

INTERREG IIC – Projekt Nr. 97005/A, Natural Resources, Detailprojekt 4

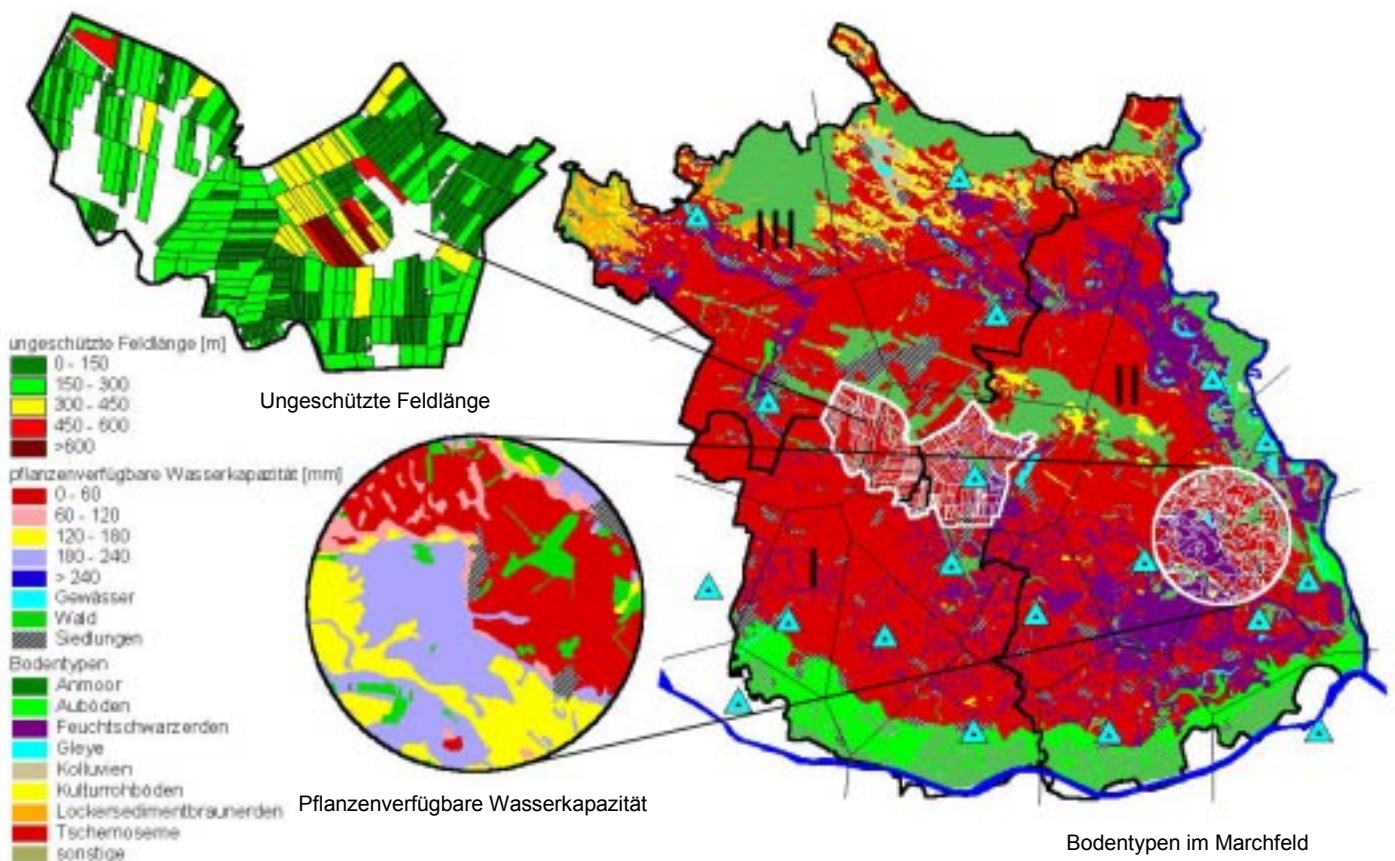
Landschaftsschonende und nachhaltige Nutzung von Wasser- und Bodenressourcen im ländlichen Raum

Endbericht

im Auftrag des
 Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft

P. Cepuder, A. Klik, V. aus der Schmitt, W. Madl, H. Stöhrmann

Wien, im September 2001



Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	V
VERZEICHNIS DER TABELLEN.....	VII
1 EINLEITUNG	1
1.1 PROBLEMSTELLUNG	1
1.2 ZIELSETZUNG	1
1.3 METHODIK	2
2 BESCHREIBUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES.....	4
2.1 KLIMATISCHE VERHÄLTNISSE.....	4
2.2 LANDWIRTSCHAFT IM MARCHFELD	6
2.3 BODENFORMEN	6
3 RÄUMLICHE MODELLIERUNG DES STICKSTOFFAUSTRAGES IN DAS GRUNDWASSER MIT HILFE DES SIMULATIONSMODELLS EPIC	8
3.1 ENTWICKLUNG DER DATENBASIS.....	8
3.1.1 <i>Bodendatenbank</i>	8
3.1.1.1 Bodenparameter	8
3.1.1.2 Feldversuche	10
3.1.2 <i>Klimadatenbank</i>	10
3.1.3 <i>Fruchtfolgen</i>	12
3.2 VERWENDETE MODELLKOMPONENTEN.....	13
3.2.1 <i>Formeln von BAUMER</i>	13
3.2.1.1 Modellbeschreibung	13
3.2.1.2 Modellkalibrierung.....	14
3.2.2 <i>EPIC</i>	15
3.2.2.1 Modellbeschreibung.....	15
3.2.2.2 Modellkalibrierung.....	16
3.2.2.2.1 Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf.....	16
3.2.2.2.1.1 Boden.....	16
3.2.2.2.1.2 Klima	18
3.2.2.2.1.3 Fruchtfolgen.....	18
3.2.2.2.1.4 Produktionstechnische Maßnahmen.....	19
3.2.2.2.1.5 Bewässerung	21
3.2.2.2.1.6 Vergleich mit Simulationsergebnissen.....	21
3.2.2.2.2 Feldmessstellen Fuchsenbigl	22
3.2.2.2.2.1 Boden.....	22
3.2.2.2.2.2 Klima	23
3.2.2.2.2.3 Fruchtfolgen.....	24
3.2.2.2.2.4 Bewässerung	25
3.2.2.2.2.5 Vergleich mit Simulationsergebnissen.....	26
3.2.2.3 Eichparameter.....	27
3.2.2.4 Simulation der Bewässerung	27
3.2.3 <i>GIS</i>	29
3.3 BESCHREIBUNG DER BENUTZEROBERFLÄCHE	29
3.3.1 <i>Allgemeines</i>	29

3.3.2	<i>Integration der Formeln von BAUMER</i>	31
3.3.2.1	Compactionfactor	31
3.3.2.2	Abfragetools	32
3.3.2.2.1	Write tot. Layer-Info (all Bofos)	32
3.3.2.2.2	Write tot. Layer-Info (Feature Input)	34
3.3.2.2.3	Write tot. Layer-Info (Text Input)	34
3.3.2.2.4	Write diff. Layer-Info (Feature Input)	34
3.3.2.2.5	Write diff. Layer-Info (Text Input)	35
3.3.2.2.6	Join Baumer-Parameters to Bofo	35
3.3.2.2.7	Join Baumer-Parameters to Bofo, classify nFk	35
3.3.2.2.8	Return Area	35
3.3.2.2.9	Show Profile Points	36
3.3.2.2.10	Show Profile	36
3.3.2.2.11	Show Baumer Values	36
3.3.2.2.12	Show Units	37
3.3.2.3	Verknüpfung der Formeln von BAUMER mit EPIC	37
3.3.3	<i>Integration von EPIC</i>	37
3.3.3.1	Verzeichnisstruktur	39
3.3.3.1.1	Ordner „Data“	39
3.3.3.1.2	Ordner „Models“	40
3.3.3.1.3	Ordner „Scenario“	40
3.3.3.2	Dialog „EPIC Menu“	41
3.3.3.2.1	Feld „Dataset“: Szenario Management	42
3.3.3.2.2	Feld „CFactor“	42
3.3.3.2.3	Feld „Database“	42
3.3.3.2.4	Feld „Simulation“	43
3.3.3.2.4.1	<u>Schritt 1</u> : Wahl der zu berechnenden Bodenformen	43
3.3.3.2.4.2	<u>Schritt 2</u> : Schreiben der EPIC-Inputdateien	44
3.3.3.2.4.3	<u>Schritt 3</u> : Start des Simulationsprogrammes EPIC	44
3.3.4	<i>Darstellung der Ergebnisse</i>	44
3.3.4.1	Feld „Shapes“	45
3.3.4.2	Feld „Charts“	46
3.4	DARSTELLUNG DER IST-SITUATION	48
3.4.1	<i>Anbauregion 1</i>	48
3.4.1.1	Perkolationswassermengen	49
3.4.1.2	Stickstoffaustrag	50
3.4.1.3	Nitratkonzentration im Perkolationswasser	51
3.4.2	<i>Anbauregion 2</i>	52
3.4.2.1	Perkolationswassermengen	52
3.4.2.2	Stickstoffaustrag	53
3.4.2.3	Nitratkonzentration im Perkolationswasser	54
3.4.3	<i>Anbauregion 3</i>	54
3.4.3.1	Perkolationswassermengen	55
3.4.3.2	Stickstoffaustrag	56
3.4.3.3	Nitratkonzentration im Perkolationswasser	57
3.4.4	<i>Situation im Gesamtgebiet</i>	58
3.5	GEGENÜBERSTELLUNG VON BELASTUNGSGRÖßEN	61
3.6	SZENARIEN ZUR NACHHALTIGEN BEWIRTSCHAFTUNG	63
3.6.1	<i>Grünbrache</i>	63
3.6.2	<i>Reduktion der Düngermengen</i>	64
3.6.3	<i>Zwischenbegrünung</i>	66
3.6.4	<i>Präsentationen</i>	68

4	GIS – GESTÜTZTE MODELLIERUNG DER BODENEROSION DURCH WIND MIT HILFE DER WINDEROSIONSGLEICHUNG	69
4.1	WINDEROSIONSMODELLE.....	70
4.1.1	<i>Winderosionsmodelle</i>	70
4.1.1.1	Wind Erosion Equation:	70
4.1.1.2	Revised Wind Erosion Equation:	70
4.1.1.3	Erosion Productivity Impact Calculator:	70
4.1.1.4	Wind Erosion Prediction System:.....	70
4.1.2	<i>Überlegungen zu Modellauswahl</i>	71
4.1.3	<i>Modellbeschreibung</i>	71
4.1.4	<i>Verknüpfung von GIS und WEQ</i>	73
4.2	BESTIMMUNG DER EINFLUSSFAKTOREN.....	76
4.2.1	<i>Bodenerodierbarkeitsindex</i>	76
4.2.2	<i>Klimafaktor</i>	82
4.2.3	<i>Ungeschützte Feldlänge</i>	88
4.2.4	<i>Rauhigkeitsfaktor</i>	91
4.2.5	<i>Vegetationsfaktor</i>	92
4.3	ERGEBNIS DER SIMULATION.....	96
4.4	KURZBESCHREIBUNG DES PROGRAMMS ZUR BERECHNUNG DES BODENABTRAGES	98
5	INTERDISZIPLINÄRES BEWERTUNGSMODELL	101
5.1	BEWERTUNGSMODELL FÜR DEN NITRATAUSTRAG INS GRUNDWASSER.....	101
5.2	BEWERTUNGSMODELL FÜR DIE WINDEROSION	103
6	SCHLUSSBEMERKUNG	106
	LITERATURVERZEICHNIS	107
	ANHANG A	109
	ANHANG B	109

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: PROZENTUELLE AUFTEILUNG DER FLÄCHEN IM MARCHFELD	4
ABBILDUNG 2: BODENFORMEN DER LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN FLÄCHEN LAUT ÖSTERREICHISCHER BODENKARTIERUNG FÜR DAS PROJEKTSGEBIET MARCHFELD.....	6
ABBILDUNG 3: KLIMASTATIONEN MIT RÄUMLICHER AUFTEILUNG NACH THIESSEN	10
ABBILDUNG 4: RÄUMLICHE ABGRENZUNG DER ANBAUREGIONEN IM PROJEKTSGEBIET MARCHFELD	13
ABBILDUNG 5: MENÜ „EPICINT“ IM PROJEKT-FENSTER VON ARCVIEW	30
ABBILDUNG 6: MENÜ „EPICINT IM VIEWS-FENSTER VON ARCVIEW	30
ABBILDUNG 7: MENÜ „EPICINT IM TABLES-FENSTER VON ARCVIEW	31
ABBILDUNG 8: DIALOG „EDIT COMPACTION FACTORS“	32
ABBILDUNG 9: KARTE DER NUTZBAREN FELDKAPAZITÄT, 5 KLASSEN, GEMEINDE ADERKLAA	34
ABBILDUNG 10: SELEKTIERTE BODENFORM 33 DES KB GROß-ENZERSDORF, MIT PROFILSTELLE UND GRAFISCHEN DARSTELLUNG DES BODENHORIZONTES	36
ABBILDUNG 11: VERFÜGBARE BODENINFORMATIONEN DER BODENFORM 7033	37
ABBILDUNG 12: FLUSSDIAGRAMM ZUR SIMULATION DES STICKSTOFFAUSTRAGES MIT EPIC	38
ABBILDUNG 13: VERZEICHNISSTRUKTUR VON „EPICINT.APR“	39
ABBILDUNG 14: ORDNER „DATA“	39
ABBILDUNG 15: BAUMSTRUKTUR DES ORDNERS „SCENARIO“	41
ABBILDUNG 16: BUTTON „E“ FÜR DEN START VON „EPIC MENU“	41
ABBILDUNG 17: DIALOG „USE EPIC“	42
ABBILDUNG 18: DIALOG ZUR AUSWAHL DER BODENFORMEN.....	43
ABBILDUNG 19: DIALOG „OUTPUT“	45
ABBILDUNG 20: JAHRESWERTE DER EVAPOTRANSPIRATION FÜR DEN GEWÄHLTEN BEREICH	46
ABBILDUNG 21: DIAGRAMM MIT JÄHRLICHEN WERTEN DER EVAPOTRANSPIRATION	47
ABBILDUNG 22: VERGLEICH DER EVAPOTRANSPIRATION BEZÜGLICH VERSCHIEDENER BODENFORMEN	47
ABBILDUNG 23: PERKOLATION IM ANBAUGEBIET 1, FF1	49
ABBILDUNG 24: PERKOLATION IM ANBAUGEBIET 1, FF2	49
ABBILDUNG 25: STICKSTOFFAUSTRAG IM ANBAUGEBIET 1, FF1	50
ABBILDUNG 26: STICKSTOFFAUSTRAG IM ANBAUGEBIET 1, FF2.....	50
ABBILDUNG 27: NITRATKONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER IM ANBAUGEBIET 1, FF1	51
ABBILDUNG 28: NITRATKONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER IM ANBAUGEBIET 1, FF2.....	51
ABBILDUNG 29: PERKOLATION IM ANBAUGEBIET 2, FF2	52
ABBILDUNG 30: STICKSTOFFAUSTRAG IM ANBAUGEBIET 2, FF2.....	53
ABBILDUNG 31: NITRATKONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER, ANBAUGEBIET 2, FF2	54
ABBILDUNG 32: PERKOLATION IM ANBAUGEBIET 3, FF3	55
ABBILDUNG 33: PERKOLATION IM ANBAUGEBIET 3, FF4.....	55
ABBILDUNG 34: STICKSTOFFAUSTRAG IM ANBAUGEBIET 3, FF3.....	56
ABBILDUNG 35: STICKSTOFFAUSTRAG IM ANBAUGEBIET 3, FF4.....	56
ABBILDUNG 36: NITRATKONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER, ANBAUGEBIET 3, FF3	57
ABBILDUNG 37: NITRATKONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER, ANBAUGEBIET 3, FF4	57
ABBILDUNG 38: PERKOLATION [MM/A], 6 KLASSEN, MARCHFELD	58
ABBILDUNG 39: STICKSTOFFAUSTRAG [KG/HA,A], 6 KLASSEN, MARCHFELD	59
ABBILDUNG 40: DURCHSCHNITTLICHE NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER [MG/L], 6 KLASSEN, MARCHFELD	60
ABBILDUNG 41: NO ₃ -N KONZENTRATION IM PERKOLATIONSWASSER BEZOGEN AUF DEN GRUNDWASSERSCHWELLENWERT, MARCHFELD	61
ABBILDUNG 42: PRIORITÄTEN IN DER ABWASSERENTSORGUNG AUF GEMEINDEEBENE (SKALA VON 1 – 10, 1: GERINGSTE PRIORITÄT, 10: HÖCHSTE PRIORITÄT)	62

ABBILDUNG 43: NITRATKONZENTRATION IM GRUNDWASSER [MG/L], GEMITTELTE WERTE DER JAHRE 1998 – 1999.....	63
ABBILDUNG 44: REDUKTION DER NITRATBELASTUNG DES SICKERWASSERS AUF BÖDEN MIT SCHLECHTER PFLANZENNUTZBARER WASSERKAPAZITÄT UND GRÜNBRACHE	64
ABBILDUNG 45: DIFFERENZEN [%] IN DER PERKOLATION [MM] DER FF2 OHNE UND MIT ZWISCHENBEGRÜNUNG	67
ABBILDUNG 46: DIFFERENZEN [%] IM STICKSTOFFAUSTRAG [KG/HA] DER FF2 OHNE UND MIT ZWISCHENBEGRÜNUNG	67
ABBILDUNG 47: DIFFERENZEN [%] IN DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER [MG/L] DER FF2 OHNE UND MIT ZWISCHENBEGRÜNUNG	68
ABBILDUNG 48: FLUSSDIAGRAMM ZUR GIS-GESTÜTZTEN BERECHNUNG DES BODENABTRAGES MIT HILFE DER WINDEROSIONSGLEICHUNG	75
ABBILDUNG 49: PRINZIP DER ABLEITUNG DER WEQ FAKTOREN FÜR DIE MODELLIERUNG DURCH PROJEKTION DER RÄUMLICH VARIABLEN FAKTOREN AUF DAS GRUNDELEMENT DER MODELLBILDUNG.....	76
ABBILDUNG 50: ÜBERLAGERUNG DES ÖSTERREICHISCHEN TEXTURDREIECKS MIT DEN „WIND ERODIBILITY GROUPS“ FÜR KALKARME BÖDEN.....	78
ABBILDUNG 51: ÜBERLAGERUNG DES ÖSTERREICHISCHEN TEXTURDREIECKS MIT DEN „WIND ERODIBILITY GROUPS“ FÜR KALKREICHE BÖDEN.	78
ABBILDUNG 52: KARTE DES BODENERODIERBARKEITSINDEX (IN T HA ⁻¹ A ⁻¹) FÜR DEN KARTIERUNGSBEREICH GÄNSERNDORF (BASIEREND AUF ÖSTERREICHISCHER BODENKARTIERUNG)	80
ABBILDUNG 53: AUFTRETENSHÄUFIGKEIT DES ERODIERBARKEITSINDEX IM KARTIERUNGSBEREICH GÄNSERNDORF (GESAMTFLÄCHE DER KARTIERTEN BÖDEN 288,7 KM ²).....	80
ABBILDUNG 54: MAXIMALE BODENEROSION IM KARTIERUNGSBEREICH GÄNSERNDORF (IN T HA ⁻¹ A ⁻¹)	82
ABBILDUNG 55: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER WINDRICHTUNG FÜR DIE STATION HOHE WARTE UND FUCHSENBIGL [HÄUFIGKEIT IN %].....	84
ABBILDUNG 56: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER WINDRICHTUNG FÜR VERSCHIEDENE GESCHWINDIGKEITSKLASSEN DER STATION OBERSIEBENBRUNN (NACH DOBESCH UND NEUWIRT, 1982)	85
ABBILDUNG 57: BEITRAG DER EINZELNEN WINDRICHTUNGSKLASSEN ZUR EROSIVEN WINDENERGIE (GRENZGESCHWINDIGKEIT = 8 M/S) FÜR DIE STATION HOHE WARTE.	86
ABBILDUNG 58: HÄUFIGKEITSVERTEILUNG DER WINDRICHTUNG ÜBER DAS JAHR FÜR ALLE WINDGESCHWINDIGKEITEN ÜBER 8,0 M/S.....	87
ABBILDUNG 59: VERTEILUNG DER EROSIVEN WINDENERGIE ÜBER DAS JAHR (GRENZGESCHWINDIGKEIT 8 M/S) .	87
ABBILDUNG 60: AUSSCHNITT ÖK50.....	89
ABBILDUNG 61: SATELLITENBILD (1 PIXEL ≡ 10,0 M)	89
ABBILDUNG 62: LUFTBILD (1 PIXEL ≡ 1,0 M) MIT EINGETRAGENEN BEARBEITUNGSRICHTUNGEN	89
ABBILDUNG 63: BODENSCHUTZANLAGE MIT GERINGER OPTISCHER POROSITÄT (NAHE OBERSIEBENBRUNN)	90
ABBILDUNG 64: BODENSCHUTZANLAGE MIT HOHER OPTISCHER POROSITÄT (NAHE OBERSIEBENBRUNN)	90
ABBILDUNG 65: ERMITTLUNG DER UNGESCHÜTZTEN FELDLÄNGE	91
ABBILDUNG 66: KARTE DES SIMULIERTEN BODENABTRAGES FÜR DAS AUSGEWÄHLTE BEISPIELSGEBIET WESTLICH VON OBERSIEBENBRUNN.....	96
ABBILDUNG 67: BODENABTRAG FÜR EIN SZENARIO MIT ZUSÄTZLICHEN BODENSCHUTZANLAGEN (BLAU DARGESTELLT)	97
ABBILDUNG 68: PULL-DOWN MENÜ WEQ	99
ABBILDUNG 69: FENSTER MIT OPTIONEN ZU DEFINITION DER VERSCHIEDENEN INPUTS.....	100
ABBILDUNG 70: BEISPIEL EINER AUSWAHLLISTE FÜR DIE DEFINITION DER INPUTS.....	100
ABBILDUNG 71: FENSTER ZUM STARTEN DER SIMULATION.....	100
ABBILDUNG 72: BEWERTUNGSMODELL FÜR DIE RESSOURCENSCHUTZFUNKTION „WASSER“.....	103
ABBILDUNG 73: BEWERTUNGSMODELL FÜR DIE RESSOURCENSCHUTZFUNKTION „BODEN“.....	105

Verzeichnis der Tabellen

TABELLE 1: JAHRESMITTEL DER KLIMADATEN DER STATION OBERSIEBENBRUNN.....	5
TABELLE 2: TABELLE DER BODENINFORMATION.....	9
TABELLE 3: ATTRIBUTTABELLE DER THIESSEN-POLYGONE.....	11
TABELLE 4: DBASE-TABELLE DER WETTERSTATION FUCHSENBIGL.....	11
TABELLE 5: ZUSAMMENSTELLUNG DER FRUCHTFOLGEN FÜR DAS PROJEKTSGEBIET MARCHFELD.....	12
TABELLE 6: AUFTEILUNG DER ANBAUREGIONEN NACH GEMEINDEN.....	12
TABELLE 7: ERMITTELTE FAKTOREN DER BODENVERDICHTUNG FÜR DAS PROJEKTSGEBIET MARCHFELD.....	14
TABELLE 8: BODENPHYSIKALISCHE UND BODENCHEMISCHE DATEN DER BODENFORM 7004 FÜR SCHLAG N 7/8 DER VERSUCHSWIRTSCHAFT GROß-ENZERSDORF.....	17
TABELLE 9: BODENPHYSIKALISCHE UND BODENCHEMISCHE DATEN DER BODENFORM 7019 FÜR SCHLAG R 1/2 DER VERSUCHSWIRTSCHAFT GROß-ENZERSDORF.....	17
TABELLE 10: MITTLERE MONATLICHE TEMPERATUREN DER JAHRE 1986 BIS 1993 IN GROß-ENZERSDORF.....	18
TABELLE 11: MONATLICHE NIEDERSCHLAGSSUMMEN DER JAHRE 1986 BIS 1993 IN GROß-ENZERSDORF.....	18
TABELLE 12: FRUCHTFOLGEN FÜR DIE SCHLÄGE N 7/8 UND R 1/2 IN DEN JAHREN 1986 - 1993.....	18
TABELLE 13: BEWIRTSCHAFTUNGSMAßNAHMEN DER FRUCHTFOLGE 1 AUF SCHLAG N 7/8 DER VERSUCHSWIRTSCHAFT GROß-ENZERSDORF FÜR DEN ZEITRAUM 1986 BIS 1993.....	19
TABELLE 14: BEWIRTSCHAFTUNGSMAßNAHMEN DER FRUCHTFOLGE 2 AUF SCHLAG R 1/2 DER VERSUCHSWIRTSCHAFT GROß-ENZERSDORF FÜR DEN ZEITRAUM 1986 BIS 1993.....	20
TABELLE 15: BEWÄSSERTE KULTURARTEN IN GROß-ENZERSDORF MIT BEREGNUNGSZEITPUNKT UND -MENGE ...	21
TABELLE 16: ERTRÄGE VON FRUCHTFOLGE 1 AUF SCHLAG N 7/8.....	21
TABELLE 17: ERTRÄGE VON FRUCHTFOLGE 2 AUF SCHLAG R ½.....	22
TABELLE 18: MONATSMITTEL DER LUFTTEMPERATUR IM UNTERSUCHUNGSZEITRAUM IN °C.....	23
TABELLE 19: MONATSSUMMEN DER NIEDERSCHLÄGE IN MM.....	23
TABELLE 20: ZUSAMMENSTELLUNG DER FRUCHTFOLGEN IN FUCHSENBIGL (MESSSTELLE 1 – 6).....	24
TABELLE 21: BEWÄSSERTE KULTURARTEN IN FUCHSENBIGL MIT ZEITPUNKT UND BEREGNUNGSMENGE.....	25
TABELLE 22: GEMESSENE UND ERRECHNETE ERTRÄGE DER FELDMESSSTELLEN 1 - 6 IN FUCHSENBIGL.....	26
TABELLE 23: MITTELWERTE VON SICKERWASSER, STICKSTOFFAUSTRAG UND NO ₃ -KONZENTRATION DER MESSSTELLEN 1 BIS 6 A/B IN FUCHSENBIGL.....	27
TABELLE 24: BEWÄSSERUNGSPARAMETER FÜR BÖDEN MIT HOHER NUTZBARER WASSERKAPAZITÄT.....	28
TABELLE 25: BEWÄSSERUNGSPARAMETER FÜR BÖDEN MIT GERINGER NUTZBARER WASSERKAPAZITÄT.....	28
TABELLE 26: VERGLEICH ZWISCHEN TATSÄCHLICHER UND SIMULIRTER BEWÄSSERUNG FÜR DIE SCHLÄGE N 7/8 UND R 1/2 (ANGABEN IN [MM]).....	29
TABELLE 27: TABELLE MIT BERECHNETER BODENFORMINFORMATION (GEMITTELTE WERTE).....	33
TABELLE 28: TABELLE „BAUMERDIFF.DBF“ MIT ERRECHNETEN PARAMETERN FÜR JEDE EINZELNE BODENSCHICHTE.....	35
TABELLE 29: FLÄCHENANTEILE DER PERKOLATION AUF 6 KLASSEN BEZOGEN.....	58
TABELLE 30: FLÄCHENANTEILE DES STICKSTOFFAUSTRAGES AUF 6 KLASSEN BEZOGEN.....	59
TABELLE 31: FLÄCHENANTEILE DER NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER AUF 6 KLASSEN BEZOGEN.....	60
TABELLE 32: JÄHRLICHE MIN-, MAX- UND GEWICHTETE MITTELWERTE DES ERTRAGS (TROCKENSUBSTANZ [T/HA]); DÜNGERMENGEN [KG/HA]; REDUKTION DES DURCHSCHNITTLICHEN ERTRAGS BEI DÜNGERREDUKTION UM 20%.....	65
TABELLE 33: JÄHRLICHE WERTE VON MIN-, MAX- UND GEWICHTETE MITTELWERTE VON PERKOLATION [MM], STICKSTOFFAUSTRAG [KG/HA] UND NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER [MG/L] BEZOGEN AUF DIE IST-SITUATION.....	65
TABELLE 34: JÄHRLICHE WERTE VON MIN-, MAX- UND GEWICHTETE MITTELWERTE VON PERKOLATION [MM], STICKSTOFFAUSTRAG [KG/HA] UND NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER [MG/L], BEI REDUKTION DER	

DÜNGERGABEN UM 20%, INCL. REDUKTION (RED) DER MITTELWERTE VON STICKSTOFFAUSTRAG UND NITRATKONZENTRATION IM SICKERWASSER.	66
TABELLE 35: ZUORDNUNG DES BODENERODIERBARKEITSINDEX ($\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) ZU DEN „WIND ERODIBILITY GROUPS“.....	77
TABELLE 36: ZUORDNUNG DES BODENERODIERBARKEITSINDEX ($\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) ZU DEN EINZELNEN BODENKLASSEN.	79
TABELLE 37: ÜBERSICHT ÜBER DIE ZUR VERFÜGUNG STEHENDEN METEOROLOGISCHEN AUFZEICHNUNGEN	83
TABELLE 38: KLIMA-FAKTOREN FÜR DIE SECHS AUSGEWÄHLTEN STATIONEN.....	84
TABELLE 39: VERTEILUNG DER EROSIVEN WINDENERGIE [M/S] ÜBER DAS JAHR (GRENZGESCHWINDIGKEIT 8 M/S)	87
TABELLE 40: WINDGESCHÜTZTE FELDLÄNGE FÜR VERSCHIEDENE GEHÖLZARTEN	91
TABELLE 41: RAUHIGKEITSFAKTOR AUFGRUND DER „RANDOM ROUGHNESS“	92
TABELLE 42: KONSTANTEN FÜR DIE ABSCHÄTZUNG DES „SMALL-GRAIN EQUIVALENT“	93
TABELLE 43: KOEFFIZIENTEN G_1 , G_2 UND G_3 FÜR DIE BERECHNUNG VON $(SG)_E$	94
TABELLE 44: BEWERTUNGSSCHLÜSSEL NITRATKONZENTRATION	102
TABELLE 45: BEWERTUNGSSKALA NITRATKONZENTRATION	102
TABELLE 46: BEWERTUNGSSCHLÜSSEL BODENABTRAG DURCH WIND.....	104
TABELLE 47: BEWERTUNGSSKALA BODENABTRAG DURCH WIND.....	104

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Umweltbelastung und Umweltschutz sind Themen, die aus Sorge um unsere natürlichen Lebensgrundlagen in der öffentlichen Diskussion der letzten Jahre breiten Raum einnehmen. Längst wurde neben der Industrie und den Kommunen auch die Landwirtschaft als Quelle für die Belastung unserer Umwelt erkannt. Besonders in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten wie dem Marchfeld ist dieser Problematik vermehrt Aufmerksamkeit zu schenken. Im Gegensatz zu anderen Belastungsquellen treten die Emissionen aus der Landwirtschaft vor allem diffus, sozusagen „in der Fläche“ auf. Aus diesem Grund kann eine Verbesserung der Umweltsituation nicht allein durch technische Reinigungsverfahren erzielt werden, sondern es muss auch eine Reduktion der Emissionen erfolgen. Neben der Verringerung der Emissionen durch nachhaltige Bewirtschaftung muss in Zeiten von landwirtschaftlicher Überproduktion auch über eine veränderte Flächennutzung, z.B. weg von der landwirtschaftlichen hin zu einer forstwirtschaftlichen Nutzung, nachgedacht werden. Dieses Szenario scheint vor allem für Grenzertragsflächen geeignet. Besonders in unterbewaldeten Regionen werden zur Zeit Aufforstungsprojekte vorangetrieben, die der positiven landschaftsökologischen Wirkung des Waldes Rechnung tragen.

Eine Teilschiene des INTERREG IIC Projekts *„Natural Resources: Länderübergreifende Sicherung und Verbesserung der Nachhaltigkeit natürlicher Ressourcen der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft unter Einsatz gemeinsamer Raumplanung mit Schwerpunkten in unterbewaldeten Bereichen des Flach- und Hügellandes in Mittel- und Südeuropa“* versucht eine Bewertung der Flächen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die natürlichen Ressourcen unter der derzeitigen Landnutzung am Beispiel eines Teilgebietes des Marchfeldes vorzunehmen. Mit Hilfe der Darstellung des Ist-Zustandes sollen potentielle Aufforstungsflächen erkannt, und die Auswirkung einer veränderten Landnutzung abgeschätzt werden.

Durch die Landnutzung einer Fläche werden eine Vielzahl von Funktionen und Auswirkungen sowohl der betroffenen Fläche selbst als auch von Flächen in der Nachbarschaft bestimmt. So werden durch die Aufforstung das Kleinklima, der Wasserhaushalt oder die Bodeneigenschaften verändert. Selbstverständlich hat der Wechsel von land- zu forstwirtschaftlicher Produktion auch Auswirkungen auf den Menschen; sowohl auf den betroffenen Landwirt als auch auf Personen, welche die Region zu Erholungszwecken besuchen.

Das Marchfeld ist eine der größten und am intensivsten landwirtschaftlich genutzten Regionen Österreichs, welche mit einem Waldanteil von 16%, vorwiegend an den Gebietsrändern gelegen, zu den unterbewaldeten Regionen des pannonischen Raumes zählt. Durch seine direkte Nachbarschaft zu Wien kommt jedoch auch seinem Grundwasserkörper und seiner Funktion als Naherholungsraum eine besondere Bedeutung zu. Im hier vorgestellten Detailprojekt *„Landschaftsschonende und nachhaltige Nutzung von Wasser- und Bodenressourcen im ländlichen Raum“* wird spezielle auf die Ressourcen Wasser und Boden eingegangen.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Detailprojekts *„Landschaftsschonende und nachhaltige Nutzung von Wasser- und Bodenressourcen im ländlichen Raum“* sollen die Einflüsse vorwiegend aus der Landwirtschaft, aber auch von Siedlungen auf die Ressourcen Wasser und Boden untersucht werden. Der Begriff der Wasser- und Bodenressource umfasst zwei komplexe Systeme, die in intensiver Wechselwirkung mit

einander als auch mit der Atmosphäre und Biosphäre stehen. Da auch eine nur annähernd vollständig und korrekte Abbildung dieser Systeme unmöglich ist, beschränkt sich diese Untersuchung auf zwei Schlüsselgrößen: den Nitratreintrag in das Grundwasser und den Verlust von Boden durch Erosion.

Eine der unzähligen Auswirkungen auf das Grundwasser ist eine ständige Zunahme der Nitratbelastung während der letzten Jahrzehnte. Ein Qualitätsproblem, das in den 60er Jahren erstmals auftrat, als in einzelnen Wasserversorgungsanlagen hohe Nitratgehalte festgestellt wurden. Aufgrund der gesundheitsschädigenden Wirkungen des Nitrates auf die menschliche Gesundheit fordert die österreichische Nitratverordnung von 1989 in einem Stufenplan immer niedrigere Grenzwerte. Zusätzliche Informationen über Nitratverlagerung und Nitrataustrag sollen besonders in Hinblick auf die Trinkwassernitratverordnung, BGBl. Nr. 557/1989, die Wasserrechtsgesetznovelle 1990 und die Grundwasserschwellenwertverordnung (GSwV), BGBl. Nr. 502/1991 eine Hilfestellung für zukünftige wasserwirtschaftliche Rahmenentscheidungen geben.

Der Grundwasserkörper des Marchfeldes kann als abgeschlossener Bereich betrachtet werden, in welchem die Grundwasserneubildung allein durch Sickerwasser bestimmt wird. Deshalb kann als Schlüsselgröße für die Nitratbelastung des Grundwassers der Nitratgehalt im Perkolationswasser gewählt werden. Für die Identifikation von Flächen mit besonderer Austragsgefährdung ist die Entwicklung eines Instruments notwendig, mit dem neben der Darstellung des Ist-Zustandes auch mögliche Nutzungsänderungen untersucht werden können.

Die Bodenerosion auf landwirtschaftlichen Flächen wird vor allem durch Einzelereignisse dominiert. Neben einer stark erosiven Klimasituation (sehr trockene Bodenoberfläche und hohe Windgeschwindigkeiten) muss auch eine entsprechend labile Pflanzendecke vorhanden sein, damit größere Schäden entstehen können. Die Auswertung von Schadensprotokollen für den Zuckerrückenbau im nordöstlichen Marchfeld (Zuckerrüben-Inspektion der AGRANA) zeigt, dass dies auch auf das Marchfeld zutrifft. Die bisher entwickelten Simulationsmodelle in Kombination mit den für das Untersuchungsgebiet flächendeckend vorhandenen Datengrundlagen erlauben jedoch nur eine langjährige Betrachtung der Erosionssituation.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung (und das verwendete interdisziplinäre Bewertungsmodell) ist eine möglichst exakte Darstellung der Ist-Situation nicht erforderlich. Für die Auswahl von Neuaufforstungsflächen ist die Identifikation von Flächen mit einem hohen potentiellen Erosionsrisiko ausreichend. Im Unterschied zu anderen untersuchten Einflüssen hat eine Aufforstungsfläche aus dem Blickwinkel des Bodenschutzes vor Winderosion auch eine Wirkung auf benachbarte Flächen.

Um Szenarien für eine geänderte Landnutzung entwerfen und bewerten zu können, ist es erforderlich ein Instrument zu entwickeln, das zweierlei Anforderungen genügt: 1.) die Abschätzung des potentiellen Erosionsrisikos einer Fläche und 2.) die Untersuchung der Schutzwirkung einer Aufforstungsfläche auf benachbarte landwirtschaftliche Flächen.

1.3 Methodik

Da für die Bewertung der Ist-Situation nur wenige punktuelle Felduntersuchungen für den Stickstoffhaushalt bzw. keine Felduntersuchungen für die Erosionssituation vorliegen werden mathematische Simulationsmodelle eingesetzt. Diese erlauben es, die Untersuchung der Ist-Situation auf das gesamte Projektgebiet auszudehnen. Der entscheidende Vorteil des Einsatzes von Simulationsmodellen liegt jedoch in der Möglichkeit Prognosen für die Auswirkungen geänderter Nutzung auf Boden- und Wasserressourcen abzugeben. Der Stickstoffaustrag in das Grundwasser wird mittels des Simulationsmodell EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (SHARPLEY & WILLIAMS, 1990) untersucht. Für die Abschätzung der Bodenerosion durch Wind wird die Wind

Erosion Equation (WEQ) angewandt. Fehlende Bodenparameter werden mit Hilfe von empirischen Formeln aus den vorhanden Bodeninformationen abgeschätzt.

Die große Menge an räumlichen Daten erfordert ein GIS zur Verwaltung, Manipulation und Darstellung aller Daten. Ein Teilziel des Projektes ist, durch Verknüpfung und Integration von Simulationsmodellen, GIS und erforderlichen Daten ein einfach zu bedienendes Werkzeug für die Analyse von Schlüsselparametern zu schaffen.

2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Als „Marchfeld“ wird jener Teil des Wiener Beckens bezeichnet, der nördlich der Donau und nordöstlich von Wien liegt. Seine Fläche umfasst ca. 100.000 ha und wird im Westen vom Höhenzug des Bisamberges, im Süden von der Donau und im Osten durch die March begrenzt. Die Nordgrenze bildet der "Große Wagram", der Abfall des Weinviertler Hügellandes. Der von der Projektgruppe bearbeitete Teil des Marchfeldes hat eine flächenmäßige Ausdehnung von 962 km². Davon sind 79% landwirtschaftlich genutzte Flächen, 16% Wald und 5% Siedlungsgebiet. Der auf den ersten Blick hoch erscheinenden Waldanteil setzt sich aus Gebieten zusammen, die zum größten Teil am Rande des Projektgebietes liegen (Hochleitenwald, Matzener Wald, Donauauen, Marchauen). Das Gebiet umfasst 4 Kartierungsbereiche, 34 Gemeinden und 81 Katastralgemeinden.

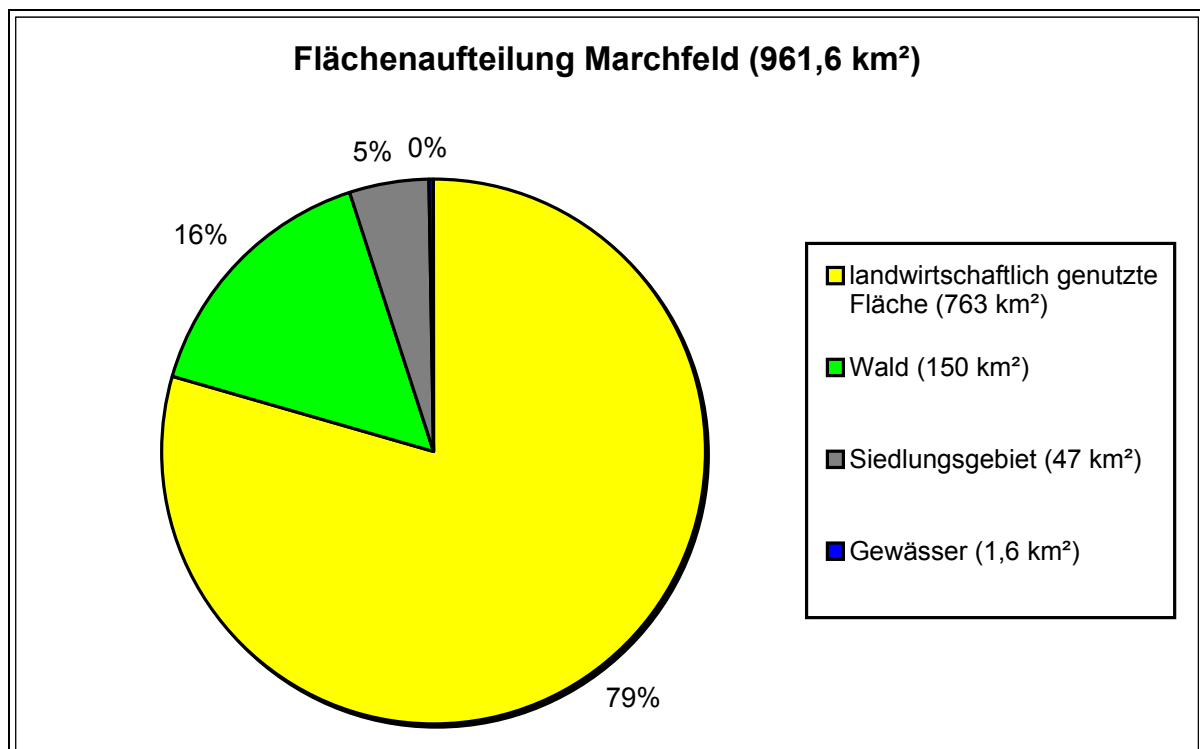


Abbildung 1: Prozentuelle Aufteilung der Flächen im Marchfeld

Das Grundwasser des Marchfeldes fließt in den quartären Schottern von Nordwesten nach Südosten. Die Mächtigkeit der Schotterkörper beträgt im Durchschnitt 10 m. Die tertiären Schotterkörper in den tektonischen Wannen haben eine Mächtigkeit von 30 bis 80 m. Der Flurabstand liegt zwischen ca. 20 m auf der Hochterrasse und ca. 3 m im March - Donau Winkel. Durchschnittlich ist eine Deckschicht von rund 5-10 m über dem Grundwasserspiegel vorhanden (NEUDORFER, 1981). Der Flurabstand - der Abstand zwischen Grundwasserspiegel und Geländeoberkante - beträgt auf der Hochterrasse ca. 15 m und auf der Niederterrasse ca. 5 bis 7 m.

2.1 Klimatische Verhältnisse

Das Marchfeld liegt klimatisch in einem Übergangsbereich zwischen dem westeuropäischen Klimaraum, der milde Winter und feuchte, verhältnismäßig kühle Sommer aufweist und dem

kontinental beeinflussten osteuropäischen Klimabereich, der durch kalte Winter und trockene, heiße Sommer gekennzeichnet ist.

Nach pflanzengeographisch - klimatologischen Gesichtspunkten gehört der Raum zur Gänze dem Panonikum an, also einem Gebiet mit viel Sonnenschein, hohen Temperatursummen in der Vegetationsperiode und relativ geringen Niederschlägen. Das Marchfeld hat mit ca. 240 Tagen eine relativ lange Vegetationsperiode und liegt in der wärmsten aber auch trockensten Zone Österreichs. Das 30-jährige Lufttemperatur-Jahresmittel beträgt ca. 10°C und die mittlere Jahressumme des Niederschlags liegt zwischen 500 und 600 mm. Unter diesen Voraussetzungen ist ein gutes Wachstum von Getreide und Sonderkulturen – da auf Grund des vorhandenen mächtigen Grundwasserkörpers eine Bewässerung durchführbar ist - möglich. Die Kombination aus geringem Niederschlag und hohen Temperaturen führen jedoch auch zu einer häufigen starken Austrocknung der obersten Millimeter des Bodenprofils. Dies schafft jene Bodenbedingungen die bei Auftreten von hohen Windgeschwindigkeiten zu Erosion führen können.

In der folgenden Tabelle sind die Jahresmittel der Globalstrahlung, Maxima (Tmax) und Minima (Tmin) der Lufttemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit der Jahre 1978 – 1998, langjährige Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der meteorologischen Station Obersiebenbrunn aufgelistet.

Tabelle 1: Jahresmittel der Klimadaten der Station Obersiebenbrunn

Jahr	Jahresmittelwert				Jahressumme	
	TMAX (°C)	TMIN (°C)	WG (m/s)	RHD (%)	NS (mm)	RAD (MJ/m ²)
1978	13,3	4,2	2,4	72,1	455	3998
1979	14,1	4,8	2,3	74,4	597	3867
1980	12,8	4,1	2,3	74,7	510	3924
1981	14,5	5,2	2,5	70,4	424	4066
1982	14,3	5,2	2,1	72,0	429	4100
1983	15,4	5,4	2,4	69,4	502	4251
1984	13,4	4,9	2,3	73,6	484	3875
1985	13,1	4,2	2,2	73,2	584	4044
1986	14,1	4,3	2,1	70,2	408	4198
1987	13,4	4,5	2,2	73,8	616	3956
1988	14,7	5,0	2,1	72,3	539	4312
1989	15,1	5,3	1,8	73,8	458	3764
1990	15,5	5,0	1,9	71,1	452	3993
1991	14,0	4,5	1,9	71,0	378	3813
1992	15,8	5,9	2,0	68,1	426	4018
1993	14,7	5,1	2,1	72,7	469	4147
1994	16,0	6,2	1,8	71,9	481	4242
1995	14,5	5,6	2,0	74,2	647	4061
1996	12,9	4,4	1,8	75,6	618	3924
1997	14,4	4,8	1,9	72,2	610	4165
1998	15,6	6,1	1,8	70,1	705	4460
Mittelwert	14,4	5,0	2,1	72,2	514	4056
SD	1,0	0,6	0,2	1,9	91	175

2.2 Landwirtschaft im Marchfeld

Die landwirtschaftliche Nutzfläche des Marchfeldes beträgt ca. 76.000 ha. Diesem Agrarraum kommt, obwohl er nur ca. 4 % der Gesamtagrarfläche Österreichs ausmacht, durch seine spezielle Struktur besondere Bedeutung zu. In der Landwirtschaft des Marchfeldes steht Getreide an erster Stelle. Dies brachte dem Marchfeld den Beinamen „Kornkammer Österreichs“ ein. Weitere häufig angebaute Kulturen sind Zuckerrübe, Kartoffel und Mais. Besondere Bedeutung in Bezug auf den Nitrataustrag ins Grundwasser kommt dem Feldgemüseanbau zu, der eine Fläche von ca. 2.000 ha umfasst.

2.3 Bodenformen

Im Untersuchungsgebiet treten Tschernoseme in verschiedenen Ausbildungsformen und Mächtigkeiten auf. Abbildung 2 zeigt die verschiedenen Bodenformen laut Österreichischer Bodenkartierung (ÖBK, 1976) für das Projektgebiet Marchfeld.

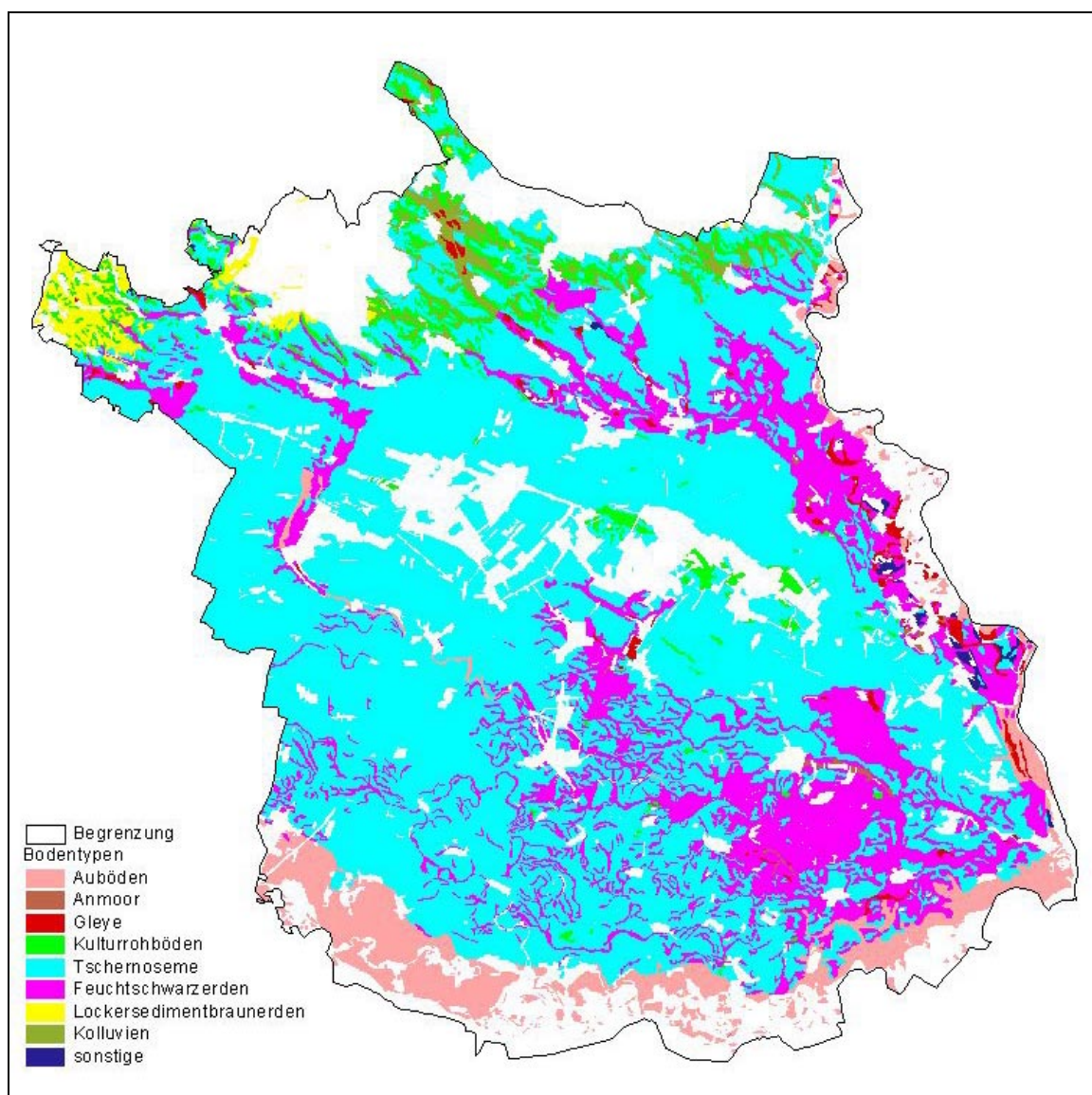


Abbildung 2: Bodenformen der landwirtschaftlich genutzten Flächen laut Österreichischer Bodenkartierung für das Projektgebiet Marchfeld.

Der oberste Bodenhorizont ist vielfach durch äolische Sedimente geprägt. Bei diesen Flugsanden handelt es sich um Sedimente die den Überflutungsbereichen der Donau wie während der Würm-Eiszeit und des Postglazials entstanden und in das Marchfeld verlagert wurden (Wiesbauer & Mazzucco, 1997). Die Mächtigkeit und Zusammensetzungen der Flugsande wechselt sehr kleinräumig, da sie über lange Zeiträume durch Erosion und Deflation geprägt wurden. Ein Streifen besonders erosionsgefährdeter Böden erstreckt sich von Schloßhof über die Ortschaften Breitensee, Oberweiden, Straßhof, Seyring bis an die Stadtgrenze Wiens. Diese Flächen wurden zum Teil jedoch schon früh wieder aufgeforstet und sind heute als ein Band mit für Marchfeld atypischen Walddichte in der Landschaft zu erkennen. Vielerorts sind an Feldrändern noch immer kleinere Dünen, welche zu verschiedenen Zeiten aufgeweht wurden, zu erkennen. Speziell in dem für die Untersuchung ausgewählten Teilgebiet sind zahlreiche Windschutzgürtel vorhanden, die im Zuge der Flurbereinigung Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts angelegt wurden (Wiesbauer & Mazzucco, 1997).

3 Räumliche Modellierung des Stickstoffaustrages in das Grundwasser mit Hilfe des Simulationsmodells EPIC

Die Qualität des Grundwassers im Untersuchungsgebiet Marchfeld wird zu einem großen Teil von Sickerwassereinträgen beeinflusst. Zur Bestimmung des Schlüsselparameters „Nitratkonzentration im Sickerwasser“ werden aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes neben Feldmessungen Simulationsmodelle verwendet, die eine Reihe von Inputdaten wie Informationen über die Bodenbeschaffenheit, Wetterdaten oder angewendete Fruchtfolgen benötigen.

Die Berechnung des Stickstoffaustrages ins Grundwasser erfolgt mit dem Simulationsmodell EPIC (Environmental Policy Integrated Climate) (SHARPLEY & WILLIAMS, 1990). Die benötigten Bodenparameter werden der österreichischen Bodenkarte entnommen sowie weitere Parameter mit Hilfe empirischer Formeln geschätzt. Wetterdaten liegen seit 1978 als Tageswerte von verschiedenen Klimastationen vor. Informationen über auftretende Fruchtfolgen wurden ebenso zusammengestellt.

Die große Menge an räumlichen Daten erfordert ein GIS zur Verwaltung, Manipulation und Darstellung aller Daten. Die Verknüpfung zwischen den im GIS verwalteten Daten und dem Simulationsmodell EPIC wurde über eine grafische Benutzeroberfläche realisiert, welche eine einfache Simulation und Darstellung von einzelnen Szenarien der Stickstoffsimulation auf räumlicher Ebene gewährleistet. Mit diesem Instrument kann nun sowohl der Ist-Zustand im Gebiet dargestellt, als auch die Auswirkungen alternativer Nutzungen (auch in Zusammenarbeit mit den weiteren Projektgruppen) geprüft werden. Die Untersuchungen dienen als Hilfestellung für die Wahl von Neuaufforstungsflächen im Projektgebiet, wobei alle Grundlagendaten auch durch Werte anderer Gebiete ersetzt werden und damit (nach neuerlicher Validierung) Untersuchungen im gesamten pannonischen Raum getätigt werden können.

Zur Validierung der verwendeten Modelle wurden die Berechnungen mit Messergebnissen von Feldmessstellen (Ertrag, Perkolationswassermengen, Nitratkonzentrationen) verglichen. Mit den dadurch gewonnenen Eichparametern konnte eine großflächige Berechnung der vorherrschenden Ist-Situation im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden sowie Nutzungsänderungen untersucht werden.

3.1 Entwicklung der Datenbasis

3.1.1 Bodendatenbank

Die Grundlage für die Bodendatenbank sind die Ergebnisse der Österreichischen Bodenkartierung, welche flächendeckend für das Projektgebiet vorliegt. Vom Institut für Bodenwirtschaft (Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft) wurden diese Daten digitalisiert und den Projektgruppen auf GIS-Basis zur Verfügung gestellt. Weitere erforderliche Bodendaten werden mit den Formeln von BAUMER (1989) berechnet.

3.1.1.1 Bodenparameter

Zu den zur Verfügung gestellten Daten gehören eine Karte der einzelnen Bodenformen sowie eine Tabelle verschiedener Attributdaten. Für die EPIC-Simulation finden dabei folgende Parameter Verwendung: Bodenhorizonttiefen, Textur, Humusgehalt, Grobkornanteil, Kalkgehalt und pH-Wert. Diese sind in einer DBASE-Datei organisiert (Tabelle 2).

Tabelle 2: Tabelle der Bodeninformation

horizont.dbf											
Id	Bodenform	Komponente	Von	Bis	Sand	Schluff	Ton	Grobkorn	Humus	Kalk	Ph
603501	6035	1.00	0.00	0.25	29.00	48.00	23.00	0.00	2.600	21.600	7.3
603502	6035	1.00	0.25	0.55	23.00	51.00	26.00	0.00	1.700	20.400	7.2
603503	6035	1.00	0.55	0.80	15.00	50.00	35.00	0.00	1.600	11.800	7.2
603504	6035	1.00	0.80	0.95	13.00	54.00	33.00	0.00	1.200	35.800	7.4
603505	6035	1.00	0.95	2.00	29.00	53.00	18.00	0.00	0.400	45.600	7.6
603611	6036	0.60	0.00	0.30	58.00	32.00	10.00	0.00	4.000	11.500	7.7
603612	6036	0.60	0.30	0.80	48.00	36.00	16.00	0.00	3.600	12.000	8.0
603613	6036	0.60	0.80	1.00	42.00	32.00	26.00	0.00	2.800	24.300	8.1
603614	6036	0.60	1.00	2.00	39.00	40.00	21.00	0.00	0.500	32.200	8.4
603621	6036	0.40	0.00	0.25	15.00	59.00	26.00	0.00	7.000	52.800	7.6
603622	6036	0.40	0.25	0.45	10.00	40.00	50.00	0.00	2.200	60.300	7.7
603623	6036	0.40	0.45	0.80	18.00	50.00	32.00	0.00	0.800	49.800	8.2
603624	6036	0.40	0.80	1.05	11.00	77.00	12.00	0.00	0.300	12.500	7.8
603625	6036	0.40	1.05	2.00	11.00	77.00	12.00	0.00	0.000	12.500	7.8
603711	6037	0.70	0.00	0.25	15.00	52.00	33.00	0.00	4.600	9.800	7.2
603712	6037	0.70	0.25	0.45	13.00	51.00	36.00	0.00	4.100	9.400	7.2
603713	6037	0.70	0.45	0.60	10.00	47.00	43.00	0.00	1.800	32.600	7.5
603714	6037	0.70	0.60	0.75	14.00	53.00	33.00	0.00	0.700	52.800	7.8
603715	6037	0.70	0.75	1.00	27.00	63.00	10.00	0.00	0.300	20.700	7.7
603716	6037	0.70	1.00	2.00	27.00	63.00	10.00	85.00	0.000	20.700	7.7
603721	6037	0.30	0.00	0.30	24.00	48.00	28.00	0.00	5.400	31.300	7.4
603722	6037	0.30	0.30	0.65	33.00	39.00	28.00	0.00	2.000	27.800	7.5
603723	6037	0.30	0.65	0.80	43.00	39.00	18.00	0.00	0.800	14.200	7.5
603724	6037	0.30	0.80	2.00	43.00	39.00	18.00	85.00	0.000	14.200	7.5

Legende:

Id: ID-Nummer. Beispiel einer möglichen Kodierung (603611): 6...Kartierungsbereich, 036...Bodenform, 1...Bodenformkomponente 1, 1...Schicht 1 (von z.B. 0 bis 30 cm)

Bodenform: Nummer, mit der die einzelnen Bodenformen kodiert werden, bestehend aus Kartierungsbereich und Bodenform

Komponente: Diese Zahl beschreibt den Flächenanteil von Bodenformkomponenten innerhalb einer Bodenform.

Von, Bis: Ober- und Unterkante einer einzelnen beschriebenen Bodenschicht

Sand, Schluff, Ton: Angabe der Kornverteilung in [%], österreichische Textur

Grobkorn: Grobkornanteil des Bodens in [%]

Humus: Humusanteil des Bodens in [%]

Kalk: Kalkgehalt des Bodens in [%]

PH: PH-Wert des Bodens

Jede Bodenschicht trägt eine eigene ID-Nummer, aus der der Kartierungsbereich, die Bodenform, eventuell vorhandene Komponenten einer Bodenform sowie die aktuelle Bodenhorizontnummer (Numerierung von Bodenoberfläche abwärts) abgelesen werden können. Die Bodeninformation wurde im Zuge der Bodenkartierung bis in eine Tiefe von 1 m erfasst, Informationen bis 2 m wurden aus der untersten untersuchten Schicht übernommen.

3.1.1.2 Feldversuche

Bodenkennwerte werden aus vorhandenen Datenbanken (Österreichische Bodenkartierung) entnommen und auf größere Flächen (z.B. über 2000 ha) für die verschiedensten Interpretationen angewendet. Um die Eignung von solchen Daten für globale Aussagen zu prüfen, wurden Feldversuche zur geostatistischen Auswertung von Bodenkennwerten auf dem Gebiet der Versuchswirtschaft in Groß-Enzersdorf durchgeführt. Ziel der Untersuchung war festzustellen, ob die ortsgebundenen Variablen (Bodenkennwerte) statistisch-gesetzmäßig variieren, und wenn ja, dies analytisch auszudrücken. Der Vorteil liegt darin, dass anhand eines einfachen Diagramms (Semivariogramm) abzulesen ist, ob eine Affinität zwischen einzelnen Messpunkten vorhanden ist.

Außerdem kann abgelesen werden, wie weit diese Abhängigkeit räumlich reicht. Damit kann man z.B. in dem untersuchten Gebiet den Wirkungsbereich der ermittelten Daten vorhersagen. Das bedeutet, dass man die Anzahl der Untersuchungspunkte für eine zukünftige Bodenkennwertermittlung in dieser Region schon kennt. Details zur Untersuchung der räumlichen Varianz von Bodenparametern sind in PHILLIP (2000) beschrieben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben gezeigt, dass der Ansatz der Regionalisierung (Übertragen von Punktinformation auf die Fläche) für die gestellte Aufgabe angewendet werden kann.

3.1.2 Klimadatenbank

Für die Zusammenstellung einer Klimadatenbank wurden alle Klimastationen in und um das Projektgebiet sowie deren aufgezeichnete Parameter ermittelt und alle verfügbaren Daten gesammelt. Zur räumlichen Abgrenzung der Stationen wurden über das Gebiet THIESSEN-Polygone gelegt, über welche die einzelnen Bodenformen zugeordnet werden können (Abbildung 3).

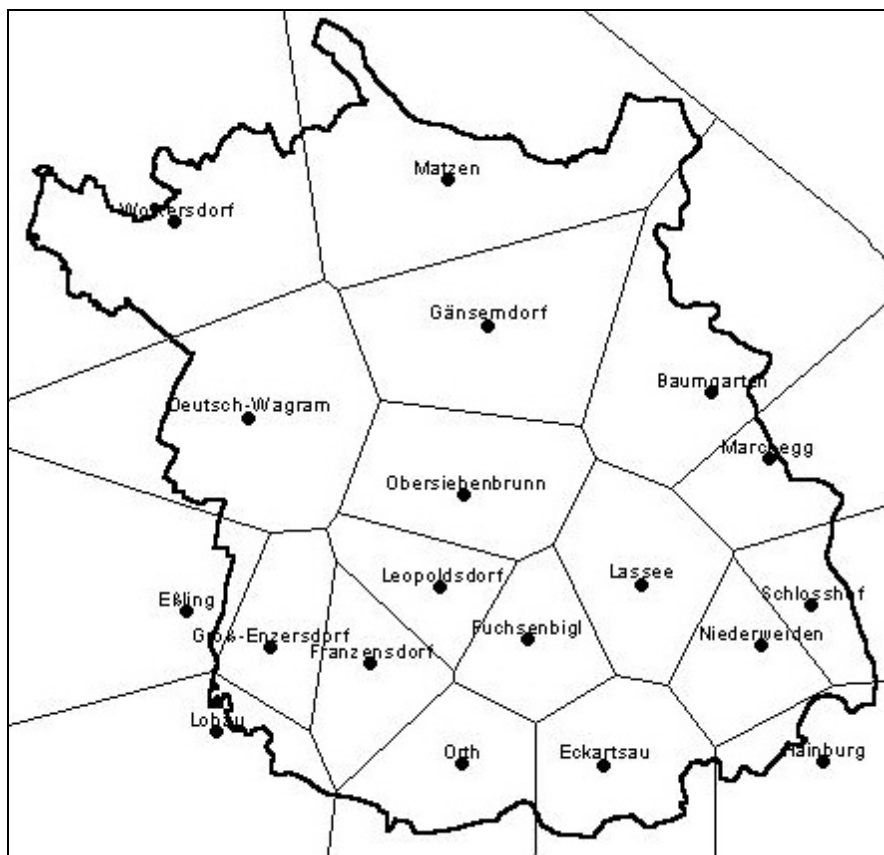


Abbildung 3: Klimastationen mit räumlicher Aufteilung nach THIESSEN

Die THIESSEN-Polygone wurden in einer ARCVIEW-Shapedatei organisiert, in deren Attributtabelle finden sich die Namen der zugehörigen Klimastationen für das Projektgebiet (Tabelle 3).

Generell werden Tageswerte von Strahlung, Maximaltemperatur, Minimaltemperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit benötigt. Da nicht alle der 19 Klimamessstellen alle Parameter aufzeichnen, wurden die fehlende Werte aus der jeweils nächstgelegenen Station übernommen. Die Werte sind größtenteils ab Jänner 1978 vorhanden und wurden für jede Station in einer DBASE-Tabelle (Tabelle 4) abgelegt.

Tabelle 3: Attributtabelle der THIESSEN-Polygone

Shape	Messstelle
Polygon	Baumgarten
Polygon	DeutschWagram
Polygon	Eckartsau
Polygon	Franzensdorf
Polygon	Gaenserndorf
Polygon	Lasseer
Polygon	Marchegg
Polygon	Matzen
Polygon	Niederweiden
Polygon	Orth
Polygon	Essling
Polygon	Lobau
Polygon	Obersiebenbrunn
Polygon	Fuchsenbigl
Polygon	Wolkersdorf
Polygon	Schlosshof
Polygon	Leopoldsdorf
Polygon	Hainburg
Polygon	GrossEnzersdorf

Tabelle 4: dBASE-Tabelle der Wetterstation Fuchsenbigl

Date	Rad	Tmax	Tmin	Rain	Rhhd	Wv
19780101	2.21	3.00	-1.10	0.00	0.79	2.40
19780102	5.63	5.00	-0.50	0.00	0.78	0.80
19780103	3.98	6.90	-1.20	0.00	0.75	2.30
19780104	4.01	6.80	1.30	1.30	0.63	6.00
19780105	3.78	1.60	-5.40	2.40	0.67	5.00
19780106	2.81	0.20	-7.80	0.00	0.64	2.80
19780107	1.26	1.80	-1.10	0.00	0.92	2.60
19780108	5.11	1.50	-2.40	0.00	0.84	3.10
19780109	1.22	-2.40	-4.90	0.00	0.84	3.40
19780110	3.74	-1.70	-5.20	0.00	0.82	2.50
19780111	2.41	-1.50	-5.00	0.00	0.87	7.10
19780112	1.04	2.70	2.50	0.00	0.65	4.40
19780113	1.04	2.70	2.50	0.00	0.65	4.40

Legende:

- Date... Datum [yyyymmdd]
- Rad... Strahlung [MJ/m²]

- Tmax... maximale Tagestemperatur [°C]
- Tmin... minimale Tagestemperatur [°C]
- Rain... Tagesniederschlag [mm]
- Rhd... Relative Luftfeuchtigkeit [1]
- Wv... Windgeschwindigkeit in 2m Höhe [m/s]

Anmerkung: Für einen reibungslosen Programmablauf muss die Spaltenbezeichnung nach Tabelle 4 erfolgen. Weiters darf der Dateiname jeder Tabelle nicht mehr als 8 Zeichen beinhalten (DOS-Konvention), welche mit den ersten 8 Zeichen der Namen in Tabelle 3 übereinstimmen müssen. Alle Datenreihen müssen vollständig sein, bei fehlenden Einträgen kommt es im Programm zu einer Fehlermeldung.

3.1.3 Fruchtfolgen

Für das gesamte Projektgebiet wurden in jeder Gemeinde die dort typischerweise angebauten Fruchtarten ermittelt. Aus der Flächenermittlung und der Anbauhäufigkeit wurden vier typische Fruchtfolgen mit 10-jährigem Zyklus zusammengestellt (Tabelle 5). Die Simulation wurde über 20 Jahre von 1980 bis 1999 durchgeführt.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Fruchtfolgen für das Projektgebiet Marchfeld

Fruchtfolge 1	Fruchtfolge 2	Fruchtfolge 3	Fruchtfolge 4
Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Sommergerste
Zwiebel	Kartoffel	Durum	Grünbrache
Winterweizen	Winterweizen	Grünbrache	Wintergerste
Kartoffel	Winterraps	Wintergerste	Körnererbse
Winterweizen	Winterweizen	Sonnenblume	Winterweizen
Zuckerrübe	Zuckerrübe	Winterweizen	Winterraps
Karotte	Körnermais	Zuckerrübe	Sommergerste
Winterweizen	Durum	Durum	Grünbrache
Zwiebel	Sommergerste	Körnererbse	Winterweizen
Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterraps

Die Gemeinden im Untersuchungsgebiet können in drei Regionen zusammengefasst werden, in denen die vier Fruchtfolgen typischerweise angebaut werden. Die Aufteilung nach Gemeinden ist aus Tabelle 6 bzw. Abbildung 4 ersichtlich:

Tabelle 6: Aufteilung der Anbauregionen nach Gemeinden

Anbauregion I	Anbauregion II	Anbauregion III
ADERKLAA	OBERSIEBENBRUNN	GROSSSCHWEINBARTH
PARBASDORF	ANGERN AN DER MARCH	PROTTES
GROSSHOFEN	ECKARTSAU	AUERSTHAL
GLINZENDORF	ENGELHARTSTETTEN	GROSSENGERSDORF
ANDLERSDORF	HARINGSEE	GAENSERNDORF
ORTH AN DER DONAU	LASSEE	STRASSHOF AN DER NORDBAHN
MANNSDORF AN DER DONAU	MARCHEGG	MARKGRAFNEUSIEDL
GROSSENGERSDORF	UNTERSIEBENBRUNN	BOCKFLIESS
LEOPOLDSDORF IM MARCHFELDE	WEIDEN AN DER MARCH	DEUTSCHWAGRAM
RAASDORF	WEIKENDORF	GROSSEBERSDORF
		MATZENRAGGENDORF
		PILLICHSDORF
		SCHOENKIRCHEN-REYERSDORF
		WOLKERSDORF IM WEINVIERTEL

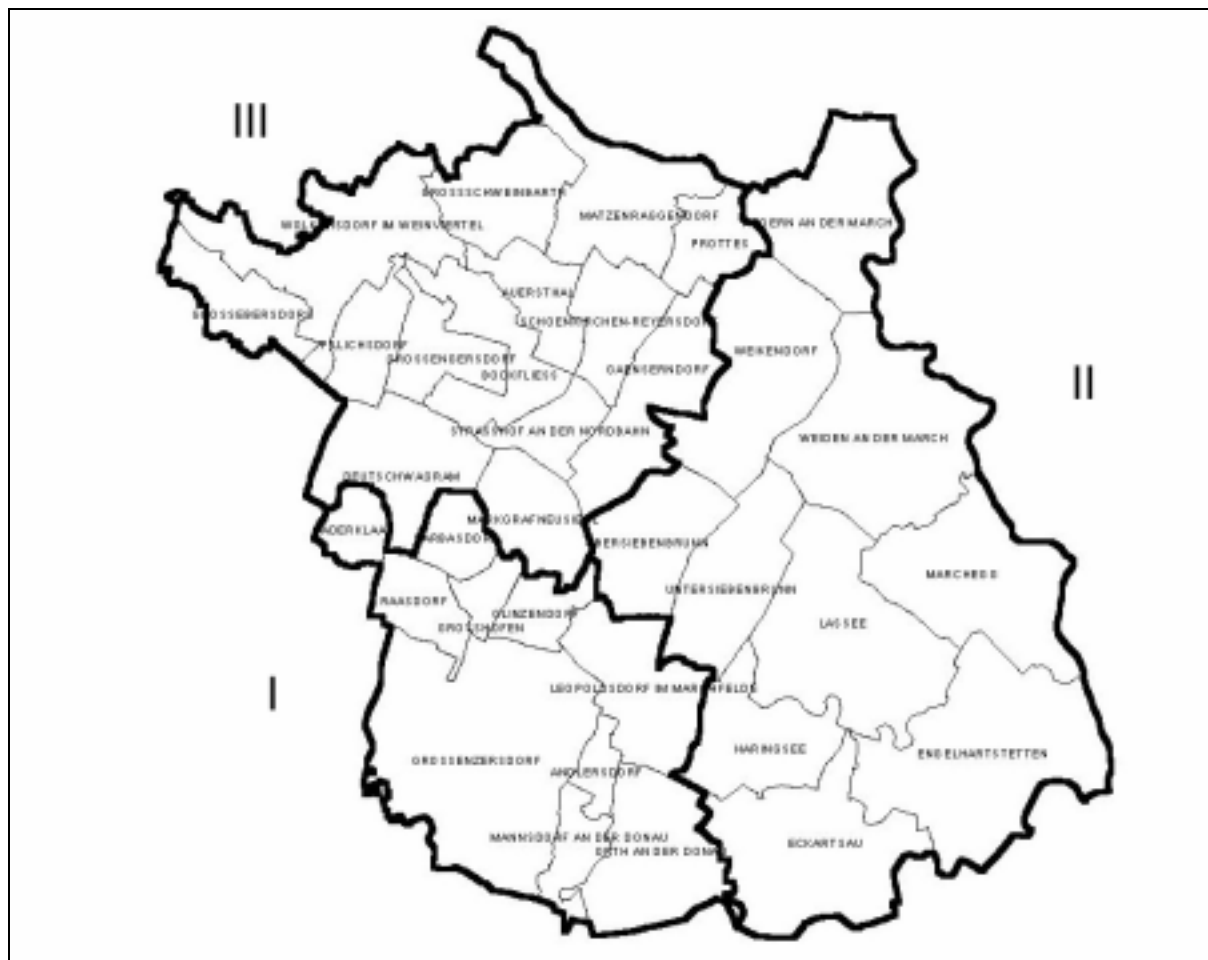


Abbildung 4: Räumliche Abgrenzung der Anbauregionen im Projektgebiet Marchfeld

Folgende Fruchtfolgen werden in den einzelnen Regionen angebaut:

Anbauregion I: 60% FF1, 40% FF2

Anbauregion II: 100% FF2

Anbauregion III: 50% FF3, 50% FF4

3.2 Verwendete Modellkomponenten

3.2.1 Formeln von BAUMER

3.2.1.1 Modellbeschreibung

Die Formeln von BAUMER sind ein Expertensystem zur empirischen Berechnung von hydrologischen Bodenparametern aus im Feld gemessenen Daten. Das System ist so konzipiert, dass ein Minimum an Input-Daten vorhanden sein muss, aber auch eine Reihe von gemessenen Daten verarbeitet werden kann.

Die erforderlichen Input-Daten sind Horizonttiefe, Grobkornanteil, Textur, Humusanteil, Tonaktivität und relative Verdichtung. Sind Tonaktivität und relative Verdichtung nicht bekannt, können sie aus dafür zusammengestellten Tabellen geschätzt werden.

Als Output ergeben sich eine komplette pF-Kurve, hydraulische Leitfähigkeitsfunktion, Schätzung der hydraulischen Leitfähigkeit in der gesättigten Zone für jeden Horizont und alle Parameter der Green&Ampt Infiltrationsgleichung. PF-Kurve, hydraulische Leitfähigkeitsfunktion und gesättigte hydraulische Leitfähigkeit werden nach der Gleichung von VAN GENUCHTEN (1992), der Mualem Theorie und einer modifizierten Kozeny-Carman Gleichung modelliert.

Mit den Schätzformeln nach BAUMER werden für die Simulation mit EPIC folgende Parameter empirisch berechnet:

- Feldkapazität
- permanenter Welkepunkt
- pflanzennutzbare Wasserkapazität
- Sättigung
- Lagerungsdichte
- Durchlässigkeit

Als Input-Daten werden die Parameter Horizonttiefe, Grobkornanteil, Textur und Humusanteil verwendet, alle anderen Eingabewerte können abgeschätzt werden.

3.2.1.2 Modellkalibrierung

Zur Berechnung der Bodenparameter mit den Formeln von BAUMER müssen sogenannte „Compaction factors“ angegeben werden, welche eine unterschiedliche Verdichtung der einzelnen Bodenhorizonte berücksichtigen. Sie können den jeweils örtlichen Verhältnissen angepasst werden und beeinflussen nachfolgende Parameter:

- Porenanteil bei Sättigung (VOMO [vol%])
- Differenz zwischen Porenanteil bei Sättigung und Porenanteil in trockenem Zustand (VODF [vol%])
- Feldkapazität (W3RDG [gew%])
- Eingeschlossene Luft (OAIR [vol%])

Es sind insgesamt vier Faktoren zu definieren, die den einzelnen Bodenhorizonten zugeordnet werden können. Die jeweiligen Schichtgrenzen sind ebenfalls anzugeben.

Auf Grundlage von Messungen der österreichischen Bodenzustandsinventur im Kartierungsbereich KB25 (Wolkersdorf) wurden verschiedene Verdichtungs-faktoren in den einzelnen Bodenhorizonten bestimmt. Ein Vergleich von gemessenen mit berechneten Bodenparametern ergab eine zufriedenstellende Korrelation.

Die ermittelten „Compaction Factors“ sind in Tabelle 7 dargestellt:

Tabelle 7: Ermittelte Faktoren der Bodenverdichtung für das Projektsgelände Marchfeld

Von [cm]	Bis [cm]	Compaction Factor []
0	30	1,085
30	60	0,950
60	100	1,000
100	200	0,915

Die Parameter können für unterschiedliche Verhältnisse in anderen Gebieten angepasst werden. Dafür wurde in der entwickelten Benutzeroberfläche ein Dialogfeld „Compaction Factors“ integriert.

3.2.2 EPIC

3.2.2.1 Modellbeschreibung

Das ursprünglich in den USA von J.R.WILLIAMS et al. 1984 entwickelte mathematische Simulationsmodell EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) wurde eigentlich zur Darstellung der Beziehung zwischen Bodenerosion und Bodenfruchtbarkeit verwendet. Mit diesem Modell können aber auch eine Reihe physikalischer und chemischer Prozesse simuliert werden. Es basiert im wesentlichen auf Teilbereichen zur Beschreibung von Wasserhaushalt, Stoffverlagerung, Pflanzenwachstum und der Erosion. Letztere wird bei Betrachtung ebener landwirtschaftlicher Flächen verschwindend klein. Die Verknüpfung dieses Modells mit klimatischen, bodenphysikalischen, hydrologischen und pflanzenphysiologischen Daten ergibt somit auch die Möglichkeit der Darstellung der gesamten vertikalen Wasser- und Stickstoffverläufe in Verbindung mit dem Pflanzenwachstum.

Das EPIC-Modell besteht aus einer Anzahl von Teilmodellen, die sich auf folgende Hauptaspekte beziehen: Hydrologie, Wetter, Erosion, Nährstoffe, Pflanzenwachstum, Bodentemperatur, Bearbeitung, Kontrolle der wachstumsbestimmenden Faktoren am Pflanzenstandort und Wirtschaftlichkeit.

Der Abschnitt über die Hydrologie beinhaltet Modelle für den Oberflächenabfluss, die Perkolation, den lateralen unterirdischen Abfluss, die Evapotranspiration, die Schneeschmelze und die Grundwasserstandsänderung.

Das Modell zur Beschreibung der Perkolation basiert auf der Grundlage, dass der Fluss durch die einzelnen Bodenschichten bei Überschreiten der Feldkapazität einsetzt. Der laterale unterirdische Fluss wird gleichzeitig mit der Perkolation errechnet.

Das EPIC-Modell bietet vier Gleichungen zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration an. Es errechnet die potentielle Evaporation und die potentielle Transpiration getrennt. Der Blattflächenindex geht dabei in die Berechnung ein. Dieser Wert ist von der Pflanzenart abhängig und stellt ein Verhältnis zwischen Blattflächensumme und Bodenoberfläche dar.

Um mit dem EPIC-Modell arbeiten zu können, sind Wetterdaten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Sonnenstrahlung und Windgeschwindigkeit) erforderlich. Falls keine täglichen Wetterdaten für die Berechnung vorliegen, stellt EPIC Optionen für die Simulation und Kombination der fünf Wettervariablen zur Verfügung.

Im EPIC-Modell werden der Phosphor- und der Stickstoffkreislauf simuliert. Das Modell zur Simulation des Stickstoffkreislaufs beinhaltet wiederum Teilmodelle zur Beschreibung der Mineralisierung, der Immobilisierung und der Denitrifizierung. Zusätzlich werden auch die Stickstoffverluste durch Oberflächenabfluss und Auswaschung ermittelt, sowie Stickstofftransportvorgänge nachvollzogen.

Die Nitratauswaschung steht im Zusammenhang mit der Perkolation, dem lateralen unterirdischen Fluss und dem Oberflächenabfluss. Je kleiner die beiden letzten Variablen sind, desto größer ist die Perkolation und somit die Nitratauswaschung, natürlich in Abhängigkeit der $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration im Bodenwasser und Boden.

Das Modell für die N-Mineralisierung basiert auf dem PAPRAN Mineralisierungsmodell (SELIGMAN und VAN KEULEN, 1987). Es berücksichtigt zwei Quellen der Mineralisierung: Den frischen organischen Stickstoff, vorhanden in Pflanzenrückständen und mikrobieller Biomasse und den organischen Stickstoff des Bodenhumus.

Das Modell für die Stickstoffimmobilisierung ist ebenfalls eine Modifikation des PAPRAN- Modells. Die Denitrifizierung ergibt sich aus einer Funktion von Temperatur und Wassergehalt.

Die Simulation der Bodentemperatur, jeweils in der Mitte jeder Bodenschicht, ist für die Berechnungen des Stickstoffkreislaufes und für die hydrologischen Berechnungen von besonderer Wichtigkeit.

Für die Simulation des Pflanzenwachstums verschiedener Pflanzen ist ein eigenes Modell erforderlich. Jede Pflanze besitzt spezifische Werte für die Modellparameter. Diese Werte bezieht EPIC aus dem Pflanzenparameter-Datenfile (Crop File). Die Pflanze wächst vom Pflanzdatum an bis zur Ernte, es sei denn die aktuelle Wärmesumme entspricht bereits der potentiellen Wärmesumme. Die aktuelle Wärmesumme errechnet sich als Summe des Mittelwerts der täglichen Maximal- und Minimaltemperatur abzüglich der minimalen Wachstumstemperatur für die Pflanze, bezogen auf die Vegetationsdauer. Als Basistemperatur gilt jene Temperatur, bei der die Pflanze mit ihrem Wachstum beginnt. Der potentielle Wasserverbrauch durch die Pflanze ist als Bruchteil der potentiellen Evaporation in Abhängigkeit vom Blattflächenindex definiert.

Die Stickstoffaufnahme der Pflanze wird durch die Verwendung eines Nähungsverfahrens über Angebot und Nachfrage ermittelt. Dabei spielt die optimale Stickstoffkonzentration in der Pflanze, welche mit fortschreitendem Wachstum sinkt, eine bedeutende Rolle.

Der für die Bearbeitungsmaßnahmen zuständige Teil des Rechenmodells simuliert unter anderem die Dichteänderungen und die damit verbundenen veränderten Bodeneigenschaften, hervorgerufen durch das Einarbeiten von Nährstoffen und Pflanzenrückständen innerhalb der Pflugtiefe.

Zu den einzelnen Teilmodellen haben sich eine Reihe von Projektgruppen gebildet, die ständig an einer Verbesserung des Modells arbeiten und neueste Erkenntnisse in das Modell implementieren. Gerade im Bezug auf die Simulation des Stickstoffkreislaufes werden in immer kürzeren Abständen neue Versionen von EPIC herausgegeben. EPIC hat sich aus diesen Gründen als sehr gutes Modell zur Bewältigung der in diesem Projekt gestellten Aufgabe erwiesen.

Für alle Simulationen wurde das jüngst herausgegebene Modell EPIC8120 verwendet.

3.2.2.2 Modellkalibrierung

Für die Validierung des Simulationsprogrammes EPIC wurden Fruchtfolgen in Groß-Enzersdorf und Fuchsenbigl simuliert und die berechneten Erträge sowie Mittelwerte der Stickstoffausträge mit den tatsächlichen Werten verglichen. Ausschlaggebend dabei war ein Vergleich der Erträge. Ein Vergleich der Nitratmessungen mit gerechneten Werten wurde nur überblicksmäßig durchgeführt, da eine geeignete Anzahl an Messdaten zu diesem Zeitpunkt nicht zur Verfügung stand.

3.2.2.2.1 Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf

Auf der Versuchswirtschaft in Groß-Enzersdorf wurden zwei Schläge mit deren Fruchtfolgen in den Jahren 1986-1993 untersucht:

- Schlag N 7/8: Bodenform 7004, Fruchtfolge 1
- Schlag R 1/2, Bodenform 7019, Fruchtfolge 2

3.2.2.2.1.1 Boden

Die Bodenparameter sind in Tabelle 8 und Tabelle 9 dargestellt:

Tabelle 8: Bodenphysikalische und bodenchemische Daten der Bodenform 7004 für Schlag N 7/8 der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf

PROFILSTELLE MÜHLEITEN Bodenform 4							
Bl. E, 14/28; OG. Mühleiten. KG. Mühleiten, Kat.Bl.2, Parz. 114; Acker							
Entnahmetiefe (cm)	Grobkornanteil (Vol%)	Zusammensetzung des Feinbodens nach USDA in %			Org. Substanz (%)	Kalk-gehalt (%)	pH (nKCl)
		S a n d 2000 - 50 µm	S c h l u f f 50 - 2 µm	T o n < 2 µm			
15		44	43	13	1,5	20,1	7,5
40		40	44	16	1,5	22,5	7,7
70		45	40	15	1,4	22,1	7,7
Berechnete Daten nach BAUMER (1989)							
Entnahmetiefe (cm)	FK 0,3 bar in Vol%	PWP 15,0 bar in Vol%	nFK (Vol%)	nFK (mm)	Feuchtdichte (g/cm ³)	Trockendichte (g/cm ³)	kf-Wert (cm/h)
0 - 30	25,4	10,0	15,4	46,2	1,50	1,56	1,30
30 - 45	28,0	11,8	16,2	24,3	1,49	1,58	0,73
45 - 120	26,4	11,2	15,2	114,0	1,50	1,58	1,10
Hydrologische Gruppe B, SCS Curve Nr. 70, pflanzennutzbar gespeichertes Bodenwasser bis 120 cm, 184 mm							

Tabelle 9: Bodenphysikalische und bodenchemische Daten der Bodenform 7019 für Schlag R 1/2 der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf

PROFILSTELLE RUTZENDORF Bodenform 19							
Bl. C, 37/20; OG. Rutzendorf. KG. Rutzendorf, Kat.Bl. 3, Parz. 357; Acker							
Entnahmetiefe (cm)	Grobkornanteil (Vol%)	Zusammensetzung des Feinbodens nach USDA in %			Org. Substanz (%)	Kalk-gehalt (%)	pH (nKCl)
		S a n d 2000 - 50 µm	S c h l u f f 50 - 2 µm	T o n < 2 µm			
15		24	55	21	2,6	14,3	7,3
40		26	50	24	2,3	24,2	7,4
60		25	52	23	0,8	38,6	7,7
80		37	52	11	0,3	30,7	7,9
Berechnete Daten nach BAUMER (1989)							
Entnahmetiefe (cm)	FK 0,3 bar in Vol%	PWP 15,0 bar in Vol%	nFK (Vol%)	nFK (mm)	Feuchtdichte (g/cm ³)	Trockendichte (g/cm ³)	kf-Wert (cm/h)
0 - 25	34,8	15,0	19,8	49,5	1,40	1,52	0,17
25 - 55	36,0	16,8	19,2	57,6	1,42	1,56	0,18
55 - 70	34,6	15,8	18,8	28,2	1,49	1,62	0,14
70 - 120	24,2	8,1	16,1	80,5	1,53	1,58	0,88
Hydrologische Gruppe C, SCS Curve Nr. 80, pflanzennutzbar gespeichertes Bodenwasser bis 120 cm, 216 mm							

3.2.2.1.2 Klima

Die in den einzelnen Jahren auftretenden unterschiedlichen Niederschlagsverteilungen haben neben den zeitweilig hohen Temperaturen außerhalb der Vegetationsperiode einen wesentlichen Einfluss auf die Stickstoffbelastung des Grundwassers. In Tabelle 10 sind die mittleren monatlichen Temperaturen und in Tabelle 11 die monatlichen Niederschlagssummen sowie deren Mittelwerte bzw. Summen zusammengestellt.

Tabelle 10: Mittlere monatliche Temperaturen der Jahre 1986 bis 1993 in Groß-Enzersdorf

	monatliches Temperaturmittel in °C												Mittel in °C
	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	
1986	0,5	-5,3	4,8	11,7	17,3	17,6	19,1	20,4	15,4	10,8	5,3	0,4	9,8
1987	-4,8	-0,2	-0,1	10,4	13,2	17,5	20,5	18,3	18,3	11,3	5,6	2,9	9,4
1988	2,9	3,5	4,2	9,8	16,0	17,2	20,9	20,3	15,9	10,8	1,5	3,1	10,5
1989	0,9	5,1	8,4	11,2	14,5	16,4	20,7	19,8	16,1	11,4	3,7	1,6	10,8
1990	0,4	5,8	9,4	9,3	15,8	18,1	19,6	20,9	14,2	11,0	6,3	0,1	10,9
1991	0,6	-2,4	7,0	9,3	11,9	17,2	21,2	20,5	17,1	9,5	5,3	-0,4	9,7
1992	2,3	4,0	6,1	10,6	15,3	18,8	22,8	24,5	16,4	9,3	8,3	0,5	11,6
1993	1,5	-1,8	4,5	10,7	17,4	18,8	21,0	20,0	17,1	11,0	1,2	2,4	10,3
Mittel	0,5	1,1	5,6	10,4	15,2	17,7	20,7	20,6	16,3	10,6	4,7	1,3	10,4

Tabelle 11: Monatliche Niederschlagssummen der Jahre 1986 bis 1993 in Groß-Enzersdorf

	monatlicher Niederschlag in mm												Σ [mm]
	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	
1986	33,6	39,5	16,9	12,9	47,3	80,8	18,6	63,0	31,7	33,7	35,9	36,7	450,6
1987	60,4	56,5	44,4	11,6	89,9	109,7	46,0	40,4	41,9	22,7	27,1	46,6	597,2
1988	18,5	70,5	58,5	19,3	34,7	42,4	38,8	83,1	75,9	14,6	22,6	41,9	520,8
1989	12,6	19,0	13,3	47,1	68,3	77,0	54,0	79,5	50,5	26,1	24,1	10,4	481,9
1990	2,1	56,4	29,8	80,0	23,4	59,5	38,2	12,6	83,5	31,4	44,7	20,6	482,2
1991	4,8	7,0	31,8	14,0	131,5	61,9	65,7	52,7	16,7	35,7	68,9	54,2	544,9
1992	9,4	13,2	89,1	22,1	13,5	89,5	23,8	1,8	33,9	46,2	63,5	28,5	434,5
1993	29,2	10,7	12,7	21,3	14,7	53,1	106,5	83,7	30,8	59,0	40,2	36,6	498,5
Mittel	21,3	34,1	37,1	28,5	52,9	71,7	49,0	52,1	45,6	33,7	40,9	34,4	501,3

3.2.2.1.3 Fruchtfolgen

Folgende Fruchtfolgen kamen auf den Schlägen N 7/8 und R 1/2 zur Anwendung (Tabelle 12)

Tabelle 12: Fruchtfolgen für die Schläge N 7/8 und R 1/2 in den Jahren 1986 - 1993

Jahr	Fruchtfolge 1 auf Schlag N 7/8	Fruchtfolge 2 auf Schlag R 1/2
1986	Sommergerste	Sommergerste
1987	Winterweizen	Winterweizen
1988	Grünerbse / Spinat	Sonnenblume
1989	Winterweizen	Winterweizen
1990	Zuckerrübe	Wintergerste mit ZB
1991	Kartoffel	Grünerbse / Spinat
1992	Winterweizen	Winterweizen
1993	Sonnenblume	Winterraps

3.2.2.1.4 Produktionstechnische Maßnahmen

Alle produktionstechnischen Maßnahmen für die untersuchten Schläge sind aus Tabelle 13 sowie aus Tabelle 14 ersichtlich.

Tabelle 13: Bewirtschaftungsmaßnahmen der Fruchtfolge 1 auf Schlag N 7/8 der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf für den Zeitraum 1986 bis 1993

1986 Sommer- gerste	25.03. 25.03. 25.03. 26.07. 06.08. 01.09. 03.09. 24.09. 21.10. 21.10.	250 kg Nitramoncal (27 %) Egge Anbau Sämaschine 180 kg/ha Ernte Grubber 400 kg PK-Dünger (15:30) Grubber Pflug Egge Anbau 180 kg Drillsämaschine	1990 Zuckerrübe	26.02. 13.03. 14.03. 14.03. 02.05. 28.05. 21.07. 07.08. 23.08. 02.09. 20.10. 23.10. 24.10.	Schleppe 250 kg Volldünger (20:8:8) Egge Anbau Reihe Einzelkornsämaschine Hacke Hacke Bewässern 30 mm Bewässern 30 mm Bewässern 30 mm Bewässern 30 mm Ernte Scheibenegge Pflug
1987 Winter- weizen	06.04. 11.08. 14.08. 02.09. 10.09. 29.10.	250 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Grubbern 300 kg PK-Dünger (15:30) Grubbern Pflug	1991 Kartoffel	19.03. 29.03. 29.03. 03.04. 02.05. 16.05. 24.06. 08.07. 08.08. 15.10. 16.10.	500 kg PK-Dünger (14:30) 400 kg NPK-Dünger (20:8:8) Egge Anbau (Dämme) Anhäufeln 100 kg Nitramoncal (27 %) Bewässern 20 mm Bewässern 35 mm Ernte Grubber Anbau 150 kg Kreiselegge
1988 Grünerbse Spinat	06.04. 18.04. 18.04. 22.06. 23.06. 20.07. 21.07. 21.07. 21.07. 25.07. 02.08. 08.09. 08.09. 11.09. 20.09. 22.09. 23.09. 24.09. 05.10. 05.10.	Schleppe 130 kg Nitramoncal (27 %) Anbau Kreiselegge 250 kg Ernte Scheibenegge Pflug 200 kg Nitramoncal (27%) Egge Anbau 21 kg/ha Bewässern 15 mm Bewässern 30 mm 200 kg Nitramoncal (27%) Hacken Bewässern 30 mm Ernte Grubber Pflug Schleppen Egge Anbau 165 kg	1992 Winter- weizen	19.02. 27.04. 18.05. 20.07. 23.07. 05.08. 14.09. 12.10.	200 kg NPK-Dünger (20:8:8) 200 kg NPK-Dünger (20:8:8) 110 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Scheibenegge Tiefgrubber Scheibenegge Pflug
1989 Winter- weizen	02.03. 22.07. 04.08. 15.09. 18.10. 16.11.	110 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Grubber Grubber Pflug 300 kg PK-Dünger (15:30)	1993 Sonnen- blume	23.03. 01.04. 21.04. 22.04. 01.06. 17.09. 23.09. 15.10. 18.10. 15.10.	Schleppe 300 kg NPK-Dünger (20:8:8) Egge Anbau Bewässern 35 mm Ernte Scheibenegge Grubber Pflug Anbau 165 kg/ha W.-Weizen

Tabelle 14: Bewirtschaftungsmaßnahmen der Fruchtfolge 2 auf Schlag R 1/2 der Versuchswirtschaft Groß-Enzersdorf für den Zeitraum 1986 bis 1993

1986 Sommer- gerste	26.03. 26.03. 27.03. 21.07. 23.07. 03.09. 04.09. 16.09. 23.09. 11.10.	250 kg Nitramoncal (27 %) Egge Anbau Sämaschine 175 kg/ha Ernte Grubber 400 kg PK-Dünger (15:30) Grubber Pflug Egge Anbau 170 kg Drill- sämaschine	1990 Winter-gerste	07.02. 07.03. 26.03. 28.06. 29.06. 02.07. 06.07. 09.07. 15.07. 28.10. 29.10.	200 kg NPK-Dünger (20:8:8) Striegeln 300 kg NPK-Dünger (20:8:8) Ernte Scheibenegge Pflug Anbau ZB Kreiselegge + Sämaschine Bewässern 20 mm Bewässern 20 mm Scheibenegge Pflug
1987 Winter- weizen	13.04. 13.04. 30.07. 20.08. 10.09. 15.10.	260 kg Nitramoncal (27 %) 120 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Grubbern 300 kg PK-Dünger (15:30) Pflug	1991 Grünerbse Spinat	25.03. 16.04. 06.07. 18.07. 19.07. 21.07. 21.07. 21.07. 22.07. 23.07. 01.08. 09.08. 09.08. 10.08. 24.08. 30.08. 31.08. 25.09.	Schleppe Anbau Kreiselegge 150 kg Bewässern 30 mm Ernte Scheibenegge Pflug 250 kg Nitramoncal (27 %) Schleppe und Walze Anbau 27 kg/ha Bewässern 20 mm Bewässern 20 mm 170 kg Nitramoncal (27 %) Hacken Bewässern 25 mm Bewässern 30 mm Ernte Grubber Schleppen
1988 Sonnen- blume	12.04. 13.04. 13.04. 14.04. 18.05. 18.09. 20.09. 05.10. 18.10. 11.10. 11.10.	Schleppe 170 kg Nitramoncal (27 %) Egge Anbau Hacken Ernte Scheibenegge 350 kg NPK-Dünger (9:15:15) Pflug Egge Anbau 160 kg/ha	1992 Winter- weizen	09.03. 21.04. 08.05. 29.06. 01.07. 22.07. 24.08. 07.09. 07.09.	Striegeln 150 kg NPK-Dünger (20:8:8) 110 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Tiefgrubber Scheibenegge Pflug Egge Anbau 3,5 kg
1989 Winter- weizen	23.02. 28.03. 14.04. 05.08. 08.08. 07.09. 18.09. 19.09.	160 kg Nitramoncal (27 %) Striegeln 160 kg Nitramoncal (27 %) Ernte Grubber Pflug Egge Anbau 170 kg/ha	1993 Winterraps	09.02. 31.03. 01.07. 07.07. 03.08. 08.09. 15.10. 27.10.	300 kg NPK-Dünger (20:8:8) 300 kg NPK-Dünger (20:8:8) Ernte Scheibenegge Scheibenegge Scheibenegge Grubber u .Walze Anbau Drillsämaschine 200 kg Dinkel

3.2.2.1.5 Bewässerung

Die bewässerten Kulturen mit deren Bewässerungszeiten und Beregnungsmengen sind in Tabelle 15 dargestellt:

Tabelle 15: Bewässerte Kulturarten in Groß-Enzersdorf mit Beregnungszeitpunkt und -menge

Fruchtfolge 1 auf Schlag N 7/8				Fruchtfolge 2 auf Schlag R 1/2			
Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]	Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]
1988	Spinat	25.7.	15	1990	Wintergerste mit ZB	9.7.	20
		2.8.	30			15.7.	20
		11.9.	30				
1990	Zuckerrübe	21.7.	30	1991	Grünerbse	6.7.	30
		7.8.	30				
		23.8.	30				
		2.9.	30				
1991	Kartoffel	24.6.	20	1991	Spinat	23.7.	20
		8.7.	35			1.8.	20
						10.8.	25
						24.8.	30
1993	Sonnenblume	1.6.	35				

3.2.2.1.6 Vergleich mit Simulationsergebnissen

Um eine Einarbeitungsphase zu gewährleisten, wurde die Simulation im Jahr 1978 gestartet, wobei dieselben Fruchtfolgen mit den gleichen Klimadaten zur Anwendung kamen. Für die Messstellen in Groß-Enzersdorf stehen nur Ertragsdaten zur Verfügung.

Gerechnete und gemessene Erträge sind in Tabelle 16 und Tabelle 17 zusammengefasst:

Tabelle 16: Erträge von Fruchtfolge 1 auf Schlag N 7/8

Jahr	Fruchtfolge 1 auf Schlag N 7/8	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]
1986	Sommergerste	3,9	4,1
1987	Winterweizen	4,8	5,5
1988	Grünerbse / Spinat	1,2 / 2,4	1,4 / 2,2
1989	Winterweizen	5,3	4,0
1990	Zuckerrübe	13,0	13,5
1991	Kartoffel	8,8	8,3
1992	Winterweizen	5,1	5,3
1993	Sonnenblume	2,6	2,3

Tabelle 17: Erträge von Fruchtfolge 2 auf Schlag R ½

Jahr	Fruchtfolge 2 auf Schlag R 1/2	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]
1986	Sommergerste	4,3	4,2
1987	Winterweizen	4,6	5,6
1988	Sonnenblume	3,0	2,5
1989	Winterweizen	4,0	3,9
1990	Wintergerste mit ZB	6,0	5,5
1991	Grünerbse / Spinat	1,2 / 2,0	1,4 / 1,9
1992	Winterweizen	5,6	4,9
1993	Winterraps	2,6	2,5

3.2.2.2 Feldmessstellen Fuchsenbigl

Auf der Versuchsfläche Fuchsenbigl sind sechs Feldmessstellen eingerichtet. Messungen existieren seit 1992. Alle Erträge sind vollständig aufgezeichnet, bezüglich Nitrat sind in den Jahren 1997 und 1998 keine Messungen durchgeführt worden.

3.2.2.2.1 Boden

Auf den Versuchsflächen treten Tschernoseme in verschiedenen Ausbildungsformen und Mächtigkeiten auf. Im Folgenden sind überblicksmäßig die verschiedenen Bodenformen laut Österreichischer Bodenkartierung (ÖBK, 1976) beschrieben, wobei vor allem die Mächtigkeit der einzelnen Horizonte im Bereich der Messstellen von der Beschreibung der ÖBK abweichen.

Bodentypen:

Bodenform 14TS: seichtgründiger Tschernosem über Schotter; nur im Bereich der Messstelle 2b anzutreffen, wobei der Schotteruntergrund erst ab ca. 150 cm auftritt.

Bodenform 18TS: Tschernosem aus kalkhaltigen Feinsedimenten; tritt im Bereich der Messstellen 1 und 6 auf mit einer Mächtigkeit von 210 cm bzw. 130 cm.

Bodenform 19TS: Tschernosem aus kalkhaltigen Feinsedimenten; tritt im Bereich der Messstellen 3, 4 und 5 auf mit einer Mächtigkeit zwischen 160 und 210 cm

Bodenform 25TS: kalkhaltige Feuchtschwarzerde; tritt nur im Bereich der Messstelle 5 auf mit einer Mächtigkeit von 160-180 cm

3.2.2.2.2 Klima

Tabelle 18: Monatsmittel der Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum in °C

	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez	Mittel
1992	1,7	3,5	5,9	10,1	14,9	18,4	20,9	24,1	16,7	8,9	5,1	0,4	10,9
1993	0,8	-2,1	4,4	10,6	17,3	18,4	19,3	19,8	15,9	10,8	1,2	1,9	9,9
1994	3,8	0,9	8,2	10,5	14,6	18,6	22,8	21,7	17,9	8,6	6,7	1,9	11,4
1995	-0,7	4,7	4,0	10,3	14,3	16,9	22,1	19,0	13,7	11,5	2,1	-0,7	9,8
1996	-3,4	-3,8	-1,5	9,5	15,5	18,4	17,7	18,2	12,1	10,0	6,5	-3,0	8,0
1997	-3,1	3,1	5,3	7,6	15,8	18,3	18,9	20,2	15,5	8,3	5,2	2,4	9,8
1998	1,5	5,0	5,2	11,8	15,2	19,4	20,6	20,7	15,2	11,4	2,3	-1,4	10,6
1999	0,2	0,8	7,4	11,5	15,5	18,0	20,9	19,0	18,1	11,0	3,6	0,7	10,5
2000	-2,1	4,5	6,4	13,7	17,0	19,5	18,9	21,6	15,6	13,4	8,2	1,7	11,5
Mittel	-0,1	1,8	5,0	10,6	15,6	18,4	20,2	20,5	15,6	10,4	4,5	0,4	10,3

Tabelle 19: Monatssummen der Niederschläge in mm

	Jän.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Σ
1992	15,0	14,4	77,1	19,6	18,9	97,3	38,0	2,7	35,5	55,0	61,6	41,6	476,7
1993	25,1	11,3	21,5	20,3	15,4	49,9	98,9	68,1	33,1	65,7	36,0	56,8	502,1
1994	25,6	9,1	31,3	70,2	47,2	60,5	60,6	39,6	94,4	59,9	44,2	39,1	581,7
1995	17,4	34,8	53,3	65,7	37,2	152,5	34,5	70,3	135,9	8,2	51,7	41,8	703,3
1996	37,4	25,8	14,0	94,5	104,6	87,2	34,1	71,0	66,3	36,3	20,2	16,0	502,8
1997	6,6	13,1	72,2	25,5	67,2	68,6	226,2	13,3	18,8	23,7	76,3	37,2	648,7
1998	23,1	2,4	24,4	20,9	46,2	55,3	90,7	45,6	137,2	99,0	29,8	24,0	598,6
1999	11,1	38,0	25,4	60,1	61,9	96,6	76,1	70,1	55,2	22,2	58,8	35,7	611,2
2000	29,6	29,1	76,2	20,5	27,8	19,1	65,6	87,1	71,2	41,2	56,4	43,5	567,3
Mittel	21,2	19,8	43,9	44,1	40,2	76,3	80,5	52,0	72,0	45,7	48,3	37,3	581,4

3.2.2.2.3 Fruchtfolgen

Tabelle 20 enthält eine Zusammenstellung der Fruchtfolgen der Messstellen 1 bis 6:

Tabelle 20: Zusammenstellung der Fruchtfolgen in Fuchsenbigl (Messstelle 1 – 6)

<p style="text-align: center;">FF 1 auf Schlag MST 1</p> <p>1992 Sommergerste 1993 Zuckerrübe 1994 Sommergerste 1995 Winterweizen 1996 Zuckerrübe 1997 Sorghum 1998 Sommergerste, Begrünungsvariante 1999 Kartoffel 2000 Winterweizen, Begrünung</p>	<p style="text-align: center;">FF 2 auf Schlag MST 2</p> <p>1992 Winterweizen 1993 Zuckerrübe 1994 Sommergerste 1995 Winterweizen 1996 Zuckerrübe 1997 Soja 1998 Sorghum, Begrünungsvariante 1999 Karotte 2000 Sommergerste Begrünung</p>
<p style="text-align: center;">FF 3 auf Schlag MST 3</p> <p>1992 Sommergerste 1993 Winterweizen 1994 Sorghum 1995 Sommergerste 1996 Winterweizen 1997 Zuckerrübe 1998 Sorghum, Begrünungsvariante 1999 Sommergerste 2000 Zwiebel</p>	<p style="text-align: center;">FF 4 auf Schlag MST 4</p> <p>1992 Körnererbse 1993 Winterweizen 1994 Pferdebohne 1995 Sommergerste 1996 Körnerraps 1997 Winterweizen 1998 Sommergerste, Begrünungsvariante 1999 Zwiebel, Begrünungsvariante 2000 Kartoffel</p>
<p style="text-align: center;">FF 5 auf Schlag MST 5</p> <p>1992 Sojabohne 1993 Winterweizen + WG (als Zwfr.) 1994 Zuckerrübe 1995 Winterweizen 1996 Sommergerste + Rotklee (U-saat) 1997 Grünbrache (Rotklee) 1998 Winterweizen, Begrünungsvariante 1999 Zuckerrübe 2000 Karotte</p>	<p style="text-align: center;">FF 6 auf Schlag MST 6</p> <p>1992 Zuckerrübe 1993 Dauergrünland 1994 Dauergrünland 1995 Dauergrünland 1996 Dauergrünland 1997 Sorghum 1998 Sommergerste 1999 Winterweizen 2000 Zuckerrübe</p>

3.2.2.2.4 Bewässerung

Die Fruchtarten Zuckerrübe, Kartoffel, Karotte und Zwiebel wurden bewässert. Bewässerungszeitpunkte und Berechnungsmengen sind in Tabelle 21 zusammengefasst

Tabelle 21: Bewässerte Kulturarten in Fuchsenbigl mit Zeitpunkt und Berechnungsmenge

FF 1				FF 2			
Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]	Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]
1993	Zuckerrübe	16.6.	60	1993	Zuckerrübe	16.6.	55
		5.7.	60			5.7.	55
		12.7.	40			12.7.	30
1996	Zuckerrübe	18.7.	37	1996	Zuckerrübe	24.7.	32
		2.8.	36			2.8.	70
		9.8.	62				
1999	Kartoffel	11.6.	26	1999	Karotte	2.7.	12
		2.7.	23			10.7.	12
						19.7.	20
						28.7.	24
						4.8.	28
				18.8.	24		
				10.9.	23		
				12.9.	24		
FF 3				FF 4			
Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]	Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]
1997	Zuckerrübe	21.8.	35	1999	Zwiebel	1.7.	26
		25.8.	35			20.7.	30
		1.9.	35			30.7.	20
2000	Zwiebel	6.5.	51	2000	Kartoffel	15.5.	33
		16.5.	41			12.6.	26
		3.6.	54			28.6.	14
		13.6.	85			23.7.	15
		28.6.	28				
		8.7.	39				
		22.7.	20				
FF 5				FF 6			
Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]	Jahr	Fruchtart	Datum	Bewässerung [mm]
1994	Zuckerrübe	27.6.	10	1992	Zuckerrübe	20.7.	25
		11.7.	12			30.7.	25
		9.8.	20			10.8.	25
		17.8.	15				
		24.8.	37				
		8.9.	70				
1999	Zuckerrübe	2.8.	66				
2000	Karotte	8.6.	10	2000	Zuckerrübe	20.6.	46
		9.6.	18			26.7.	53
		11.6.	12			19.8.	48
		13.6.	9				
		15.6.	10				
		17.6.	10				
		20.6.	17				
		22.6.	17				
		3.7.	13				
		14.7.	18				
		26.7.	27				
		15.8.	24				

3.2.2.2.5 Vergleich mit Simulationsergebnissen

Tabelle 22: Gemessene und errechnete Erträge der Feldmessstellen 1 - 6 in Fuchsenbigl

Jahr	FF 1	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]	FF 2	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]
1992	SOGE			WIWE		
1993	ZURU	13,1	13,5	ZURU	10,5	14,9
1994	SOGE	4,1	3,6	SOGE	4,2	3,2
1995	WIWE	4,7	4,5	WIWE	3,6	4,6
1996	ZURU	13,5	15,2	ZURU	10,9	15,5
1997	HIRS	8,4	7,3	SOJA	1,6	2,0
1998	SOGE, ZB	2,7	1,9	HIRS, ZB	7,2	4,2
1999	KART	9,4	8,0	KARO	7,2	7,9
2000	WIWE, ZB	4,5	3,9	SOGE, ZB	1,7	2,3
Jahr	FF 3	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]	FF 4	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]
1992	SOGE			KOER		
1993	WIWE	3,0	2,3	WIWE	3,7	2,3
1994	HIRS	4,6	6,6	PFBO	1,5	1,5
1995	SOGE	3,2	3,6	SOGE	4,0	3,7
1996	WIWE *)	2,2	2,3	WIRA *)	1,7	2,5
1997	ZURU	12,7	14,5	WIWE	4,7	3,3
1998	HIRS, ZB	6,1	4,6	SOGE, ZB	3,8	2,5
1999	SOGE	4,5	4,1	ZWIE, ZB	5,0	6,3
2000	ZWIE	5,0	7,4	KART	10,0	6,7
Jahr	FF 5	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]	FF 6	Ertrag gemessen [t TS/ha]	Ertrag gerechnet [t TS/ha]
1992	SOJA			ZURU		
1993	WIWE, ZB	2,9	2,3	GRBR	-	-
1994	ZURU	16,0	14,5	GRBR	-	-
1995	WIWE	4,5	5,1	GRBR	-	-
1996	SOGE, ZB	2,9	3,3	GRBR	-	-
1997	GRBR	-	-	HIRS	10,8	6,3
1998	WIWE, ZB	4,0	2,4	SOGE	2,9	1,9
1999	ZURU	15,6	15,5	WIWE	5,3	5,2
2000	KARO	7,8	8,0	ZURU	13,0	15,4

*) Erträge von FF3 & FF4 (WIWE, WIRA) im Jahr 1996 durch Hagel beeinträchtigt

Mittelwerte von Sickerwassermengen, Stickstoffaustrag und NO₃-Konzentration der Messstellen 1 – 6 a/b in Fuchsenbigl (Tabelle 23):

Tabelle 23: Mittelwerte von Sickerwasser, Stickstoffaustrag und NO₃-Konzentration der Messstellen 1 bis 6 a/b in Fuchsenbigl

Messstelle	Sickerwasser [mm]		Stickstoffaustrag [kg NO ₃ -N/ha]		NO ₃ -Konzentration [mg/l]	
	gemessen	gerechnet	gemessen	gerechnet	gemessen	gerechnet
1a/1b	65 / 78	33/38	4,5 / 12,1	5,2/6,6	30 / 68	70/77
2a/2b	61 / 27	87/94	8,6 / 8,4	45/47	62 / 139	229/222
3a/3b	129 / 101	37/29	32 / 25	22/18	109 / 109	263/275
4a/4b	19 / 29	56/49	12 / 13	63/60	278 / 197	498/542
5a/5b	87/57	44/69	18/11	27/46	92/85	272/295
6a/6b	66 / 79	26/26	5 / 6	13/13	33 / 33	222/222

3.2.2.3 Eichparameter

Folgende EPIC-Eingangsparameter wurden zur Validierung des Modells angepasst:

- Potential Heat Units
- Biomass-energy ratio (CO₂=330ppm)
- Harvest index
- Lower limit of harvest index
- Optimal temperature for plant growth
- Minimum temperature for plant growth
- Maximum potential leaf area index

3.2.2.4 Simulation der Bewässerung

Aufgrund der prozentuellen Aufteilung der einzelnen Fruchtarten auf die Fruchtfolgen je nach ihrer Anbaufläche stehen Bewässerungsdaten für die verschiedenen Jahre nicht zur Verfügung. Für eine realistische Simulation muss daher die Bewässerung für einzelne Kulturen je nach vorhandenen Witterungsverhältnissen simuliert werden. Dies erfolgt nach festgelegten Kriterien (Bewässerungszeitraum, zuvor gefallene Niederschlagsmengen, Anzahl und Menge der einzelnen Gaben, minimaler Zeitraum zwischen zwei Gaben).

Die Bewässerung ist weiters von der Bodenart abhängig. Böden mit geringer pflanzennutzbarer Wasserkapazität (<=90mm) werden öfter und mit geringeren Gaben bewässert als Böden mit einer nutzbaren Wasserkapazität >90mm.

Folgende Kulturen werden bewässert:

Durumweizen, Körnermais, Kartoffel, Zuckerrübe, Karotte, Zwiebel, Spinat, Grünerbse.

Die Bewässerungsparameter für Böden mit hoher und niedriger nutzbarer Wasserkapazität sind in Tabelle 24 und Tabelle 25 dargestellt:

Tabelle 24: Bewässerungsparameter für Böden mit hoher nutzbarer Wasserkapazität

CROP	BEGIN	END	ARIDDDAYS	MINPREC	IRRIGATION	IRRIGMAX
			[d]	[mm]	[mm]	[mm]
DURU	15. Mai	1. Jun	15	15	30	30
KOMA	1. Jul	20. Aug	15	15	45	135
KART	15. Mai	15. Jul	15	15	45	180
ZURU	1. Jul	15. Sep	15	15	30	150
KARO	15. Jun	1. Okt	15	15	30	240
ZWIE	15. Jun	1. Sep	15	15	30	150
SPIN	23. Jul	1. Okt	15	30	30	150
GRER	15. Mai	15. Jun	15	15	20	40

Tabelle 25: Bewässerungsparameter für Böden mit geringer nutzbarer Wasserkapazität

CROP	BEGIN	END	ARIDDDAYS	MINPREC	IRRIGATION	IRRIGMAX
			[d]	[mm]	[mm]	[mm]
DURU	10. Mai	10. Jun	10	10	30	60
KOMA	20. Jun	20. Aug	10	10	35	175
KART	1. Mai	10. Jul	10	10	30	210
ZURU	10. Jun	10. Sep	10	10	25	200
KARO	10. Jun	1. Okt	10	10	30	300
ZWIE	20. Mai	1. Sep	10	10	25	250
SPIN	23. Jul	1. Okt	10	25	30	210
GRER	10. Mai	20. Jun	10	10	15	45

(Verzeichnis der Abkürzungen zu den Fruchtarten: Siehe Angang!)

Legende:

CROP...	Kurzbezeichnung für die Kulturart
BEGIN, END...	Erster und letzter möglicher Termin für die Bewässerung
ARIDDDAYS...	Anzahl der Tage, in denen der Niederschlag einen Grenzwert von MINPREC unterschreiten muss, damit bewässert wird.
MINPREC...	Niederschlagsgrenzwert für die Bewässerung innerhalb eines Zeitraumes von ARIDDDAYS.
IRRIGATION...	Bewässerungsmenge pro Gabe
IRRIGMAX...	maximale jährliche Bewässerungsmenge für eine Kulturart

Die Bewässerung kann auf Grundlage der oben dargestellten Parameter anhand der Wetterdaten für die einzelnen Klimastationen mithilfe eines Skripts innerhalb der Benutzeroberfläche im ArcView – GIS simuliert werden. Es ergeben sich für jede Klimastation die Bewässerungszeitpunkte für jede Fruchtart und die beiden Bodentypen.

Bei der Validierung von EPIC wurden die tatsächlichen Bewässerungsmengen verwendet. Wird die Simulation für das ganze Gebiet durchgeführt, stehen diese Daten nicht zur Verfügung und werden daher wie oben beschrieben anhand der Klimadaten generiert.

Ein Vergleich zwischen tatsächlicher und simulierter Bewässerung für die Schläge N 7/8 und R 1/2 ist in Tabelle 26 dargestellt

Tabelle 26: Vergleich zwischen tatsächlicher und simulierter Bewässerung für die Schläge N 7/8 und R 1/2 (Angaben in [mm])

Schlag	N 7/8			Datum	R 1/2		
	Fruchtart	simuliert	tatsächlich		Fruchtart	simuliert	tatsächlich
1986	SOGE	0	0	1986	SOGE	0	0
1987	WIWE	0	0	1987	WIWE	0	0
1988	GRER	40	0	1988	SOBL	0	0
1988	SPIN	60	75	1989	WIWE	0	0
1989	WIWE	0	0	1990	WIGE	0	40
1990	ZURU	120	120	1991	GRER	0	30
1991	KART	45	55	1991	SPIN	60	95
1992	WIWE	0	0	1992	WIWE	0	0
1993	SOBL	0	35	1993	WIRA	0	0

3.2.3 GIS

Aufgrund des vielfach räumlichen Bezuges der Daten wurde auf ein geografisches Informationssystem zurückgegriffen, welches die Organisation, Manipulation, Analyse und Darstellung der räumlichen Information gewährleistet. Weiters dient das GIS als Plattform, auf der alle notwendigen Schritte einer Simulation (Aufbau der Datenbank, Zugriff auf Datenbasis, Szenariomanagement, Berechnung der Bodenparameter, Verknüpfung der räumlichen Information, Aufbereitung der EPIC-Eingabedateien, Start der Simulation und Visualisierung sowie Analyse verschiedener Ergebnisdaten) durchgeführt werden können: Hauptaugenmerk galt daher der Entwicklung der Benutzeroberfläche „EPICINT“ innerhalb des Desktop-GIS ArcView®, über welche Grundlagendaten und Simulationsmodelle miteinander verknüpft wurden.

3.3 Beschreibung der Benutzeroberfläche

3.3.1 Allgemeines

Die Benutzeroberfläche „EPICINT“ zur Integration von EPIC wurde in einer Projektdatei von ArcView implementiert. Der DIALOG DESIGNER sowie die Programmiersprache AVENUE wurden verwendet, um alle Routinen und Berechnungen zu integrieren sowie logisch aufgebaute Dialoge zu gestalten, mit denen Simulationen einfach durchgeführt werden können.

Generell besteht jedes ARCVIEW-Projekt aus mehreren Oberflächen, den sogenannten Dokumenten, welche verschiedene Funktionen innehaben. Jedem Dokument ist seine eigene Menü-, Button- und Toolleiste zugeordnet, über welche die spezifischen Werkzeuge verwendet werden können. Über das *Projekt-Fenster* sind alle anderen Dokumente zugänglich: Das *View-Dokument* dient der Anzeige von Karten, das *Table-Dokument* zur Bearbeitung von Tabellen. Mit Dialogen können die Funktionen der einzelnen Dokumente erweitert werden.

Die programmierten Funktionen befinden sich als Menüeinträge mit dem Namen „EPICINT“ in den folgenden Dokumenten: Im Projekt-Dokument (Abbildung 5: Menü „EPICINT“ im Projekt-Fenster von ARCVIEW), im Views-Dokument (Abbildung 6) und im Tables-Dokument (Abbildung 7).

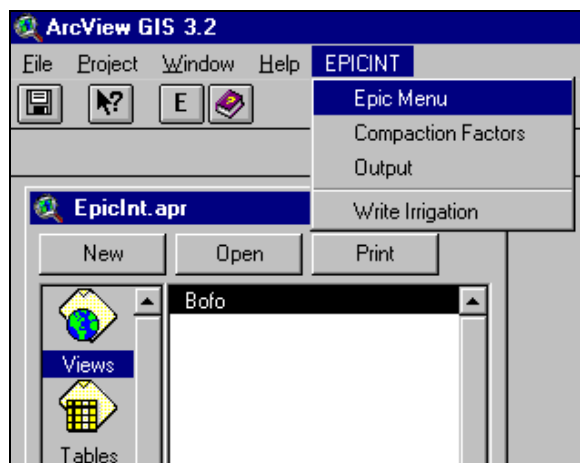


Abbildung 5: Menü „EPICINT“ im Projekt-Fenster von ARCVIEW

Mit dem Menüeintrag „Epic Menu“ wird das Hauptmenü für die Simulation mit EPIC geöffnet (siehe auch Abschnitt 3.3.3.2).

Der Eintrag „Compaction Factors“ öffnet das Menü zur Definition der CompactionFactors (Abschnitt 3.3.2.1).

Mit „Output“ kann der Dialog zur Visualisierung von Berechnungsergebnissen direkt geöffnet werden, falls bereits ein Szenario im Dialog „Epic Menu“ initialisiert wurde.

„Write Irrigation“ dient der Simulation von Bewässerungsgaben, die in Abhängigkeit der Wetterstationen und Fruchtfolgen in verschiedene Dateien in der Datenbasis abgelegt werden und später für die Simulation mit EPIC verwendet werden können.

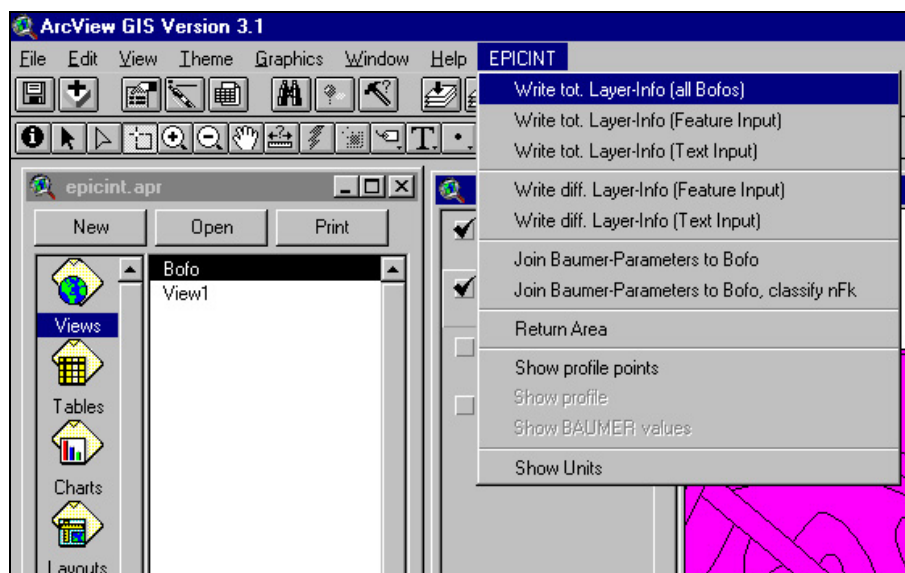


Abbildung 6: Menü „EPICINT im Views-Fenster von ARCVIEW

Eine genaue Beschreibung dieser Funktionen enthält Abschnitt 3.3.2.2.

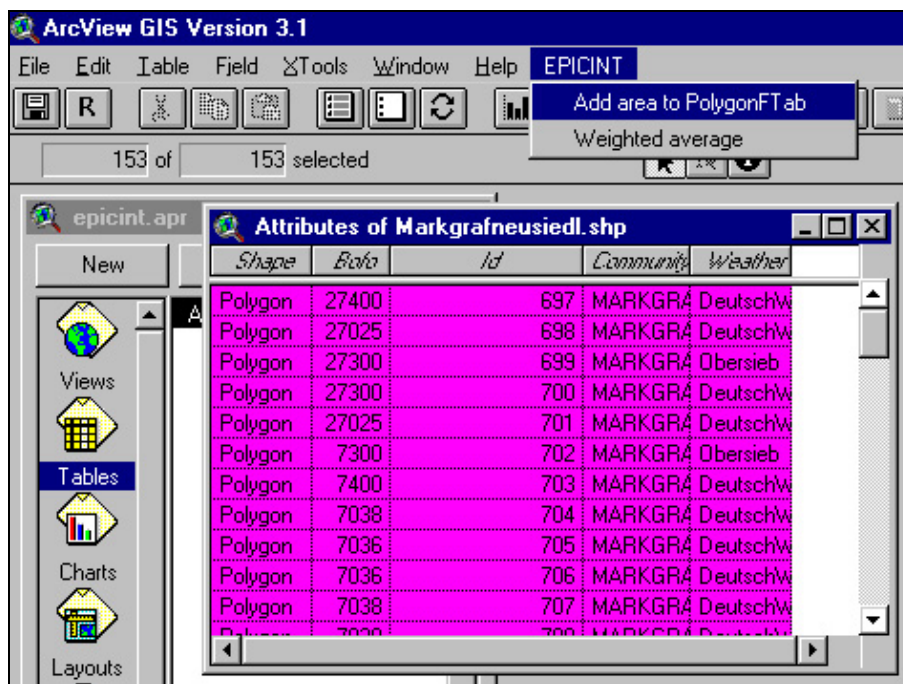


Abbildung 7: Menü „EPICINT im Tables-Fenster von ARCVIEW

Mit dem Menüeintrag „Add area to Polygon-FTab“ kann für die gerade aktive Tabelle ein Feld „Area“ zugefügt werden, das für jedes Polygon die entsprechende Fläche in m² enthält.

Der Eintrag „Weighted Average“ dient der Berechnung von gewichteten Mittelwerten von den in der Tabelle selektierten Zeilen. Ist keine Zeile selektiert, werden alle Zeilen für die Berechnung herangezogen. Es wird auch jene Zeile angezeigt, deren Wert dem berechneten Mittel am nächsten liegt, bzw. kann ein Quantilwert bestimmt werden und der diesem Quantilwert nächst gelegene Wert angezeigt werden.

3.3.2 Integration der Formeln von BAUMER

Zur Berechnung von weiteren Bodenparametern wurden die empirischen Formeln von BAUMER über die Scriptsprache AVENUE in die Applikation vollständig integriert. Als Datenbasis wird jene dBASE-Tabelle verwendet, in der die Informationen der Bodenkarte enthalten sind. Aus dieser Tabelle werden für jede Bodenform Schichtgrenzen, Textur, Humusgehalt und Grobkornanteil entnommen.

3.3.2.1 Compactionfactor

Zur Berechnung der Bodenparameter mit den Formeln von BAUMER müssen sogenannte „Compactionfactors“ angegeben werden, welche eine unterschiedliche Verdichtung der einzelnen Bodenhorizonte berücksichtigen. Sie können den jeweils örtlichen Verhältnissen angepasst werden.

Im Projekt können die Compactionfactors über den Dialog „Compaction Factors“ (Abbildung 8) definiert werden (Projektfenster, Menü „EpicInt / Compaction Factors“).

	from	to	used	Cfactor (VOMD, VODF, W3RDG)	Cfactor (DAIR)
Standard	0	0.3	C3	1.085	1.9
New Dataset	0.3	0.6	C4	0.95	1.7
Copy Dataset	0.6	1	C2	1	1
Delete Dataset	1	2	C1	0.915	0.1

Abbildung 8: Dialog „Edit Compaction Factors“

Über ein Szenariomanagement können verschiedene Datensätze angelegt und gelöscht werden. Zur Berechnung wird immer der im Dialog aktuelle Datensatz verwendet. Im Programm ist bereits ein Standarddatensatz vordefiniert, der bei Öffnen eines neuen Datensatzes in die Textfenster des Dialogs geschrieben wird. Vor einer erstmaligen Simulation mit EPIC wird dieser Dialog zur Initialisierung automatisch geöffnet.

Es sind insgesamt 4 verschiedene Faktoren zu definieren, die den einzelnen Bodenhorizonten zugeordnet werden können. Die jeweiligen Schichtgrenzen sind ebenfalls über den Dialog einzugeben.

3.3.2.2 Abfragetools

Für die praktische Anwendung der ins Projekt integrierten Formeln wurden ebenfalls mit AVENUE verschiedene Abfragetools entwickelt, die direkt die Ergebnisse einer Berechnung mit den BAUMER-Formeln ablesbar machen und eine visuelle Darstellung der Bodenparameter gestatten.

Im beschriebenen Projekt sind diese Tools neben anderen Einträgen im Views-Dokument im Menü „EPICINT“ aufrufbar (Abbildung 6). Die ersten 5 Einträge („Write tot. Layer...“, „Write diff. Layer...“) benötigen die Initialisierung der Datenbasis, welche durch Start des Hauptdialogs „EPIC Menu“ erfolgt.

3.3.2.2.1 Write tot. Layer-Info (all Bofos)

Dieser Menüeintrag dient der Berechnung und allgemeinen Darstellung der Parameter aller vorhandener Bodenformen. Der Begriff „Write tot. Layer-Info...“ bezieht sich auf die gewichtete Mittelung aller im betrachteten Bodenprofil vorhandenen Werte, es können aber die gewünschten Schichttiefen (Ober- und Unterkante) für die Berechnung ausgewählt werden.

Über eine Message-Box (MsgBox) ist eine Shape-Datei auszuwählen, welche Polygone verschiedener Bodenformen beinhaltet. Dann werden alle Bodenformen, die sich in deren Attributtabelle in der Spalte „Bofo“ befinden müssen, abgefragt und die Bodenparameter nach BAUMER berechnet. Als Datenbasis dient die in der Datenbasis festgelegte Datei der Bodeninformationen.

Nach Auswahl der Shape-Datei sind die Knoten (Schichtober- und Schichtunterkante) des gewünschten Bodenabschnittes zu definieren (0 m...Bodenoberfläche, 2 m...maximale Bodentiefe für das gegenständliche Projekt). Für die Stickstoffverlagerung ist in der Regel der durchwurzelte Horizont, also eine Bodentiefe bis 1,2 m interessant. Für spezielle Darstellungen kann aber z.B. auch eine Schicht von 0,5 m bis 0,8 m untersucht werden.

Mitunter besteht eine Bodenform aus mehreren Bodenformkomplexen bzw. Bodenformkomponenten. Da den Flächen im Rahmen der Bodenkartierung aber immer nur die einzelnen Bodenformen zugeordnet wurden, müssen die Parameterwerte für die visuelle Darstellung nach dem Flächenanteil der Bodenformkomponenten gewichtet gemittelt werden. Weiters werden die berechneten Werte für die gesamte betrachtete Horizonttiefe gemittelt. Als Ergebnis ergeben sich daher über die definierte Bodentiefe und die Bodenformkomponenten/ -komplexen gemittelte Werte der Parameter. Eine Ausnahme bei der Mittelwertbildung stellt die vertikale Durchlässigkeit dar, hier ist bezüglich Wichtung über die Bodentiefe jene Schichte ausschlaggebend, die die geringste Durchlässigkeit aufweist.

Alle Parameter werden in einer neuen dBASE-Datei (Tabelle 27) abgelegt, deren Name kann in einem weiteren Dialog angegeben werden.

Tabelle 27: Tabelle mit berechneter Bodenforminformation (gemittelte Werte)

Bofo	Komplex	Fläche	Ton	Pz	Sand_0	Schluff_0	Ton	D0_0	D0_1	A0_0	A0_1
27010	1.00	4950673.45	0.00	1.00	27	60	13	1.541	1.600	0.099414	0.267994
27009	1.00	2425461.14	0.00	1.00	33	51	17	1.520	1.600	0.122226	0.200560
27046	1.00	2786.93	0.00	1.00	27	48	25	1.519	1.643	0.170719	0.306278
27011	1.00	1100284.94	0.00	1.00	34	46	20	1.469	1.573	0.144590	0.309521
27007	1.00	1754949.61	0.00	1.00	42	51	7	1.641	1.669	0.099414	0.190317
27008	1.00	120964.16	0.00	1.00	84	12	5	1.762	1.799	0.090669	0.084291
6200	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200	1200	1200	1200.000	1200.000	1200.000000	1200.000000
6300	1300.00	1300.00	1300.00	1300.00	1300	1300	1300	1300.000	1300.000	1300.000000	1300.000000
6400	1400.00	1400.00	1400.00	1400.00	1400	1400	1400	1400.000	1400.000	1400.000000	1400.000000
7200	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200	1200	1200	1200.000	1200.000	1200.000000	1200.000000
7300	1300.00	1300.00	1300.00	1300.00	1300	1300	1300	1300.000	1300.000	1300.000000	1300.000000

Bofo	W_0	Sand_0	Schluff_0	Bodkum	Humus	K_0	Pz	Extrakt	W_0	A0_0	A0_1
27010	0.267994	32	55	0	1.4	21.0	7.7	1.71	38.96	168.470000	16.947000
27009	0.200560	37	46	21	1.6	23.3	7.7	1.51	39.25	158.334000	15.833400
27046	0.306278	31	44	0	1.5	24.9	7.6	1.95	39.23	165.559000	16.555900
27011	0.309521	38	42	1	2.9	14.6	7.5	2.69	40.86	160.929000	16.092900
27007	0.190317	47	46	0	0.8	22.4	8.0	2.61	36.15	130.903000	13.090300
27008	0.084291	84	11	0	0.7	14.1	7.8	99.08	31.65	43.592000	4.359200
6200	1200.000000	1200	1200	1200	1200.0	1200.0	1200.0	1200.000	1200.00	1200.000000	1200.000000
6300	1300.000000	1300	1300	1300	1300.0	1300.0	1300.0	1300.000	1300.00	1300.000000	1300.000000
6400	1400.000000	1400	1400	1400	1400.0	1400.0	1400.0	1400.000	1400.00	1400.000000	1400.000000
7200	1200.000000	1200	1200	1200	1200.0	1200.0	1200.0	1200.000	1200.00	1200.000000	1200.000000
7300	1300.000000	1300	1300	1300	1300.0	1300.0	1300.0	1300.000	1300.00	1300.000000	1300.000000
Total	4.49100000	4.491	4.491	4.491	4.491.0	4.491.0	4.491.0	4.491.000	4.491.00	4.491.000000	4.491.000000

Die zur Berechnung ausgewählte Shape-Datei enthält neben landwirtschaftlichen Flächen auch Flächen aus Wald, Siedlungsgebiet und Gewässer. Diese Flächen sind ebenfalls kodiert, sie erhalten im Feld „Bofo“ hinter der Nummer für den Kartierungsbereich die Codes 200 für Gewässer, 300 für Wald und 400 für Siedlungsgebiete. Diese zusätzlichen Codes werden in der neuen Tabelle automatisch generiert, damit später eine vollständige Verknüpfung mit einem Polygonthema erfolgen kann.

Durch die Verknüpfung von berechneter Tabelle und Polygonthema wird die Darstellung einer Karte mit den verschiedenen errechneten Parametern möglich. Abbildung 9 zeigt eine Karte mit der errechneten nutzbaren Feldkapazität für die Bodenformen der Gemeinde Aderklaa bis in eine Horizonttiefe von 1,2 m, eingeteilt in 5 Klassen.

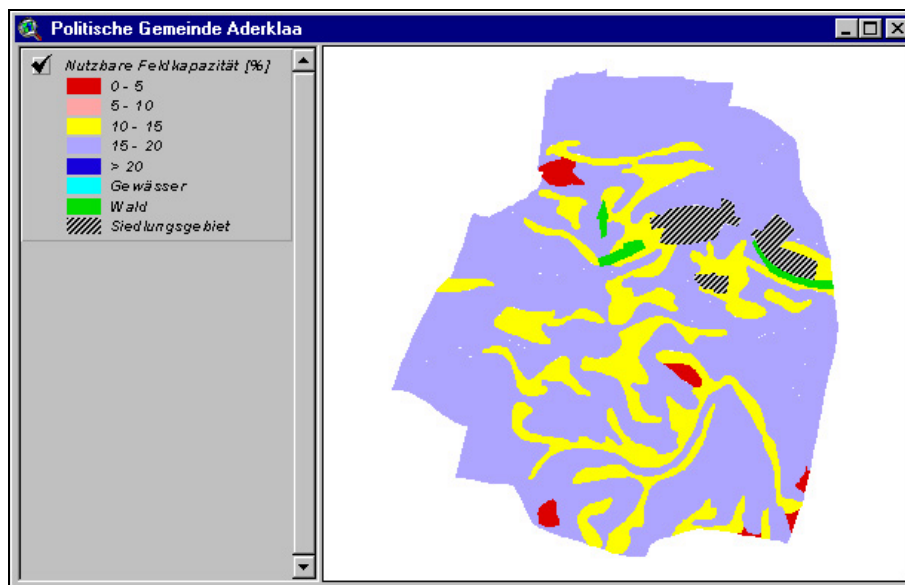


Abbildung 9: Karte der nutzbaren Feldkapazität, 5 Klassen, Gemeinde Aderklaa

3.3.2.2 Write tot. Layer-Info (Feature Input)

Dieser Eintrag dient der Abfrage der Parameter bestimmter Bodenformen. Dabei können auf einer Karte wie z.B. in Abbildung 9 ein oder mehrere Bodenformen ausgewählt werden. Die Berechnung ist gleich wie in Abschnitt 3.3.2.2.1, die Ergebnisse werden für jede Bodenform standardmäßig in die Datei „BaumerTot.dbf“ geschrieben.

3.3.2.3 Write tot. Layer-Info (Text Input)

So wie in Punkt 3.3.2.2.2 werden die Parameter für eine bestimmte, in diesem Fall als Text einzugebende Bodenform (z.B. „25003“) berechnet und in die Datei „BaumerTot.dbf“ geschrieben.

3.3.2.4 Write diff. Layer-Info (Feature Input)

Mit diesem Menüeintrag werden die Parameter der einzelnen Schichten („diff. Layer-Info“) der über eine Karte angewählten Bodenformen berechnet und in die Datei „BaumerDiff.dbf“ abgelegt. Die einzelnen Horizonte und Bodenformkomponenten / -komplexe werden nicht gemittelt, sondern einzeln berechnet und ausgegeben. Aus diesem Grund wird der Codierung der Bodenform eine Stelle für die Bodenformkomponente (0... keine Komponenten vorhanden, 1...Komponente 1,...) sowie eine Stelle für die einzelne Bodenschichte hinten angehängt (Tabelle 28). Es können auch bestimmte Horizonttiefen selektiv untersucht werden.

Tabelle 28: Tabelle „BaumerDiff.dbf“ mit errechneten Parametern für jede einzelne Bodenschichte

Bofo	Kp	Fk	Ion	Br	Sand	Schluff	Ton	CRD	CRD	H/C	H/PS
2701101	1.00	0.00	0.00	0.30	44	44	12	1.552	1.907	0.099925	0.238461
2701102	1.00	0.00	0.30	0.05	30	46	16	1.529	1.804	0.121624	0.272345
2701103	1.00	0.00	0.65	1.10	22	47	31	1.360	1.534	0.208577	0.384725
2701104	1.00	0.00	1.10	1.20	22	47	31	1.507	1.741	0.213620	0.367777
2700711	0.70	0.00	0.00	0.30	32	57	11	1.535	1.584	0.089180	0.248423
2700712	0.70	0.00	0.30	0.60	44	50	6	1.703	1.723	0.052708	0.175283
2700713	0.70	0.00	0.60	1.20	41	55	4	1.652	1.705	0.038562	0.167736
2700721	0.30	0.00	0.00	0.25	38	48	14	1.483	1.551	0.113902	0.270640
2700722	0.30	0.00	0.25	0.40	47	41	12	1.588	1.649	0.097470	0.224053
2700723	0.30	0.00	0.40	1.20	55	42	3	1.750	1.759	0.033870	0.128066

Bofo	Kp	Sand	Schluff	Ton	nFk	K	Ph	Salinität	Wv	A0	A0
2701101	0.238461	48	40	2	2.3	13.2	7.5	14.12	38.10	41.999600	13.053200
2701102	0.272345	42	42	0	2.1	12.7	7.5	6.88	38.89	52.752350	15.072100
2701103	0.384725	26	43	0	4.2	17.8	7.5	2.54	44.03	83.766600	18.674800
2701104	0.367777	26	43	0	1.0	17.8	7.5	1.26	39.38	15.415700	15.415700
2700711	0.248423	37	52	0	1.8	20.8	7.7	7.17	38.83	47.772900	15.924300
2700712	0.175283	48	46	0	0.2	24.0	8.2	35.95	34.07	36.772500	12.257900
2700713	0.167736	46	50	0	0.1	25.4	8.2	60.41	35.45	77.482400	12.915400
2700721	0.270640	42	44	0	3.2	13.6	7.6	8.71	39.94	39.184500	15.673800
2700722	0.224053	51	37	0	1.6	20.4	7.8	16.05	36.89	18.937450	12.658300
2700723	0.128066	59	39	0	0.2	22.8	8.1	198.63	33.20	75.276800	9.409600

3.3.2.2.5 Write diff. Layer-Info (Text Input)

Die Bodenformnummer wird als Text („27050“) eingegeben. Die weitere Vorgangsweise ist gleich wie in Punkt 3.3.2.2.4.

3.3.2.2.6 Join Baumer-Parameters to Bofo

Mit diesem Tool kann eine bestehende Shape-Datei, die ein Polygonthema der Bodenformen beinhaltet, mit einer der errechneten Tabellen (z.B. „BofoLink.dbf“) „verlinkt“ werden. Der Vorgang wird in ARCVIEW als „TableJoin“ bezeichnet. Dabei wird in beiden Dateien nach der Spalte mit dem Namen „Bofo“ gesucht und über diese beiden Spalten die Tabellen verknüpft. Die Spalte „Bofo“ in der Tabelle „BofoLink.dbf“ ist ein Primärschlüssel.

Das Ergebnis ist eine Erweiterung der Attributtabelle des Polygonthemas mit der berechneten Tabelle. So können die einzelnen errechneten Parameter als Karte dargestellt werden.

3.3.2.2.7 Join Baumer-Parameters to Bofo, classify nFk

Dieser Eintrag ist die Erweiterung von Punkt 3.3.2.2.6: Nach Herstellen des Joins wird die nutzbare Feldkapazität (nFk) je nach Wahl in [%] oder in [mm] bezogen auf die untersuchte Bodentiefe in einer Karte angezeigt, die Einteilung erfolgt in 5 Klassen (Abbildung 9). Das aktuelle Thema wird dabei mit einer Attributtabelle verknüpft, umbenannt und die entsprechende Legende zur Klassifikation dargestellt.

Anmerkung: Für die qualitative Beurteilung der einzelnen Bodenformen war die Darstellung der nutzbaren Wasserkapazität von besonderem Interesse, weshalb für diesen Parameter eigens eine klassifizierte Legende vorbereitet wurde. Es können vom Anwender eigene Legenden für jeden Parameter konstruiert oder jene im Ordner „\EPICINT\Data\Legends“ verwendet werden.

3.3.2.2.8 Return Area

„Return Area“ liefert die Gesamtfläche aller mit dem Tool „Select Feature“ auf der Karte selektierten Polygone.

3.3.2.2.9 Show Profile Points

Jeder einzelnen Bodenform im Untersuchungsgebiet ist eine Profilstelle zugeordnet. Damit die Örtlichkeit dieser Profilstellen leicht auffindbar ist, wurde dieses Tool entwickelt, welches zu den selektierten Bodenformen die Punkte der Profilstellen darstellt und diese numeriert. Es wird ein Kartenausschnitt dargestellt, welcher sowohl die selektierte Bodenform als auch deren Profilstelle enthält (Abbildung 10).

3.3.2.2.10 Show Profile

Mit „Show Profile“ wird, falls vorhanden, der Bodenformquerschnitt der selektierten Bodenform als Bild dargestellt (Abbildung 10).

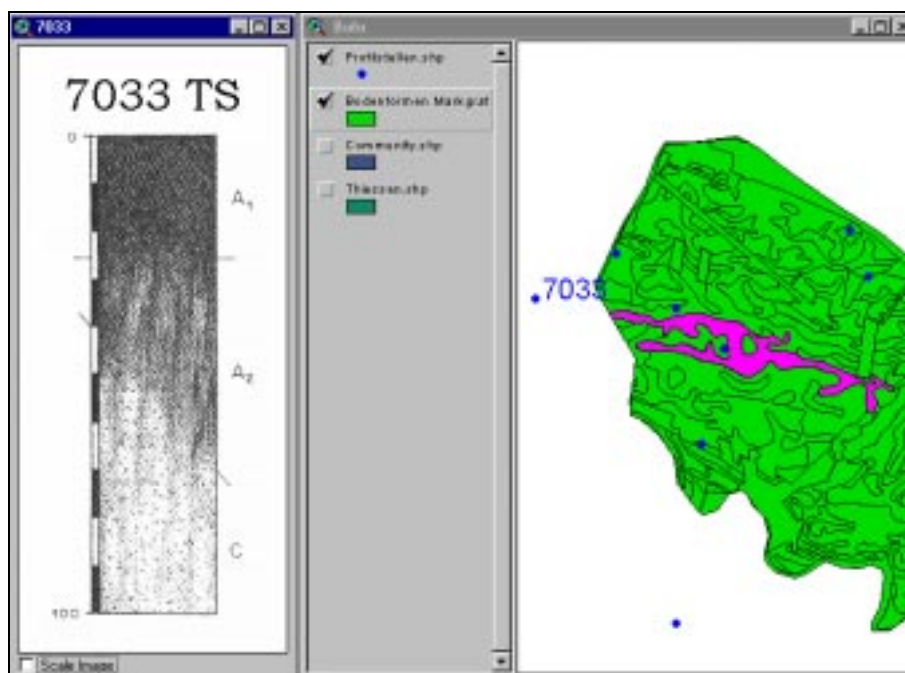


Abbildung 10: Selektierte Bodenform 33 des KB Groß-Enzersdorf, mit Profilstelle und grafischen Darstellung des Bodenhorizontes

3.3.2.2.11 Show Baumer Values

Ist auf der Karte eine Bodenform selektiert, können mit diesem Tool sehr schnell alle vorhandenen Bodeninformationen dieser Bodenform in einer Liste angezeigt werden (Abbildung 11). Die Informationen über die zu untersuchende Horizonttiefe werden aus dem Dialog „EPIC Menu“ übernommen. Die zu verknüpfende Tabelle wird im Ordner „EPICINT\Data\Soil“ gesucht und muss den Namen „Bofolink“ + Bodentiefe [cm] + „.dbf“ haben. Diese Dateien werden mit dem Tool aus 3.3.2.2.1 „Write tot. Layer-Info (all Bofos)“ erstellt.

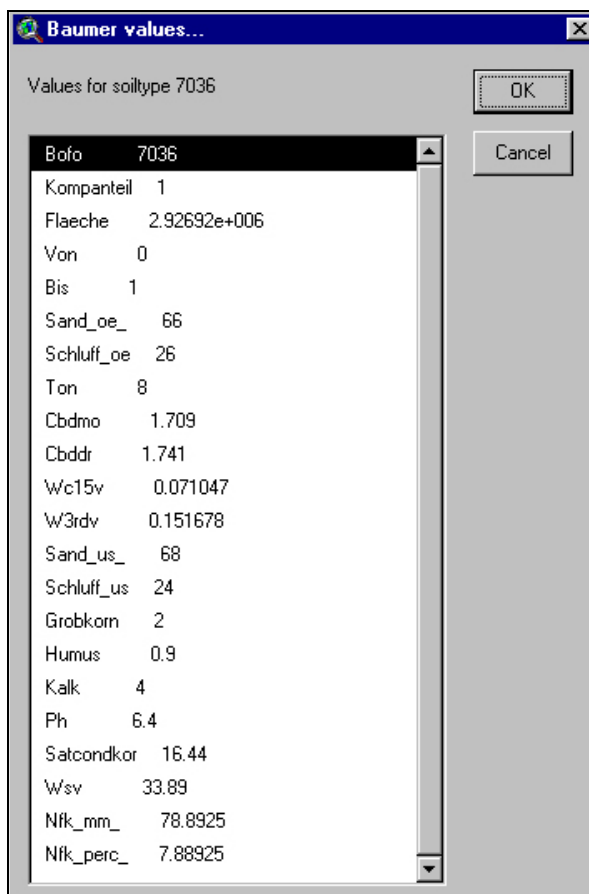


Abbildung 11: Verfügbare Bodeninformationen der Bodenform 7033

3.3.2.2.12 Show Units

Mit „Show Units“ wird ein Textfenster geöffnet, in dem die Einheiten aller verwendeten Parameter angezeigt werden.

3.3.2.3 Verknüpfung der Formeln von BAUMER mit EPIC

Einige der Programme, mit denen die Abfragetools aus Abschnitt 3.3.2.2 entwickelt wurden, werden nun auch für das Simulationsprogramm EPIC herangezogen. Dabei wesentlich ist die automatische Erstellung der Bodendateien als Eingabedateien für die EPIC-Simulation: Sämtliche Parameter werden entweder direkt aus der Rohdatenbank gelesen oder mit den Formeln von BAUMER berechnet. Bei Vorhandensein mehrerer Bodenformkomponenten wird das Bodenprofil in die unterschiedlichen Horizonte aufgesplittert und dann für jede Schichte ein nach dem Flächenanteil gewichteter Mittelwert gerechnet und in die Bodendatei geschrieben.

Es besteht auch die Möglichkeit, jene Dateien zu verwenden, die bereits für eine Simulation mit EPIC vorbereitet wurden. In diesem Fall werden keine Berechnungen bezüglich Bodenparameter durchgeführt.

3.3.3 Integration von EPIC

Das Simulationsprogramm EPIC wurde mit dem GIS eng gekoppelt. Das bedeutet, dass der Programmcode von EPIC unverändert belassen wurde und das Programm weiters unter DOS abgearbeitet wird, jedoch alle notwendigen Input-Dateien vom GIS automatisch bereitgestellt werden und das Programm aus dem GIS heraus gestartet werden kann. Eine schematische Übersicht über die Kopplung von GIS und EPIC gibt Abbildung 12.

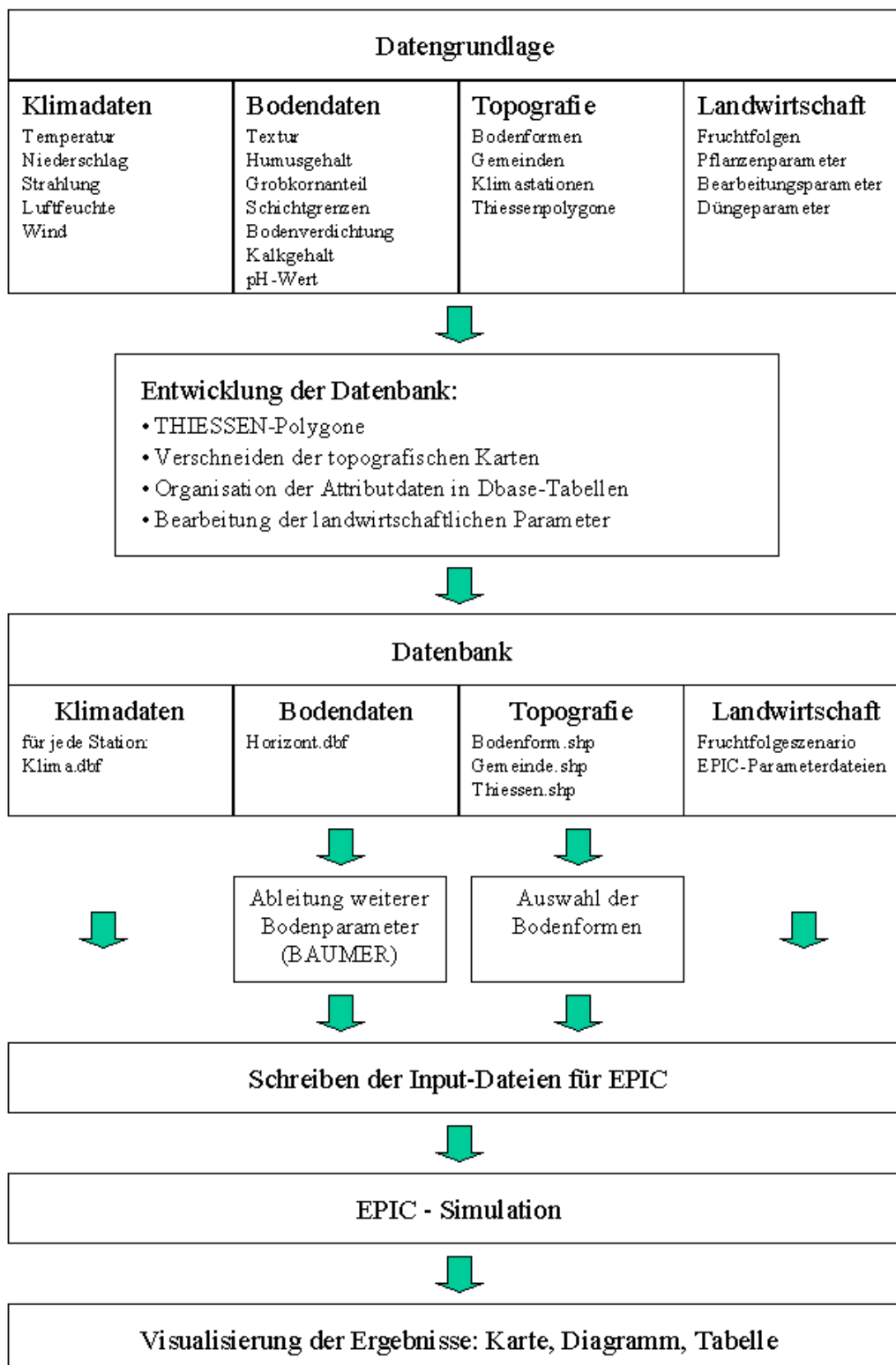


Abbildung 12: Flussdiagramm zur Simulation des Stickstoffaustrages mit EPIC

3.3.3.1 Verzeichnisstruktur

Die Applikation „EPICINT“ ist so aufgebaut, dass sich alle notwendigen Informationen und Programme in Ordnern unterhalb der Projektdatei befinden. Die dabei entstandene Verzeichnisstruktur wird bei erstmaligem Start des Programms automatisch aufgebaut und kann dann wenn notwendig als Ganzes auf andere PCs oder Disketten kopiert werden.

Wird das Programm „Epicint.apr“ zum ersten mal gestartet, wird beginnend mit dem Ordner „EpicInt“, welcher sich auf der gleichen Ebene wie „Epicint.apr“ befindet, eine Verzeichnisstruktur auf der Festplatte angelegt (Abbildung 13).

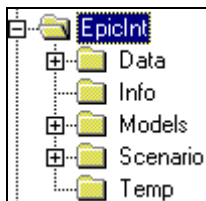


Abbildung 13: Verzeichnisstruktur von „EpicInt.apr“

3.3.3.1.1 Ordner „Data“

Der Ordner „Data“ soll alle Grundlagedaten enthalten, die für eine Simulation erforderlich sind.

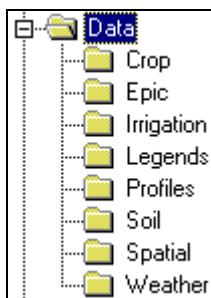


Abbildung 14: Ordner „Data“

Im Ordner „Crop“ werden sind alle Informationen bezüglich Fruchtfolgen enthalten: Bearbeitungsdaten einzelner Fruchtarten, zusammengestellte Fruchtfolgen („*.ops“),...

Der Ordner „Epic“ enthält fertige Epic-Eingabedateien, welche für alle Simulationen verwendet werden können. Diese Dateien werden vom GIS nicht automatisch generiert, eine Änderung dieser Daten ist nur im Rahmen einer Modellkalibrierung notwendig. Es sind dies folgende Dateien:

- CROP (Dateiendung „*.crp“): Pflanzen – Parameterdatei. In dieser Datei sind die verwendeten Pflanzen über verschiedene Parameter charakterisiert. Die Recheneinheit von EPIC greift über die Pflanznummer in der Bearbeitungsdatei auf diese Daten zu.
- TILLAGE (Dateiendung „*.til“): Bearbeitungs – Parameterdatei. In dieser Datei sind die verwendete Bearbeitungsarten über verschiedene Parameter charakterisiert. Die Recheneinheit von EPIC greift über die Bearbeitungsnummer in der Bearbeitungsdatei auf diese Daten zu.
- PESTICIDE (Dateiendung „*.pes“): Pestizid – Parameterdatei.
- FERTILIZER (Dateiendung „*.fer“): Dünge – Parameterdatei.

- MISCELLANEOUS (Dateiendung „*.par“): Miscellaneous – Parameterdatei. Diese Datei enthält experimentell ermittelte und getestete Parameter, die vom Anwender nicht geändert werden sollten.
- MULTI - RUN (Dateiendung „*.mlr“): Multi Run – Parameterdatei.
- PRINT (Dateiendung „*.prt“): Ausgabe – Parameterdatei. In dieser Datei kann festgelegt werden, welche Ausgabeparameter in welcher Reihenfolge und in welcher Art der verschiedenen Ausgabedateien zu finden sind.

Der Ordner „Irrigation“ enthält die Dateien „Irrigrich.dbf“ und „Irrigpoor.dbf“, in welchen die Informationen für die Simulation der Bewässerung zusammengestellt sind. Simulierte Bewässerungszeitpunkte und –mengen für jede Wetterstation befinden sich ebenfalls in diesem Ordner.

Legenden, welche für bestimmte Themen in ArcView geladen werden können, sind im Ordner „Legends“ gespeichert.

Gescannte Abbildungen der Bodenhorizonte aus der Bodenkarte befinden sich im Ordner „Profiles“.

Alle Bodeninformationen sind im Ordner „Soil“ zu finden: Parameter der Bodenkarte, empirisch berechnete Werte, Compaction factors und bestehende EPIC Soilfiles „*.sol“.

Der Ordner „Spatial“ beinhaltet alle räumlichen Daten wie Polygon- Linien- und Punktkarten.

In „Weather“ sind die aufgezeichneten Tagesdaten aller Wetterstationen zu finden. Die Zeitreihen der einzelnen Klimastationen als dBASE-Dateien gespeichert. Über den Dateinamen werden die Klimastationen identifiziert, weshalb die Namensgebung der Dateien mit den Namensdaten in der Attributtabelle der Thiessenpolygondatei übereinstimmen muss. Eine Klimaparametertabelle beinhaltet die Spalten DATE, RAD, TMAX, TMIN, RAIN, RHD und WV (Datum, Strahlung, Tagesmaximaltemperatur, Tagesminimaltemperatur, Niederschlag, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit)

3.3.3.1.2 Ordner „Models“

Der Ordner „\Models\EpicRun“ enthält das Simulationsprogramm EPIC. In diesen Ordner werden vom Programm alle Dateien kopiert, die EPIC für die Simulation benötigt. Nach erfolgter Berechnung werden alle Eingabedateien im Ordner gelöscht und die berechneten Ausgabedateien je nach Szenario, Bodenform, Gemeinde und Wetterstation in die entsprechenden Ordner verschoben, wo sie weiter aufbereitet werden.

Das DOS-Programm „Wxparm“ in „\Models\Wxparm“ dient der Berechnung von monatlichen Mittelwerten aus täglichen Wetterdaten. Diese werden ebenfalls als Eingangsparameter für EPIC benötigt.

3.3.3.1.3 Ordner „Scenario“

Im diesem Ordner sind alle Input- und Output-Dateien je nach Szenario, Bodenform, Fruchtfolge und Wetterstation zu finden (Abbildung 15).

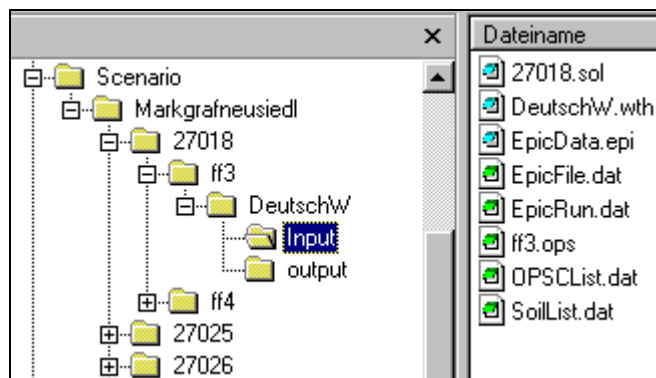


Abbildung 15: Baumstruktur des Ordners „Scenario“

Die Datei „*.sol“ beinhaltet alle Bodeninformationen. „EpicData.epi“ ist die sog. Messstellendatei (EPIC Dataset), in der neben anderen Angaben Simulationsdauer, Simulationsbeginn, zu verwendende Formeln und monatliche Mittelwerte der Klimadaten stehen. „EpicFile.dat“ fasst alle verwendeten Dateien zusammen, die Datei „*.wth“ beinhaltet die täglichen Klimadaten der zugehörigen Wetterstation für die ausgewählte Periode.

3.3.3.2 Dialog „EPIC Menu“

Der Dialog „EPIC Menu“ (Abbildung 17) wird über das Menü des Projektfensters „EPICINT/EPIC Menu“ oder über den Button mit der Bezeichnung „E“ in Abbildung 16 gestartet. Eine Help-Datei im HTML-Format ist ebenfalls verfügbar.



Abbildung 16: Button „E“ für den Start von „EPIC Menu“

Ist der Compactionfactor noch nicht definiert, wird der entsprechende Dialog zuvor eingeblendet.

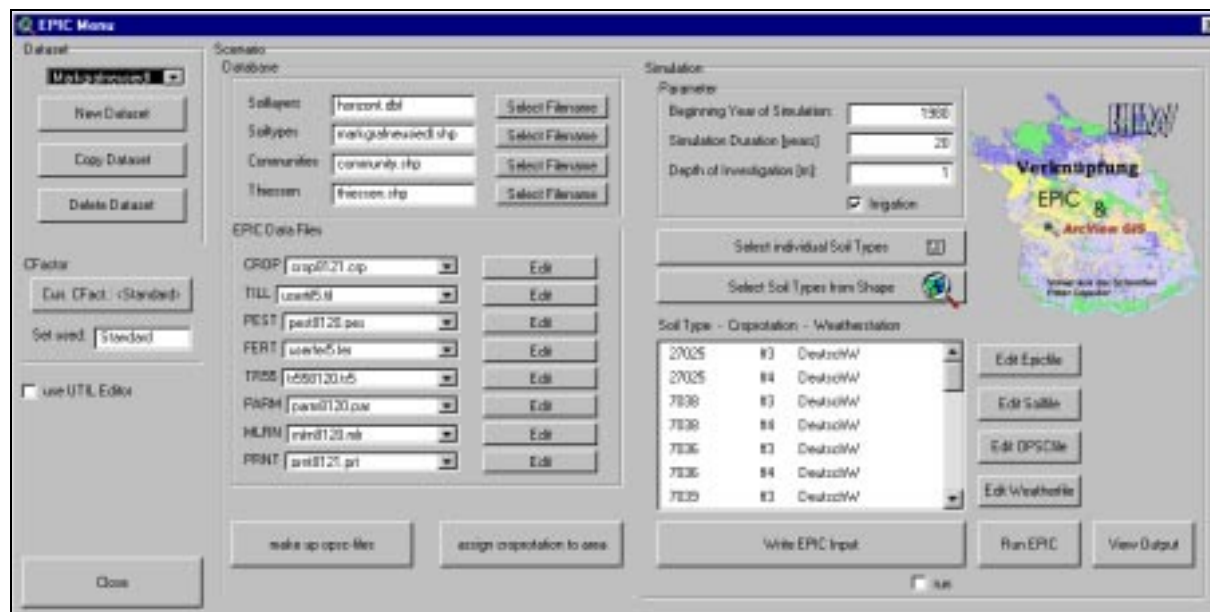


Abbildung 17: Dialog „Use EPIC“

3.3.3.2.1 Feld „Dataset“: Szenario Management

Mithilfe des Szenarienmanagements ist es möglich, Datensätze mit verschiedenen Eingangsinformationen zu erstellen und damit Auswirkungen von unterschiedlichen Maßnahmen zu beurteilen. Es können verschiedene Gebiete bzw. Fruchtfolgen untersucht und verglichen werden.

3.3.3.2.2 Feld „CFactor“

Über den dort befindlichen Button kann der Dialog „Compaciton Factors“ geöffnet und ein anderer Datensatz für den Cfaktor ausgewählt werden; dessen Name wird als Text im Button angezeigt. Wurde bereits ein Szenario gerechnet, ist in der darunterliegenden Textbox der für die Berechnung verwendete Datensatz des Cfaktors ersichtlich.

3.3.3.2.3 Feld „Database“

Das Feld „Database besteht aus zwei Teilen: Zum einen beinhaltet es Informationen über die Dateien, welche alle Grundlagedaten enthalten:

- Soillayers: In dieser Datei sind alle Bodenparameter, welche aus der Bodendatenbank stammen, enthalten (z.B. horizont.dbf“
- Soiltypes: Beinhaltet Polygone der Bodenkarte
- Communities: Polygone der politischen Gemeinden im Untersuchungsgebiet. Auf Gemeindeebene können die Fruchtfolgen dem Gebiet zugeordnet werden.
- Thiessen: Polygonthema der Thiessenpolygone der Wetterstationen

Die Simulation mit EPIC kann auch ohne Definition dieser Datenbasis durchgeführt werden. In diesem Fall ist allerdings eine räumliche Problembearbeitung nicht möglich, ebenso entfällt die Berechnung von zusätzlichen Bodenparametern aus der Bodenkarte. Die Epic-Eingabedatei *.sol muss fertig vorhanden sein.

Zum anderen enthält das Feld „Dataset“ ein weiteres Feld mit dem Namen „Epic Data Files“. Alle EPIC-Eingabedateien, welche im Ordner „Data\Epic“ zu finden sind, werden über ihre Endung (z.B. „*.fer“) identifiziert und in den Auswahlménüs dieses Feldes angezeigt. Mit dem nebenstehenden

Button „Edit“ kann der Inhalt der jeweils angezeigten Datei wahlweise mit dem zu EPIC gehörenden UTIL-Editor oder mit einem Texteditor von Windows angezeigt werden (Checkbox „use UTIL Editor“). Der UTIL-Editor bietet zusätzliche Hilfe über die einzelnen Parameter in diesen Dateien. Die Dateiinhalte dieses Feldes sind nur im Rahmen einer Modellvalidierung zu ändern.

3.3.3.2.4 Feld „Simulation“

Zum einen können bestimmte Simulationsparameter wie Beginn der Simulation, Simulationsdauer und Untersuchungstiefe des Bodens hier definiert werden.

Sollte im Bearbeitungsfile (*.ops) keine Bewässerung inkludiert sein, können simulierte Bewässerungsgaben für jede Fruchtart in Abhängigkeit der Wetterstation den Bearbeitungsfiles hinzugefügt werden (Wahl der Checkbox „Irrigation“). Die Simulation der Bewässerungsgaben erfolgt im Menü des Projektfensters „EpicInt \ Write Irrigation“.

Zum anderen finden in diesem Feld die Auswahl der einzelnen Bodenformen, die Berechnung mit EPIC sowie die Visualisierung der Ergebnisse statt.

3.3.3.2.4.1 Schritt 1: Wahl der zu berechnenden Bodenformen

Die Auswahl der Bodenformen kann entweder durch direkte Eingabe der Bodenformnummer (Button „Select individual Soil Types“), oder durch Selektion der Bodenformen auf einer Karte (Button „Select Soil Types from Shape“) erfolgen, letzteres nur sofern die Datenbasis im Feld „Database“ definiert wurde.

Im letzteren Fall wird eine View mit jener Karte der Bodenformen geöffnet, die zuvor bei der Definition der Basisdateien angegeben wurde. Gleichzeitig werden der Gemeinde und der Thiessenpolygonlayer übersichtshalber in der View geöffnet. Mit dem Tool „Select Shapes in View“ werden die einzelnen Bodenformen durch Anklicken auf der Bodenkarte selektiert.

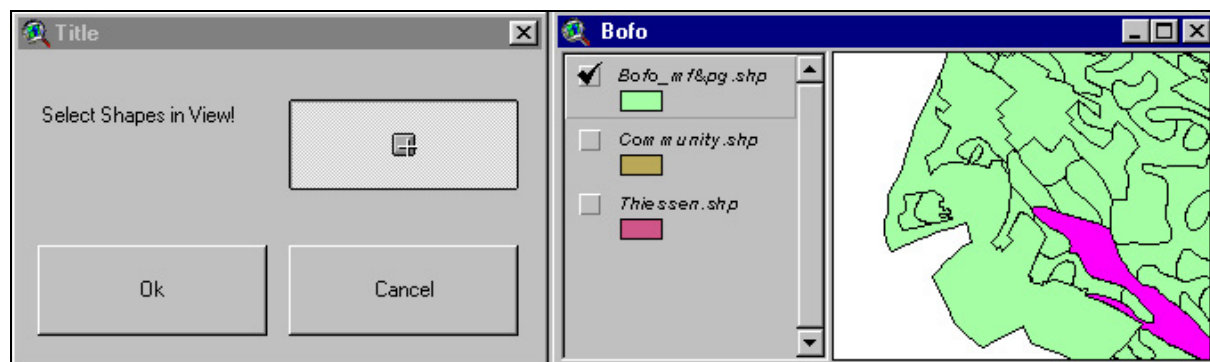


Abbildung 18: Dialog zur Auswahl der Bodenformen

Exkurs: Damit die einzelne Bodenform einer Gemeinde (zur Identifikation der Fruchtfolgen) und einer Klimastation zugeordnet werden kann, müssen diese Informationen in der dazugehörigen Attributtabelle in den Spalten „Community“ und „Weather“ vorhanden sein. Existieren diese Spalten noch nicht, wird vor Anzeige der Bodenformen in einer View automatisch ein Programm aufgerufen: Diese führt mit Hilfe des Gemeinde- und des Thiessenpolygonlayers, und einer Benutzerabfrage in der Feldnamen von Gemeindename und Namen der Wetterstation abgefragt werden, eine Abfrage für jede einzelne Bodenform durch. Dabei wird untersucht, in welches Polygon des Gemeinde- und Thiessenlayers der Schwerpunkt der einzelnen Bodenform fällt. Dann wird der Name der Gemeinde und der Wetterstation in das jeweilige Feld der neu gebildeten Spalten „Community“ und „Weather“ geschrieben. Damit ist definiert, welche Wetterstation und welche Gemeinde für die Berechnung mit der einzelnen Bodenform herangezogen wird.

Anmerkung: Der Querybuilder ist ein wichtiges Tool zur gezielten Selektion von verschiedenen Polygonen. So können z.B. all jene Bodenformen gewählt werden, die als Attributwert den Namen der Gemeinde Groß-Enzersdorf haben. Der Querybuilder ist eine Funktion von ArcView und wird über die Buttonleiste des Dokuments „View“ aufgerufen.

Im Falle der Wahl der Bodenformen über den Button „Button „Select individual Soil Types“ kann zunächst gewählt werden, ob die Bodendateien nach Auswahl der Bodenformen vom Programm über die Informationen der Bodenkarte erstellt werden sollen (wenn „Soillayers“ und „Soiltypes“ definiert sind), oder ob existierende Bodendateien (*.sol) verwendet werden. Dann können Fruchtfolge und Wetterstationen bestimmt werden, es ergeben sich damit insgesamt $k*m*n$ Varianten. Ferner kann die Auswahl an eine bereits bestehende Auswahl angehängt werden.

Anmerkung: Die Berechnung erfolgt in diesem Fall unabhängig davon, ob Bodenform, Wetterstation und Gemeinde sich räumlich tatsächlich auf denselben Ort beziehen. Die Ergebnisse können auch nicht räumlich dargestellt werden.

Die selektierten Varianten werden in einer Listbox des Feldes „Simulation“ angezeigt. Es sind damit alle notwendigen Informationen für das Erstellen der EPIC-Inputdateien vorhanden.

3.3.3.2.4.2 Schritt 2: Schreiben der EPIC-Inputdateien

Die EPIC-Inputdateien können in weiterer Folge mit dem Button „Write EPIC Input“ geschrieben werden. Vom Programm aus wird für jedes Szenario eine Verzeichnisstruktur angelegt, die sich baumartig je nach Bodenform, Fruchtfolge und Wetterstation verzweigt (Abbildung 15)

Für jede der vorhandenen Wetterstationen wird für den genannten Zeitraum eine Wetterdatei geschrieben. Gleichzeitig werden mit dem Programm „WXParm“ die Monatsmittelwerte für jedes Kalendermonat gebildet und in die Messstellendatei geschrieben.

Mit „EpicFile.dat“ wird eine Liste aller Parameterdateien erstellt, die in dem Feld („Data Files“) gewählt wurden.

Mit den Formeln von BAUMER wird die Bodendatei für jede Bodenform erstellt. Sind bei einer Bodenform mehrere Komponenten vorhanden, wird der Bodenhorizont nach den Schichtgrenzen aller Komponenten aufgeteilt und nach dem Flächenanteil gewichtet gemittelt.

Gegebenenfalls (Checkbox „Irrigation“) werden simulierte Werte der Bewässerung in die entsprechenden Bearbeitungsdateien (*.ops) geschrieben.

3.3.3.2.4.3 Schritt 3: Start des Simulationsprogrammes EPIC

Der Button „Run EPIC“ startet das Simulationsprogramm EPIC. Alle Dateien werden automatisch in den Ordner „RunEpic“ kopiert, die Simulation gerechnet und die Ausgabedaten im Ordner „Output“ in dBASE-Dateien abgelegt.

3.3.4 Darstellung der Ergebnisse

Alle Endergebnisse können mit dem GIS in Form von Karten und Grafiken visualisiert werden. Es werden Jahres-, Monats- und Tageswerte ausgegeben. Das entsprechende Werkzeug für alle Ausgaben stellt der Dialog „Output“ dar, der sämtliche Routinen für die Bearbeitung der Berechnungsergebnisse zur Verfügung stellt (Abbildung 19).

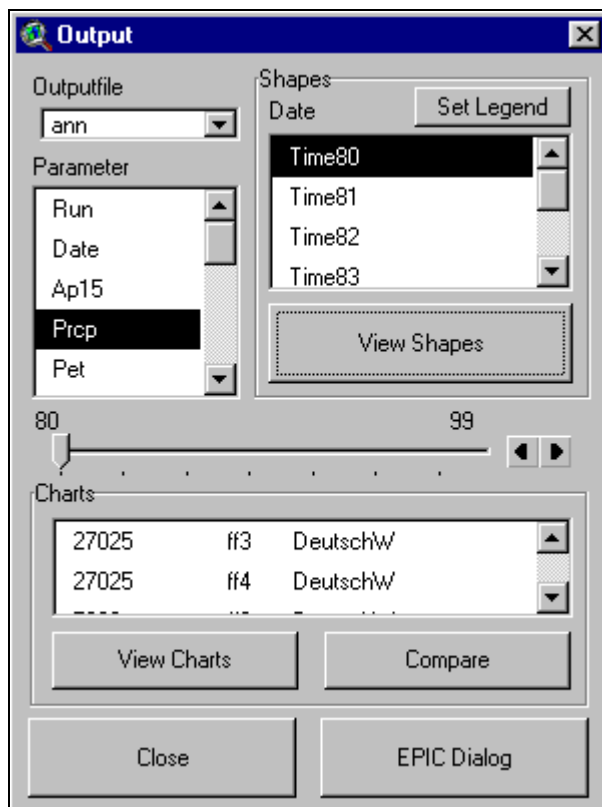


Abbildung 19: Dialog „Output“

Die Combo Box „Outputfile“ enthält die zur Verfügung stehenden Dateien, in denen die Ausgabeparameter als Tages-, Monats-, Jahres- oder Durchschnittsdaten enthalten sind. Die Dateibezeichnung ist direkt an die Ausgabedateien von EPIC angelehnt, welche allerdings als Ascii-Datei vorliegen und daher für die Ausgabe in dBASE-Dateien umgewandelt werden. Die wichtigsten Dateien sind:

- Sum: Parameter wie Niederschlag (prcp), Evapotranspiration (et), Perkolation (prk), Stickstoffaustrag (prkn) oder NO₃-Konzentration im Sickerwasser (conc) liegen als durchschnittliche Jahreswerte über die Simulationszeit vor.
- Ann: Die selben Parameter wie in „Sum“ liegen hier als jährliche Werte vor.
- Dot: Die selben Parameter wie in „Sum“ liegen als Tageswerte vor
- Suy: Diese Datei enthält Pflanzenparameter bezogen auf die Vegetationszeit (z.B. Ertrag (yld1), Wasserstress (Ws), Temperaturstress (TS)). Die Parameter sind als Summenwerte bezogen auf jede Fruchtart angegeben.
- Afs: Die selben Parameter wie Suy, bezogen auf jährliche Werte für jede Fruchtart.

Die Abkürzungen der in jeder Datei verfügbaren Parameter sind in der Listbox „Parameter“ aufgelistet.

Es bestehen nun zwei Möglichkeiten, die gesuchten Parameter grafisch darzustellen: Kartendarstellungen sind über das Feld „Shapes“ möglich, Diagramme und Tabellen können über das Feld „Charts“ dargestellt werden.

3.3.4.1 Feld „Shapes“

Nach Auswahl des gewünschten Parameters und anschließendem Bestätigen einer Fruchtfolge in einem Dialogfenster wird der Parameter für jede der selektierten Bodenformen angezeigt (Abbildung

20). Besteht die Datei aus jährlichen oder Tageswerten, werden im Feld „Date“ alle verfügbaren Zeitschritte angegeben. Durch Wahl eines anderen Zeitabschnittes wird die Karte neu gezeichnet.

Für bestimmte Parameter („prk“, „prkn“, „conc“) wurden eigens Legenden erstellt, welche eine Einteilung in Klassen ermöglichen. Mit dem Button „Set Legend“ kann eine direkte Zuordnung einer Legende zum aktiven Thema in der View erfolgen.

Anmerkung: Werden Parameter als Karte ausgegeben, so wird diese nur temporär im Ordner „Temp“ gespeichert. Das Wählen eines anderen Zeitabschnittes für denselben Parameter überschreibt bereits eine ältere Datei. Diese sollte daher bei weiterer Verwendung extra gespeichert werden (Menü des View-Dokuments: „Theme \ Convert to Shapefile“).

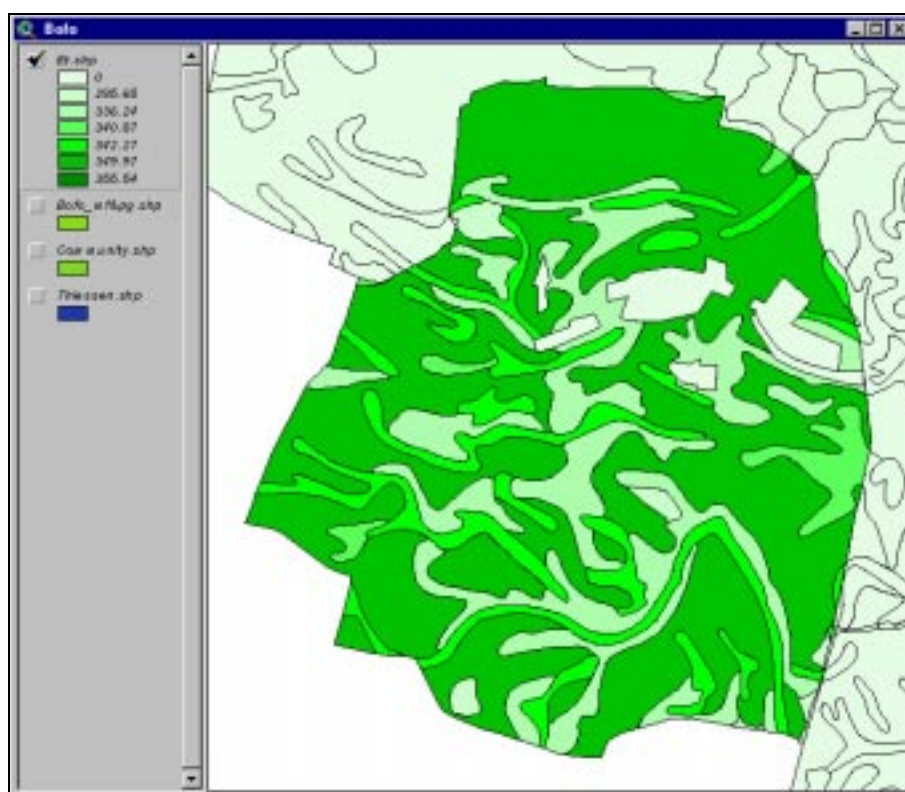


Abbildung 20: Jahreswerte der Evapotranspiration für den gewählten Bereich

3.3.4.2 Feld „Charts“

Mit dem Button „View Charts“ können alle Ergebnisse auch als Grafik dargestellt werden (Abbildung 21).

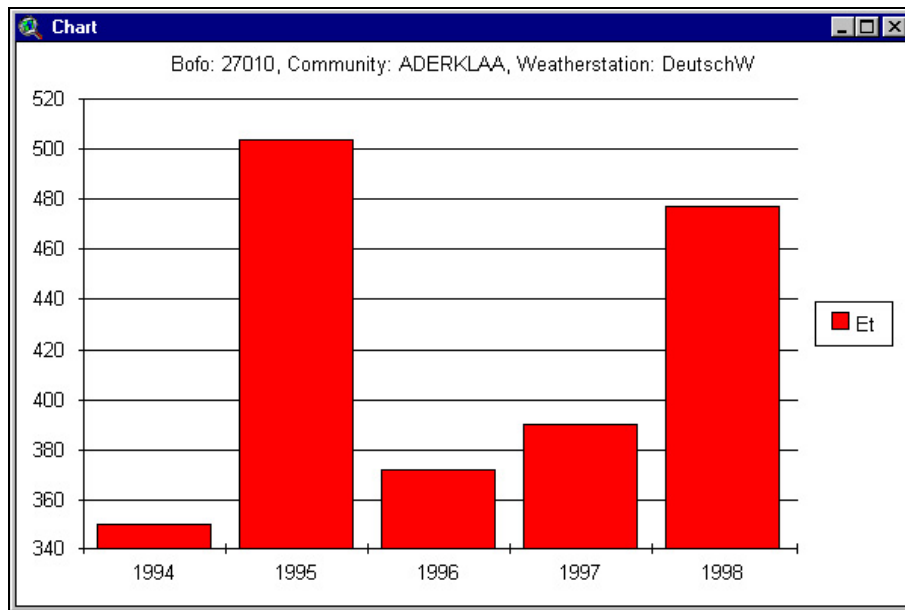


Abbildung 21: Diagramm mit jährlichen Werten der Evapotranspiration

Weiters kann mit dem Button „Compare“ ein Vergleich der verschiedenen Parameter bezogen auf unterschiedliche Eingangsgrößen erfolgen. Der Vergleich kann sich dabei auf die Bodenformen, Fruchtfolgen oder Wetterstationen beziehen.

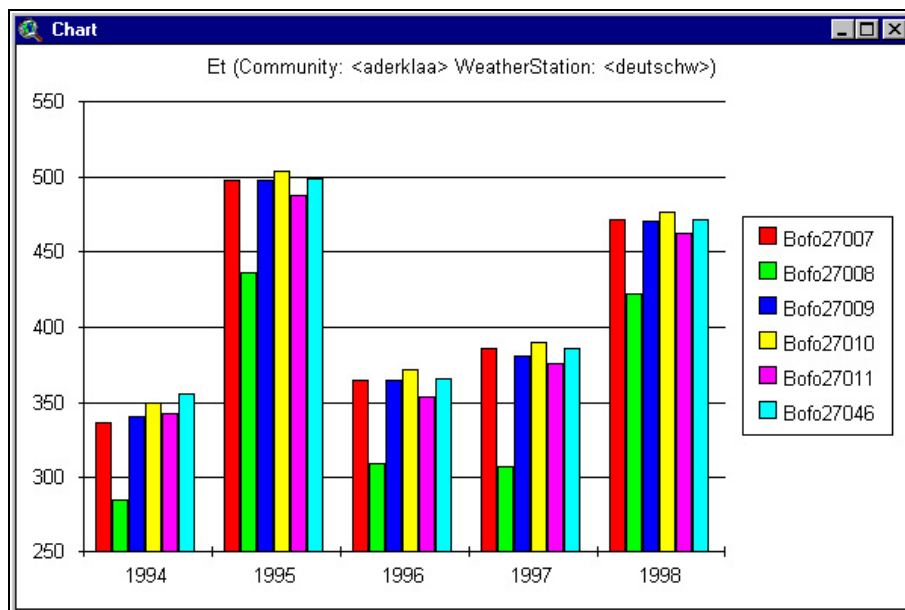


Abbildung 22: Vergleich der Evapotranspiration bezüglich verschiedener Bodenformen

Alle Ausgabeparameter werden von EPIC im ASCII-Format ausgegeben und vom Programm „EpicInt“ in dBASE-Tabellen geschrieben. Damit sind die Daten zugänglich und einfach abfragbar und können für weitere Untersuchungen und Vergleiche herangezogen werden.

3.4 Darstellung der Ist-Situation

Im Folgenden werden errechnete Werte von Perkolation, Nitrataustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser für die einzelnen Anbauregionen dargestellt. Durchschnittswerte zu diesen Werten sowie Werte für die Bewässerung werden angegeben.

3.4.1 Anbauregion 1

In der Anbauregion 1 kommen die Fruchtfolgen FF1 (zu 60%) und FF2 (zu 40%) zur Anwendung. Die Gesamtfläche beträgt 20.817ha, davon werden 17.641ha landwirtschaftlich genutzt. Die durchschnittliche Sickerwassermenge beträgt 72mm, der durchschnittliche Stickstoffaustrag 6,4kg/ha, die durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser 39mg/l. Im Schnitt wird pro Jahr mit 55mm bewässert.

3.4.1.1 Perkolationswassermengen

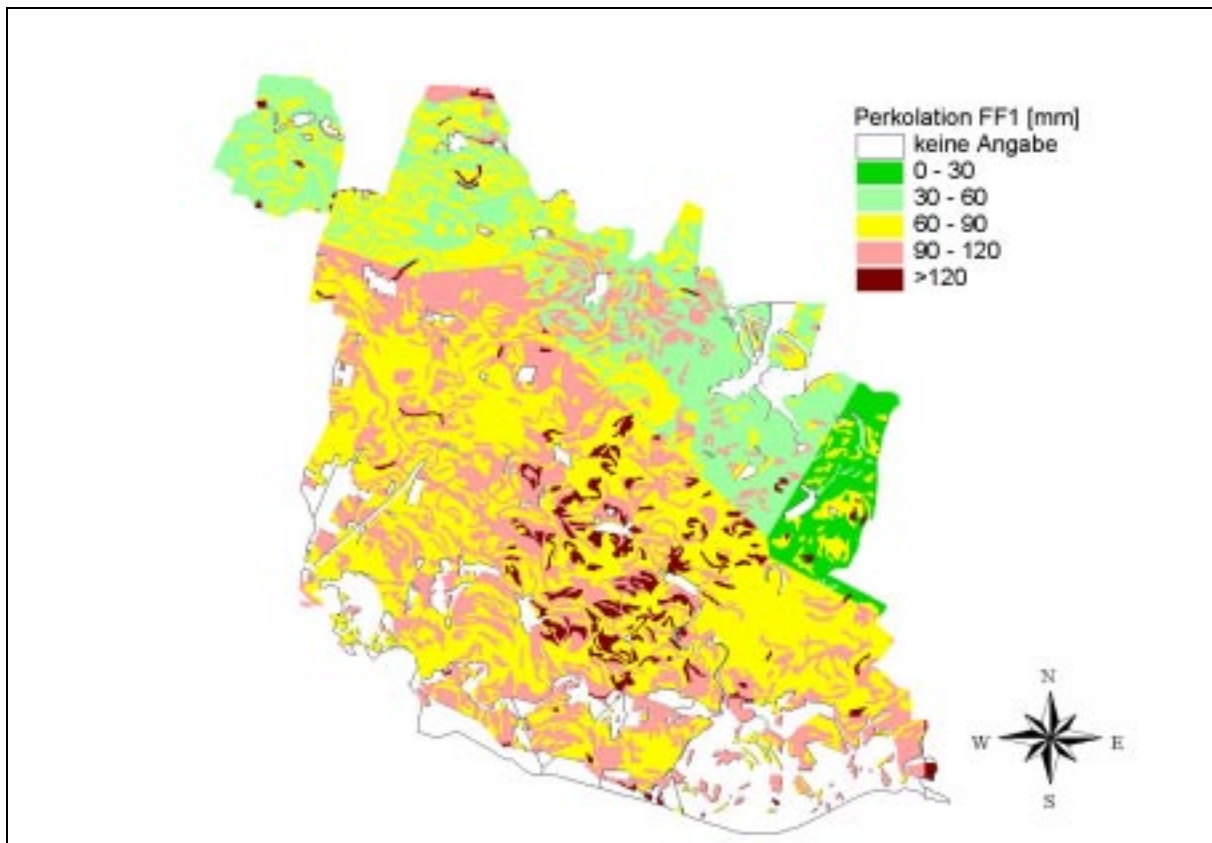


Abbildung 23: Perkolation im Anbauggebiet1, FF1

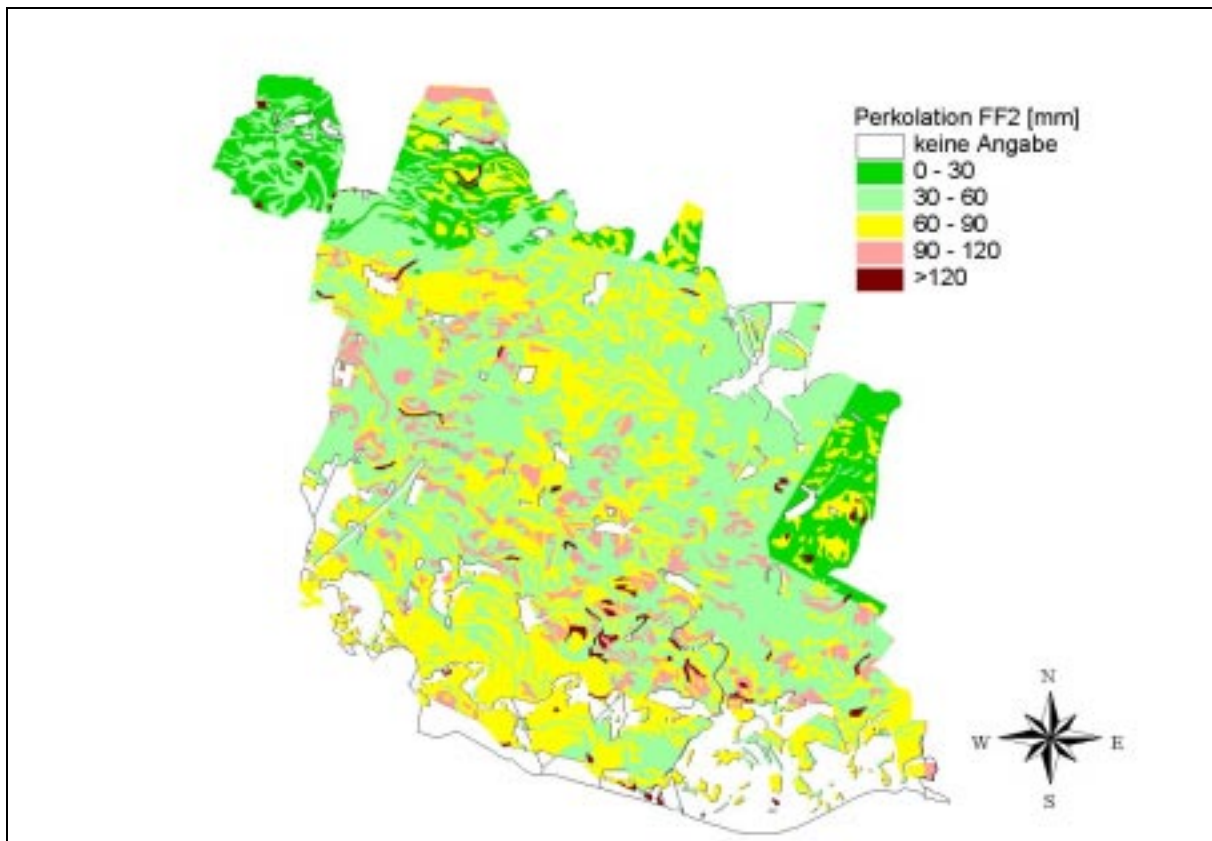


Abbildung 24: Perkolation im Anbauggebiet 1, FF2

3.4.1.2 Stickstoffaustrag

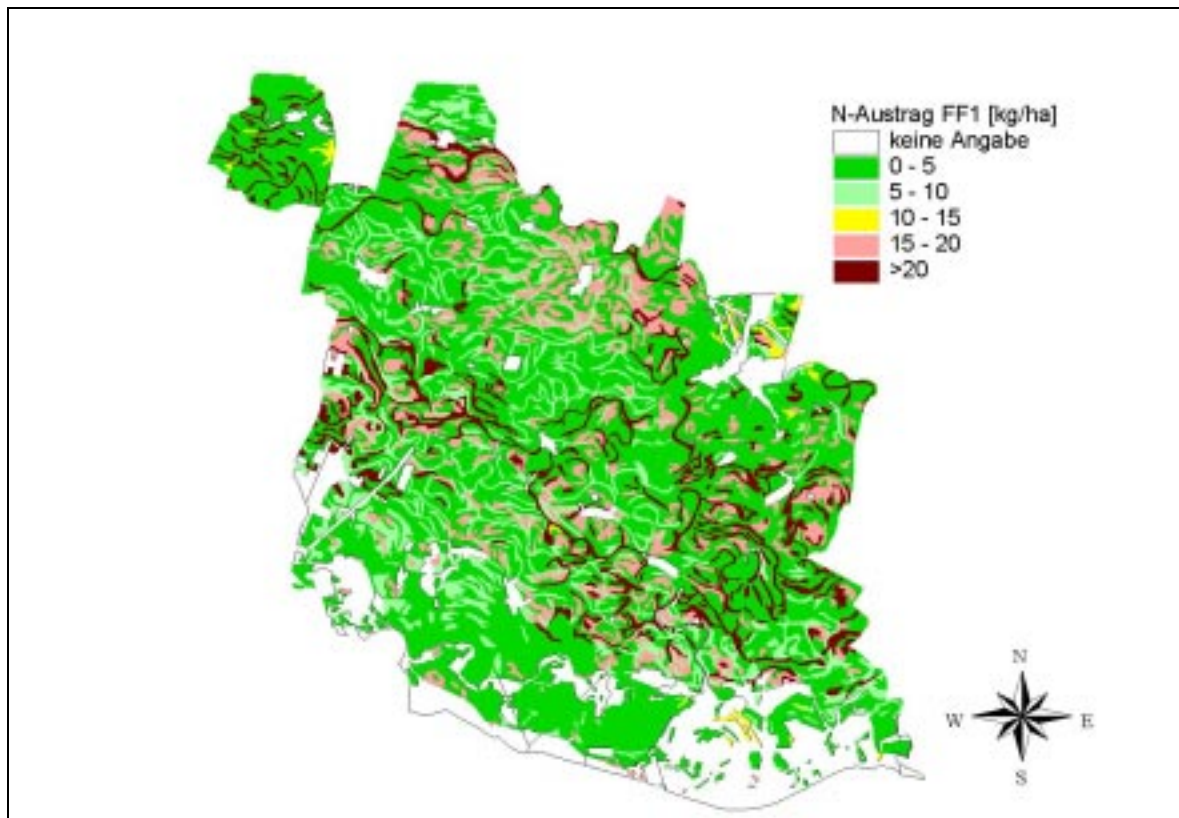


Abbildung 25: Stickstoffaustrag im Anbaugesbiet 1, FF1

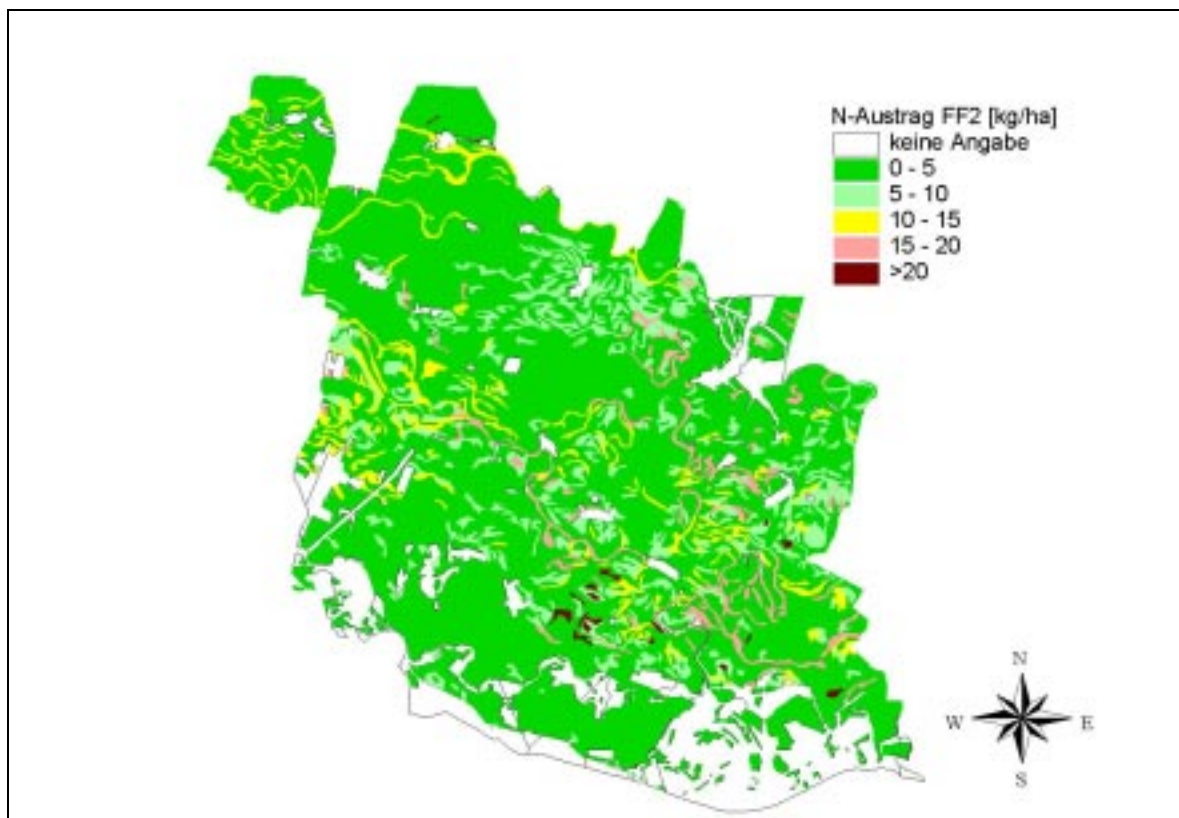


Abbildung 26: Stickstoffaustrag im Anbaugesbiet 1, FF2

3.4.1.3 Nitratkonzentration im Perkolationswasser

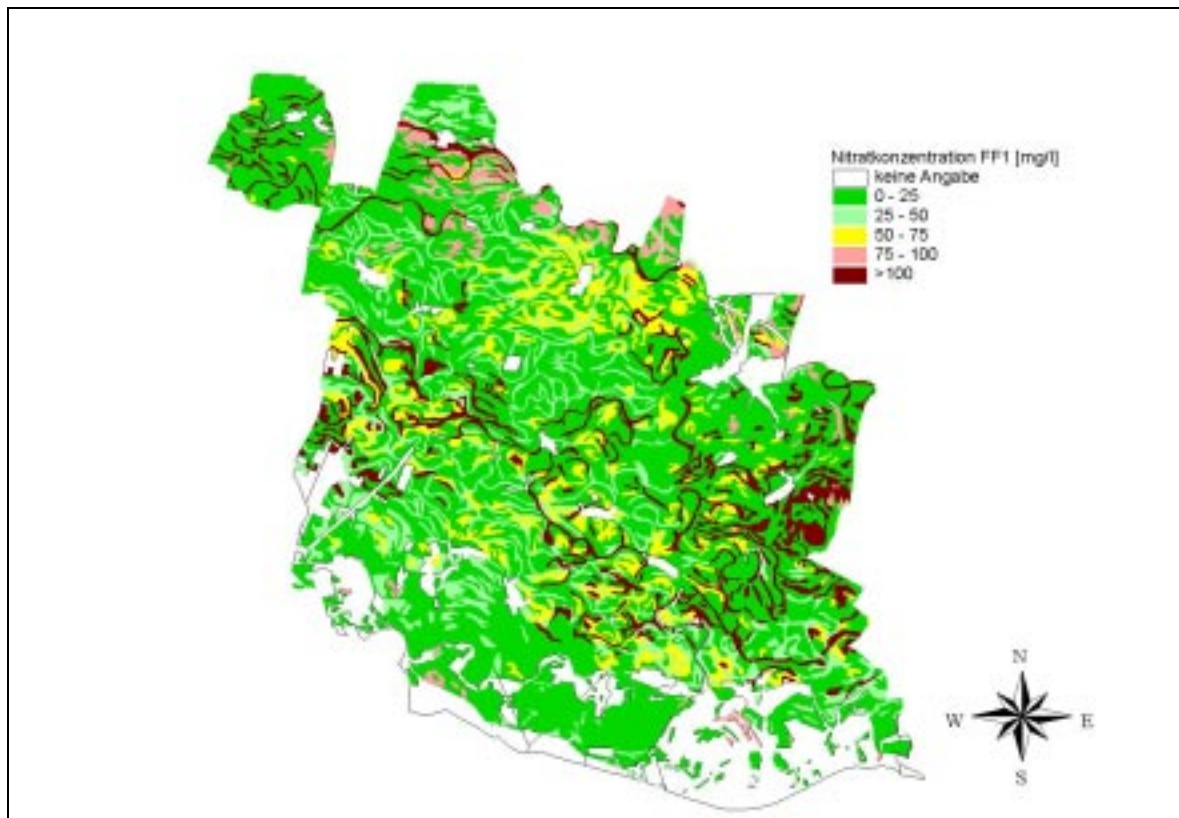


Abbildung 27: Nitratkonzentration im Perkolationswasser im Anbaugebiet 1, FF1

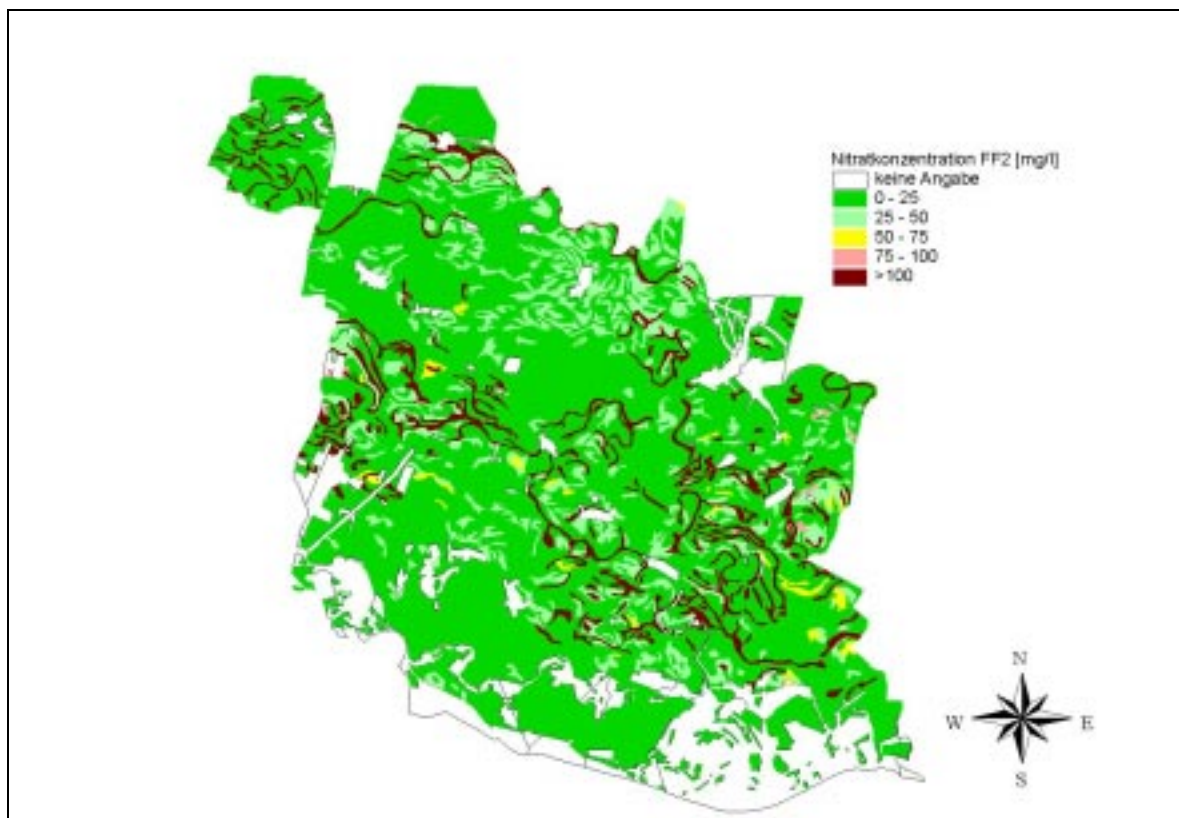


Abbildung 28: Nitratkonzentration im Perkolationswasser im Anbaugebiet 1, FF2

3.4.2 Anbauregion 2

In der Anbauregion 2 kommt die Fruchtfolge FF2 zur Anwendung. Die Gesamtfläche beträgt 43.665ha, davon werden 35.506ha landwirtschaftlich genutzt. Die durchschnittliche Sickerwassermenge beträgt 74mm, der durchschnittliche Stickstoffaustrag 6,0kg/ha, die durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser 36mg/l. Im Schnitt wird pro Jahr mit 41mm bewässert.

3.4.2.1 Perkulationswassermengen

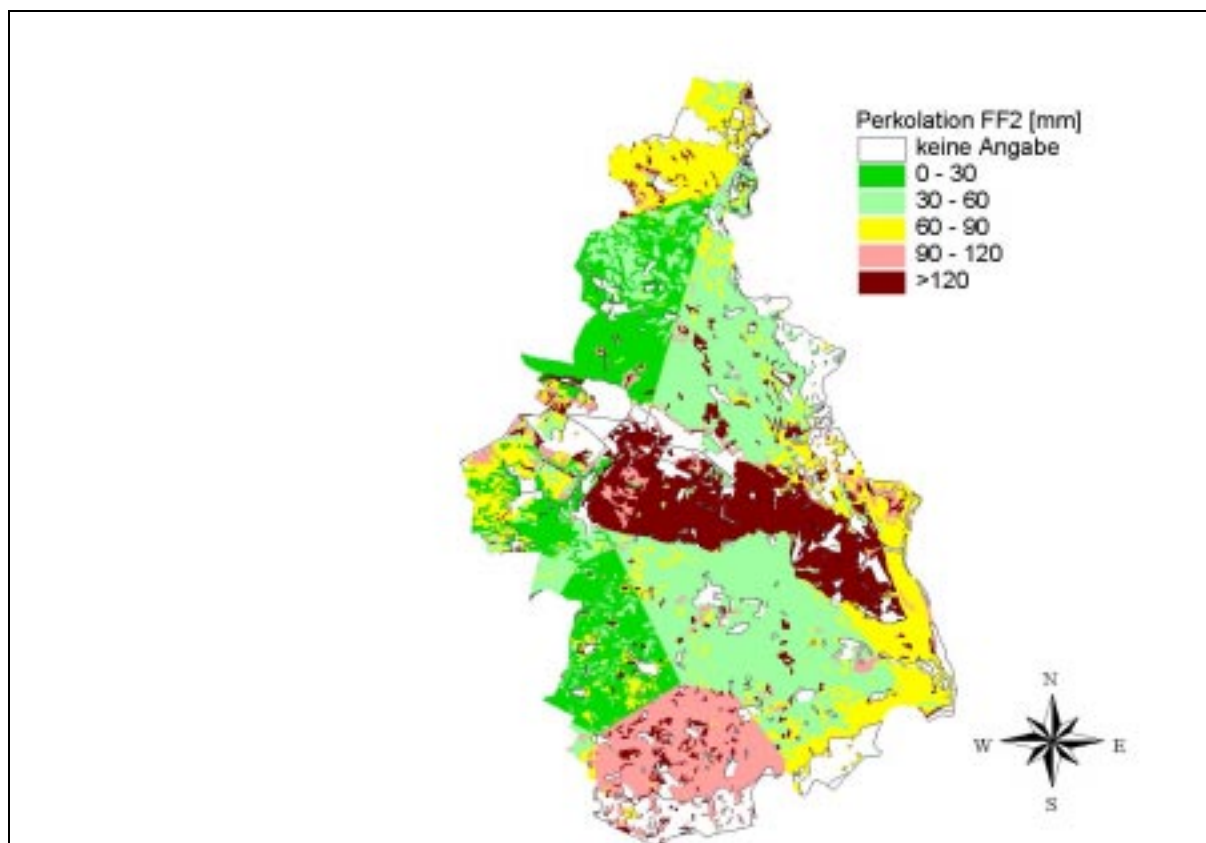


Abbildung 29: Perkolation im Anbaubereich 2, FF2

3.4.2.2 Stickstoffaustrag

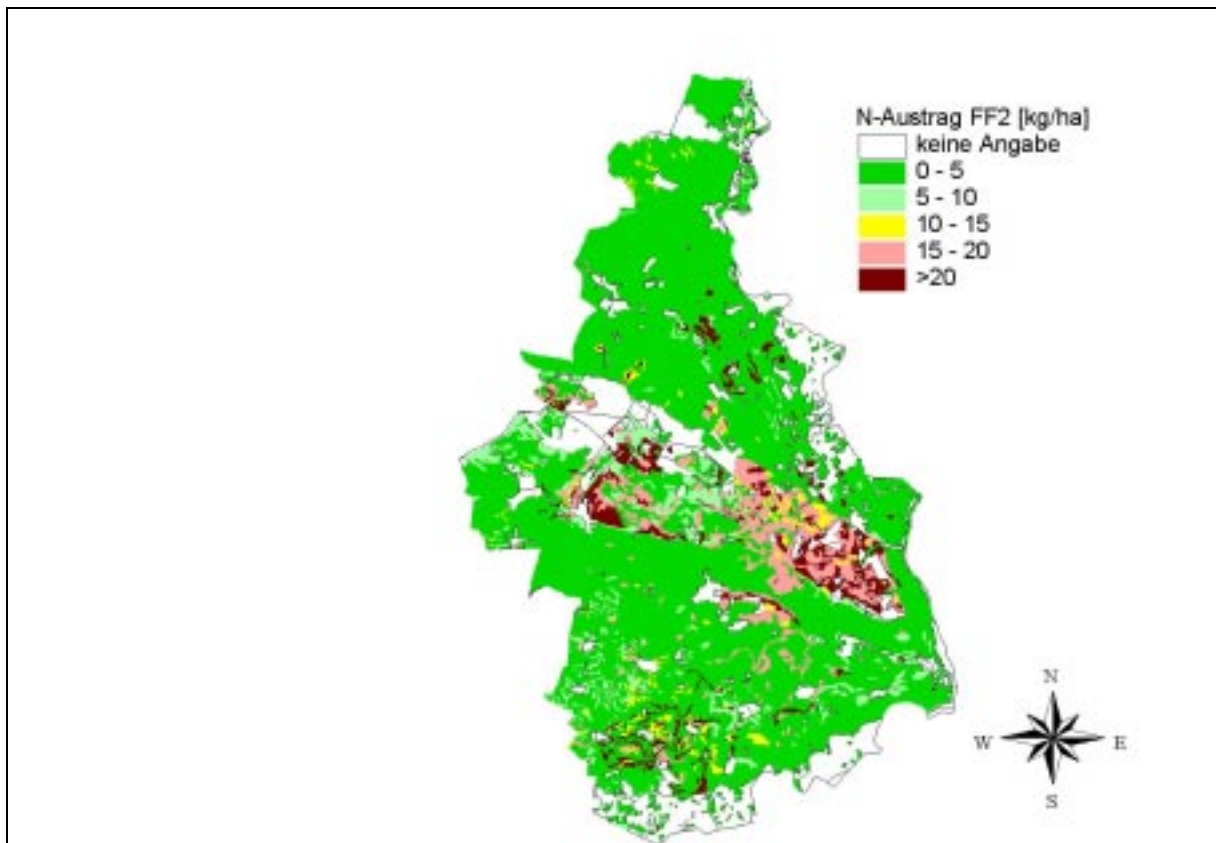


Abbildung 30: Stickstoffaustrag im Anbauggebiet 2, FF2

3.4.2.3 Nitratkonzentration im Perkolationswasser

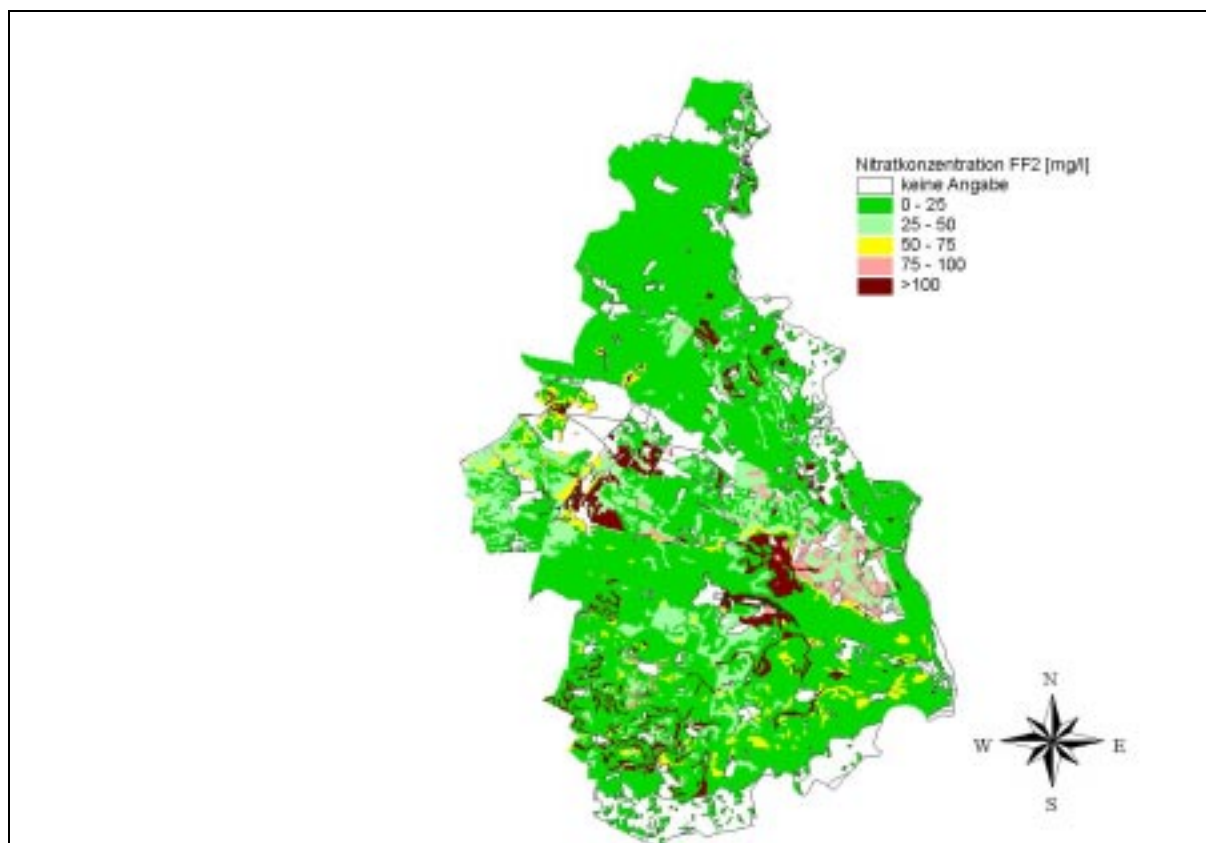


Abbildung 31: Nitratkonzentration im Perkolationswasser, Anbaubereich 2, FF2

3.4.3 Anbauregion 3

In der Anbauregion 3 kommen die Fruchtfolgen FF3 und FF4 (zu je 50%) zur Anwendung. Die Gesamtfläche beträgt 31.617ha, davon werden 23.124ha landwirtschaftlich genutzt. Die durchschnittliche Sickerwassermenge beträgt 58mm, der durchschnittliche Stickstoffaustrag 5,9kg/ha, die durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser 45mg/l. Im Schnitt wird pro Jahr mit 12mm bewässert.

3.4.3.1 Perkolationswassermengen

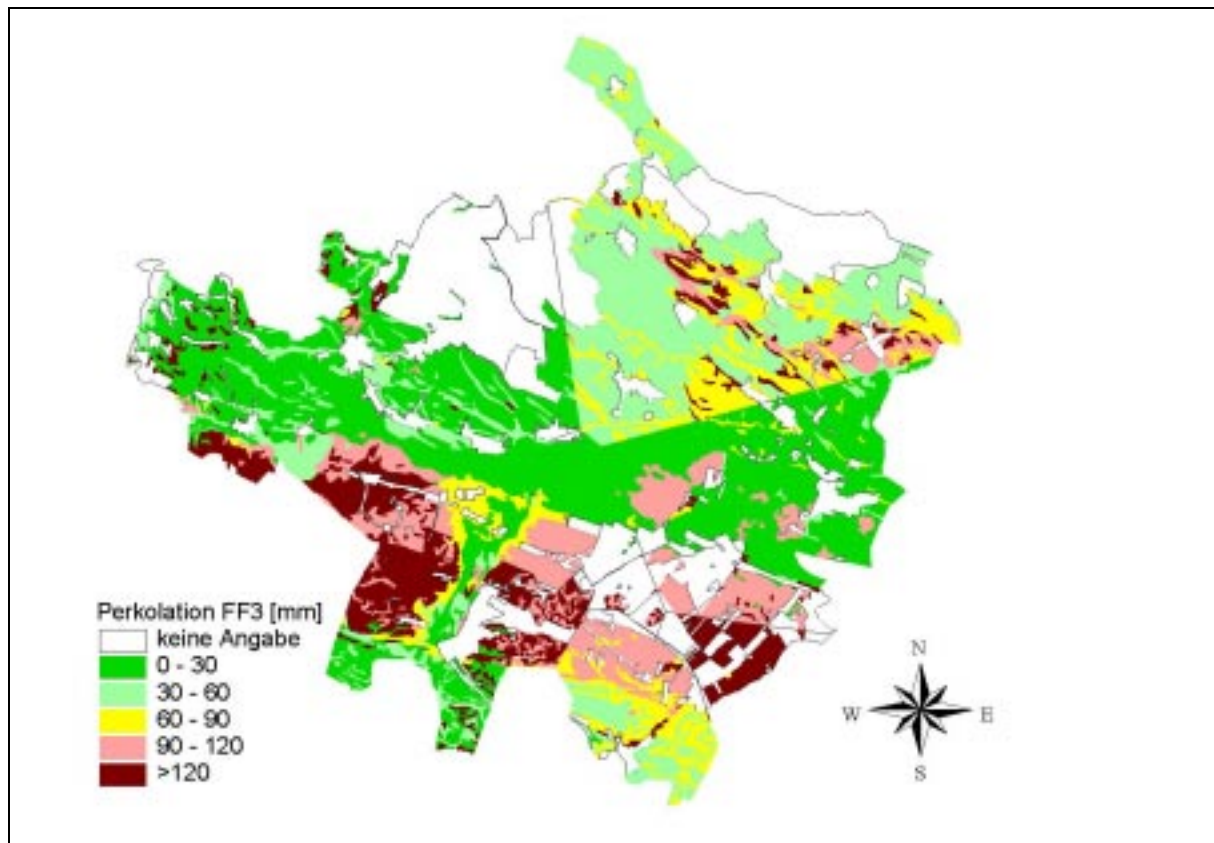


Abbildung 32: Perkolation im Anbaugbiet 3, FF3

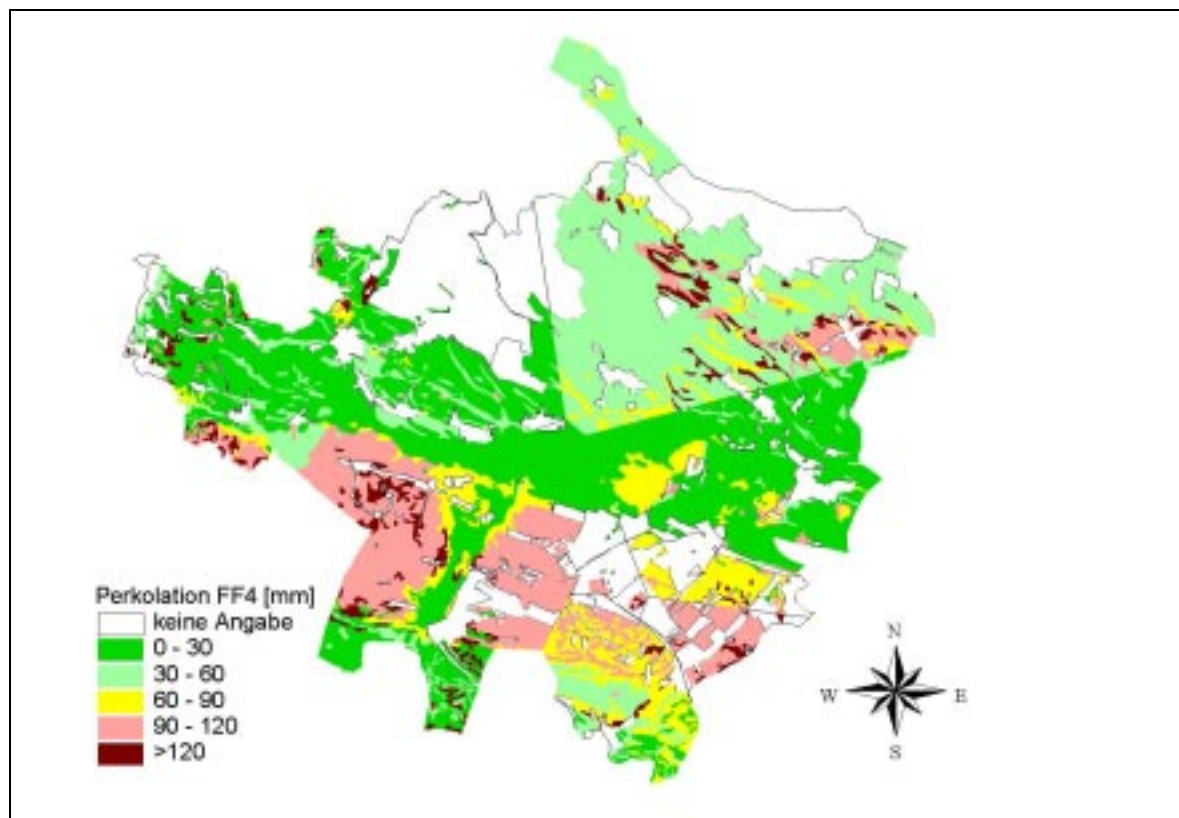


Abbildung 33: Perkolation im Anbaugbiet 3, FF4

3.4.3.2 Stickstoffaustrag

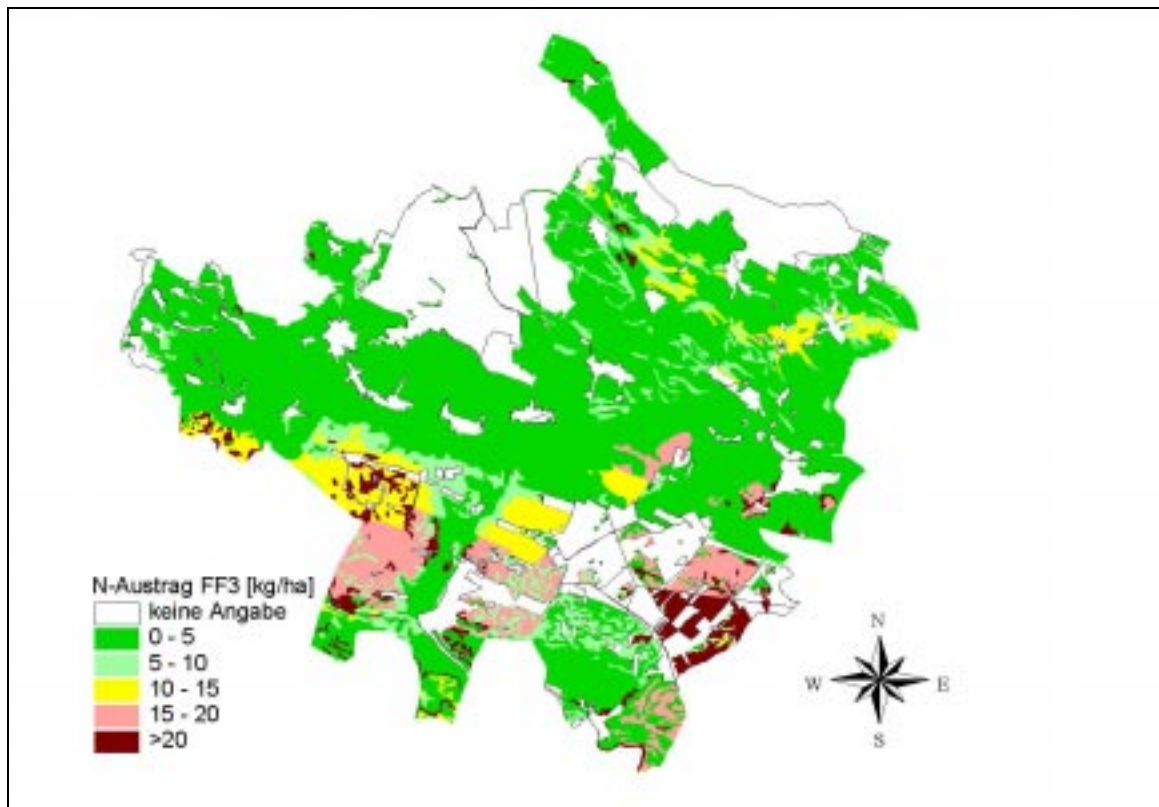


Abbildung 34: Stickstoffaustrag im Anbaubereich 3, FF3

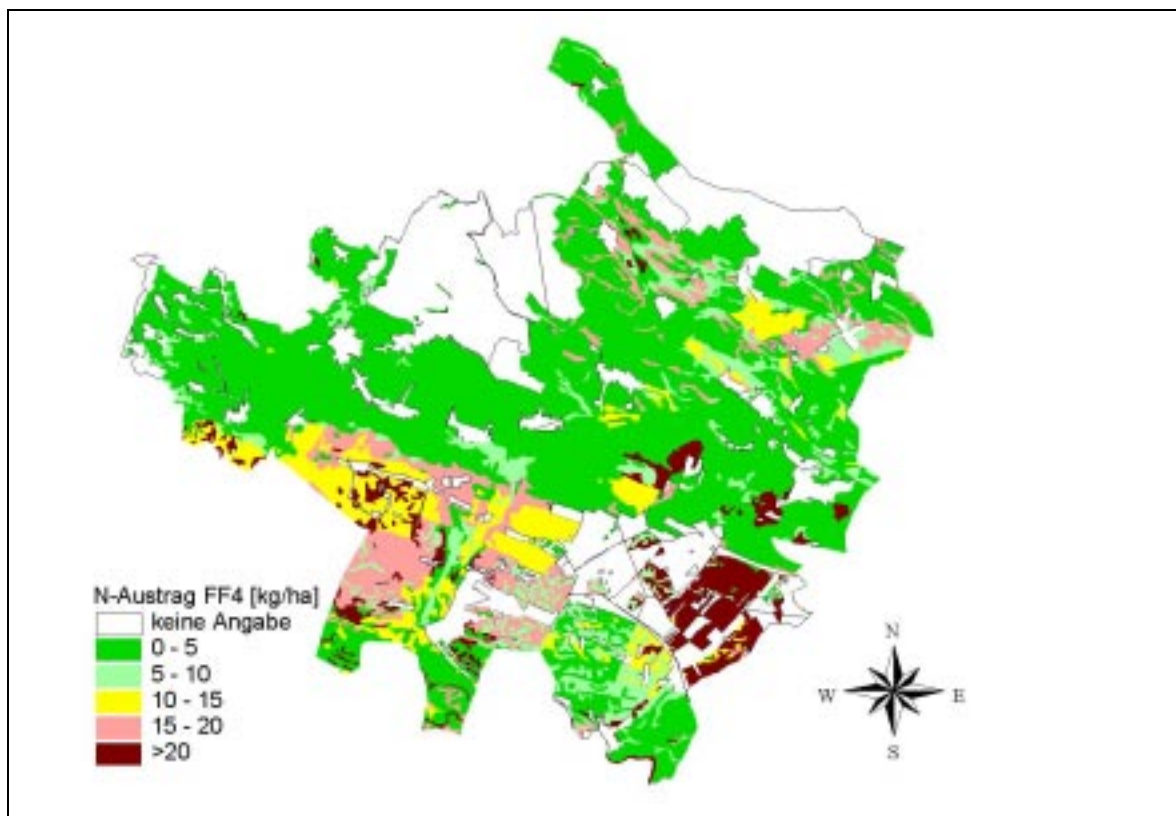


Abbildung 35: Stickstoffaustrag im Anbaubereich 3, FF4

3.4.3.3 Nitratkonzentration im Perkolationswasser

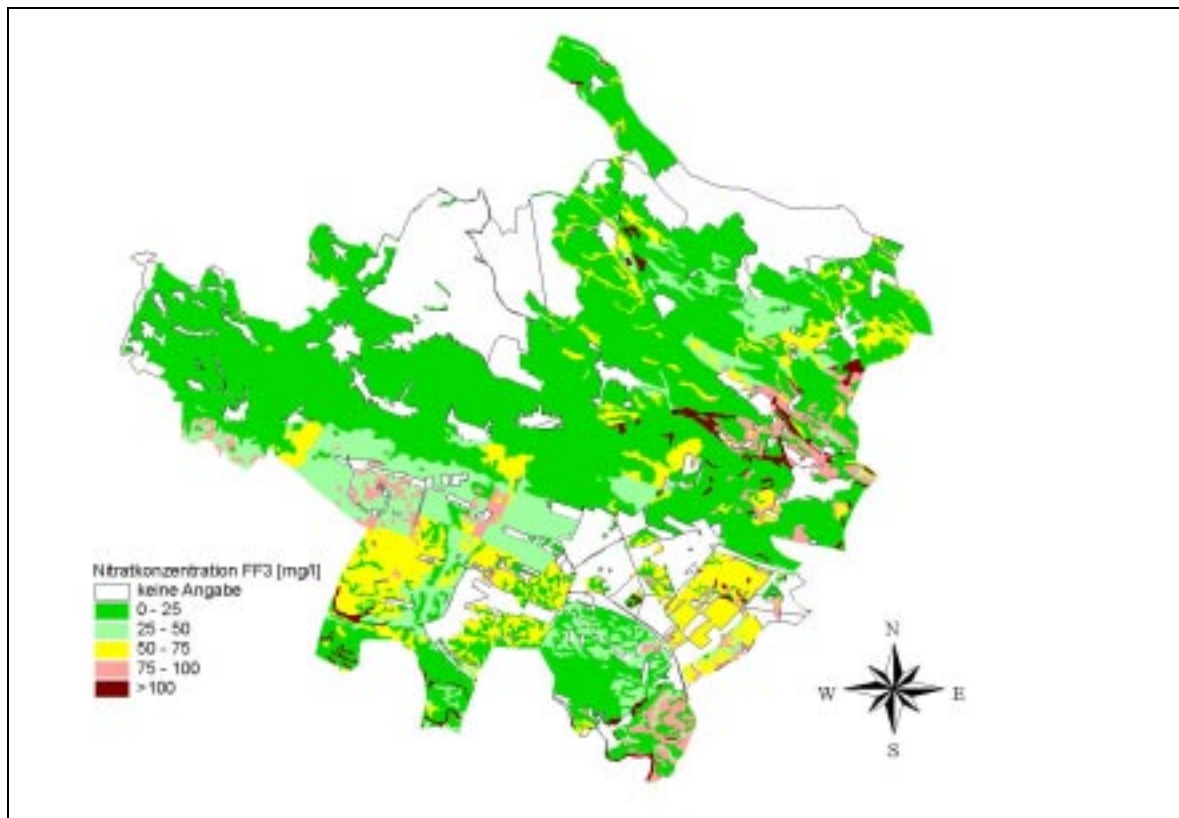


Abbildung 36: Nitratkonzentration im Perkolationswasser, Anbauggebiet 3, FF3

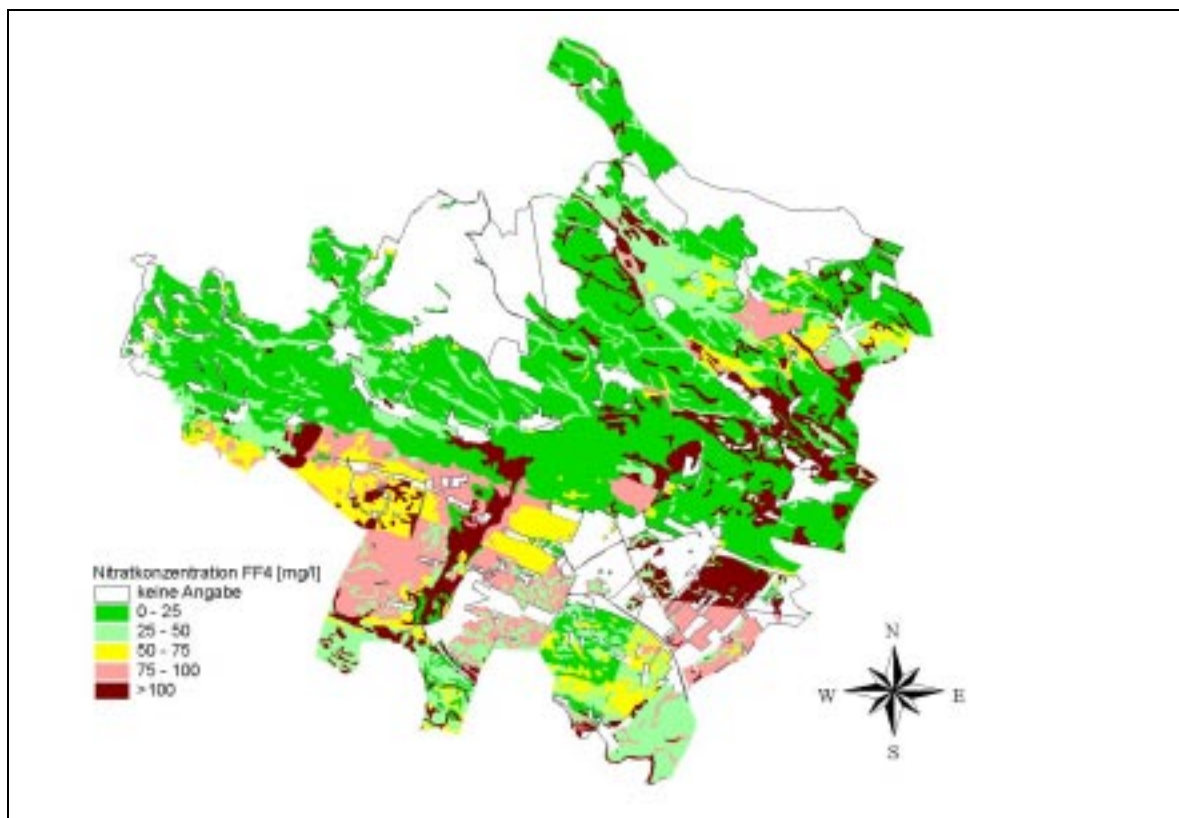


Abbildung 37: Nitratkonzentration im Perkolationswasser, Anbauggebiet 3, FF4

3.4.4 Situation im Gesamtgebiet

Im gesamten Gebiet ergeben sich gewichtete Durchschnittswerte von Perkolation, Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser. Diese Werte beziehen sich auf eine Simulationsdauer von 20 Jahren:

Durchschnittswert der Perkolation: 69 mm/a. Die Flächenanteile bezogen auf die einzelnen Klassen ergeben sich nach Tabelle 29:

Tabelle 29: Flächenanteile der Perkolation auf 6 Klassen bezogen

Perkolation [mm]	Flächenanteil
no data	20,6%
0-30	16,2%
30-60	23,4%
60-90	19,4%
90-120	12,5%
>120	7,8%

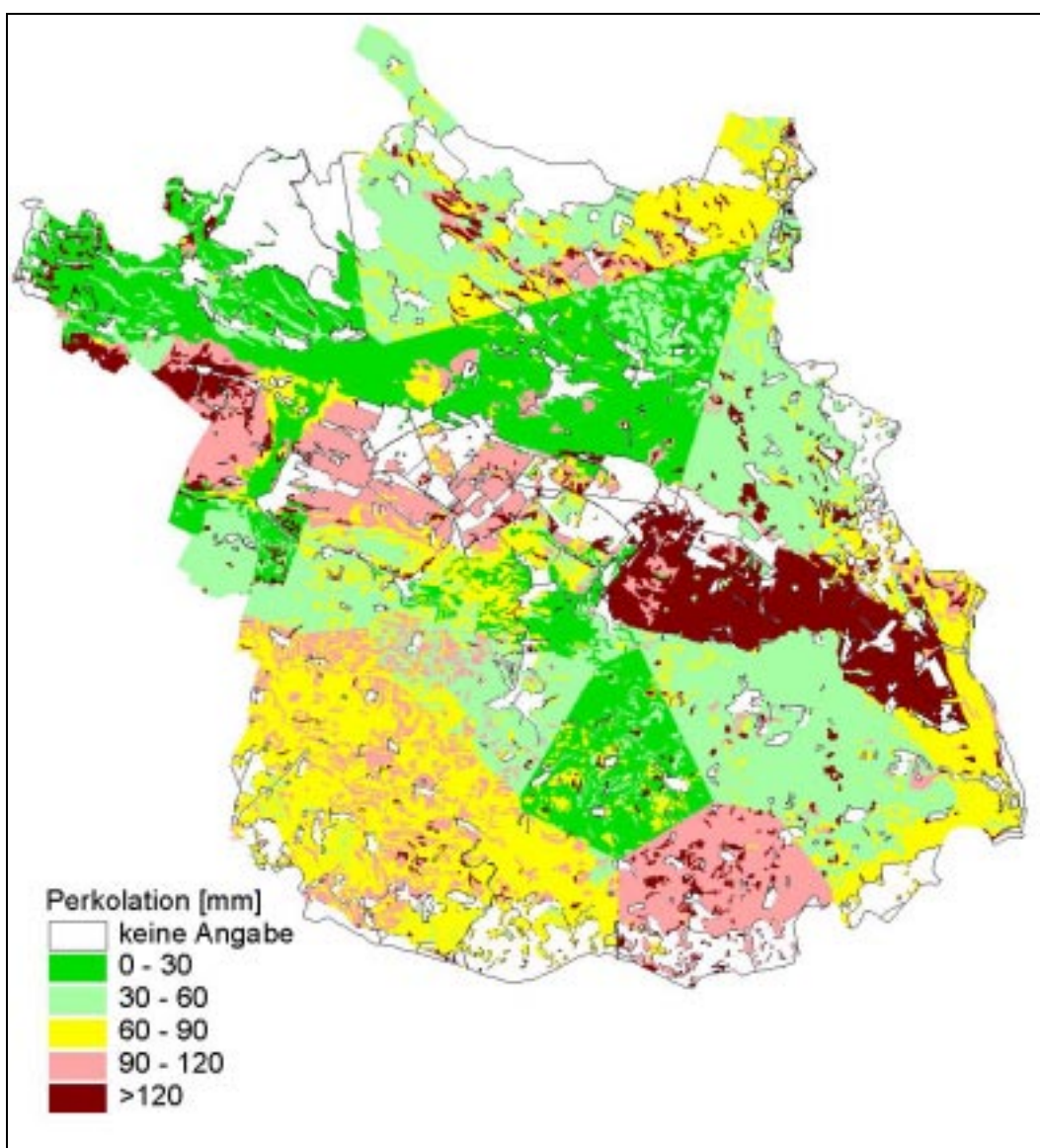


Abbildung 38: Perkolation [mm/a], 6 Klassen, Marchfeld

Durchschnittswert des Stickstoffaustrages: 6,0 kg/ha,a. Die Flächenanteile bezogen auf die einzelnen Klassen ergeben sich nach Tabelle 30:

Tabelle 30: Flächenanteile des Stickstoffaustrages auf 6 Klassen bezogen

Stickstoffaustrag [kg/ha,a]	Flächenanteil
no data	20,6%
0-5	56,3%
5-10	7,2%
10-15	6,1%
15-20	4,9%
>20	4,7%

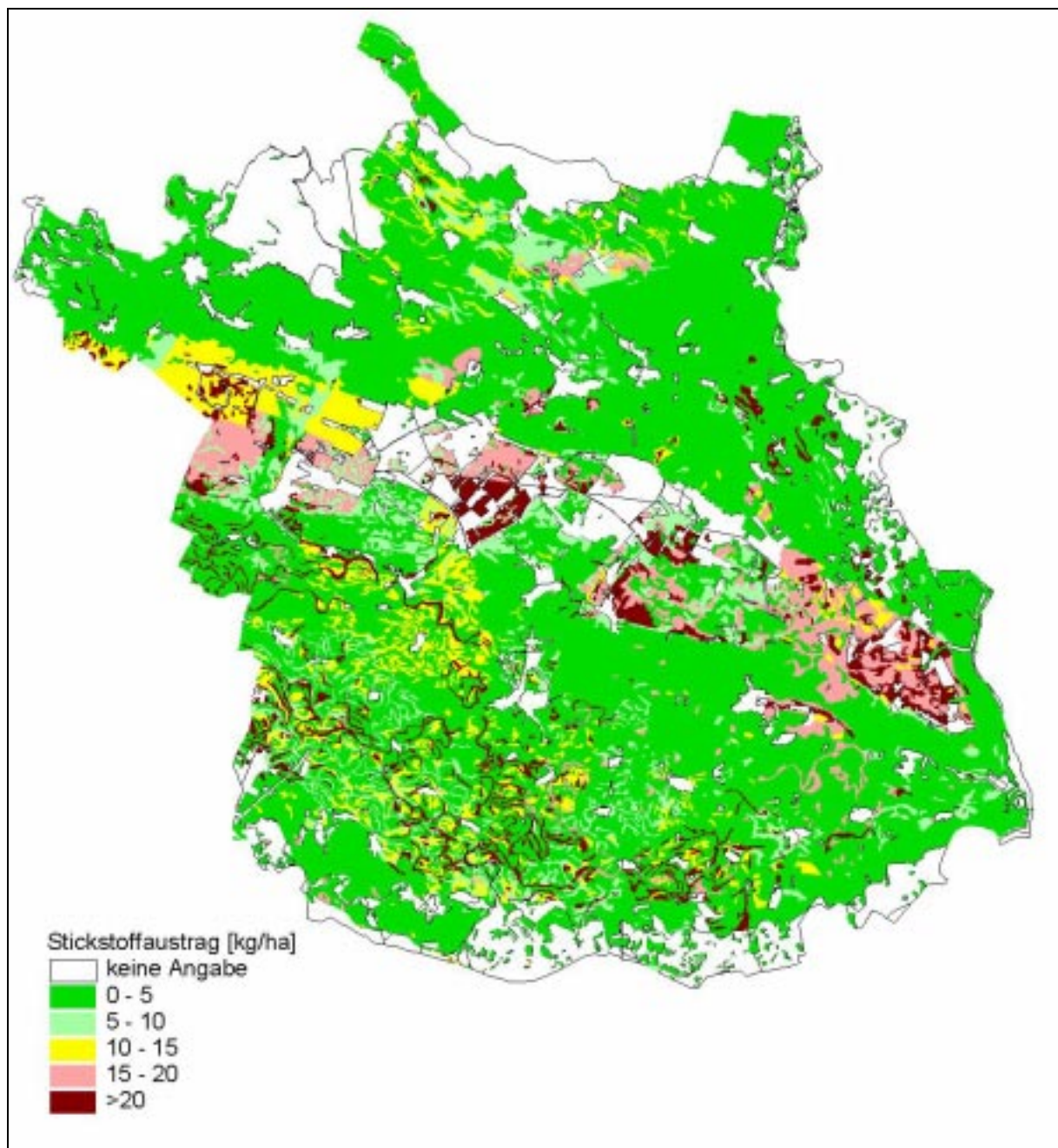


Abbildung 39: Stickstoffaustrag [kg/ha,a], 6 Klassen, Marchfeld

Durchschnittswert der Nitratkonzentration im Sickerwasser: 39 mg/l. Die Flächenanteile bezogen auf die einzelnen Klassen ergeben sich nach Tabelle 31:

Tabelle 31: Flächenanteile der Nitratkonzentration im Sickerwasser auf 6 Klassen bezogen

Nitratkonzentration [mg/l]	Flächenanteil
no data	20,6%
0-25	53,0%
25-50	11,1%
50-75	6,3%
75-100	3,4%
>100	5,2%

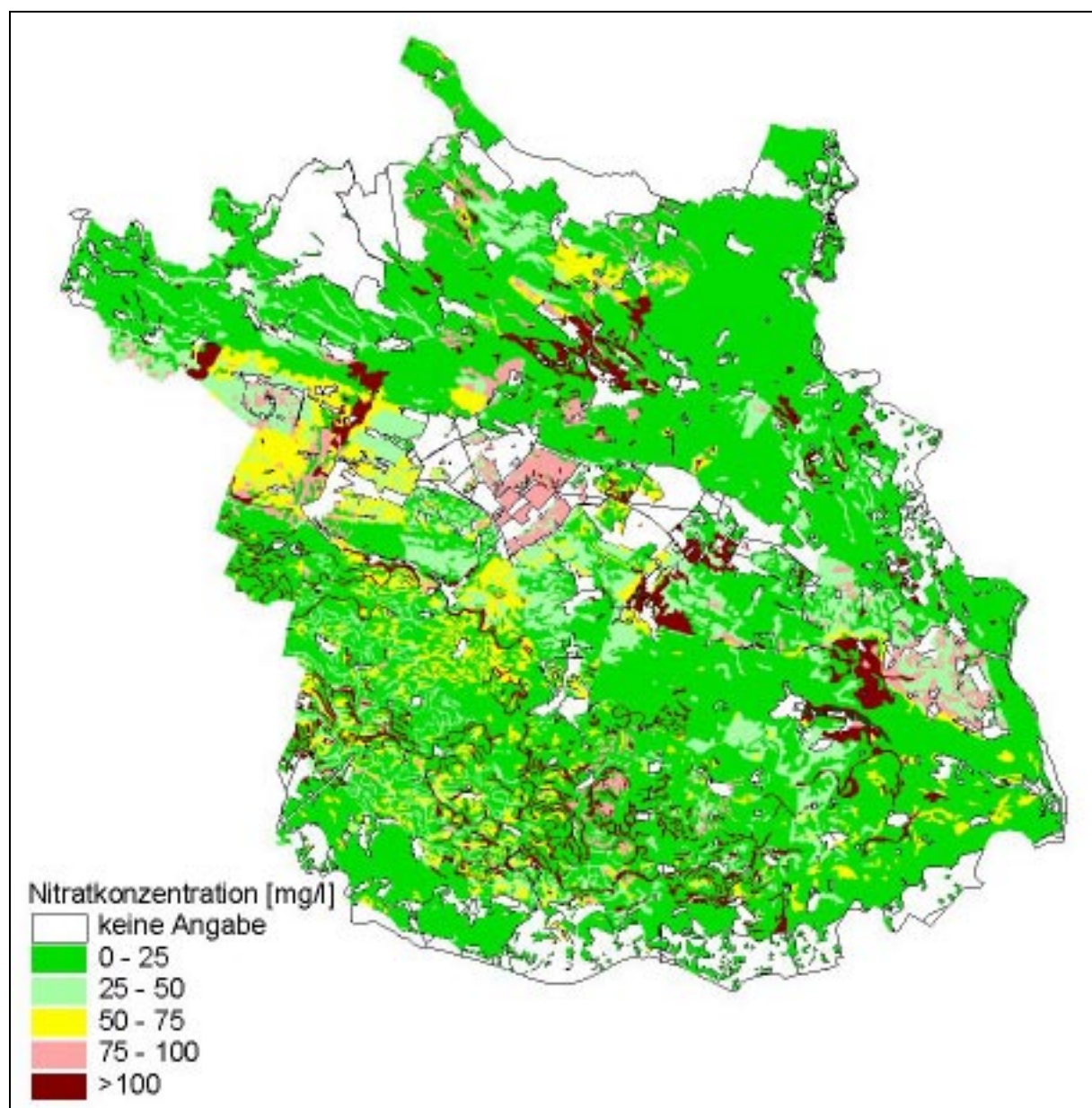


Abbildung 40: durchschnittliche Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l], 6 Klassen, Marchfeld

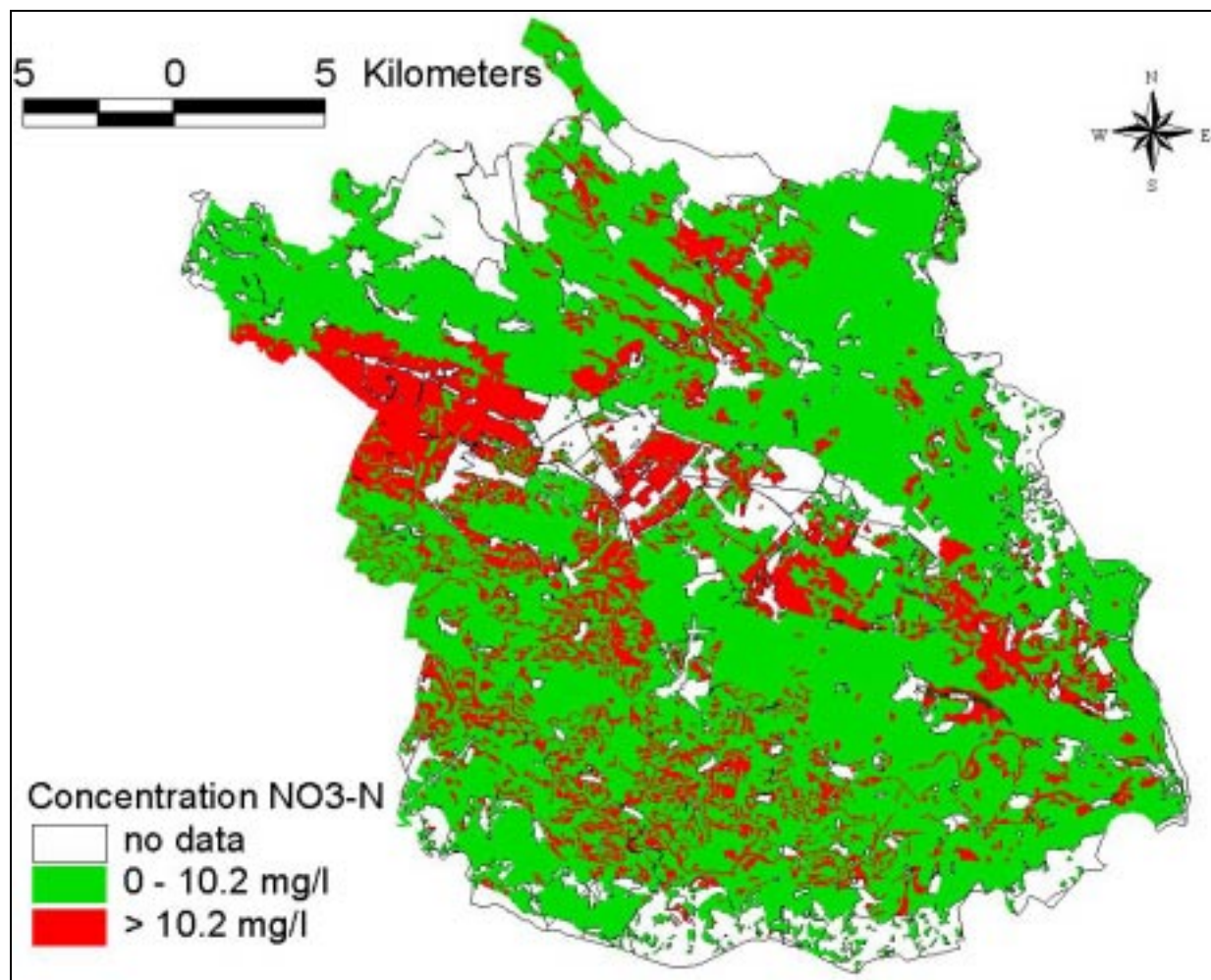


Abbildung 41: NO₃-N Konzentration im Perkulationswasser bezogen auf den Grundwasserswellenwert, Marchfeld

Abbildung 41 zeigt Flächen unterschiedlicher NO₃-N Konzentration im Perkulationswasser. Rote Flächen (18% der Gesamtfläche) überschreiten den Grundwasserswellenwert von 10.2 mg/l NO₃-N (entspricht 45mg/l NO₃), grüne Flächen (62% der Gesamtfläche) unterschreiten diesen Wert. Die Karte ermöglicht eine klare Ausweisung von Problemzonen, wo Maßnahmen prioritär gesetzt werden sollten.

3.5 Gegenüberstellung von Belastungsgrößen

Im Folgenden soll versucht werden, einen Zusammenhang zwischen Belastungsgrößen aus Landwirtschaft und Siedlungsgebieten und der Nitratkonzentration im Grundwasser herzustellen.

Abbildung 42 zeigt die Abwasserentsorgungssituation in den verschiedenen Gemeinden auf einer Stufenskala von 1 – 10. 10 bedeutet höchste Priorität in der Abwasserentsorgung.

Die Einträge aus landwirtschaftlichen Gebieten sind Abbildung 41 zu entnehmen

Ein Vergleich zeigt, dass speziell im nordwestlichen und zentralöstlichen Projektgebiet sowohl hohe Einträge aus der Landwirtschaft, als auch schlechte Abwasserentsorgung vorzufinden ist. Diese Situation korreliert in etwa mit den gemessenen Nitratkonzentrationen im Grundwasser, es besteht ein Zusammenhang zwischen Grundwasserverschmutzung und den gezeigten Einträgen.

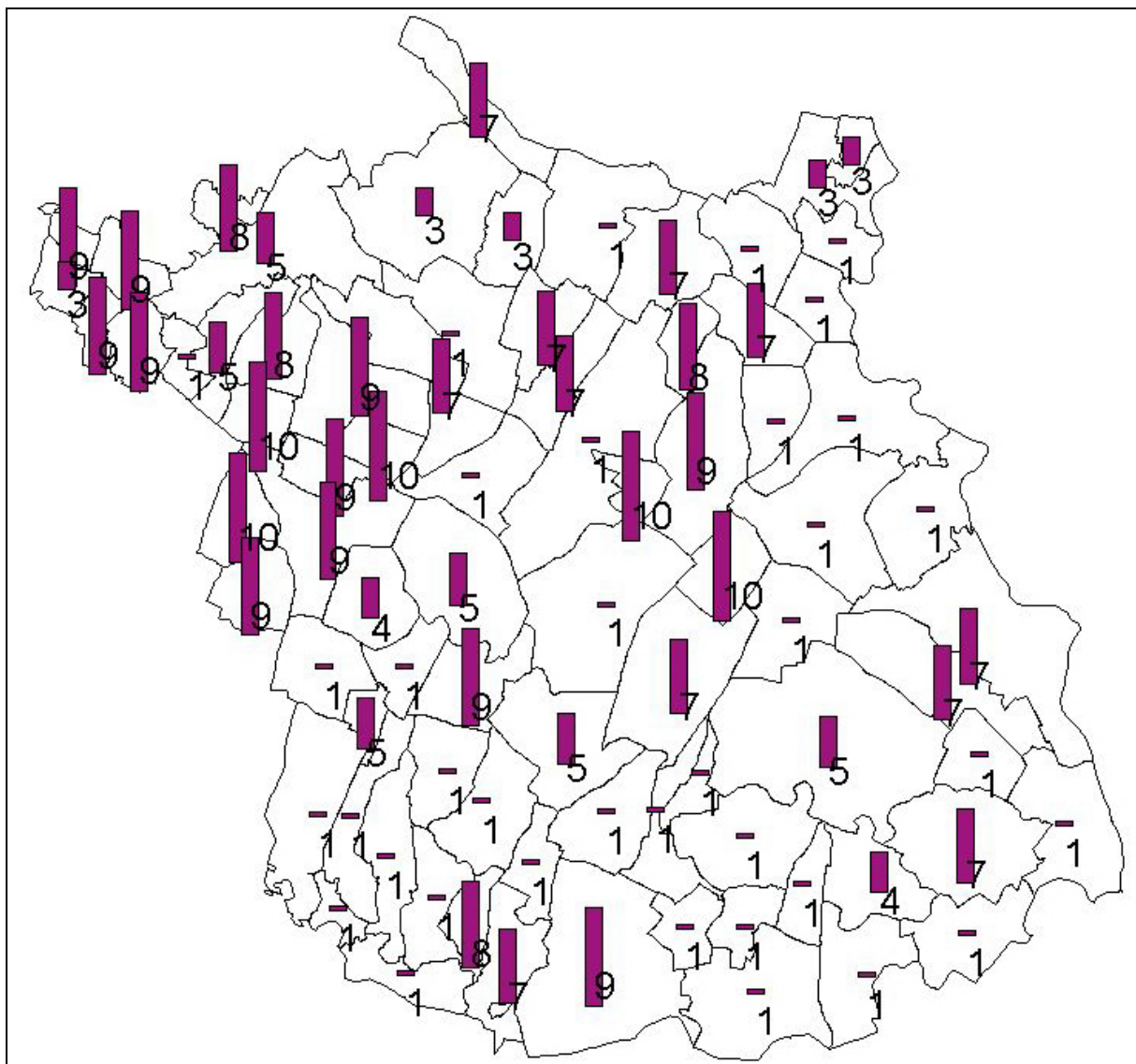


Abbildung 42: Prioritäten in der Abwasserentsorgung auf Gemeindeebene (Skala von 1 – 10, 1: geringste Priorität, 10: höchste Priorität)

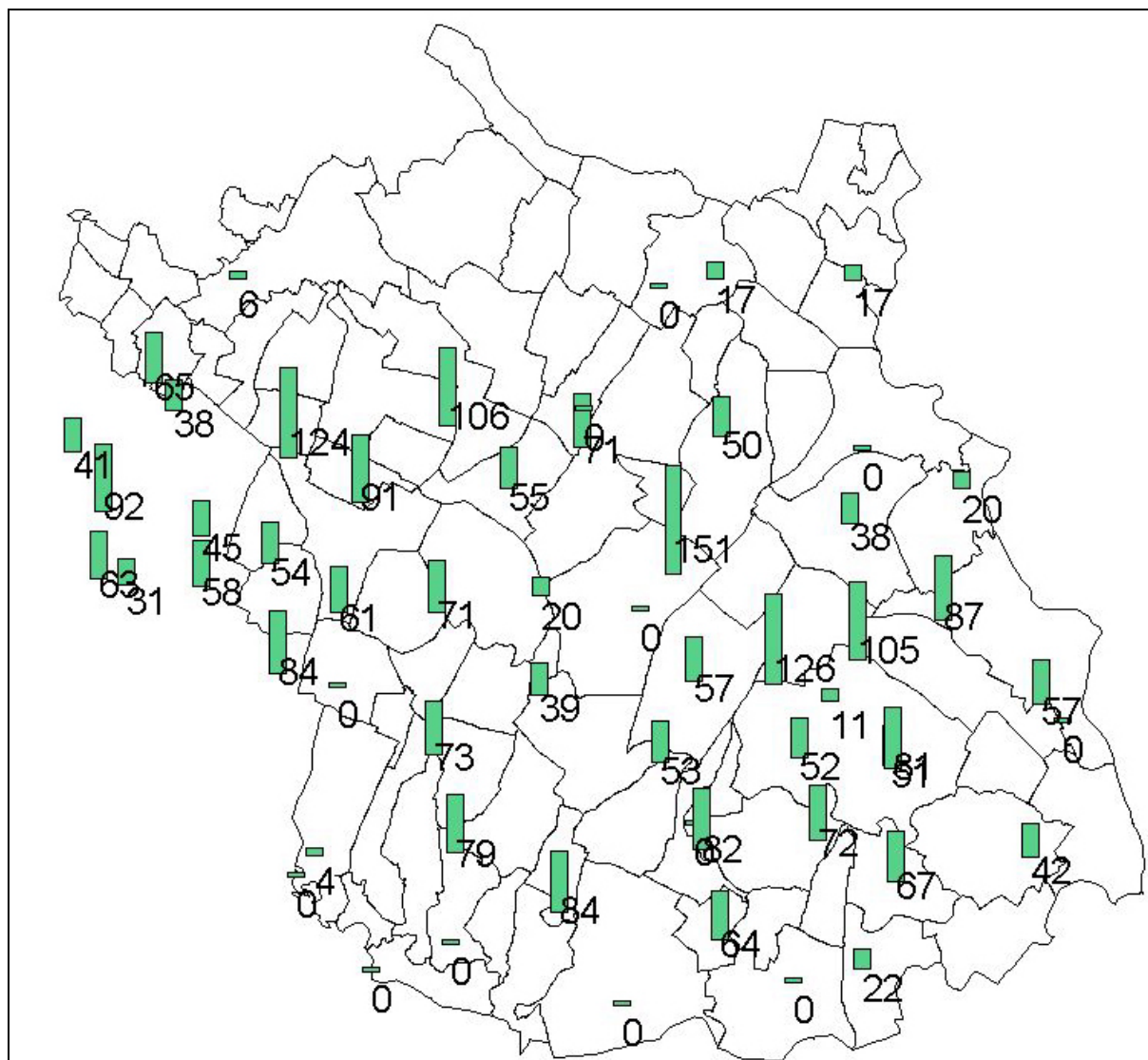


Abbildung 43: Nitratkonzentration im Grundwasser [mg/l], gemittelte Werte der Jahre 1998 – 1999

Quelle: Erhebung der Wassergüte in Österreich gemäß Hydrographengesetz i.d.F. des BGBl. Nr. 252/90; WWK/BMLF, Ämter der Landesregierungen

Datenbereitstellung durch Umweltbundesamt GmbH Wien, auf Ersuchen vom 6. April 2000 (UBA Zl.: 134-348/00)

Bei jenen Messstellen, welche in Abbildung 43 mit einem Wert von 0 belegt sind, waren entweder keine Messwerte vorhanden oder konnten nicht nachgewiesen oder bestimmt werden.

3.6 Szenarien zur nachhaltigen Bewirtschaftung

3.6.1 Grünbrache

Laut ÖPUL wird auf 10% der Ackerflächen Grünbrache gefördert. Dieses Szenario zeigt die Nitratbelastung des Sickerwassers für jene 10% der Böden, welche die schlechteste pflanzennutzbare Wasserkapazität aufweisen. Dabei wurde über 20 Jahre hinweg Grünbrache angewendet, wobei die Ernterückstände nach Mulchen abtransportiert wurden und somit nicht zurück in den N-Kreislauf gelangen können. Ein Szenario, bei dem die Ernterückstände auf dem Feld belassen wurden, zeigte

unterschiedliche Auswirkungen auf die Nitratbelastung, welche nur zum Teil reduziert wurde und in manchen Gebieten sogar signifikant anstieg.

Der Vorschlag, 10% der Böden mit der schlechtesten nutzbaren Wasserkapazität mit Grünbrache (das sind 7.944 ha)zu bewirtschaften, ist allerdings in der Praxis kaum zu verwirklichen und maximal auf Gemeindeebene anwendbar; trotzdem zeigt diese Maßnahme eine deutliche Reduktion der Gesamtbelastung: Es erfolgt eine Reduktion des Sickerwassers von durchschnittlich 160 mm auf 125 mm, und des Stickstoffaustrages von 22,2 kg/ha,a auf 7,2 kg/ha,a. Damit ergibt sich ein durchschnittlicher Nitratgehalt im Sickerwasser auf diesen Böden von 62 mg/l bzw. 25 mg/l, das entspricht einer Reduktion von 59%. Bezogen auf das Gesamtgebiet ergibt sich eine Reduktion von 39,2 mg/l auf 30,7 mg/l (-22%).

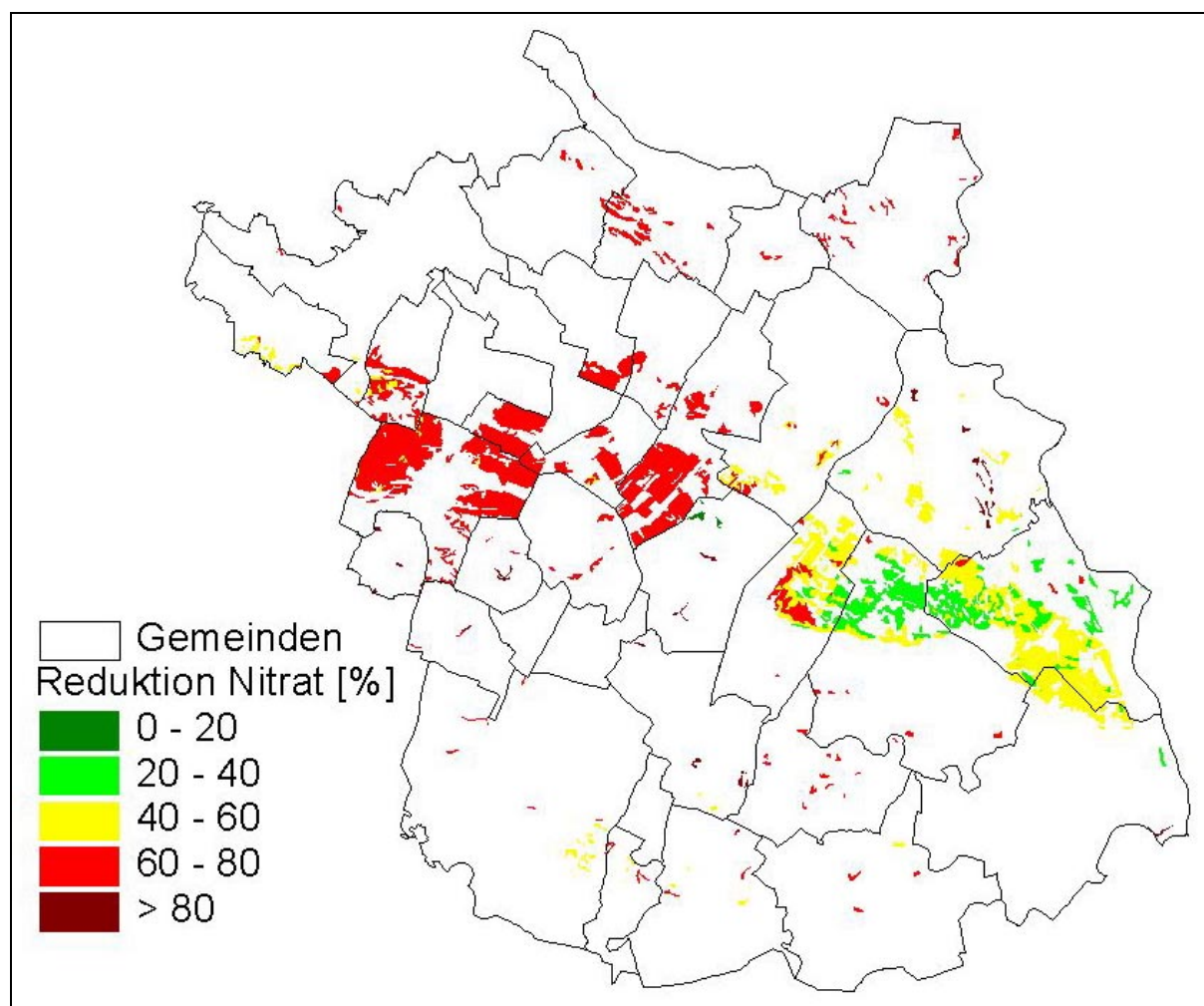


Abbildung 44: Reduktion der Nitratbelastung des Sickerwassers auf Böden mit schlechter pflanzennutzbarer Wasserkapazität und Grünbrache

3.6.2 Reduktion der Düngermengen

Eine denkbare Variante, den Stickstoffaustrag auf landwirtschaftlichen Flächen zu reduzieren, ist die Reduktion der Düngergaben unter Berücksichtigung von eventuellen Ertragseinbußen. In diesem Fallbeispiel wurde zu Demonstrationszwecken im gesamten Gebiet die Düngermengen um 20% reduziert und deren Auswirkung untersucht.

Tabelle 32 - Tabelle 34 zeigen Werte von Ertrag, Perkolation, Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration im Perkulationswasser für die verschiedenen Anbauggebiete, sowie Änderungen derselben Werte bei Düngerreduktion. Minimum- und Maximumwerte der Erträge geben Aufschluss über die mögliche Bandbreite; Vergleiche der beiden Düngevarianten beziehen sich auf gemittelte Werte.

Die Simulation zeigt, dass die Erträge von Zuckerrübe, Winterraps und Winterweizen mit einer ca. 10%igen Abnahme auf die Maßnahme reagieren, andere Fruchtarten jedoch nicht stark betroffen werden. Insgesamt reduziert sich aber bei nahezu gleichbleibender Perkolation der Stickstoffaustrag und damit die Nitratkonzentration im Sickerwasser um 24%.

Tabelle 32: Jährliche Min-, Max- und gewichtete Mittelwerte des Ertrags (Trockensubstanz [t/ha]); Düngermengen [kg/ha]; Reduktion des durchschnittlichen Ertrags bei Düngerreduktion um 20%

FRUCHTART	MIN ERTRAG	MAX ERTRAG	AV ERTRAG	NPK(20:8:8)	N (27%)	AV RED
	[t/ha]	[t/ha]	[t/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[%]
Zuckerrübe	5,7	17,3	12,8	250		-9,8
Ziebel	3,4	6,4	6,3		270	-2,5
Kartoffel	3,1	8,3	7,5	350	100	-3,6
Karotte	7,8	9,9	9,2	350		-0,0
Winterweizen	1,2	8,9	5,2	2*200	110	-5,7
Wintergerste	0,7	4,5	4,7		2*150	-8,0
Sommergerste	0,2	4,4	3,4		250	-4,0
Durumweizen	1,6	4,4	3,8		180, 110	-7,0
Winterraps	1,3	5,5	4,2	2*300		-12,1
Körnermais	4,1	9,4	8,9		400	-3,7
Körnererbse	0,9	3,5	2,8			
Sonnenblume	0,5	5,0	2,5	300		-1,9

Tabelle 33: Jährliche Werte von Min-, Max- und gewichtete Mittelwerte von Perkolation [mm], Stickstoffaustrag [kg/ha] und Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] bezogen auf die Ist-Situation

	FLÄCHE		PERKOLATION		STICKSTOFFAUSTRAG		NITRAT-KONZENTRATION	
	Total	kult.	Min - Max	Av	Min - Max	Av	Min - Max	Av
	[ha]	[%]	[mm]	[mm]	[kg/ha]	[kg/ha]	[mg/l]	[mg/l]
CR I	20.800	85	21-220	72	1-77	6,4	0-385	39
CR II	43.600	81	7-263	74	0-196	6,0	0-2210	36
CR III	31.600	73	7-245	58	0-54	5,9	0-465	45

Tabelle 34: Jährliche Werte von Min-, Max- und gewichtete Mittelwerte von Perkolations [mm], Stickstoffaustrag [kg/ha] und Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l], bei Reduktion der Düngergaben um 20%, incl. Reduktion (Red) der Mittelwerte von Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser.

	FLÄCHE		PERCOLATION		STICKSTOFFAUSTRAG			NITRAT-KONZENTRATION		
	Total	kult.	Min - Max	Av	Min - Max	Av	Red	Min - Max	Av	Red
	[ha]	[%]	[mm]	[mm]	[kg/ha]	[kg/ha]	[%]	[mg/l]	[mg/l]	[%]
CR I	20.800	85	21-221	72	0,4-67	4,7	-27	0-288	29	-26
CR II	43.600	81	7-263	74	0-187	4,6	-23	0-2104	28	-22
CR III	31.600	73	7-244	58	0-47	4,6	-22	0-372	35	-22

Unter Berücksichtigung von spezifischen Erfordernissen kann mit der Simulation verschiedener Szenarien eine optimale Düngerreduktion für die verschiedenen Fruchtarten erzielt werden, ohne deren Ertrag signifikant zu vermindern.

3.6.3 Zwischenbegrünung

Um die Auswirkung von Zwischenbegrünungen im Herbst zu untersuchen, wurde in der Gemeinde Obersiebenbrunn die Fruchtfolge FF2 mit und ohne Zwischenbegrünung simuliert. Als Wetterstation wurde die Station Obersiebenbrunn herangezogen, die Simulation wurde über 20 Jahre von 1980 bis 1999 gerechnet. Die Fruchtfolge FF2 setzt sich wie folgt zusammen:

Zuckerrübe, Kartoffel, Winterweizen, Winterraps, Winterweizen, Zuckerrübe, Körnermais, Durum, Sommergerste, Winterweizen.

Zwischenbegrünungen wurden dreimal durchgeführt, damit ergibt sich die Fruchtfolge FF2Zwbe wie folgt:

Zuckerrübe, Kartoffel, Winterweizen, Winterraps, Winterweizen, Zwischenbegrünung, Zuckerrübe, Körnermais, Durum, Zwischenbegrünung, Sommergerste, Winterweizen, Zwischenbegrünung.

Die Differenzen der Parameter Perkolations, Stickstoffaustrag und Nitratkonzentration im Sickerwasser sind in den folgenden Abbildungen (Abbildung 45 - Abbildung 47) ersichtlich.

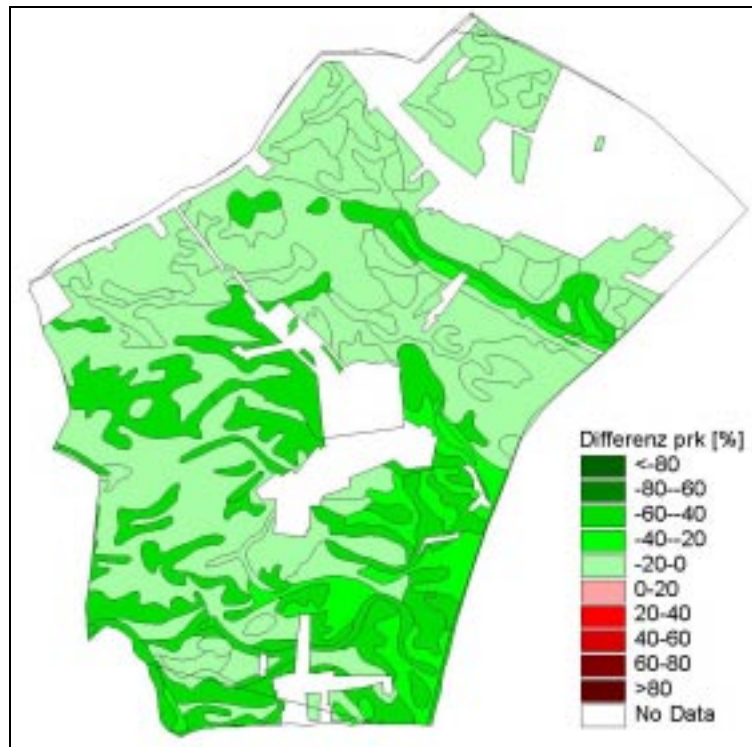


Abbildung 45: Differenzen [%] in der Perkolation [mm] der FF2 ohne und mit Zwischenbegrünung

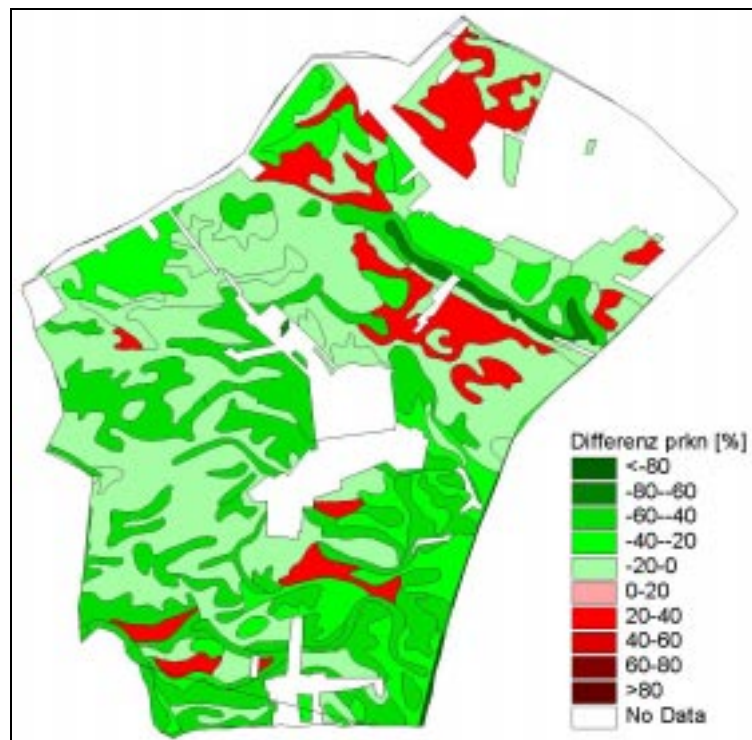


Abbildung 46: Differenzen [%] im Stickstoffaustrag [kg/ha] der FF2 ohne und mit Zwischenbegrünung

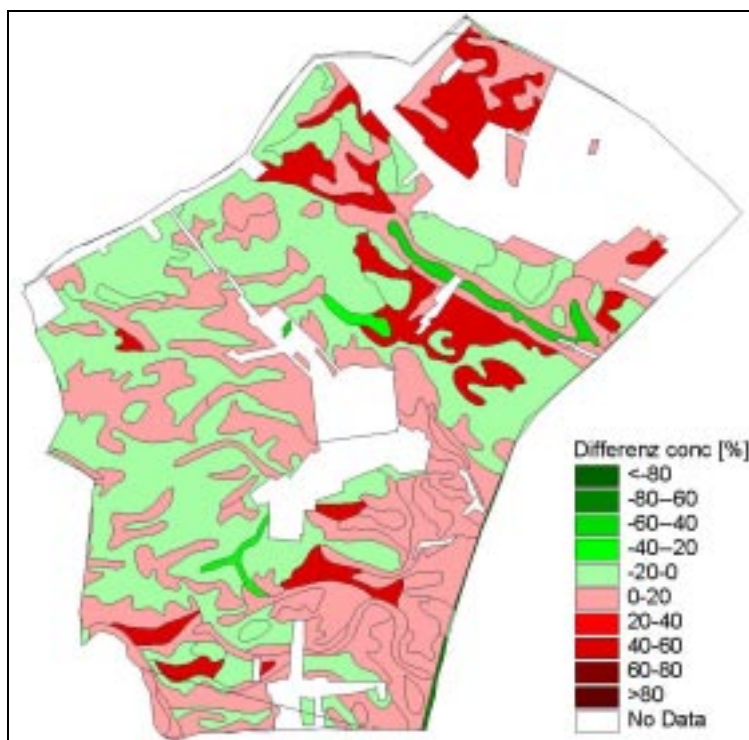


Abbildung 47: Differenzen [%] in der Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] der FF2 ohne und mit Zwischenbegrünung

Die Perkolation nimmt in der gesamten Gemeinde von 56 mm/a auf 45 mm/a (-17%) ab. Der Stickstoffaustrag ist generell rückläufig (von 3,7 kg/ha,a auf 2,0 kg/ha,a, -46%), allerdings ergeben sich zunehmende Austräge bei Anwendung der Zwischenbegrünung speziell bei der Bodenform 7017. Die Nitratkonzentration im Sickerwasser ändert sich entsprechend den Änderungen bei Perkolation und Stickstoffaustrag von 29,4 mg/l auf 19,2 mg/l (-35%).

3.6.4 Präsentationen

Die Anwendung „EPICINT“ wurde im Rahmen des Interreg2c-Projektes bei den Sitzungen des Steuerungsausschusses in Griechenland und Ungarn präsentiert. Weitere Präsentationen fanden statt:

- *Spatial Modeling of Nitrogen Leaching. 4th International Austrian-Israeli Technion Symposium: „Preserving the Quality of our Water Resources“, Universität für Bodenkultur Wien, 23-25 April 2001:* Die Anwendung zeigt die Auswirkung von Anwendung der Grünbrache in einer Fruchtfolge.
- *Spatial Modeling of Nitrogen Leaching. The 12th World Fertilizer Congress: „Fertilizer, Food Security and Environmental Protection“, Beijing, 3-9 August 2001:* Präsentation der Anwendung bei Simulation von unterschiedlichen Düngegaben in den Fruchtfolgen.

4 GIS – gestützte Modellierung der Bodenerosion durch Wind mit Hilfe der Winderosionsgleichung

Neben dem Wasser ist der Wind einer der wichtigsten Gestalter der Erdoberfläche. Sein Hauptwirkungsbereich liegt dort, wo sich eine geschlossene Vegetationsdecke wegen zu großer Trockenheit oder Kälte nicht entwickelt. Dies lässt erwarten, dass Winderosion in den gemäßigten Klimaten Österreichs keine Bedrohung für unsere Böden darstellt. Das Marchfeld und das südliche Wiener Becken werden dem pannonischen Klimaraum zugeordnet. Dieser Klimaraum zeichnet sich durch Niederschlagsarmut und große Temperaturextreme aus. Fehlt infolge landwirtschaftlicher Nutzung von sehr sandigen und trockenen Standorten zeitweise die schützende Pflanzendecke, so sind auch diese Gebiete temporär von Bodenerosion durch Wind betroffen.

Die Geschichte der Erosionsprobleme durch Wind im Marchfeld reicht bis ins Mittelalter zurück. Aufgrund des gestiegenen Bedarfs an Acker- und Weideland wurden die Waldbestände im Marchfeld im 11. und 12. Jahrhundert weitgehend gerodet. Hierdurch wurden die seit ihrer Entstehung stabilen Flugsande wieder mobil, was zu Verödung ganzer Teile der neu geschaffenen Agrarflächen führte. Ende des 18. Jahrhunderts wurde gezielt mit der Wiederaufforstung besonders gefährdeter Bereiche begonnen. Durch die Flurbereinigung, die Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts durchgeführt wurde, war es möglich, umfangreiche Windschutzgürtel anzulegen. Hierdurch konnte ein deutlicher Rückgang des Bodenabtrages durch Wind erreicht werden.

Die Auswirkung der Winderosion sind vielfältig. Einerseits kommt es durch die limitierte Transportkapazität des Windes zu einem Abtransport der feineren und leichteren Bodenpartikel samt Nähr- und Düngestoffen. Dadurch verringert sich die Wasseraustauschkapazität sowie die Bodenfilterwirkung des Standortes. Durch die im Transport befindlichen Bodenpartikel wiederum kann es zu einer Schädigung von Keimlingen durch Korrasion kommen. Der abgetragene Boden wird nur zum Teil von den betroffenen Flächen entfernt. Vor allem die größeren Partikel des verwehten Bodens lagern sich konzentriert in Gräben, flachen Mulden, entlang von Bodenschutzgürteln oder in Form kleiner Dünen am Ende eines Feldes ab. Durch diese Ablagerungen kann der Pflanzenbestand geschädigt und eine Strukturverschlechterung des Bodens hervorgerufen werden.

Ob und in welchem Maße es zu Bodenverlagerung durch Windwirkung kommt, wird durch die Erosivität des Klimas, die Erodierbarkeit des Bodens und die gewählte Bewirtschaftungsform beeinflusst. Da für das Marchfeld keine Messungen des Bodenabtrages vorliegen, muss für die Abschätzung der Bodenverlagerung auf mathematische Modelle zurückgegriffen werden. Durch die Anwendung eines Simulationsmodells ist es auch möglich, den Einfluss geänderter Raumentwicklung (z.B. die Anlage zusätzlicher Windschutzhecken oder eine neue Schlagaufteilung) und verschiedener Bewirtschaftungsformen auf den Bodenabtrag durch Wind abzuschätzen.

Ziel dieser Studie ist die Entwicklung eines kompakten Instrumentes zur Abschätzung der Bodenerosion durch Wind für ein Gebiet im regionalen Maßstab. Durch die Darstellung des Ist-Zustandes des Bodenabtrages kann eine Hilfestellung für die Regionalentwicklung gegeben und Auswirkungen von geplanten Maßnahmen hinsichtlich der Gefährdung des Bodens durch Wind bewertet werden. Teil dieses Instruments ist eine Datenbank aller für die Simulation relevanten Daten für das Marchfeld.

Der hier vorliegende Bericht beschreibt den Aufbau des Instrumentes zur Simulation der Bodenerosion, sowie den Aufbau der Datenbank. Liegen Vorschläge für Maßnahmen der Regionalentwicklung anderer Projektpartner vor, können diese hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Bodenerosion durch Wind untersucht werden.

4.1 Winderosionsmodelle

Für die Modellierung der Bodenerosion durch Wind steht nur eine beschränkte Anzahl von Modellen zur Verfügung. Die wichtigsten werden hier kurz vorgestellt:

4.1.1 Winderosionsmodelle

4.1.1.1 Wind Erosion Equation:

Die „Wind Erosion Equation“ (WEQ) war das erste Modell zur Abschätzung des Bodenverlustes durch Wind (WOODRUFF und SIDDOWNAY, 1965). WEQ ist ein empirisches Modell, welches auf gemessenen jährlichen Bodenabträgen für ein Feld in Garden City / Kansas basiert. Mit Hilfe von verschiedenen Zuschlägen, welche je eine Gruppe von Einflussfaktoren der Bodenerosion repräsentieren, wird der Bodenverlust für ein isoliertes Feldes ermittelt. Wie bei allen empirischen Ansätzen muss die Anwendung des Modells außerhalb der Randbedingungen, für welche es entwickelt wurde, mit Bedacht vorgenommen werden. Als Ergebnis liefert WEQ die Jahressumme des Bodenabtrages, wobei Interaktion einzelner erodierender Flächen nicht berücksichtigt werden (keine Berücksichtigung von Deposition).

4.1.1.2 Revised Wind Erosion Equation:

Die „Revised Wind Erosion Equation“ (RWEQ) ist ein neu entwickeltes Modell des USDA-ARS, welches eine zeitliche Auflösung des Bodenabtrages bis zu einem Tag erlaubt. RWEQ berücksichtigt jedoch nur Bodenverlust im Luftstrom bis zu einer Höhe von 2 m über Grund. Hierdurch wird der Boden, der sich in der Transportphase der Suspension befindet, nicht zur Gänze erfasst. Die Suspension kann jedoch bis zu 40% des Bodenverlustes ausmachen (CHEPIL, 1963) und ist allein für alle von der Winderosion verursachten off-site Probleme verantwortlich (Sichtbehinderungen, Gesundheitsrisiko durch Staubbelastung).

4.1.1.3 Erosion Productivity Impact Calculator:

Der „Erosion Productivity Impact Calculator“ (EPIC) besitzt auch ein Modul, um die Bodenerosion durch Wind abzuschätzen. Das verwendete Modell ist eine modifizierte Version der WEQ. Es erlaubt die Variabilität der Feldoberfläche über die Zeit in Betracht zu ziehen. Weiters wurde die zeitliche Auflösung der Berechnung des Bodenverlustes auf Tagesbasis verkürzt. Die so modifizierte Abtragungsgleichung wird als „Wind Erosion Continuous Simulation“ (WECS) bezeichnet.

4.1.1.4 Wind Erosion Prediction System:

Das „Wind Erosion Prediction System“ (WEPS) wurde vom USDA-ARS mit dem Ziel entwickelt, die alte WEQ durch eine neue Technologie der Erosionsmodellierung zu ersetzen (HAGEN, 1991). Das Modell verfolgt einen prozessorientierten, physikalisch basierten Ansatz der Simulation. Auf der Grundlage von Klima-, Boden- und Bearbeitungsdaten wird der Zustand der „Feldoberfläche“ modelliert. Wenn der Grenzwert für Bodenerosion durch Windwirkung an einem Simulationstag erreicht wird, wird der Bodenabtrag auf einer stündlichen Basis berechnet. Das Ergebnis ist der Bodenabtrag aufgeteilt in die einzelnen Transportphasen wie Kriechen/Saltation und Suspension. Weiters wird die Masse des emittierten Staubes kleiner 10 μm errechnet. Der physikalisch basierte Ansatz von WEPS sollte einen Einsatz des Modells auch außerhalb des Bereiches, für welchen es entwickelt wurde, ermöglichen. Durch die hohe zeitliche Auflösung des ermittelten Bodenverlustes ist der Verlauf der Erosion im Jahresgang ersichtlich und lässt so Rückschlüsse auf die Erosionsgefährdung einzelner Bodenbearbeitungs- und Anbautechniken zu. Weiters erlaubt die

Aufteilung des Bodenverlustes in die einzelnen Transportphasen eine Abschätzung von on- und off-site Auswirkungen. Der größte Nachteil dieses Modells liegt im sehr umfangreichen Bedarf an Daten, welcher in der Regel nicht zur Gänze zu Verfügung stehen. Weiters steht das Modell noch in der Entwicklung und wurde noch nicht ausreichend validiert.

4.1.2 Überlegungen zu Modellauswahl

Die Auswahl des Simulationsmodells muss mit Rücksicht auf das Ziel der Untersuchung, die vorhandenen Daten und die Größe des Untersuchungsgebietes erfolgen.

Für die Charakterisierung von Standorten im Bezug auf ihre Erosionsgefährdung ist vor allem der Vergleich zwischen den verschiedenen Standorten wichtig, weniger die möglichst exakte Abschätzung des tatsächliche Bodenabtrages. Dies ist auch mit relativ einfachen, empirischen Modellen möglich. Weiters ist die Anwendung eines physikalischen, meist sehr aufwendigen Modells nur sinnvoll, wenn ein Großteil der erforderlichen Daten in ausreichender Qualität vorliegt.

Die Qualität und Eignung der Datenquellen kann anhand folgender Kriterien beurteilt werden:

- Flächendeckende Verfügbarkeit
- Aktualität
- Maßstab und räumliche Auflösung
- Aggregierungsstufe
- Verzerrungsfreiheit
- Digitale oder analoge Daten
- Datenformat

Im Falle der Modellierung der Winderosion für das Marchfeld treten Problem bei den Bodendaten als auch bei den meteorologischen Daten auf. Aufgrund der hohen räumlichen Variabilität der Bodenparameter sind die „wenigen“ Profilstellen, welche in der österreichischen Bodenkartierung erfasst sind, nicht ausreichend, um die Böden im Untersuchungsgebiet mit ausreichender Genauigkeit hinsichtlich ihrer Profilstruktur und ihrer Bodenparameter zu beschreiben. Weiters sind nicht alle von physikalischen Modellen benötigten Bodenparameter (Korngrößenverteilung, Durchlässigkeit, Saugspannungs-Wasseranteils-Beziehung, Kationenaustauschkapazität) vorhanden. Im Falle der meteorologische Daten treten Probleme bei den Parametern Windgeschwindigkeit und –richtung hinsichtlich räumlicher Auflösung als auch der Qualität der Beobachtungen auf.

Müssen die erforderlichen Daten erst von den vorhandenen Daten mit Hilfe von Schätzverfahren und Korrelationen abgeleitet werden, so steigt die Unsicherheit des Simulationsergebnisses. Daher ist der Einsatz von komplexen Modellen oft nicht mehr gerechtfertigt (hoher Aufwand in der Datenverwaltung, Rechenzeiten usw.). Aus diesem Grund wird für die Modellierung der Winderosion im Projektgebiet auf das empirische Modell der Winderosionsgleichung WEQ zurückgegriffen, wobei jedoch ein besonderer Ansatz zur Berücksichtigung der zeitlich stark veränderlichen Einflussgrößen angewandt wird.

4.1.3 Modellbeschreibung

Die Winderosionsgleichung (WEQ für Wind Erosion Equation) wird meist in der von WOODRUFF und SIDDOWAY (1965) publizierten Form angegeben.

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

E	Erosionsrate [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]
I	Bodenerodierbarkeitsindex [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]
K	Rauhigkeitsfaktor [-]
C	Klimafaktor [Anteil des C-Faktors von Garden City / Kansas]
L	Ungeschützte Feldlänge in Richtung des vorherrschenden Windes [m]
V	Vegetationsdecken-Faktor [kg ha^{-1}]

Die einzelnen Faktoren sind zum Teil Summenparameter für verschiedene Einflussgrößen der Winderosion. Die genaue Definition der Faktoren und ihre Bestimmung wird im folgenden Abschnitt erläutert.

Für den funktionalen Zusammenhang der einzelnen Faktoren der WEQ wurden Diagramme und Tabellen zur Lösung der Gleichung entwickelt. Die Erosion kann jedoch auch mit folgender Gleichung berechnet werden (WILLIAMS et al., 1984):

$$E2 = I \cdot K$$

$$E3 = I \cdot K \cdot C$$

$$L_0 = 1,56 \cdot 10^6 E2^{-1,26} \cdot \exp(-0,00156 \cdot E2)$$

$$F = E2 \cdot \left(1 - 0,1218 \cdot \left(\frac{L}{L_0} \right)^{-0,3829} \cdot \exp\left(-3,33 \cdot \frac{L}{L_0}\right) \right)$$

$$E4 = \left(F^{0,3484} + E3^{0,3484} - E2^{0,3484} \right)^{2,87}$$

$$\psi_1 = \exp(-0,759 \cdot V - 4,74 \cdot 10^{-2} \cdot V^2 + 2,59 \cdot 10^{-4} \cdot V^3)$$

$$\psi_2 = 1 + 8,93 \cdot 10^{-2} \cdot V + 8,51 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 - 1,59 \cdot 10^{-5} \cdot V^3$$

$$E = \psi_1 \cdot E4^{\psi_2}$$

Besondere Verfahren der Anwendung der WEQ:

Da sich die meisten Einflussgrößen der Winderosion im Verlauf eines Jahres ändern, wurden verschiedene Ansätze zur Berücksichtigung der zeitlichen Variabilität der Einflussfaktoren entwickelt:

Im Falle der „*WEQ Critical Period Procedure*“ (beschrieben in NRCS, 1999) werden die Faktoren für jene Zeiträume eines Jahres (oder einer Fruchtfolge) ermittelt, in der der größte Bodenabtrag auf einem Feld unter gegebenen Anbaubedingungen zu erwarten ist.

Die „*WEQ Management Period Procedure*“ (BONY et. al. beschrieben in NRCS, 1999) wurde für Fälle entwickelt bei denen sich die Einflussgrößen über das Jahr stark verändern. Die Fruchtfolge wird in mehrere Zeiträume unterteilt. Die Zeiträume werden so gewählt, dass die Einflussgrößen innerhalb eines Zeitraums als gleichbleibend (im Bezug auf ihre Wirkung auf den Bodenabtrag) angesehen werden können. Für jeden Zeitraum werden die Einflussgrößen I , K , L , und V bestimmt und der Bodenabtrag mit dem Klimafaktor für das ganze Jahr berechnet. Der so berechnete Bodenabtrag wird mit dem Anteil der erosiven Windenergie des betrachteten Zeitraum an der erosiven Windenergie des gesamten Jahres gewichtet.

$$E = \sum_{i=1}^j \frac{EWE_i}{EWE} \cdot E_i$$

$$E_i = f(I_i, K_i, L_i, V_i, C)$$

EWE erosive Windenergie des gesamten Jahres

EWE_i erosive Windenergie des Zeitabschnittes *i*

E_i Bodenabtrag berechnet mit den Faktoren *I*, *L*, *L* und *V* des Zeitabschnittes *i*
sowie dem Klimafaktor *C* des gesamten Jahres

Für das vorliegende Projekt wird die „*WEQ Management Period Procedure*“ angewandt, wobei die Einflussgrößen Biomasse und Oberflächenrauhigkeit als zeitlich veränderliche Größen angesehen werden. Die Fruchtfolge wird in halbmonatliche Abschnitte unterteilt und für jeden dieser Abschnitte der Vegetations-Faktor und der Rauheits-Faktor abgeschätzt. Die Abschätzung erfolgt mit Hilfe von Messwerten und Simulationsmodellen (z.B. EPIC für Biomasse oder WEPS für Rauigkeit). Dem etwas größeren Aufwand für die Erstellung dieser „*Management Period Procedure*“ Inputs steht die hohe Transparenz der Daten gegenüber. So ist es nicht erforderlich eine Vielzahl von Simulationsergebnissen zu überprüfen.

4.1.4 Verknüpfung von GIS und WEQ

Ein geographisches Informationssysteme (kurz GIS) kann als ein computergestütztes Modell zur Erfassung, Speicherung, Darstellung, Manipulation und Analyse meist großer Mengen an raumbezogenen Daten beschrieben werden. Ein GIS zeichnet sich durch die Möglichkeit der logischen Verknüpfung und Verschneidung georeferenzierter Daten aus. Es ist möglich, unterschiedliche thematische Karten (Layer) eines Untersuchungsgebietes zu erstellen, diese mit Datenbanken zu verknüpfen und so Flächen zu attributieren. Geometrie- und Sachdaten werden gemeinsam verwaltet. Durch Verschneidung der unterschiedlichen Informationsebenen kann für ein georeferenziertes, räumliches Element eine Auswertung bzw. Analyse und Bilanzierung erfolgen. Unabhängig von der geometrischen Form der räumlichen Elemente (Punkt, Linie, Fläche) können Geometriedaten grundsätzlich in zwei verschiedenen Datenformaten – Vektor / Raster – dargestellt und beschrieben werden.

Für dieses Projekt wurde die Darstellung der Daten im Vektorformat gewählt. Im Vektorformat werden raumbezogene Objekte mit Hilfe von Punkt-Koordinaten beschrieben. Die Grundelemente von Vektordaten sind der Punkt, die Linie und die Fläche. Vektordaten ermöglichen eine flächenscharfe Wiedergabe, eine kompakte Datenstruktur und somit eine geringe Datenmenge.

Für das vorliegende Projekt wurde die GIS Software ARCVIEW der Firma ESRI verwendet. Im ARCVIEW werden Datenebenen (Layer) als „Themen“, die Sachdaten der raumbezogenen Elemente als „Attribute“ bezeichnet. Für jede Datenebene werden die Sachdaten in einer „Attribut Tabelle“ abgelegt. Im folgenden werden die Begriffe Layer und Themen sowie Sachdaten und Attribute gleichbedeutend verwendet.

Bei der Integration eines Modells mit einem GIS können verschiedene Stufen der Integration unterschieden werden. Bei der „ad hoc Integration“ dient das GIS lediglich als ein Datenverwaltungssystem zur Vorbereitung der für die Simulation erforderlichen Daten. Die Modellierung wird getrennt von GIS ausgeführt. In der Stufe der „partiellen Integration“ wird eine Schnittstelle zwischen GIS und Modell entwickelt, welche es ermöglicht, die Inputdaten für die Simulation im erforderlichen Format bereitzustellen, als auch das Ergebnis der Simulation in das GIS einzulesen. GIS und Simulationsmodell sind jedoch noch immer zwei getrennte Systeme. Bei einer

„vollständigen Integration“ sind das GIS und das Simulationsmodell zu einem einheitlichen Programmsystem verschmolzen.

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes und der daraus resultierenden großen Menge an Daten wird ein GIS für die effiziente Verwaltung, Manipulation und Analyse aller für die Modellierung der Winderosion erforderlichen Daten verwendet. Die geringe Komplexität der WEQ ermöglicht es, das Simulationsmodell in der Skript-Sprache von ARCVIEW umzusetzen, und so eine vollständige Integration zwischen dem Simulationsmodell und GIS zu erreichen. Dadurch entsteht ein sehr kompaktes und einfaches System welches zu Gänze auf dem GIS aufbaut.

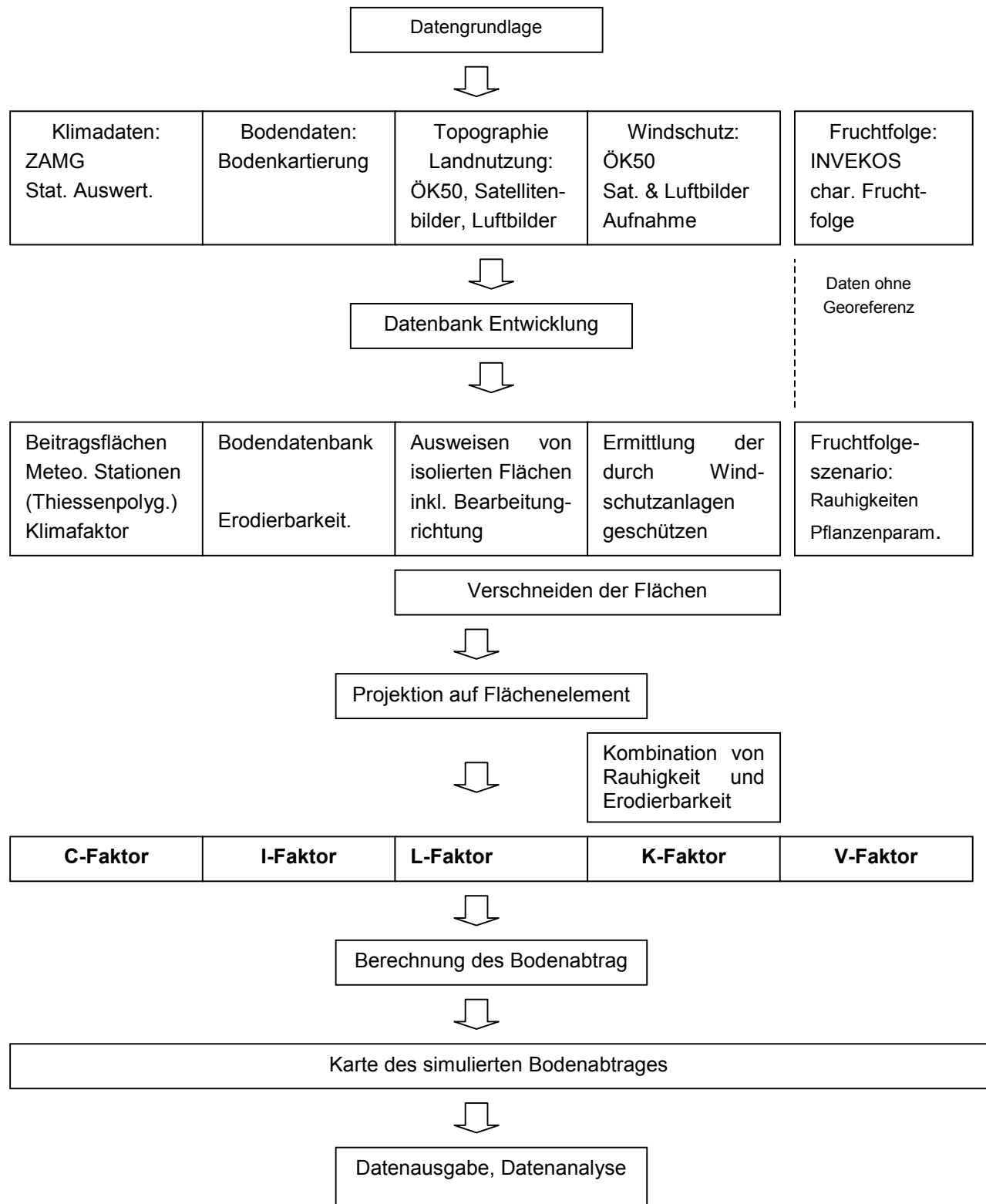


Abbildung 48: Flussdiagramm zur GIS-gestützten Berechnung des Bodenabtrages mit Hilfe der Winderosionsgleichung

Das Grundelement der Simulation ist eine isolierte Fläche (für Definition und Ermittlung siehe 4.2.3). Für dieses Grundelement müssen alle WEQ Faktoren bestimmt und der Bodenabtrag berechnet werden. Innerhalb dieses Grundelementes werden keine räumlichen Variationen der Parameter berücksichtigt. Daher werden alle WEQ Faktoren auf das Grundelement projiziert und ein für das betrachtete Flächenelement repräsentativer Wert je WEQ Faktor bestimmt.

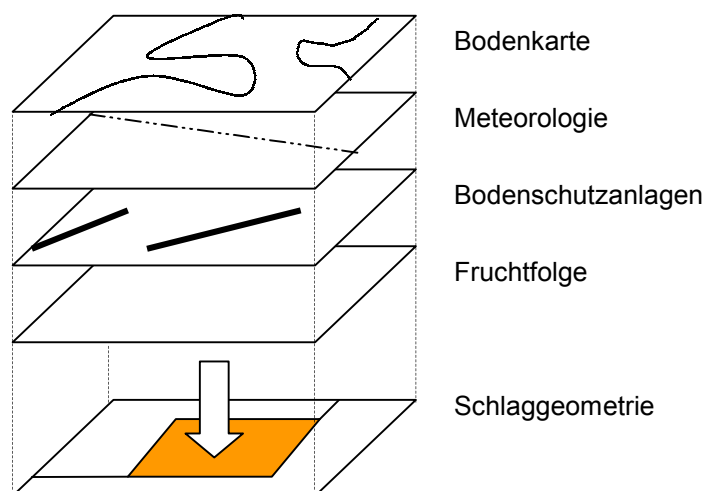


Abbildung 49: Prinzip der Ableitung der WEQ Faktoren für die Modellierung durch Projektion der räumlich variablen Faktoren auf das Grundelement der Modellbildung.

4.2 Bestimmung der Einflussfaktoren

Im folgenden Abschnitt wird die Ableitung der einzelnen Einflussgrößen und die Berechnung der WEQ Faktoren beschrieben:

4.2.1 Bodenerodierbarkeitsindex

Der Bodenerodierbarkeitsindex (I-Faktor) beschreibt den potentiellen, mittleren, jährlichen Abtrag (in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) eines bestimmten Bodens unter speziellen Rahmenbedingungen. Der Erodierbarkeitsindex wird durch die Bodenparameter Textur, Humus- und Kalkgehalt bestimmt, welche eine geringe zeitliche Variabilität aufweisen (soil inherent properties). Die Rahmenbedingungen sind ein großes, offenes Feld ohne schützende Pflanzendecke mit einem Klimafaktor von 100%.

Der Bodenerodierbarkeitsindex lässt sich durch Messung des Aggregatanteiles größer 0,84 mm mit Hilfe einer speziellen Siebapparatur (rotary sieve, CHEPIL 1942) bestimmen. Um jedoch einen aussagekräftigen Wert zu erhalten, sind Beobachtungen der Aggregatgrößenverteilung über mehrere Jahre erforderlich. Daher wurde für diese Untersuchung auf in der Literatur beschriebene Werte zurückgegriffen.

NRCS teilt die Böden hinsichtlich ihrer Resistenz gegen Verwehung in Gruppen ein (Wind Erodibility Groups, USDA National Soil Survey Handbook). Jeder Gruppe wird ein Erodierbarkeitsindex zur Berechnung des Bodenabtrages mit Hilfe der WEQ zugewiesen. Neben der Textur der Böden wird weiters zwischen kalkarmen und kalkreichen Böden unterschieden, da kalkreiche Böden in der Regel verwehungsgefährdeter sind. Die Grenze des Kalkgehaltes für kalkarm bzw. reich liegt bei 5% Kalkgehalt (USDA National Soil Survey Handbook).

Tabelle 35: Zuordnung des Bodenerodierbarkeitsindex ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) zu den „Wind Erodibility Groups“.

Wind Erodibility Groups	Bodenerodierbarkeitsindex
1	544
2	331
3	213
4	213
4L	213
5	138
6	199
7	94
8	-

Bei der Anwendung von Tabellenwerten sollte immer bewusst sein, dass die großen Sprünge in der Erodierbarkeit zwischen den einzelnen Klassen nicht den tatsächlichen Verlauf widerspiegeln. Dies ist insofern kritisch zu beurteilen, da es auch bei den berechneten Bodenabträgen zu sprunghaften Änderungen kommt und so ein verzerrtes Bild der räumlichen Verteilung der Erosion erhalten wird.

Da sich diese Einteilung auf die Bodenklassifizierung der USDA bezieht, muss der Erodierbarkeitsindex für die Bodenart nach der Österreichischen Klassifizierung transformiert werden. Dies erfolgt durch Überlagern der beiden Texturdreiecke, wobei zwischen kalkreichen und kalkarmen Böden unterschieden wird.

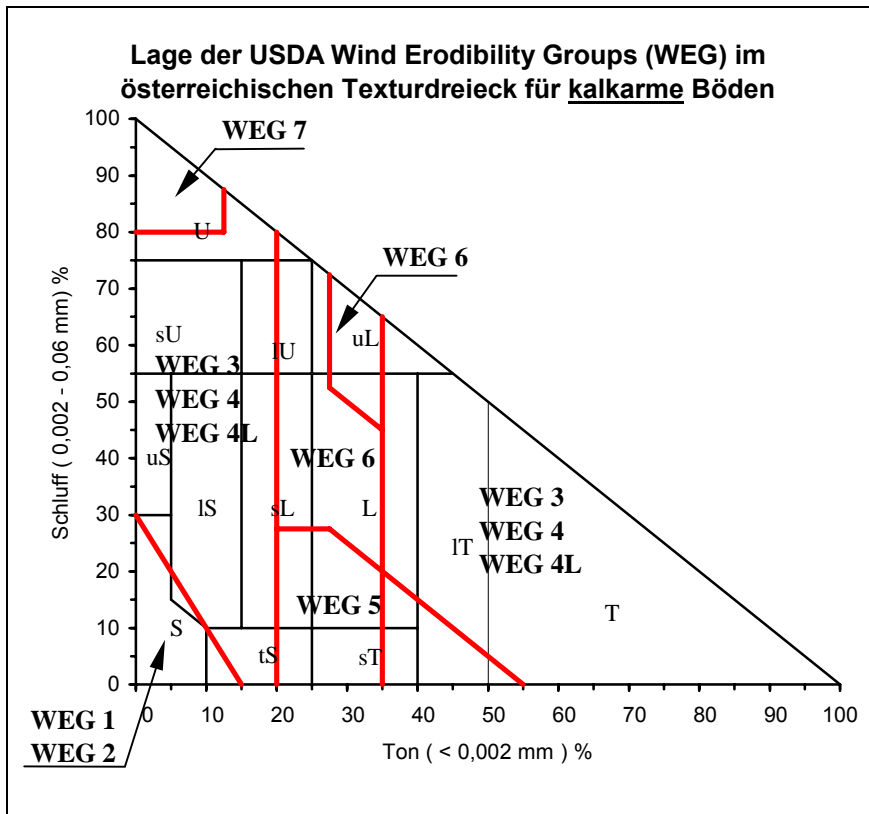


Abbildung 50: Überlagerung des Österreichischen Texturdreiecks mit den „Wind Erodibility Groups“ für kalkarme Böden.

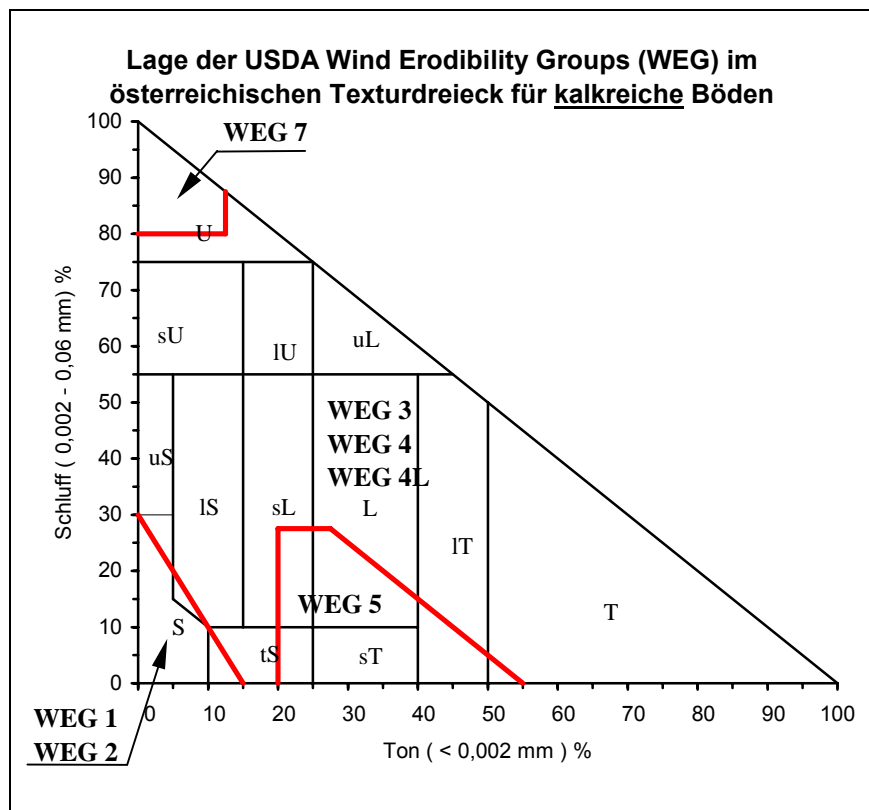


Abbildung 51: Überlagerung des Österreichischen Texturdreiecks mit den „Wind Erodibility Groups“ für kalkreiche Böden.

Da die WEG natürlich nicht exakt mit den Bodenarten nach der Österreichischen Klassifikation übereinstimmen, wird der Erodierbarkeitsindex für jede Bodenart durch gewichtete Mittelwertbildung berechnet. Als Gewicht wird der „Flächenanteil“ jeder WEG an einer Bodenarten innerhalb des Texturdreiecks herangezogen. Hieraus ergeben sich folgende Erodierbarkeitsindizes:

Tabelle 36: Zuordnung des Bodenerodierbarkeitsindex ($t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) zu den einzelnen Bodenklassen.

Symbol	Bodenart	kalkarm	kalkreich
		I-Faktor	I-Faktor
S	Sand	544	544
uS	schluffiger Sand	213	213
IS	lehmgiger Sand	213	213
tS	toniger Sand	245	245
sU	sandiger Schluff	213	213
U	Schluff	130	136
IU	lehmgiger Schluff	166	213
sL	schluffiger Lehm	163	198
L	Lehm	149	193
uL	schluffiger Ton	67	213
sT	sandiger Ton	138	138
IT	lehmgiger Ton	198	198
T	Ton	213	213

Mit Hilfe der Bodenkarte im GIS kann die räumliche Verteilung der potentiellen Bodenerodierbarkeit dargestellt und analysiert werden.

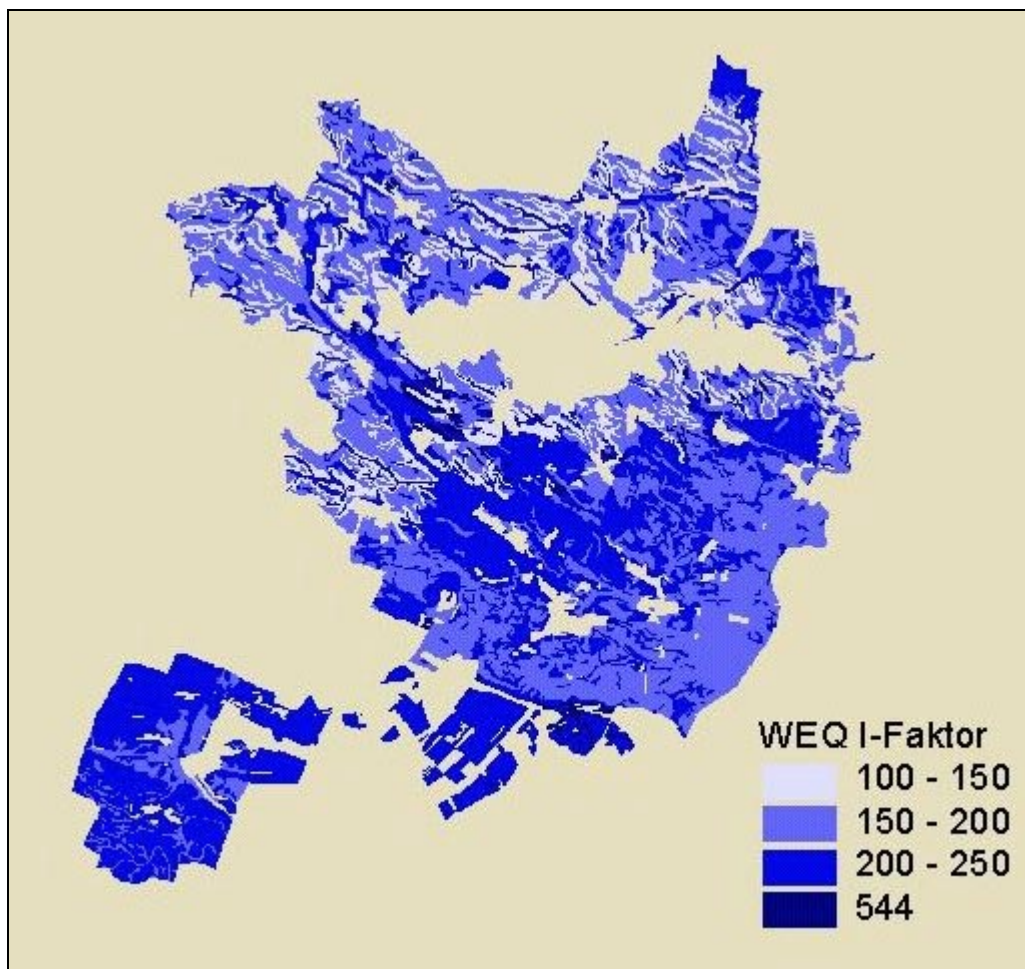


Abbildung 52: Karte des Bodenerodierbarkeitsindex (in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) für den Kartierungsbereich Gänserndorf (basierend auf Österreichischer Bodenkartierung)

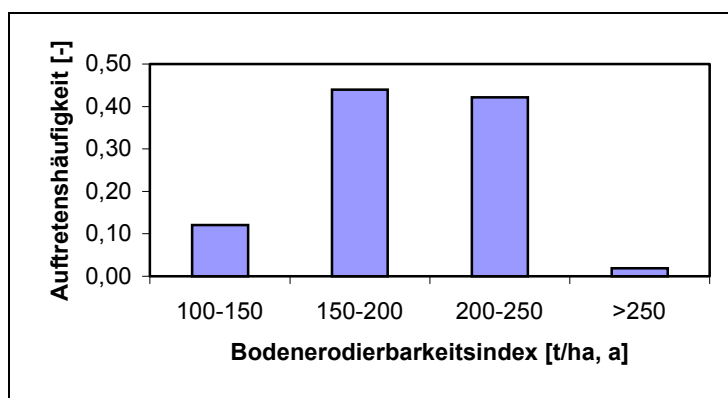


Abbildung 53: Auftretenshäufigkeit des Erodierbarkeitsindex im Kartierungsbereich Gänserndorf (Gesamtfläche der kartierten Böden $288,7\ km^2$).

Aus Abbildung 53 ist ersichtlich, dass im Kartierungsbereich Gänserndorf nur 1,9 % der Fläche ($5,45\ km^2$) mit sehr stark verwehungsgefährdeten Böden bedeckt ist, wobei es sich hier ausschließlich um Sand und Feinsandböden handelt, welche eine sehr hohe Erodierbarkeit aufweisen ($I\text{-Faktor} = 544\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$).

Da bei der schlagbezogenen Modellierung des Bodenabtrages mit WEQ keine Variabilität innerhalb des Schlags berücksichtigt wird, muss ein Bodenerodierbarkeitsindex je Schlag berechnet werden.

Dies erfolgt durch gewichtete Mittelwertbildung, wobei der Flächenanteil jeder Bodenform am Schlag als Gewicht herangezogen wird.

Es sei noch erwähnt, dass von FRYREAR et. al. (1994 zitiert in FRYREAR et. al. 1998) eine Gleichung zur Berechnung des Aggregatanteiles kleiner 0,84mm angegeben wurde. Diese Gleichung reflektiert jedoch eine Zunahme des Kalkgehaltes mit einem Anstieg des Aggregatanteiles größer 0,84mm und somit einer Abnahme der Erodierbarkeit. Dies steht im Widerspruch zu Mehrheit der Literaturquellen. Daher wird auf die Anwendung dieser Gleichung verzichtet.

Maximale Bodenerodierbarkeit:

Es besteht die Möglichkeit, die maximal mögliche Bodenerosion für das Untersuchungsgebiet basierend auf den zuvor ermittelten Bodenerodierbarkeitsindex zu berechnen. Hierbei wird der Bodenerodierbarkeitsindex auf das im Untersuchungsgebiet herrschende Klima bezogen.

$$E_{\max} = I \cdot K \cdot \frac{C}{100}$$

E_{\max}	maximal Bodenerosion für das Untersuchungsgebiet [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$]
I	Bodenerodierbarkeitsindex [$\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] für einen Klimafaktor C=100%
C	Klima-Faktor für das Untersuchungsgebiet [%]
K	Rauhigkeits-Faktor [-]

Der Rauhigkeitsfaktor ist eine Funktion der Bodenrauhigkeit und des Erodierbarkeitsindex. Für eine „Random Roughness“ von 5mm (entspricht etwa einem Saatbett) ergibt sich für alle Erodierbarkeiten ein Wert von $K=1,0$ (NRCS 1999).

Die so errechnete maximale Bodenerosion entspricht dem Abtrag von einer ebenen, windoffenen, in Windrichtung nicht begrenzten Fläche ohne Vegetation und gleichmäßiger Rauhigkeit (Saatbett) für das Klima im Marchfeld.

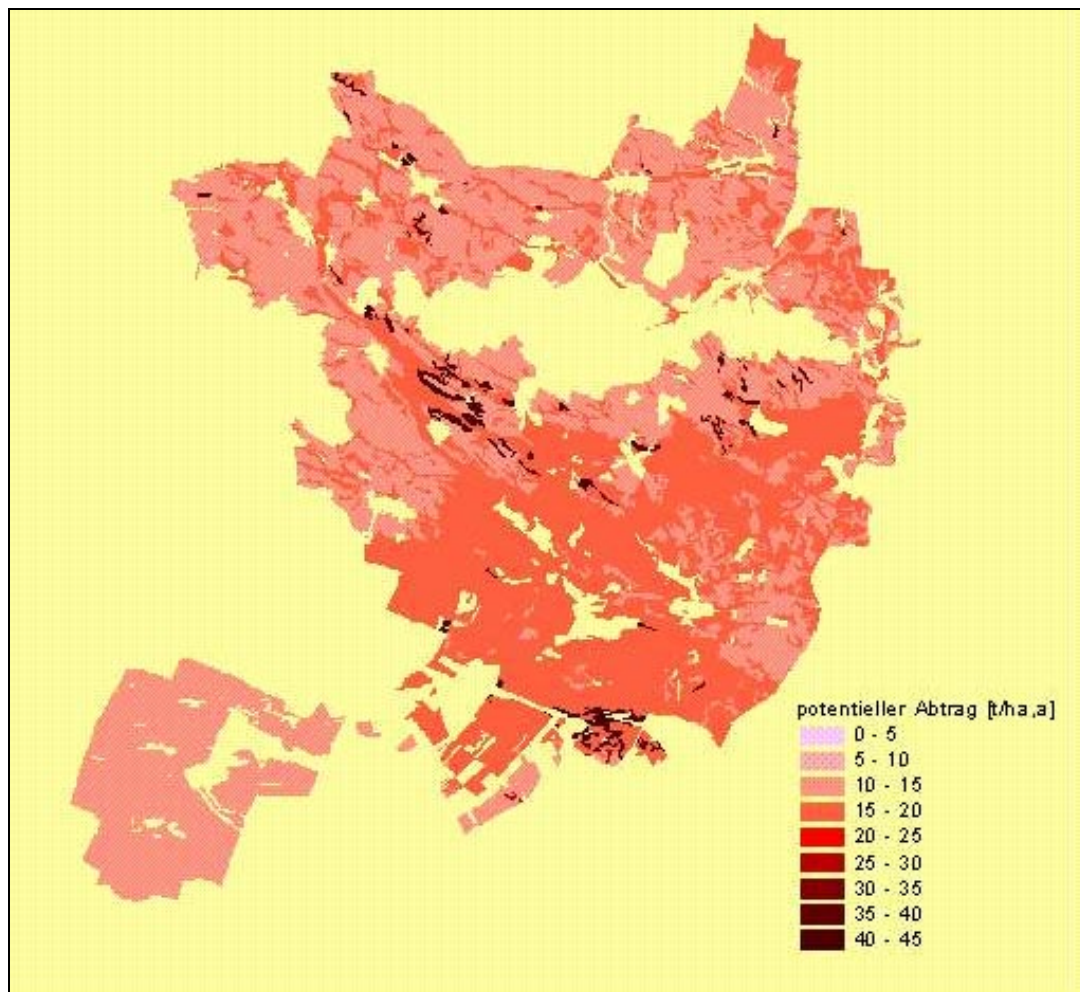


Abbildung 54: Maximale Bodenerosion im Kartierungsbereich Gänserndorf (in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$)

4.2.2 Klimafaktor

Der Klimafaktor (C-Faktor) bezieht das Klima im Untersuchungsgebiet auf das Klima zu Garden City / Kansas, dem Ort wo die Versuchsflächen für die Entwicklung der WEQ angeordnet waren. Der Klimafaktor berücksichtigt Windgeschwindigkeit und Bodenfeuchte an der Oberflächen ausgedrückt durch den Thornthwaite Index:

$$C = 386 \cdot \frac{u^3}{(PE)^2}$$

C Klimafaktor [%]

u durchschnittliche, jährliche Windgeschwindigkeit [$m\ s^{-1}$]

PE Thornthwaite Index

Der Thornthwaite Index errechnet sich wie folgt:

$$PE = 3,16 \cdot \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{P_i}{1,8T_i + 22} \right)^{10/9}$$

P_i Niederschlagssumme des Monats i [mm]

T_i Mittlere Temperatur des Monats i [°C]

Für die Ermittlung des Klimafaktors wurden sechs meteorologische Stationen im Untersuchungsgebiet ausgewählt, für welche Auswertungen von langjährigen Messreihen zur Verfügung stehen:

Tabelle 37: Übersicht über die zur Verfügung stehenden meteorologischen Aufzeichnungen

Station	Niederschlag	Temperatur	Windgeschw.	Windrichtung	Bemerkung
Großenzersdorf	1981 - 1996	1981 - 1996	-	-	
Deutsch Wagram	1981 - 1996	1990 – 1996	1961 - 1962	1961 – 1962	Wind nicht vollständig
Gänserndorf	1981 - 1996	1990 – 1996	-	-	
Marchegg	1981 - 1996	1992 – 1996	-	-	
Fuchsenbigl	1981 - 1996	1981 – 1996	-	-	
Obersiebenbrunn	1981 – 1996*	1981 – 1988*	1976 - 1980	1976 – 1980	* 89, 90 und 92 fehlen

Quellen:

Niederschlag und Temperatur: BMLF, Hydrographisches Jahrbuch

Wind: DOBESCH H. und NEUWIRT F. 1982

Neben diesen langjährigen Auswertungen stehen noch Daten der Klimastation in Obersiebenbrunn von 1978 bis 1998 in Form von Stundenmittelwerten zu Verfügung. Bei der Analyse der aufgezeichneten Windgeschwindigkeiten und –richtungen wurde jedoch festgestellt, dass das Anemometer aufgrund seiner ungünstigen Lage im Einflussbereich mehrerer Windschutzanlagen keine für das Untersuchungsgebiet repräsentativen Messwerte liefert. Für Auswertungen die Aufzeichnungen der Windgeschwindigkeit bzw. –richtung mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde bedürfen werden fortan die Messwerte der Station Hohe Warte (ZAMG) von 1993 bis 1997 verwendet.

Für die sechs ausgewählten Stationen wurde der Klimafaktor berechnet, wobei allen sechs Stationen die Windverhältnisse der Station Obersiebenbrunn zugeordnet wurde. Dies erscheint zulässig da sowohl die Stationen Hohe Warte mit 3,3 m/s als auch die Station Großenzersdorf mit 3,1 m/s Jahresmittel der Windgeschwindigkeit im selben Bereich liegen.

Tabelle 38: Klima-Faktoren für die sechs ausgewählten Stationen

Station		Monat												PE	u [m/s]	C [%]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Großenzersdorf	T	-0,2	0,2	5,0	9,8	14,9	17,7	20,5	19,9	15,5	10,0	4,2	0,8	43,9	3,1	5,97
	N	27	29	34	37	58	70	49	54	55	31	42	37			
Deutsch Wagram	T	0,4	0,9	5,7	10,1	15,2	18,4	20,9	20,7	14,9	9,5	4,4	-0,1	40,9	3,1	6,89
	N	25	25	29	37	55	64	49	55	53	33	38	35			
Gänsersdorf	T	-0,3	0,4	5,0	9,4	14,6	17,7	20,3	20,3	14,7	9,3	3,8	-0,7	38,5	3,1	7,75
	N	23	25	26	35	53	64	46	45	49	26	35	32			
Marchegg	T	0,8	1,2	5,1	11,1	16,4	19,4	21,5	21,4	15,4	10,3	4,7	0,5	45,2	3,1	5,64
	N	28	31	35	37	59	69	56	59	58	32	43	44			
Fuchsenbigl	T	-0,6	0,2	5,2	10,4	15,6	18,3	21,2	20,6	15,8	10,3	4,1	0,6	43,5	3,1	6,08
	N	24	29	34	35	60	69	47	52	53	33	42	40			
Obersiebenbrunn	T	-1,8	-1,5	3,8	9,5	14,8	17,2	19,7	19,1	15,4	9,8	3,3	0,9	45,8	3,1	5,49
	N	27	24	30	28	58	70	64	49	51	32	45	42			

Neben der Wingschwindigkeit ist noch die Windrichtung für die Abschätzung der Bodenverlagerung von Bedeutung. Im Gegensatz zur Geschwindigkeit ist jedoch keine einfache Mittelwertbildung möglich. Für das Untersuchungsgebiet wurden folgende Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung beobachtet:

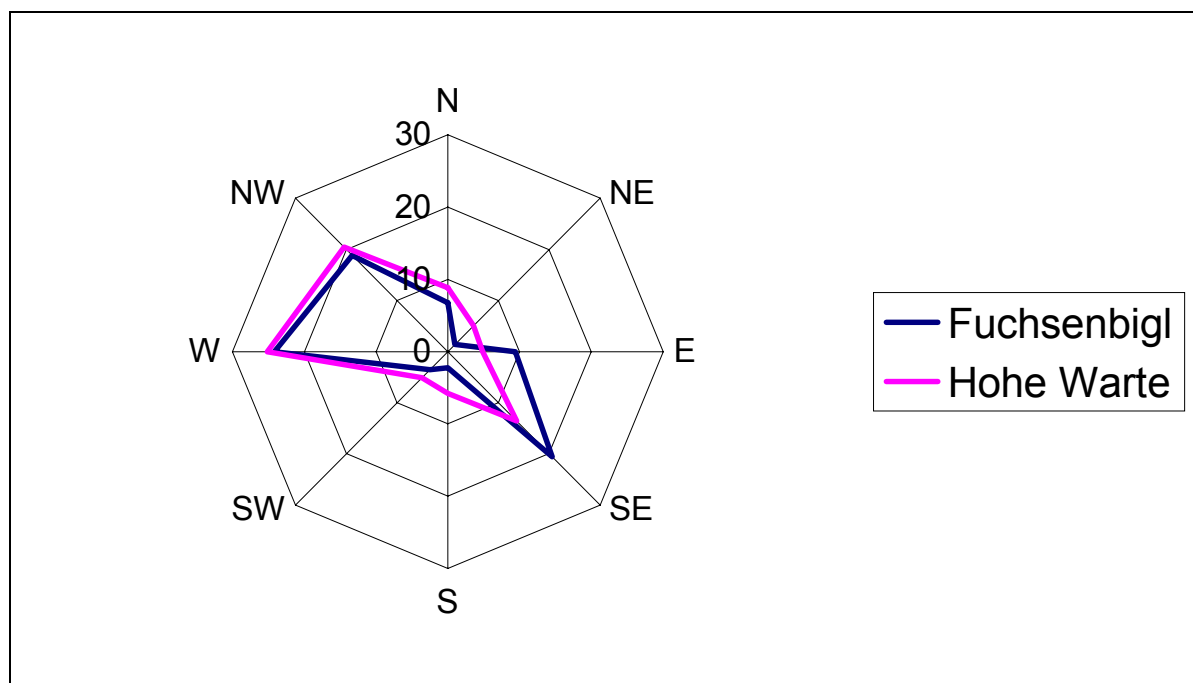


Abbildung 55: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für die Station Hohe Warte und Fuchsenbigl [Häufigkeit in %]

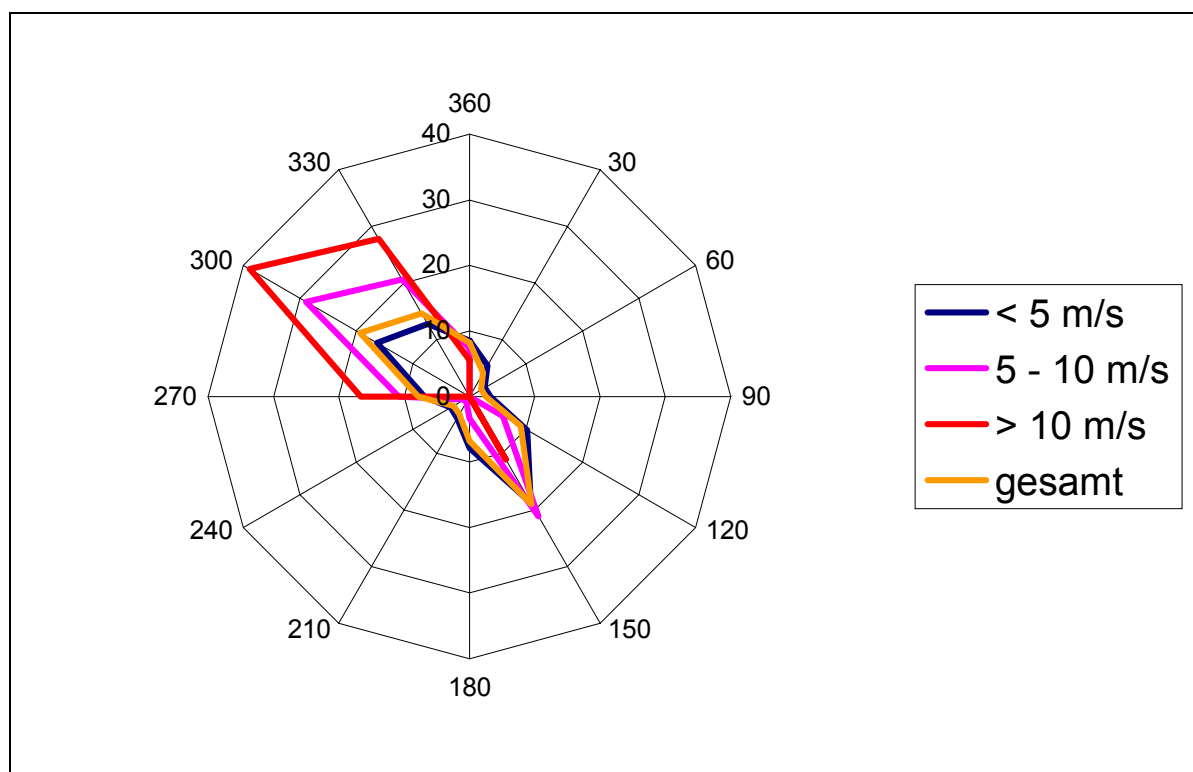


Abbildung 56: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für verschiedene Geschwindigkeitsklassen der Station Obersiebenbrunn (nach DOBESCH und NEUWIRT, 1982)

Aus Abbildung 55 und Abbildung 56 ist ersichtlich, dass im Untersuchungsgebiet zwei Hauptwindrichtungen, West bis Nordwest als auch Südost, auftreten. Wird die Windgeschwindigkeit mit berücksichtigt (vgl. Abbildung 56) so ist bei den höheren Windgeschwindigkeiten (welche für die Winderosion verantwortlich sind) die Windrichtung West bis Nordwest dominant. Bei einer solchen Betrachtung sollte jedoch nicht die Windgeschwindigkeit, sondern die erosive Windenergie (EWE) für die Analyse der Windrichtung herangezogen werden. Liegen Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit vor, so errechnet sich die erosive Windenergie wie folgt (LETTAU und LETTAU 1978, zitiert in SAXTON et. al., 1999):

$$EWE_{hr} = 3600 \cdot \rho \cdot \bar{U}^2 (\bar{U} - \bar{U}_t)$$

EWE_{hr} Stundenwert der erosiven Windenergie [g s^{-2}]

ρ Dichte der Luft [g m^{-3}]

\bar{U} Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit [m s^{-1}]

\bar{U}_t Stundenmittelwert der Grenzgeschwindigkeit [m s^{-1}]

Liegen keine genauen Untersuchungen vor, so wird für die Grenzgeschwindigkeit der Erosion in der Literatur oft ein Wert von 8 m s^{-1} angegeben. Auswertungen von Aufzeichnungen des Rübeninspektors der AGRANA Hohenau für den Bereich zwischen Zistersdorf und Hohenau zeigten, dass große Ausfälle der Zuckerrübe Anfang Mai bereits an Tagen mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von $\sim 3,7 \text{ m s}^{-1}$ und einem maximalen Stundenmittel von $7 - 9 \text{ m s}^{-1}$ auftraten.

Wie aus der Gleichung ersichtlich, steigt die erosive Windenergie bei überschreiten der Grenzgeschwindigkeit nicht linear an. Somit haben hohe Windgeschwindigkeiten einen größeren

Einfluss auf den Bodenabtrag als Geschwindigkeiten die näher an der Grenzgeschwindigkeit liegen. Dies sollte bei der Ermittlung der Hauptwindrichtung für die Abschätzung des Bodenabtrages (erosive Hauptwindrichtung) berücksichtigt werden.

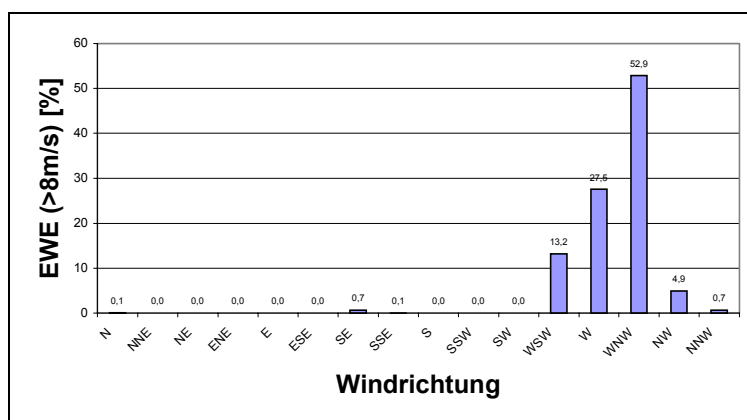


Abbildung 57: Beitrag der einzelnen Windrichtungsklassen zur erosiven Windenergie (Grenzgeschwindigkeit = 8 m/s) für die Station Hohe Warte.

Aus Abbildung 57 wird deutlich, dass der Großteil der erosiven Windenergie durch Winde aus West bis Nordwest verursacht wird. Unter der Annahme, dass das Windfeld im Untersuchungsgebiet ähnliche Eigenschaften wie der Wind an der Station Hohe Warte aufweist (vgl. Abbildung 55) wird die erosive Windrichtung mit Nordwest angenommen.

Die Analyse der Verteilung der Windrichtung über das Jahr (vgl. Abbildung 58) zeigt, dass keine wesentlichen Änderungen der Windrichtung im Jahresverlauf auftreten. Dies gilt sowohl für das gesamte Geschwindigkeitsspektrum als auch für Windgeschwindigkeiten über 8,0 m/s. Aufgrund dieser zeitlichen Invariabilität der Windrichtung ist die Berechnung des Bodenabtrages mit nur einer erosiven Feldlänge pro Schlag ausreichend.

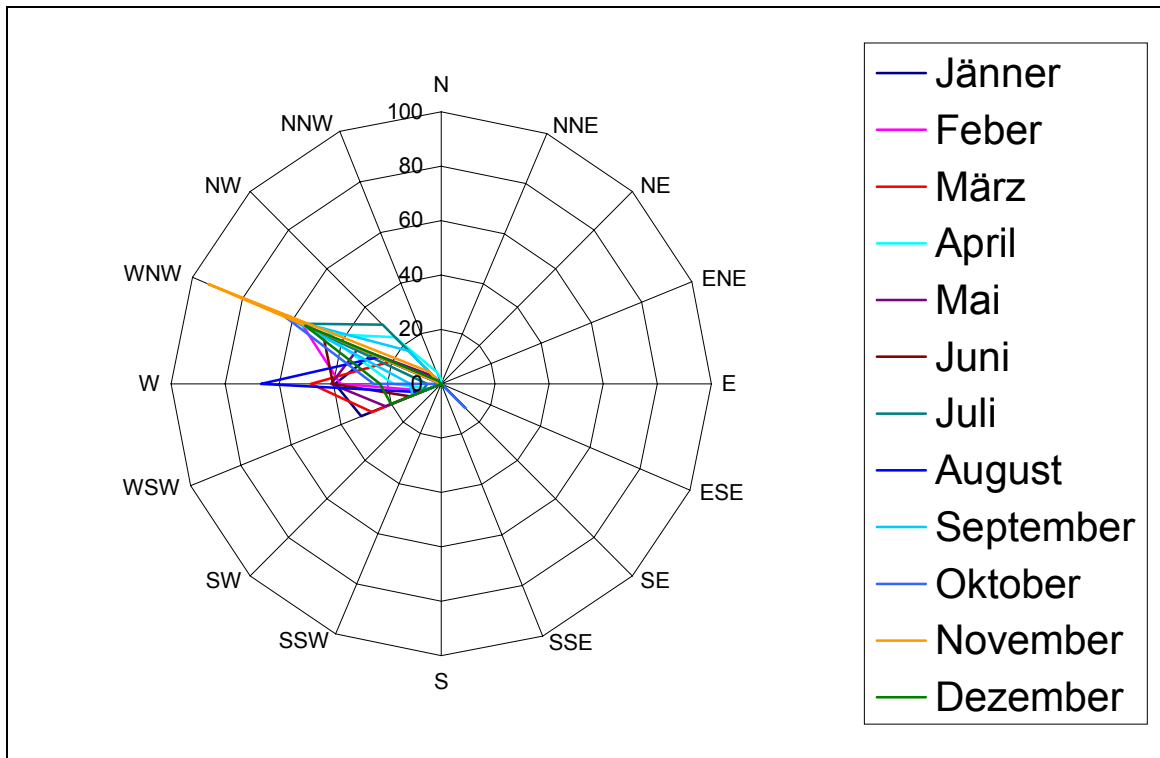


Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung über das Jahr für alle Windgeschwindigkeiten über 8,0 m/s.

Für die Anwendung der „Management Period Procedure“ ist weiters noch die Ermittlung der erosiven Windenergie für alle Zeitabschnitte der Fruchtfolge erforderlich. Wird als Zeitabschnitt ein Monat gewählt so ergibt sich die Verteilung der erosiven Windenergie über das Jahr wie folgt.

Tabelle 39: Verteilung der erosiven Windenergie [m/s] über das Jahr (Grenzgeschwindigkeit 8 m/s)

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Relative EWE	0,17	0,23	0,07	0,07	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04	0,01	0,17	0,06

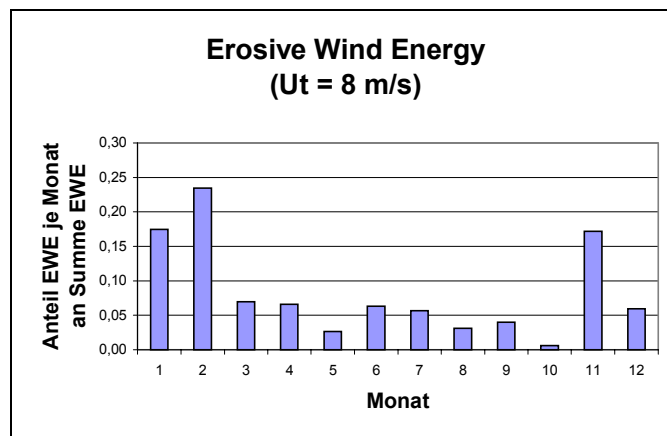


Abbildung 59: Verteilung der erosiven Windenergie über das Jahr (Grenzgeschwindigkeit 8 m/s)

Die höchste erosive Windenergie tritt in den Monaten November, Jänner und Feber auf. Zu dieser Zeit ist der Boden jedoch oft sehr feucht, gefroren oder durch eine Schneedecke vor Erosion geschützt. Für den tatsächlichen Bodenabtrag dürfte daher nur ein kleiner Teil der erosiven Windenergie verantwortlich sein.

4.2.3 Ungeschützte Feldlänge

Die ungeschützte Feldlänge ist die Länge des Felder in Richtung des vorherrschenden, erosiven Windes abzüglich der Distanz, welche durch Schutzmaßnahmen vor der erosiven Wirkung des Windes geschützt ist. Die Ermittlung erfolgt in mehreren Schritten:

- Festlegen des isolierten „Schlages“
- Festlegen der Bodenschutzanlagen und ihrer Eigenschaften
- Festlegen der erosiven Windrichtung
- Berechnen der durch die Bodenschutzanlagen geschützten Bereiche des Schlages
- Berechnung der ungeschützten Feldlänge

Isolierter Schlag:

Ein isolierter Schlag zeichnet sich dadurch aus, dass er luvseitig von Rändern umgeben ist, welche den Transport von Sediment im Luftstrom unterbrechen können. Dadurch ist am luvseitigen Ende des Schlages die volle Transportkapazität des Windes wirksam. Die Beladung des Luftstroms mit Sediment steigt jedoch nicht linear mit der Distanz, sondern nimmt aufgrund der steigenden Energie der sich in Saltation befindlichen Partikel zu (avalanching). Daher nimmt die Rate des Bodenabtrages mit zunehmendem Abstand vom luvseitigen Rand zu. Wenn das Feld lange genug ist, kann der Luftstrom seine maximale Transportkapazität erreichen und somit kein zusätzliches Material vom Feld mehr entfernen.

Bei der Festlegung der Ränder von „Schlägen“ ist es daher wichtig zu unterscheiden ob die Grenze zwischen zwei Schlägen die Saltation stoppen kann oder nicht. Kann die Saltation nicht gestoppt werden, so sind die beiden Schläge als eine Fläche zu betrachten. Dies ist eigentlich nur richtig, wenn auch auf beiden Flächen die gleiche Frucht angebaut würde. Beim Modellieren eines ganzen Gebietes ist es jedoch nicht möglich, alle möglichen Kombinationen von Frucht - Schlagzuordnung zu untersuchen. Da Winderosion vor allem im Frühjahr und nach der Ernte auftritt kann angenommen werden, dass auch bei verschiedenen Früchten die unterschiede der Vegetation in Hinblick auf ihre Fähigkeit die Energie des Windes abzubauen nicht zu groß sind.

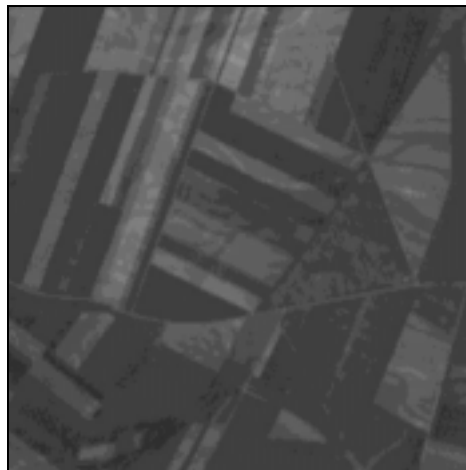
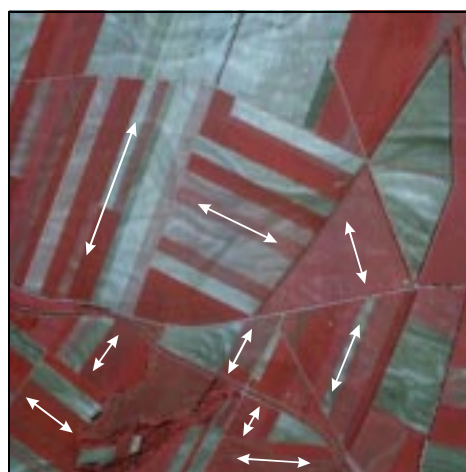
Folgende Feldbegrenzungen werden als „isolierend“ betrachtet:

- Bodenschutzanlagen
- Straßen und Güterwege
- Fahrstreifen zwischen den Schlägen wenn begrünt
- Gerinne

Die Festlegung von isolierten Flächen kann mit Hilfe von Luft- oder Satellitenbildern mit hoher Auflösung erfolgen. Für das Untersuchungsgebiet steht derzeit jedoch nur die ÖK50 flächendeckend zur Verfügung. Für kleinere Teile des Gebietes sind Luft- und Satellitenbilder vorhanden. Die folgenden Abbildungen zeigen den unterschiedlichen Informationsgehalt.



Abbildung 60: Ausschnitt ÖK50

Abbildung 61: Satellitenbild (1 Pixel \equiv 10,0 m)Abbildung 62: Luftbild (1 Pixel \equiv 1,0 m) mit eingetragenen Bearbeitungsrichtungen

Wie aus dem Vergleich der Abbildung 60 bis Abbildung 62 ersichtlich, ist für die Modellierung der Winderosion mindestens ein Bild mit einer Auflösung besser 10,0 m / Pixel erforderlich. Bei dieser Auflösung kann bereits die Schlaggeometrie mit ausreichender Genauigkeit erfasst werden. Um auch

Informationen über Bearbeitungsrichtung, Windschutzanlagen und Ausgestaltung von Fahrwegen zu erhalten ist ein Bild mit einer Auflösung von etwa 1,0 m / Pixel erforderlich.

Bodenschutzanlagen:

Durch eine Bodenschutzanlage wird der Luftstrom in einem kurzen Bereich luvseitig, und einem längeren Bereich leeseitig der Bodenschutzanlage vom Untergrund abgehoben und so der Boden vor der erosiven Energie des Windes geschützt. Die Dimension des durch eine linienartige Bodenschutzanlage geschützten Bereiches ist von der Höhe, Breite und effektiver (3-dimensionale) Porosität der Bodenschutzanlage abhängig. Die effektive Porosität sollte in einem mittleren Bereich liegen. Bei zu dichten Gehölzstreifen bilden sich Verwirbelungen aus (Walze) die den Luftstrom schon bald wieder auf den Untergrund drücken. Ist die Porosität zu gering, so kommt es zu Düseneffekten. Während die Höhe und Breite leicht zu bestimmende Parameter darstellen ist die effektive Porosität nur durch aufwendige Messungen der Windgeschwindigkeit bestimmbar. HEISLER und DeWALLE (1988) wiesen in ihren Versuchen nach, dass die optische (oder 2-dimensionale) Porosität ein durchaus geeignetes Maß für die Beschreibung von natürlichen Bodenschutzanlagen darstellt. In Abbildung 63 und Abbildung 64 sind Bodenschutzanlagen mit unterschiedlicher Porosität abgebildet.



Abbildung 63: Bodenschutzanlage mit geringer optischer Porosität (nahe Obersiebenbrunn)



Abbildung 64: Bodenschutzanlage mit hoher optischer Porosität (nahe Obersiebenbrunn)

Da keine genauen Untersuchungen der Effektivität typischer Bodenschutzanlagen aus heimischen Gehölzen vorliegen wird der Wirkungsbereich mit einem einfachen Ansatz abgeschätzt. Von TIBKE (1988) wurden Richtwerte für den Wirkungsbereich von Bodenschutzanlagen verschiedenen Aufbaus angegeben.

Tabelle 40: Windgeschützte Feldlänge für verschiedene Gehölzarten

Bodenschutzanlage	Geschützte Länge (in x Höhe)
Sommer:	
Dichte Laubgehölzstreifen	≈ 15 h
2 Reihen Nadelgehölz (meist Schwarzkiefer)	
Winter:	
Dichte Laubgehölzstreifen	
2 Reihen Nadelgehölz (meist Schwarzkiefer)	

In der Literatur werden verschiedene Gleichungen zu Berechnung der ungeschützten Feldlänge angegeben. All diese Gleichungen beziehen sich jedoch auf rechteckige Schläge. Diese Form ist im Untersuchungsgebiet nicht immer gegeben ist. Die Bodenschutzanlagen begleiten auch nicht immer die ganze Länge der Schlagränder. Daher wird bei der Berechnung wie folgt verfahren:

- Ermittlung der Fläche, die durch die Bodenschutzanlagen geschützt ist
- Verschneiden der geschützten Fläche mit den Schlägen
- Überlagern mit einem Raster von Hilfslinien parallel zur erosiven Hauptwindrichtung
- Verschneiden der Hilfslinien mit ungeschützter Schlagfläche
- Ermittlung der ungeschützten Feldlänge durch Mittelwertbildung der verschnittenen Hilfslinien

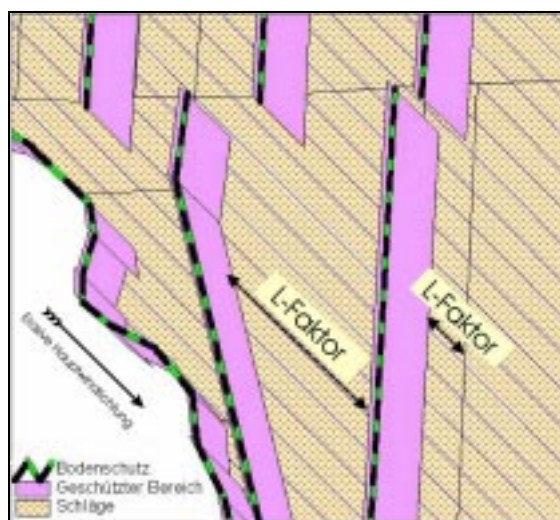


Abbildung 65: Ermittlung der ungeschützten Feldlänge

4.2.4 Rauigkeitsfaktor

Der Rauigkeitsfaktor beschreibt den Einfluss der Oberflächenrauigkeit des Boden auf den Bodenabtrag. Es wird zwischen gerichteten (Furchen, Dämme) und zufällig verteilten Rauigkeitselementen unterschieden. Die gerichtete Rauigkeit wird durch Abstand und Höhe der Dämme, die zufällige durch die sogenannte „Random Roughness“ (Definiert von Allmaras et al. 1966) beschrieben. Von WOODRUFF und SIDDOWAY (1965) wurden Diagramme zur Ermittlung des

Rauhigkeitsfaktors angegeben. Für die gerichtete Rauhigkeit wurden von WILLIAMS (1986) Gleichungen angegeben die es ermöglichen den Rauhigkeitsfaktor direkt zu berechnen:

$$\frac{HR^2}{IR} < 0,57 \quad K = 1$$

$$0,57 < \frac{HR^2}{IR} < 22,3 \quad K = 0,913 - 0,153 \cdot \ln\left(\frac{HR^2}{IR}\right)$$

$$\frac{HR^2}{IR} \geq 22,3 \quad K = 0,336 \cdot \exp\left(\frac{0,13 \cdot HR^2}{IR}\right)$$

K Rauhigkeitsfaktor [-]

HR Höhe der Dämme [mm]

IR Abstand der Dämme [mm] in erosiver Hauptwindrichtung

NRCS (1999) gibt Tabellen zur Ermittlung des Rauhigkeitsfaktors an, welche neben der Oberflächenrauhigkeit auch die Bodenerodierbarkeit berücksichtigen. Bei gleicher Oberflächenrauhigkeit ist der Rauhigkeitsfaktor bei Böden mit hoher Erodierbarkeit geringer als bei Böden mit geringerer Erodierbarkeit. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Oberflächenrauhigkeit bei Böden mit hoher Erodierbarkeit aufgrund des Abtrags der Rauhigkeitselemente rascher abnimmt als bei geringer erodierbaren Böden.

Tabelle 41: Rauhigkeitsfaktor aufgrund der „Random Roughness“

I Faktor [t ha ⁻¹ a ⁻¹]	Random Roughness (in mm)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
>331	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
331	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,91	0,98	0,96	0,85	0,84
257	1,00	0,94	0,88	0,82	0,78	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66
213	1,00	0,87	0,76	0,67	0,61	0,57	0,54	0,52	0,50	0,48
<138	1,00	0,71	0,50	0,38	0,31	0,27	0,25	0,23	0,23	0,22

4.2.5 Vegetationsfaktor

Der Vegetationsfaktor berücksichtigt den Einfluss der lebenden als auch der toten Biomasse (Ernterückstände) auf den Bodenabtrag. Durch Biomasse wird ein Teil der Windenergie abgebaut bzw. der Luftstrom von der Bodenoberfläche abgehoben und so vor Erosion geschützt. Die Wirksamkeit der Biomasse ist von deren Struktur und Verteilung abhängig. So sind beispielsweise Blätter weniger effektiv als Stengel, da sie sich mit dem Luftstrom ausrichten. Ernterückstände, die aufrecht stehen, sind ein wirksamerer Schutz als liegende Rückstände. Weiters ist die räumliche Verteilung der Biomasse wichtig. Es ist leicht einsichtig, dass in großen Abstand stehenden Stoppel einer Maiskultur bei gleicher Biomasse weniger zum Abbau der Windenergie beitragen als die dicht stehenden Ernterückstände von Getreide.

Um diese Einflüsse zu berücksichtigen, wurde von WOODRUFF und SIDDOWAY (1965) der Bodenabtrag auf das sogenannte „Small-grain equivalent“ bezogen. Das „Small-grain equivalent“ der Biomasse auf dem Feld wird aus dem Trockengewicht der Biomasse und zwei Konstanten, welche die Frucht beschreiben, berechnet.

$$(SG)_e = a \cdot X^b$$

- (SG)_e Small-grain equivalent [kg ha⁻¹ Trockengewicht]
 X Biomasse [kg ha⁻¹ Trockengewicht]
 a, b Frucht spezifische Konstanten

In verschiedenen Literaturquellen sind Angaben über die Konstanten a und b zu finden. Tabelle 42 gibt einen Überblick.

Tabelle 42: Konstanten für die Abschätzung des „Small-grain equivalent“

Frucht	Zustand	Ausrichtung	a	b	Quelle
Stoppel Winterweizen	Aufrecht	Normal	4,306	0,970	Lyles, Allison 1981
Stoppel Winterweizen	Liegend	-	7,279	0,782	Lyles, Allison 1981
Stoppel Raps	Aufrecht	Normal	0,103	1,400	Lyles, Allison 1981
Stoppel Raps	Liegend	-	0,064	1,294	Lyles, Allison 1981
Stoppel Sonnenblume	Aufrecht	Normal	0,021	1,342	Lyles, Allison 1981
Stoppel Sonnenblume	Liegend	-	0,011	1,368	Lyles, Allison 1981
Sojabohnen	Liegend	-	0,167	1,173	Lyles, Allison 1981
Stoppel Mais	Aufrecht	Normal	0,229	1,135	Lyles, Allison 1981
Mais	Aufrecht	Normal	11,171	0,788	Armbrust, Lyles 1985
Mais	Aufrecht	Parallel	10,584	0,830	Armbrust, Lyles 1985
Sojabohne	Aufrecht	Normal	19,224	0,813	Armbrust, Lyles 1985
Sojabohne	Aufrecht	Parallel	8,525	0,772	Armbrust, Lyles 1985
Gras nicht beweidet	30 cm	-	0,60	1,39	Lyles, Allison 1980
Gras beweidet	5 cm	-	1,60	1,08	Lyles, Allison 1980
Gras überweidet	2,5 cm	-	3,06	1,14	Lyles, Allison 1980
Stoppel Durchschnitt	-	Normal	8,9	0,9	Lyles, Allison 1981

Lyles L. und Allison B.E. 1980 zitiert in SKIDMORE E.L. 1994

Lyles L. und Allison B.E. 1981 zitiert in SKIDMORE E.L. 1994

Weiters wurden vom USDA-NRCS im Rahmen des „National Resource Inventory“ (1997) eine Vielzahl von Diagrammen zur Bestimmung des „Small-grain equivalent“ für verschiedene Früchte und deren Ernterückstände erstellt. Die Abschätzung des „Small-grain equivalent“ ist auch mit Hilfe von Vergleichsbildern möglich.

Für EPIC wurde von WILLIAMS et al. (1984) ein Datensatz für die Berechnung des „Small-grain equivalent“ für lebende Vegetation, aufrecht stehende und liegende Ernterückstände ermittelt.

$$(SG)_e = g_1 \cdot B_{AG} + g_2 \cdot SR + g_3 \cdot FR$$

g_1, g_2, g_3	Koeffizienten, für jede Frucht verschieden
B_{AG}	oberirdische Biomasse einer lebenden Frucht [kg ha^{-1}]
SR	aufrecht stehende Ernterückstände [kg ha^{-1}]
FR	liegende Ernterückstände [kg ha^{-1}]

Für die Koeffizienten g_1 , g_2 und g_3 sind in Tabelle 43 Werte für die im Marchfeld am häufigsten angebauten Früchte angegeben.

Tabelle 43: Koeffizienten g_1 , g_2 und g_3 für die Berechnung von $(SG)_e$

Frucht	g_1	g_2	g_3
Sommergerste	3,390	3,400	1,610
Winterweizen	3,390	3,400	1,610
Zuckerrübe	1,140	0,600	0,330
Sojabohne	1,266	0,633	0,729
Mais	0,433	0,433	0,213
Sorghum	0,657	0,657	0,320
Sommerweizen	3,390	3,390	1,610
Sonnenblume	3,390	3,390	1,610
Kartoffel	3,390	3,390	0,320

Bei in Reihen angebauten Früchten ist die Schutzwirkung der Vegetation stark vom Winkel zwischen Luftstrom und Reihenfrucht abhängig. Von ARMBRUST und LYLES (1985) wurden in Windkanalversuchen Wirkungsgrade von lediglich 15% für Mais, 30% für Baumwolle und 36% für Sojabohne der Wirkungsgrade für Reihen normal zum Luftstrom gemessen. Im Feld dürfte die Abnahme geringer sein, da ein natürlicher Wind größere Schwankungen in der Windrichtung aufweist als der Luftstrom im Windkanal.

Im Modell wird dem Winkel zwischen Hauptwindrichtung und Reihenfrucht durch einen Korrekturwert Rechnung getragen.

$$BM_{korr} = BM \cdot (1 - (1 - F_{korr}) \cdot \cos \delta)$$

BM_{korr}	stehende Biomasse (lebend und tot) korrigiert für Windrichtung [t ha^{-1}]
BM	stehende, orientierte Biomasse (lebend und tot) [t ha^{-1}]
F_{korr}	Korrekturfaktor [-]
δ	Winkel zwischen Hauptwindrichtung und Reihenfrucht

Der Zusammenhang zwischen dem Vegetationsfaktor und dem „Small-grain equivalent“ wurde von WOODRUFF und SIDDOWAY (1965) durch ein Diagramm beschrieben. Von WILLIAMS et al. (1984) wurde die Funktion definiert, welche diesen Zusammenhang beschreibt.

$$V = 0,2533(SG)_e^{1,363}$$

Bedingt durch die Bewirtschaftung unterliegt die Biomasse und die Oberflächenrauigkeit einer starken zeitlichen Veränderung. Um den zeitlichen Verlauf dieser Parameter gerecht zu werden, wird bei der Modellierung die „Management Periode Procedure“ (vgl. 4.1.3) angewandt. Alle für diesen Ansatz erforderlichen Parameter werden für jede halbmonatliche Periode der Fruchtfolge abgeschätzt und in einer Tabelle zusammen gefasst und in das GIS implementiert (Tabellen siehe Anhang).

Für die Abschätzung des Biomasse Wachstums und Abbaus, des Einflusses der Bodenbearbeitung auf Oberflächenrauigkeit und Biomasse der Ernterückstände sowie der Abnahme der Rauigkeit durch Niederschläge wird das Modell EPIC angewendet. Mit Hilfe von EPIC wird der zeitliche Verlauf der Biomasse und Oberflächenrauigkeit simuliert, und mit gemessenen Werten verglichen und gegebenenfalls korrigiert.

Da die Fruchtfolge standortabhängig ist, wird jeder Gemeinde im Untersuchungsgebiet eine für diese Gemeinde typische Fruchtfolge zugeordnet. Um den Einfluss der Böden auf das Pflanzenwachstum zu berücksichtigen, wird jedes Fruchtfolgeszenario für drei Böden mit unterschiedlicher pflanzennutzbarer Wasserspeicherkapazität berechnet.

4.3 Ergebnis der Simulation

Zur Demonstration des hier vorgestellten Modells zur Abschätzung des Bodenabtrages durch Wind wird ein ca. 200 ha großes Gebiet westlich von Obersiebenbrunn ausgewählt. Alle Schläge in diesem Bereich wurden mit Hilfe eines Satellitenbildes (SPOT) digitalisiert, und die Bodenschutzanlagen an Hand der ÖK50 eingetragen. Da keine Kartierung der Bodenschutzstreifen in diesem Bereich vorlag, wurde eine „Standardhecke“ von 8,0 m Höhe mit einer Schutzwirkung von 10 mal der Höhe gewählt. Karten aller Datenbanken für dieses Beispielsgebiet sind im Anhang enthalten.

Als Fruchtfolge für die Simulation wurde eine Fruchtfolge mit Sommergerste, Winterweizen und Zuckerrübe ausgewählt. Der durchschnittliche Bodenabtrag im ausgewählten Gebiet beträgt $2,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die räumliche Verteilung der einzelnen Abtragsraten wird aus der berechneten Karte des Bodenabtrages (Abbildung 66) ersichtlich.

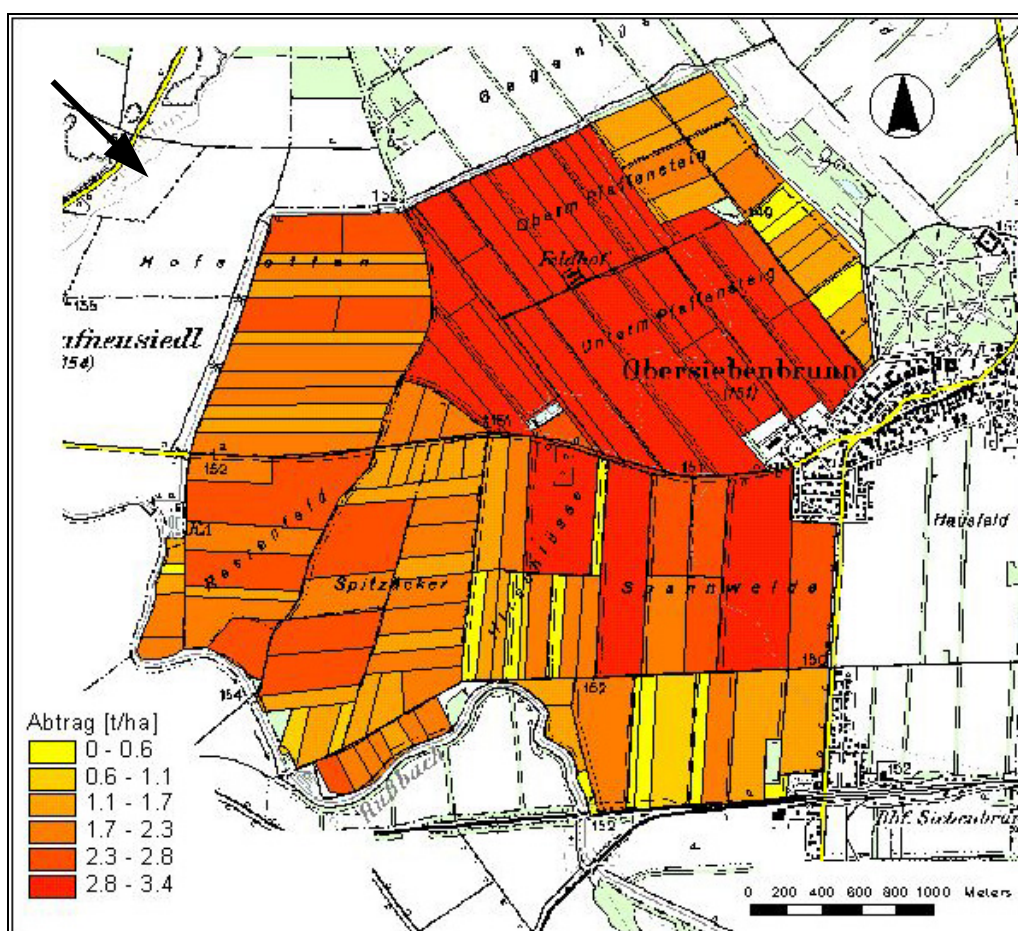


Abbildung 66: Karte des simulierten Bodenabtrages für das ausgewählte Beispielsgebiet westlich von Obersiebenbrunn.

Um das Potential dieses Instrumentes zur Bewertung von Maßnahmen der Regionalentwicklung darzustellen, wurden für das ausgewählte Beispielsgebiet bei Obersiebenbrunn zusätzliche Bodenschutzanlagen berücksichtigt und der Bodenabtrag für dieses geänderte Szenario abgeschätzt (siehe Abbildung 67).

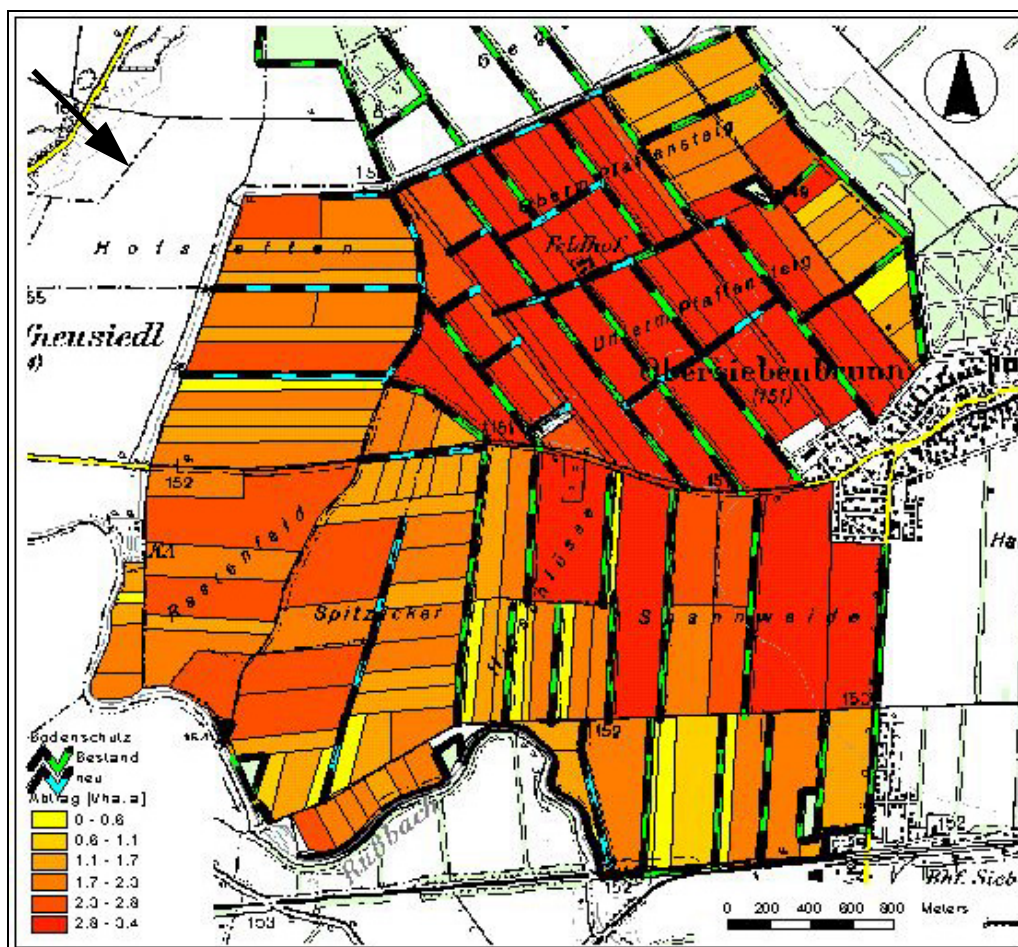


Abbildung 67: Bodenabtrag für ein Szenario mit zusätzlichen Bodenschutzanlagen (blau dargestellt)

Durch Vergleichen der beiden Erosionsprognosekarten wird ersichtlich, dass die gewählten Bodenschutzanlagen keinen wirksamen Schutz für die in Hauptwindrichtung sehr langgestreckten Schläge (oben rechts in der Karte) darstellen. Für solche im bezug auf die erosive Hauptwindrichtung ungünstig angeordneten Schläge kann ein wirksamer Erosionsschutz nur durch eine konservierende Bewirtschaftung oder durch Änderung der Schlagaufteilung erreicht werden.

Die mit dem hier beschriebenen Ansatz abgeschätzten Bodenabträge sollten nur als relative Werte zum Vergleich der verschiedenen Schläge, verschiedener Fruchtfolgen oder geänderter Raumentwicklung betrachtet werden. Da bis dato keinerlei Messwerte für den Bodenabtrag durch Windwirkung für das Untersuchungsgebiet vorliegen ist es auch nicht möglich das Modell zu eichen oder zu bewerten.

4.4 Kurzbeschreibung des Programms zur Berechnung des Bodenabtrages

Ein Teilziel des INTERREG Projektes ist die Entwicklung von Instrumenten zur Modellierung der verschiedenen maßgebenden Einflussfaktoren auf die natürlichen Ressourcen, wobei dieses Instrumente auf die in das GIS implementierten Datenbanken Bezug nehmen sollen. Für die Abschätzung der Winderosion wurde ausgehend von der in das GIS implementierten Datenbank ein Programm entwickelt, welches es dem Benutzer ermöglicht die Winderosion mit Hilfe der WEQ für ein großes Gebiet rasch und einfach abzuschätzen. Die vielfältigen Möglichkeiten der Datenmanipulation im GIS ermöglichen es dem Benutzer die Basisdaten zu variieren und so verschiedene Szenarien zu untersuchen. Als GIS Software wird ARCVIEW der Firma ESRI verwendet, und das Programm zur Berechnung des Bodenabtrages wurde in AVENUE, der Script-Sprache von ARCVIEW, realisiert.

Kurzer Leitfaden zur Benutzung der Software

Folgende Daten müssen in das GIS in Form eines eigenen Layers (jedoch nicht zwingend im gleichen View) implementiert sein:

Beitragsflächen meteorologische Station

Shape: Polygon

Attribute: Windrichtung
 C-Faktor

Bodenkarte

Shape: Polygon

Attribute: I-Faktor

Schläge (Grundelement der Modllierung)

Shape: Polygon

Attribute: ID Nummer
 Gemeinde
 Bearbeitungsrichtung

Windschutzanlagen

Shape: Line

Attribute: Geschützte Länge im Lee
 Geschützte Länge im Luv

Gemeinden / Fruchtfolge Zuordnung

Shape: Polygon

Attribute: Gemeinde

Filename der Fruchtfolgentabelle

Fruchtfolge

Tabelle im dbf Format

Attribute: Ein Wert je 15 Tage

Format vorgegeben! Wichtige Parameter:

Anteil erosiver Windenergie

Biomasse stehend

Ernterückstand stehend

Ernterückstand liegend

Fruchtspezifische Faktoren g_1 , g_2 , g_3

Random Roughness

Dammhöhe

Dammabstand

Sind all diese Daten in das ARCVIEW Projekt „GIS gestützte Simulation der Winderosion“ eingefügt, kann die Simulation gestartet werden. Hierzu muss man sich im „View Mode“ befinden.



Abbildung 68: Pull-down Menü WEQ

Das Pulldown Menü „*WEQ*“ bietet die Option „*Objekte Definieren*“ und „*Start Simulation*“. Bevor die Simulation gestartet wird, müssen alle erforderlichen Daten definiert werden. Die Option „*Objekte Definieren*“ bietet eine Auswahl aller erforderlichen Inputdaten sowie die Definition der Ausgabe.



Abbildung 69: Fenster mit Optionen zu Definition der verschiedenen Inputs

Die Definition der einzelnen Inputdatensätze erfolgt über die angebotene Auswahlliste.

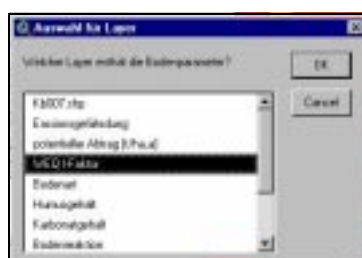


Abbildung 70: Beispiel einer Auswahlliste für die Definition der Inputs

Sind alle Inputdaten sowie der Output Layer definiert kann die Simulation mit „Start Simulation“ gestartet werden. Hierbei stehen folgende Optionen zur Auswahl.



Abbildung 71: Fenster zum Starten der Simulation

Da die Verschneidung und Berechnung aller Daten für ein großes Untersuchungsgebiet viel Rechenzeit in Anspruch nimmt sollte jeweils nur die Option entsprechend der Änderung der Datenbasis seit der letzten Simulation ausgewählt werden.

Nach Abschluss der Simulation wird der Bodenabtrag als neuer Layer zum View hinzugefügt. Besteht bereits ein Layer mit dem gleichen Namen, wird dieser ersetzt. Der Bodenabtrag wird jeweils in sechs Klassen mit konstantem Intervall eingeteilt. Änderungen dieser Einteilung müssen mit dem „*Legenden Editor*“ durchgeführt werden. Weiters werden alle WEQ-Faktoren und der Bodenabtrag für jede zweiwöchige Periode in einer Tabelle mit dem Namen „weq_output.dbf“ gespeichert.

5 Interdisziplinäres Bewertungsmodell

Einen Teilbereich des InterregIIC Projektes stellt die Projektschiene I: „Funktionskartierung auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen“ dar. In diesem Projektbereich wird von Experten aus den Bereichen Land-, Forst-, Wasserwirtschaft und Naturschutz ein gemeinsames und transnational anwendbares Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Funktionen des Wald- und Offenlandes entwickelt. Hierbei wird einerseits die Tradition der Waldfunktionskartierung aufgegriffen, wie sie in verschiedenen Ländern bereits seit Jahren durchgeführt werden, andererseits ein Verfahren entwickelt, welches gleichartige Flächenfunktionen auch bei landwirtschaftlich genutzten Flächen, bzw. bei Brachflächen vergleichbar macht. (Details dazu siehe Homepage des Interreg2c-Projektes:

„<http://www.naturalresources.de>“)

Der Beitrag der Wasserwirtschaft zur gemeinsamen Darstellung der Funktionen für die Kulturlandschaft ergibt sich nach den behandelten Aufgabenbereichen im Rahmen des Detailprojektes 4 für den Bereich der Ressourcenschutzfunktion für die Untergruppen Wasser und Boden.

Sowohl für die Bewertung des Nitrataustrages ins Grundwasser als auch für die Bewertung der Bodenerosion durch Wind wird auf ein relatives Bewertungsmodell zurück gegriffen. Als relatives Bewertungsmodell wird in diesem Zusammenhang ein Modell bezeichnet, das als Referenz nur die im Projektgebiet untersuchten Bedingungen heranzieht. Die Wahl dieses Bewertungsmodells erfolgte aufgrund fehlender rechtlicher Rahmenbedingungen: Für den Bodenschutz werden in Österreich keine Grenzwerte für den zulässigen Abtrag von Boden aus einer Fläche angegeben. Im Falle der Bewertung des Stickstoffhaushaltes ist die Konzentration von Nitrat im Grundwasser die entscheidende Größe. Eine Abschätzung der Nitratsituation im Grundwasserkörper des Untersuchungsgebietes würde aber den Rahmen dieses Projektes sprengen.

Hinsichtlich der Flächenabgrenzung, für welche die Bewertung erfolgt, unterscheiden sich die beiden Teile dieses Detailprojektes. Die Bewertung des Nitratreintrages ins Grundwasser erfolgt für die Schnittmenge aus einer Bodenform mit Bereichen einheitlicher Wetterparameter (THIESEN-Polygone) sowie mit Flächen zusammengefasster politischer Gemeinden, in welchen bestimmte Fruchtfolgen typisch sind. Eine auf diese Art verschnittene Fläche wird als homogene Einheit betrachtet. Im Fall der Bewertung des Erosionsrisikos stellt ein einzelner Schlag, dessen Boden als homogen angenommen wird, das Element für die Bewertung dar.

5.1 Bewertungsmodell für den Nitrataustrag ins Grundwasser

Für die Bewertung des Nitrataustrages in das Grundwasser wird der Parameter Nitratkonzentration im Perkulationswasser [mg/l] herangezogen. Für die Bewertung wird die vom Steuerungsausschuss im März 2000 festgelegte sechs-stufige Punkteskala verwendet. Die Klassengrenzen des relativen Bewertungsmodells ergeben sich aus der Situation im Untersuchungsgebiet. Neben der Nitratkonzentration im Perkulationswasser ist weiters die aktuelle Grundwasserbelastung durch Nitrat bzw. die Art und Menge der Grundwasserneubildung vorallem bei der Übertragung des Modells auf ein anderes Gebiet zu berücksichtigen.

Bewertungsschlüssel:

Die Ergebnisse der Simulation des Nitrataustrages im Untersuchungsgebiet werden wie folgt auf die Punkteskala umgelegt:

Tabelle 44: Bewertungsschlüssel Nitratkonzentration

Bewertung	Beschreibung
0	nicht landwirtschaftlich (ackerbaulich) genutzte Flächen (vorwiegend Wald, Siedlungen und Schottergruben)
Untergrenze	kein Nitrataustrag
1	lineare Aufteilung auf die einzelnen Klassen
2	
3	
4	
5	
Obergrenze	nach oben offen

Der Bereich des Nitrataustrages (in mg/l) für jede Stufe der Punkteskala wird aus der Spannweite der für das Untersuchungsgebiet abgeleiteten Werte bestimmt. Dabei maßgebend ist der Wert, welcher auf 95% der Flächen unterschritten wird; dieser Wert geteilt durch 5 ergibt die Klassenbreite. Die Klasse 5 wird nach oben hin nicht begrenzt, da vereinzelt sehr geringe Perkolationsmengen auftreten können, welche eine überdurchschnittlich hohe Nitratkonzentration bedingen.

Der dargestellte Schlüssel bezieht sich auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Projektgebiet Marchfeld und die dort existierenden Fruchtfolgen. Die mittlere jährliche Nitratkonzentration im Perkolationswasser bezogen auf 20 Jahre Simulationsdauer beträgt 40 mg/l, der maximale Austrag auf einer Fläche 490 mg/l. 95% der Flächen unterschreiten einen Wert von 130 mg/l. Die Klassenbreite wurde mit 25 mg/l festgesetzt.

Hieraus ergibt sich die Bewertungsskala nach Tabelle 45

Tabelle 45: Bewertungsskala Nitratkonzentration

Bewertung	Definition
1	$0 \leq x < 25$ [mg/l]
2	$25 \leq x < 50$ [mg/l]
3	$50 \leq x < 75$ [mg/l]
4	$75 \leq x < 100$ [mg/l]
5	≥ 100 [mg/l]

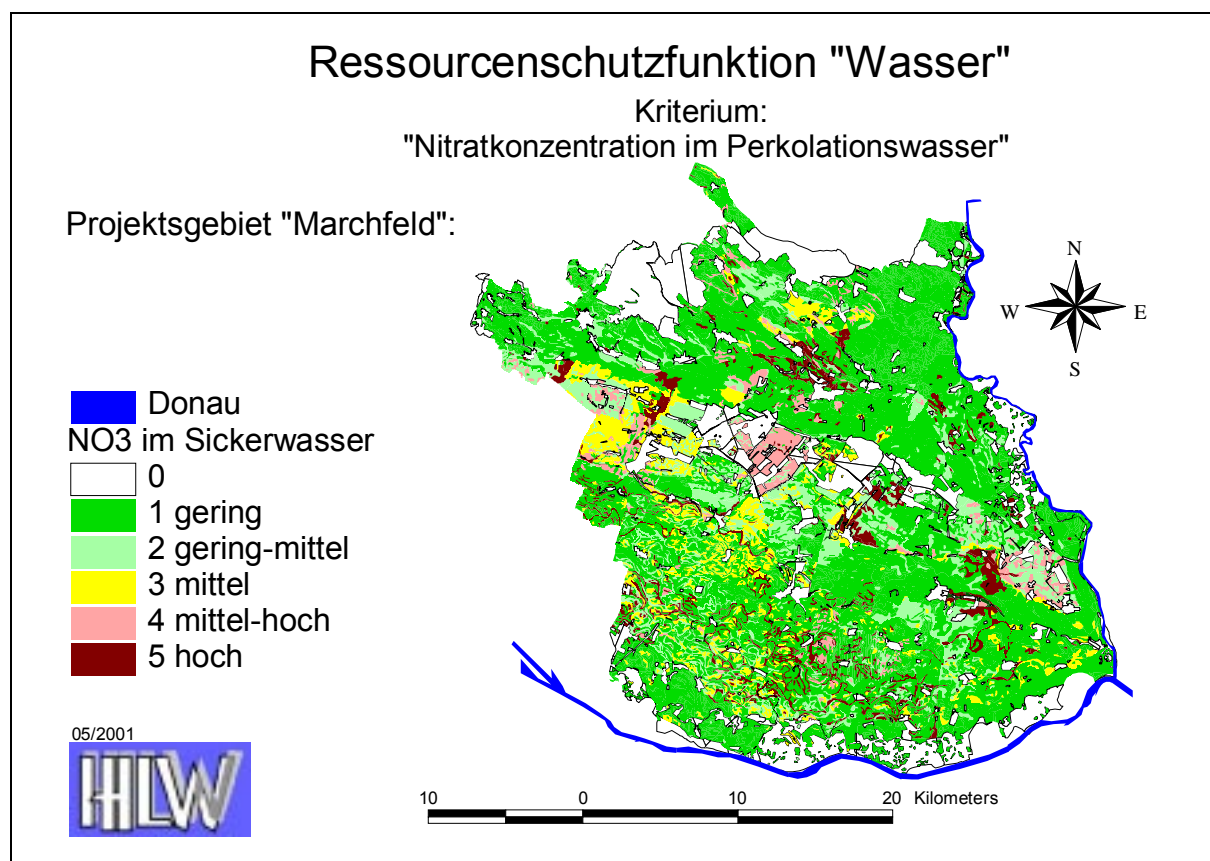


Abbildung 72: Bewertungsmodell für die Ressourcenschutzfunktion „Wasser“

5.2 Bewertungsmodell für die Winderosion

Für die Bewertung der Bodenerosion durch Wind wird der Bodenabtrag einer Fläche auf die Situation der Bodenerosion im Untersuchungsgebiet bezogen.

Bewertungsschlüssel

Die Ergebnisse der Simulation des Bodenabtrags im Untersuchungsgebiet werden wie folgt auf die Punkteskala umgelegt:

Tabelle 46: Bewertungsschlüssel Bodenabtrag durch Wind

Bewertung	Beschreibung
0	nicht landwirtschaftlich (ackerbaulich) genutzte Flächen (vorwiegend Wald, Siedlungen und Schottergruben)
Untergrenze	kein Bodenabtrag
1	quadratische Aufteilung auf die einzelnen Klassen
2	
3	
4	
5	
Obergrenze	maximaler Bodenabtrag

Der Bereich des Bodenverlustes (in $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$) für jede Stufe der Punkteskala wird aus der Spannweite der für das Untersuchungsgebiet abgeleiteten Bodenverluste bestimmt.

Für das Untersuchungsgebiet wurde ein mittlerer Bodenabtrag von $2,5\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ermittelt. Der maximale Abtrag auf einer Fläche beträgt $7,3\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ (für 98% der Fläche beträgt der Abtrag kleiner $5,0\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$). Die Klassengrenzen werden quadratisch ansteigend definiert, höherer Bodenabtrag bedingt höhere Streuung. Hieraus ergibt sich folgende Bewertungsskala (Tabelle 47):

Tabelle 47: Bewertungsskala Bodenabtrag durch Wind

Bewertung	Definition
1	$0,0 \leq \text{Abtrag} < 0,5\ [t\ ha^{-1}\ a^{-1}]$
2	$0,5 \leq \text{Abtrag} < 1,0\ [t\ ha^{-1}\ a^{-1}]$
3	$1,0 \leq \text{Abtrag} < 2,0\ [t\ ha^{-1}\ a^{-1}]$
4	$2,0 \leq \text{Abtrag} < 4,0\ [t\ ha^{-1}\ a^{-1}]$
5	$4,0 \leq \text{Abtrag} < 8,0\ [t\ ha^{-1}\ a^{-1}]$

Die Entscheidung für die Wahl eines relativen Bewertungsmodells beruht auf folgenden Überlegungen:

Aufgrund fehlender Messstellen konnte das Simulationsmodell nicht kalibriert werden. Die simulierten Bodenabträge geben daher nur die Größenordnung der Bodenerosion im Untersuchungsgebiet an und sollten somit nur für eine Bewertung des Bodenabtrages zwischen verschiedenen Flächen innerhalb des Untersuchungsgebietes herangezogen werden.

Für Österreich existiert kein gesetzlicher Grenzwert für die Bodenerosion. Daher ist die Beschreibung einer tolerierbaren Grenze, wie sie z.B. für ein absolutes Bewertungsmodell benötigt würde, problematisch.

Schlussbemerkung:

Das Ergebnis der Untersuchung mit Hilfe des Simulationsmodells (nach Übertragung in den Bewertungsschlüssel) kann als Bewertung des Erosionsrisikos einer Fläche im Vergleich zu Situation der Bodenerosion im Untersuchungsgebiet verstanden werden. Die Bedeutung des Problems

Bodenerosion für das Untersuchungsgebiet, besonders im Hinblick auf die Gewichtung im Verhältnis zu anderen Wirkungen, muss in einem zweiten Schritt erfolgen.

Der hier beschriebene Bewertungsschlüssel ersetzt keine endgültige Analyse der Situation der Bodenerosion im Untersuchungsgebiet!

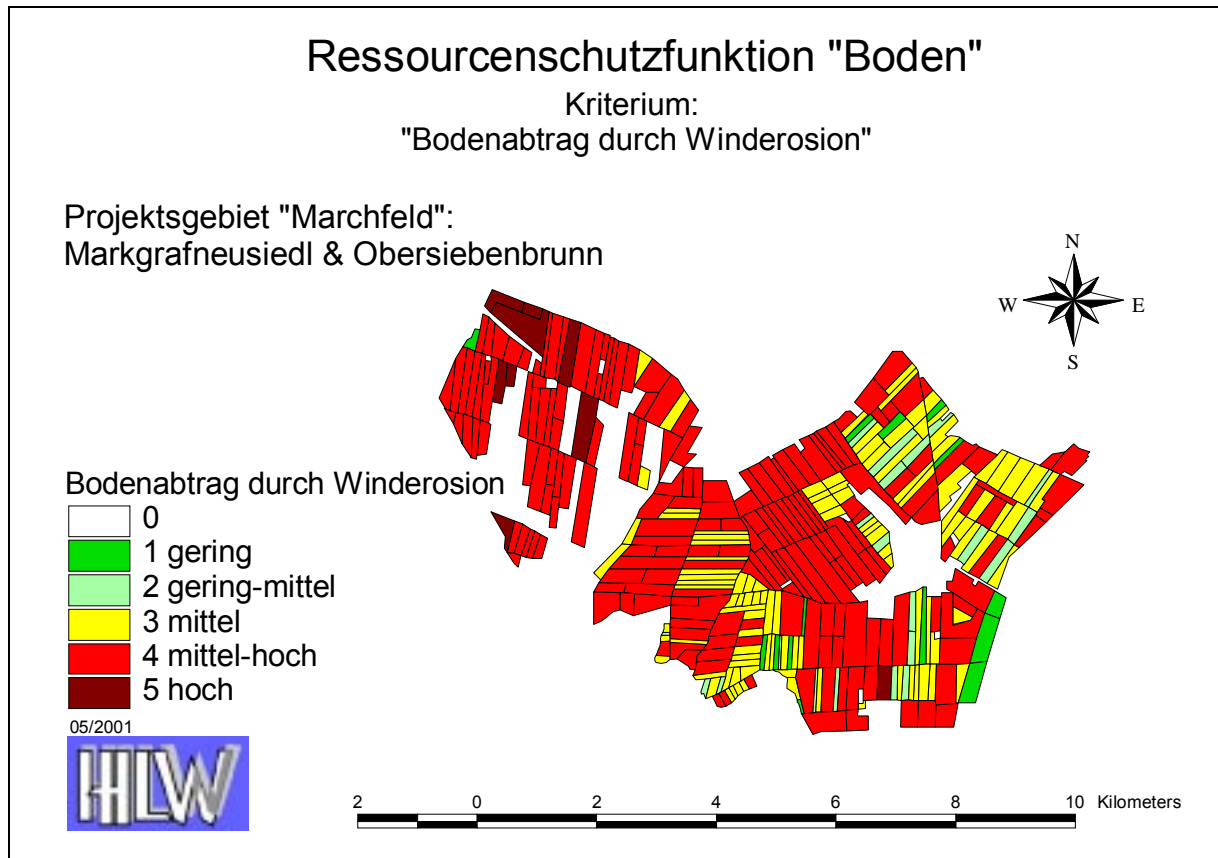


Abbildung 73: Bewertungsmodell für die Ressourcenschutzfunktion „Boden“

6 Schlussbemerkung

Die Untersuchung der Einflüsse der Landwirtschaft auf die Ressourcen Wasser und Boden machte die Entwicklung von Werkzeugen notwendig, welche in der Lage sind, verschiedene Auswirkungen von landwirtschaftlicher Nutzung zu berechnen und aufzuzeigen. Der Größe des Untersuchungsgebietes Rechnung tragend wurden Simulationsmodelle verwendet und innerhalb eines geografischen Informationssystems eingesetzt. Die Werkzeuge sind so konzipiert, dass eine Reihe verschiedener Maßnahmen untersucht und deren Auswirkungen aufgezeigt werden kann. Damit sind neben der Ist-Situation auch künftige Szenarien darstellbar.

Auf transnationaler Ebene war ein Bewertungssystem zur Evaluation von Flächen zu entwickeln. Der Fachbereich der Wasserwirtschaft beschränkte sich dabei aus wirtschaftlichen Gründen auf die Teilbereiche Ressourcenschutz Wasser und Boden, wobei Bewertungsschlüssel für den Nitratgehalt des Sickerwassers sowie für den Bodenabtrag durch Winderosion erstellt wurden.

Literaturverzeichnis

ALLMARAS R.R., BURWELL R.E., LARSON W.E., HOLT R.F. (1966): Total porosity and random roughness of interrow zone as influenced by tillage. USDA Conser. Res. 7. U.S. Gov. Print. Office, Washington D. C.

ARMBRUST D.V., LYLES L. (1985): Equivalent Wind-Erosion Protection from Selected Growing Crops. *Agronomy Journal*, 77:703-707

BAUMER O.W. (1989): Predicting Unsaturated Hydraulic Parameters. In: van GENUCHTEN M.Th., LEIJ F.J.. *Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, October 11-13, Riverside, California.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT: Hydrographisches Jahrbuch. Hydrographisches Zentralbüro 1982 – 1996, Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT: Österreichische Bodenkartierung. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.

CHEPIL W.S. (1942): Measurement of wind erosiveness of soils by the dry sieving procedure. *Scientific Agriculture*, 25, 154-160.

CHEPIL W.S., WOODRUFF N.P. (1963): The physics of wind erosion and its control. *Advances in Agronomy*, 15:211-302

DOBESCH H., NEUWIRT F. (1982): Wind in Niederösterreich, insbesondere im Wiener Becken und Donautal. *Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik / Heft 54*

FRYREAR et al. (1998): Revised Wind Erosion Equation. *USDA / Wind Erosion and Water Conservation Research Unit - Technical Bulletin No. 1*

GENUCHTEN M.T. van (1992): Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils*, October 11-13 1989, Riverside, Univ. of California.

HAGEN L.J. (1991): A Wind erosion prediction system to meet users need. *Journal of Soil and Water Conservation* 46. 2: 105-111

HEISLER G.M., DE WALLE D.R. (1988): Effects of windbreak structure on flow. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23: 41-69 (Enthalten in: BRANDLE J.R. et. al. 1988, Windbreak technology, Elsevier)

KEULEN H. van, SELIGMAN N.G. (1987): Simulation of water use, nitrogen nutrition and growth of a spring wheat crop. Verlag Pudoc, Wageningen.

LETTAU K., LETTAU H. (1978): Exploring the world's driest climate. Center for Climatic Research, Univ. Wisconsin, Madison.

NEUDORFER W. (1981): Berechnungstechnische Erhebungen im Gemeindegebiet Lassees als Grundlage für eine Umstellung der Marchfeldbewässerung, rechts vom Stempfelbach. Dipl.-Arb., Univ. für Bodenkultur, Wien.

NRCS, National Soil Survey Handbook <http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssh/>

- NRCS - National Resources Inventory 1997, Introduction for collection 1997 National Resource Inventory Data, <http://www.ncg.nrcs.usda.gov/NRI/1997>
- NRCS 1999, National Agronomy Manual, Titel 190, Draft!
- PHILLIP M. (2000): Untersuchung der räumlichen Varianz von Bodenkenwerten in Groß-Enzersdorf. Dipl.-Arb., Univ. für Bodenkultur, Wien.
- SAXTON K., STETLER L., CHANDLER D. (1999): Simultaneous Wind Erosion and PM10 Fluxes. <http://www.cahe.wsu.edu> (Proceeding Wind Erosion: An International Symposium / Workshop, WERU 1999)
- SHARPLEY A.N., WILLIAMS J.R. (eds) (1990): *EPIC-erosion/productivity impact calculator, model documentation*. US Dep Agric Tech Bull 1768
- SKIDMORE E.L. (1994): Wind Erosion. Kapitel 11 von R. LAL 1994 (Editor), Soil Erosion Research Methods (2. Auflage), Soil and Water Conservation Society
- TIBKE G. (1988): Basic Principles of Wind Erosion Control. *Agric. Ecosystems Environ.*, 22/23: 103-122
- WIESBAUER H., MAZZUCCO C. (1997): Dünen in Niederösterreich. *Fachberichte des NÖ Landschaftsfonds*; 6. Amt d. NÖ Landesregierung, Naturschutzabt., St. Pölten
- WILLIAMS J.R. (1986): Effect of erosion productivity EPIC water erosion model. *Proc. Fourth Fed. Interagency Sediment. Conf.* Vol. 2 6/1-6/8
- WILLIAMS J.R., JONES C.A., DYKE P.T. (1984): A Modeling Approach to Determine the Relationship Between Erosion and Soil Productivity. *Transaction of the ASAE*, 27(1): 129-144
- WOODRUFF N.P., SIDDOWAY F.H. (1965): A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Journal*, 29: 602-608

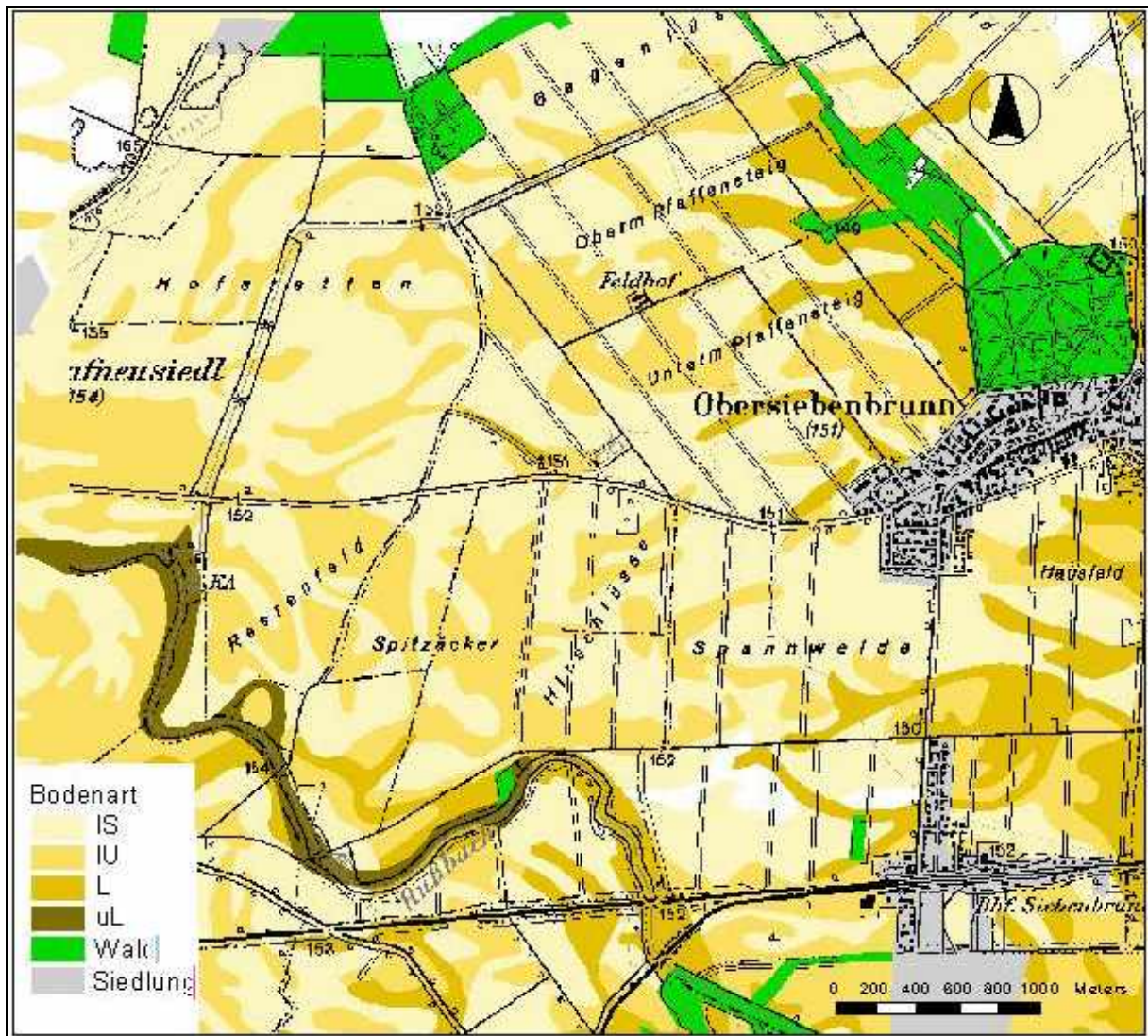
Anhang A

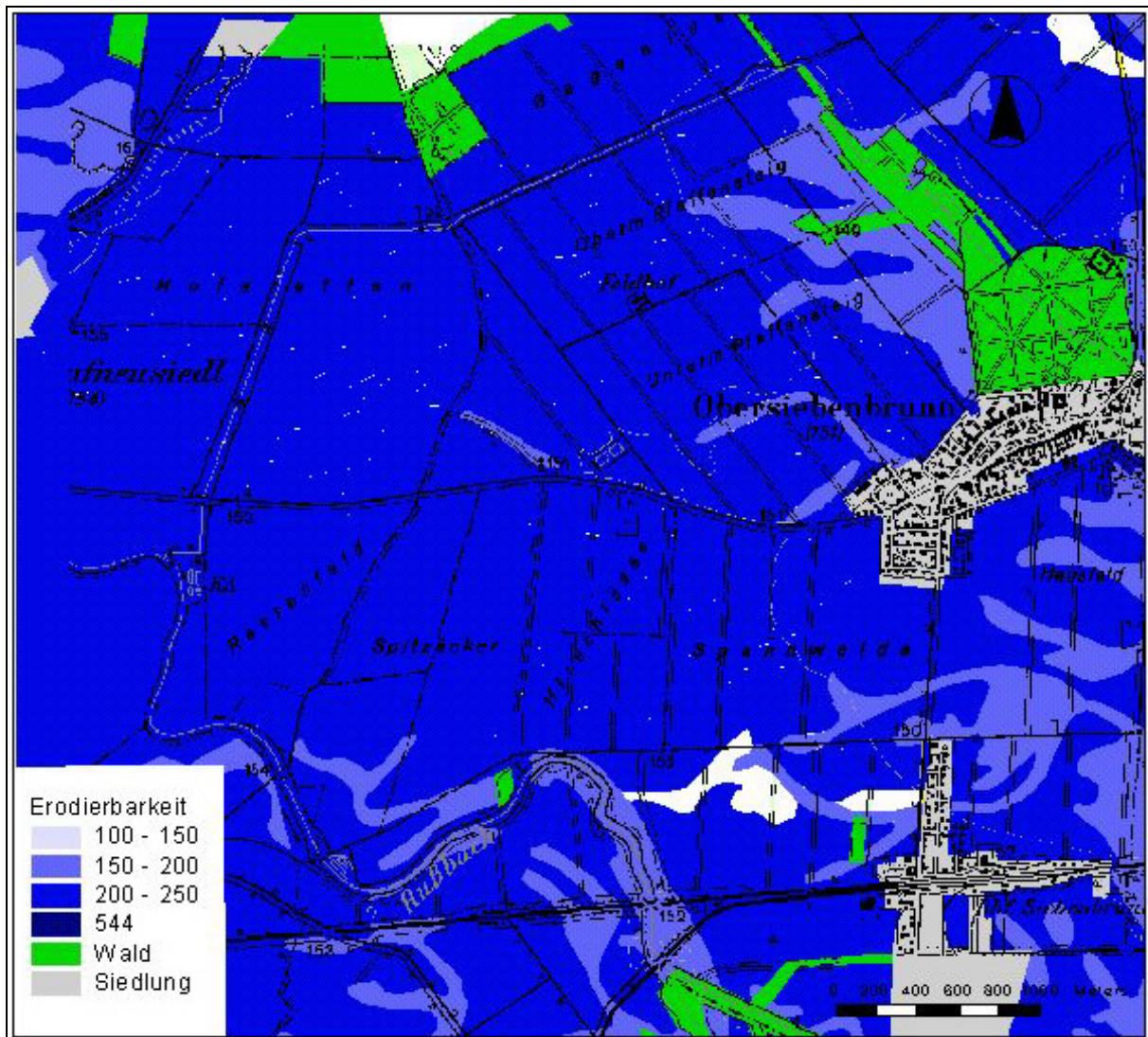
A1 Verzeichnis der Abkürzungen zu den einzelnen Fruchtarten

DURU:	Durumweizen
GRER:	Grünerbse
HIRS	Hirse
KARO:	Karotte
KART:	Kartoffel
KOER:	Körnererbse
KOMA:	Körnermais
SOBL:	Sonnenblume
SOGE:	Sommergerste
SOJA:	Sojabohne
SPIN:	Spinat
WIGE:	Wintergerste
WIRA:	Winterraps
WIWE:	Winterweizen
ZURU:	Zuckerrübe
ZWIE:	Zwiebel
ZWBE:	Zwischenbegrünung

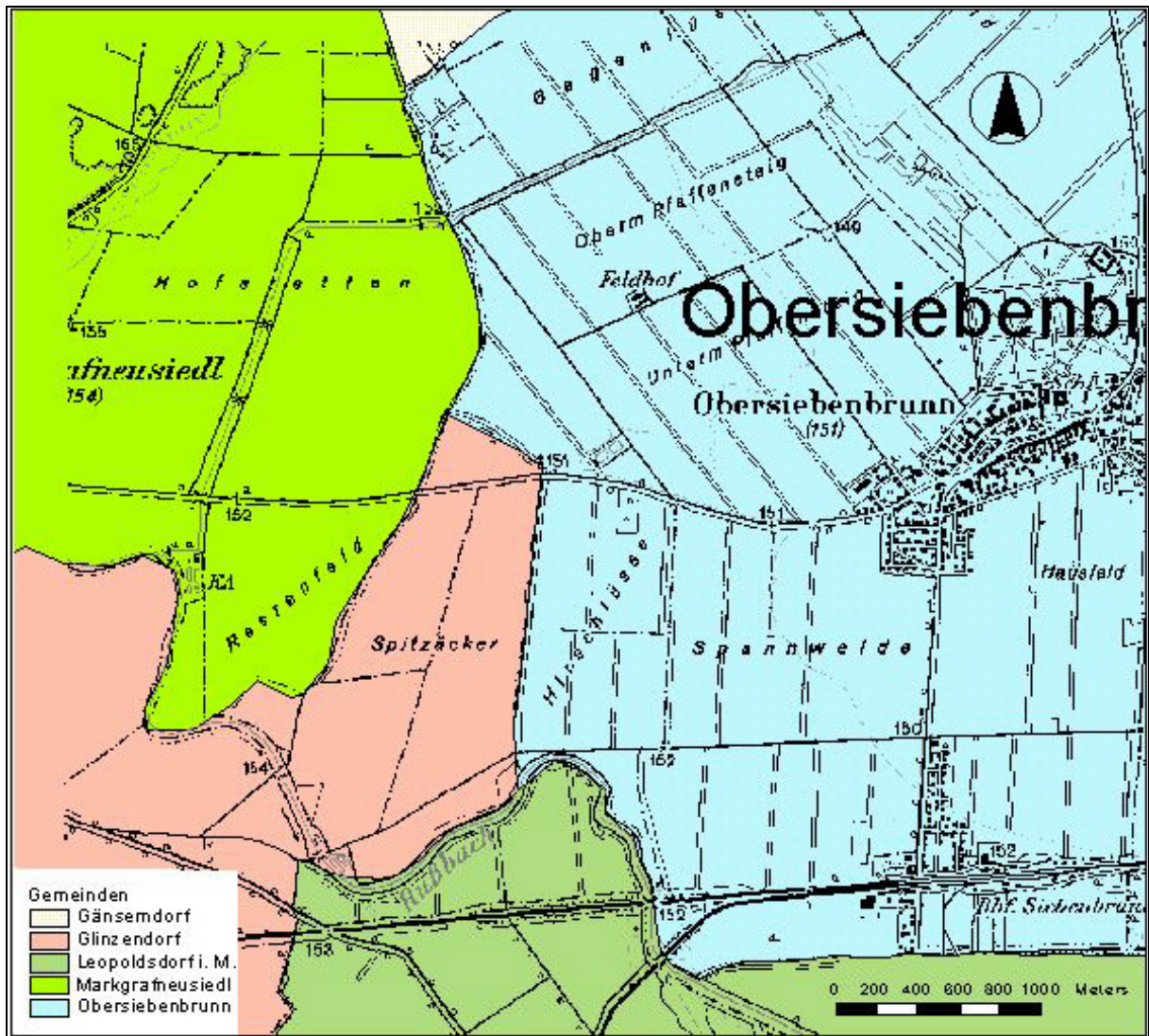
Anhang B

B1-6 Beispiele für Datenlayer

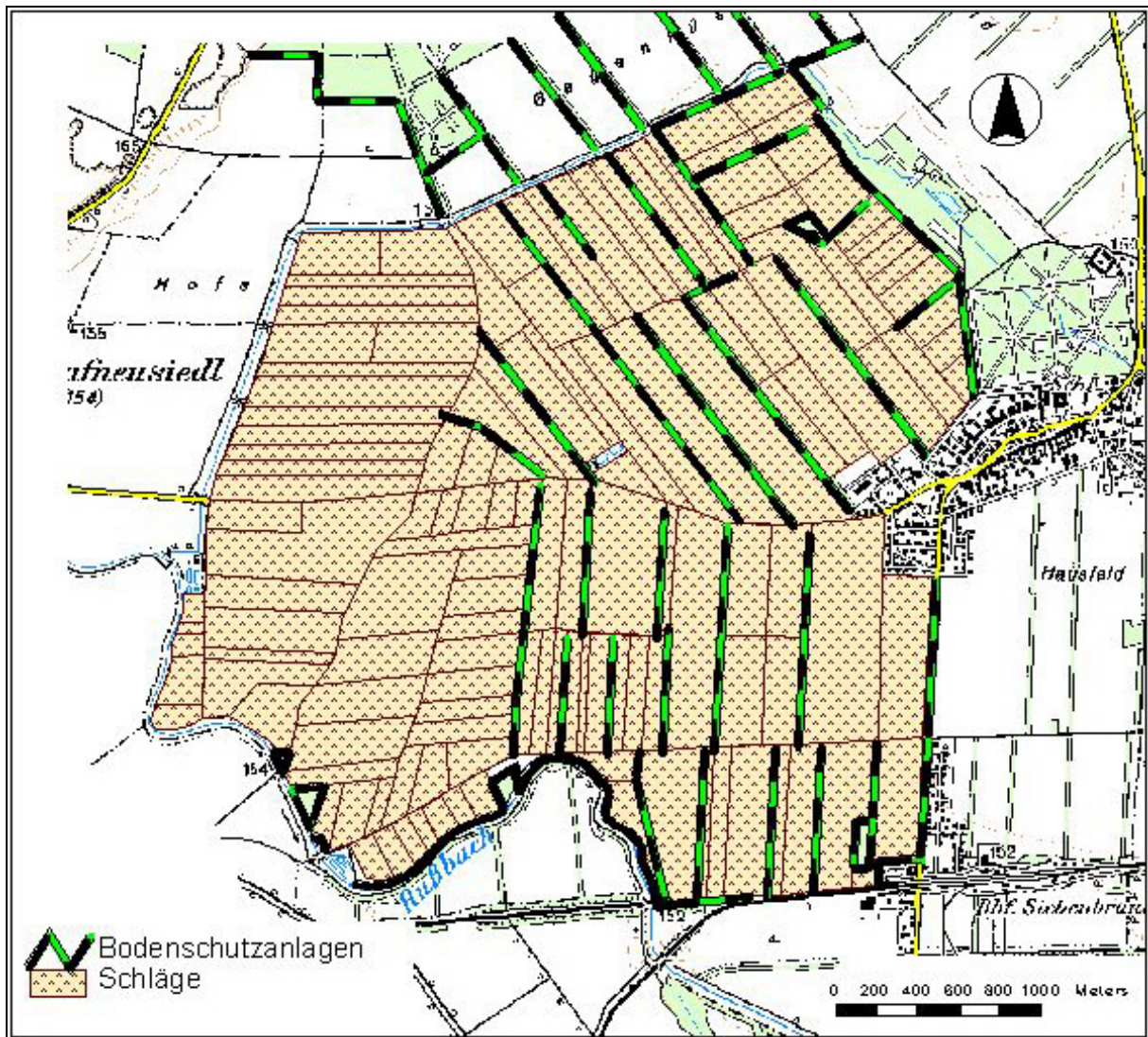
B1 Bodenkarte mit Darstellung der Bodenart für das Beispielsgebiet

B2 Bodenkarte mit Darstellung der Erodierbarkeit für das Beispielsgebiet

B3 Gemeinde – Fruchtfolge Zuordnung für das Beispielsgebiet



B4 Geometrie der Schläge und Bodenschutzanlagen für das Beispielsgebiet



B5 Meteorologische Stationen und deren zugeordnete Thiessen-Polygone



B6 Karte des simulierten Bodenabtrages für das Beispielsgebiet