150 mm und ab 2025 Einzelmonate mit Werten >200 mm bis ca. 250 mm pro Monat vorausgesagt.

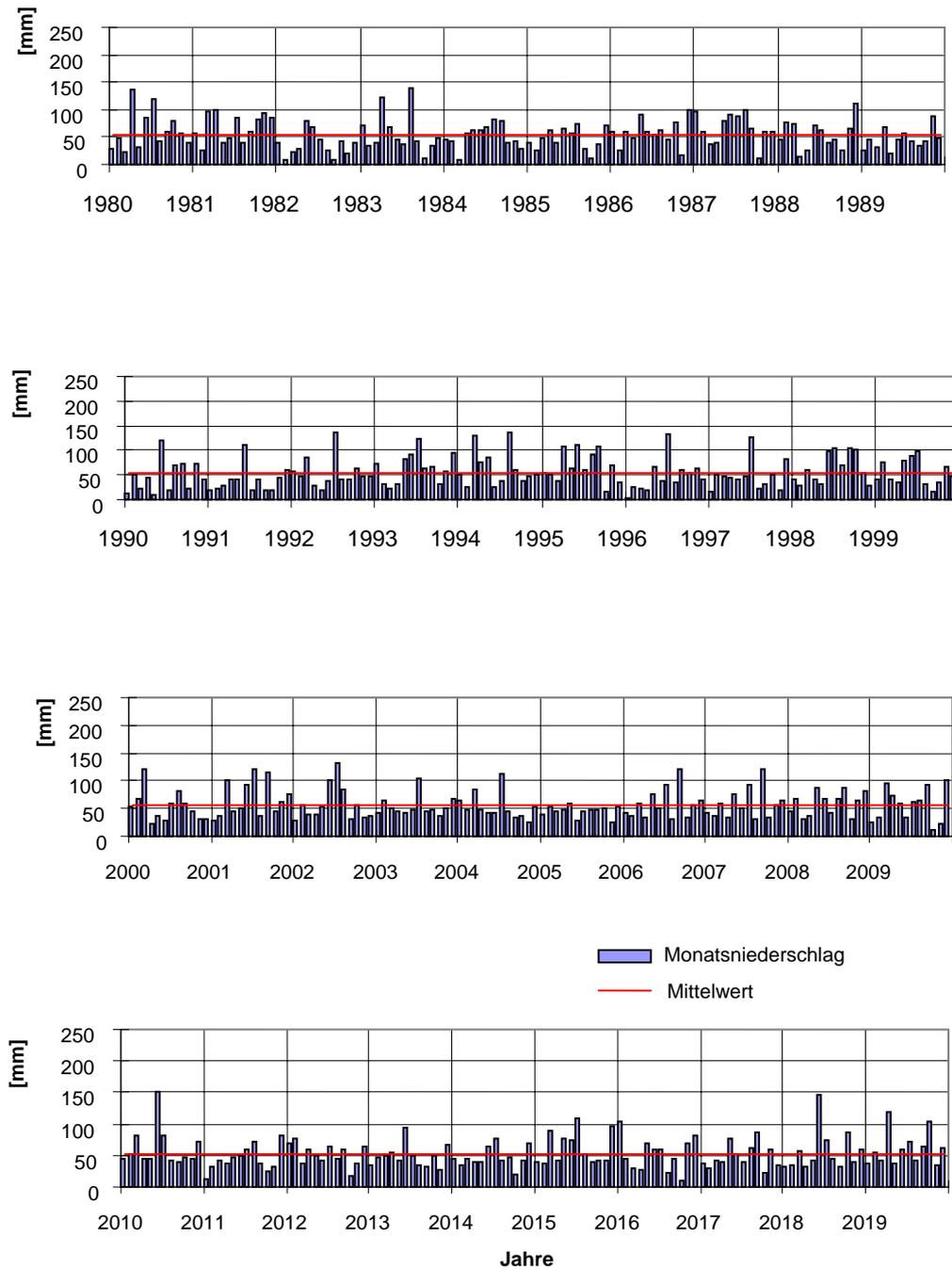


Abbildung 11: Monatliche Niederschläge im Zeitraum 1980-2019

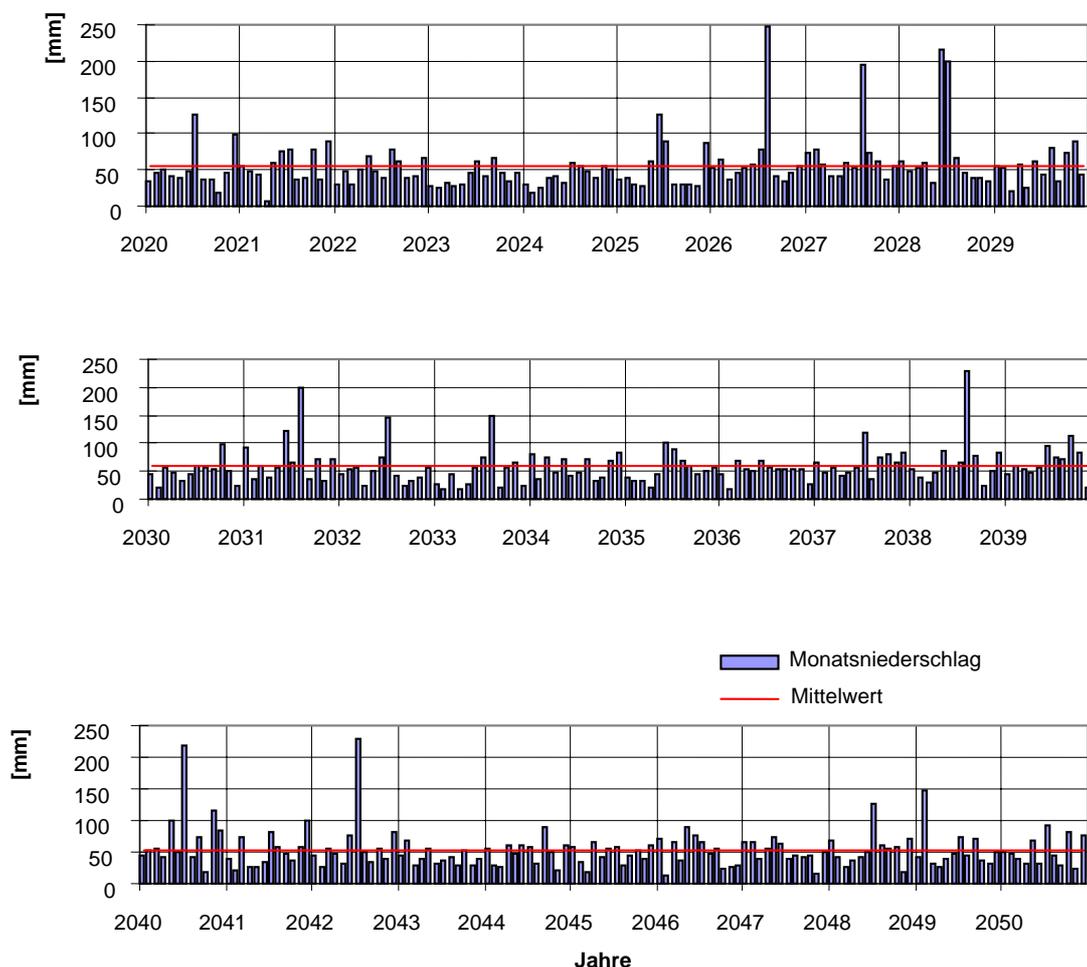


Abbildung 12: Monatliche Niederschläge im Zeitraum 2020-2050

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe pro Niederschlagstag mit $N \geq 0,1$ mm beträgt im Schnitt des Gesamtzeitraums 1980-2050 für das gesamte UG 2,41 mm. Dieser Wert stimmt mit den Angaben von Richter (1995) 0 für den Leipziger Raum (2,5-3 mm) annähernd überein. Die mittlere Anzahl von Tagen mit einer Niederschlagshöhe $N \geq 0,1$ mm hingegen beträgt für das UG 272,7 Tage im Jahr. Diese Zahl ist gegenüber Richter (1995) 0, der für den Leipziger Raum zwischen 150-160 Tagen im Jahr angibt, unverhältnismäßig hoch. Wird nicht der gesamte Zeitraum bis 2050 betrachtet, sondern nur der Bereich mit Messwerten (z. B. 1980-2000), dann werden für die Station Ammelshain 148 Tage im Jahr mit Niederschlagshöhen $N \geq 0,1$ mm angegeben. Diese Anzahl entspricht den mittleren Angaben von Richter (1995) für den Leipziger Raum (150-160 Tage).

Für die gleiche Station Ammelshain im Prognosezeitraum 2005-2050 werden an 242 Tagen Niederschläge $\geq 0,1$ mm angegeben mit einer Niederschlagshöhe von durchschnittlich 2,7 mm/d.

Offensichtlich bewirken die Prognosemechanismen eine größere Häufung von Tagen mit Niederschlägen $\geq 0,1$ mm am Tag bei gleichbleibendem Mittelwert der Niederschläge an diesen Tagen gegenüber den Messwerten.

Im Durchschnitt über das Gesamtgebiet sieht die jährliche Niederschlagsverteilung wie folgt aus (Abbildung 13):

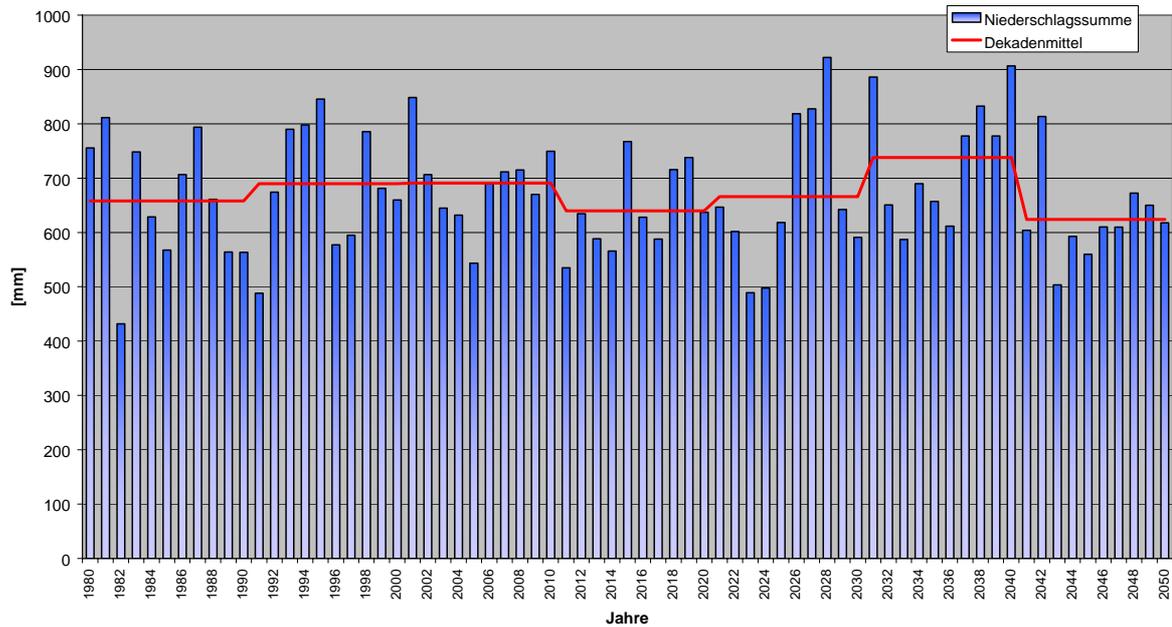


Abbildung 13: Jahresniederschläge im Parthegebiet

Die nachfolgenden Bilder der Abbildung 14, die die Niederschlagsverteilung im Gesamtgebiet (langjährige Jahressummen der Dekaden) zeigen, belegen, dass es keine kontinuierliche Entwicklung nur in eine Richtung hin gibt.

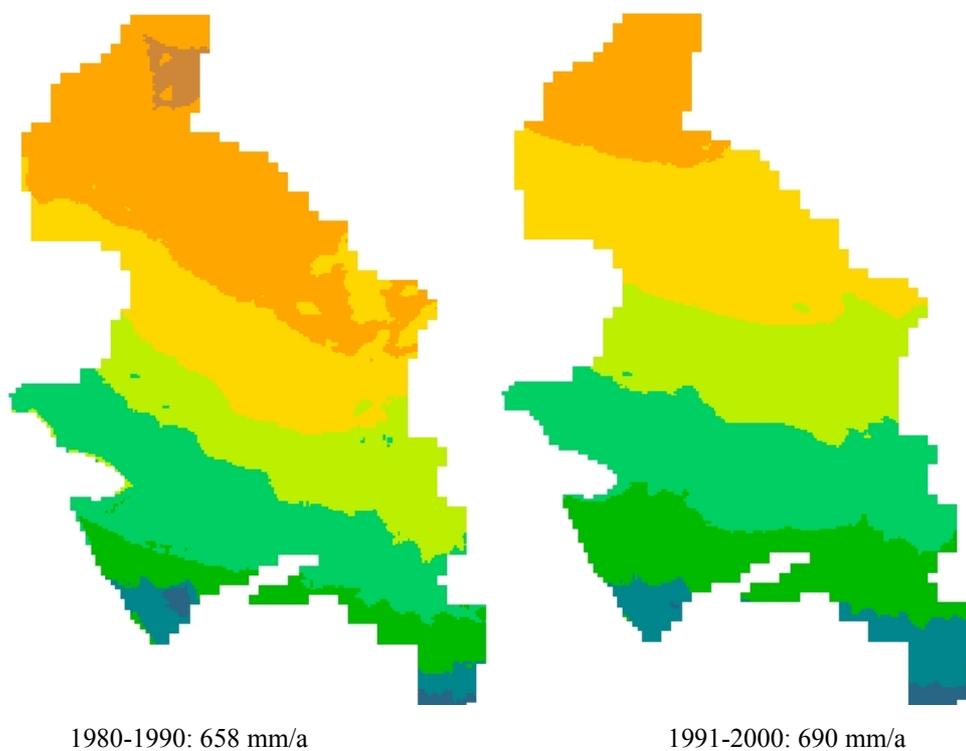
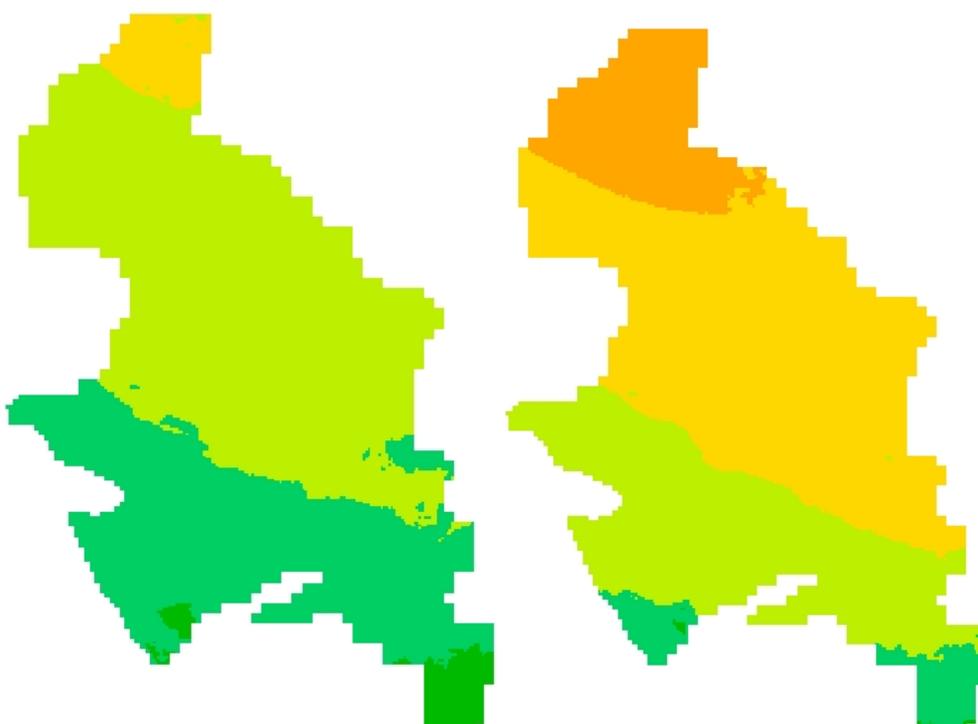


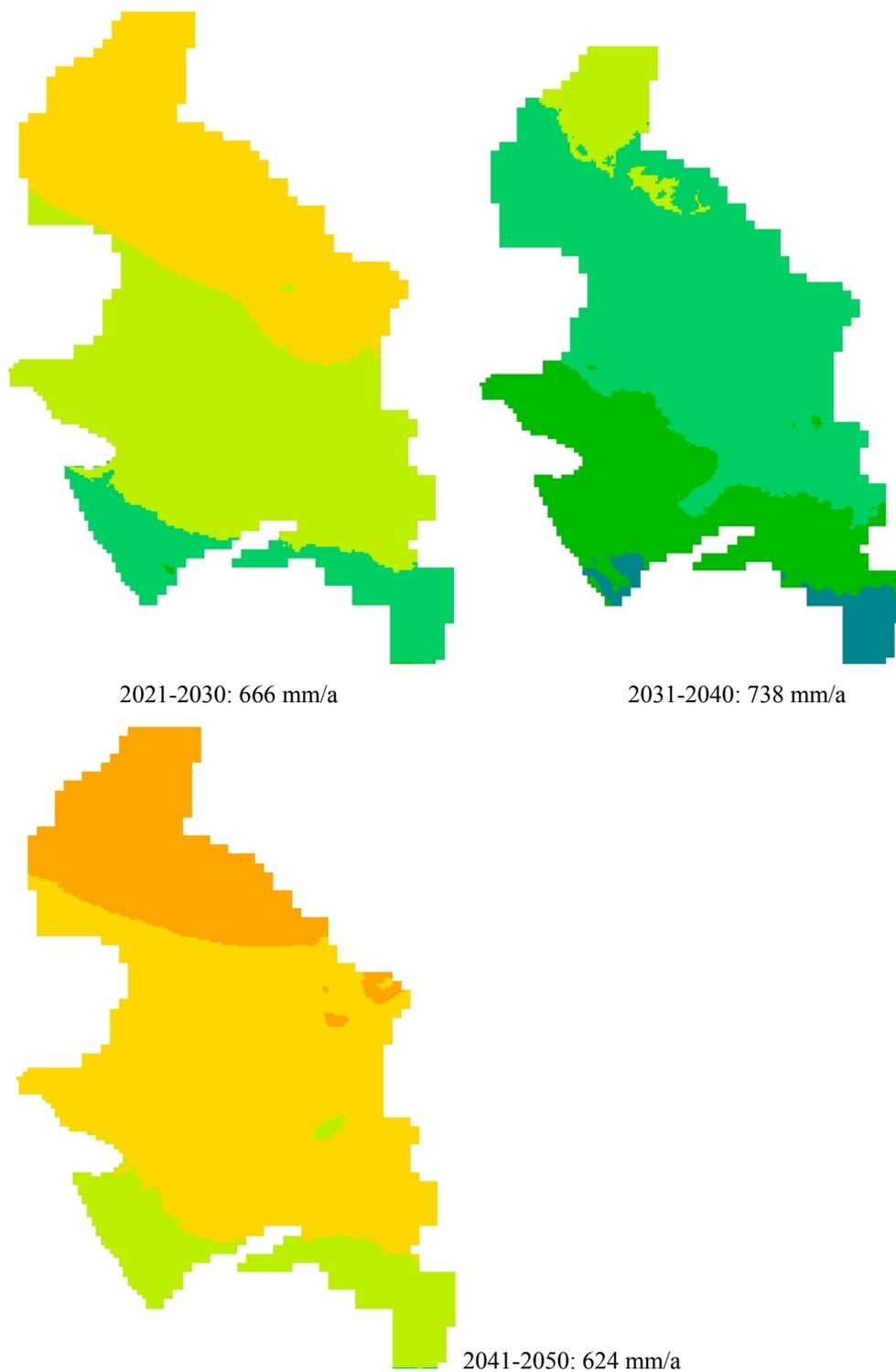
Abbildung 14: Niederschlagsverteilung im Gesamtgebiet, 7 Einzelbilder 1980-2050 und Legende vgl. S. 45



2001-2010: 691 mm/a

2011-2020: 640 mm/a

Fortsetzung Abbildung 14



Fortsetzung Abbildung 14: Legende vgl. S. 45

Nach zwei relativ trockenen Dekaden bis 2000 folgt derzeit eine mit etwas mehr Niederschlägen. Die prognostizierte Entwicklung von 2001 an bis 2050 hingegen erbringt deutlich niederschlagsreichere, aber auch trockenere Dekaden.

Es fällt eine geringere Differenzierung in der Fläche einerseits und andererseits zwischen hohen und tiefen Niederschlagsmengen der prognostizierten gegenüber den gemessenen Daten auf.