



Nachwachsende Rohstoffe

Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz



Erfassung und Bewertung der im Zusammenhang mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe stehenden Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz sowie Ableitung von Maßnahmen für eine gewässerschutzverträgliche Realisierung und Entwicklung des künftigen Anbaues nachwachsender Rohstoffe in Sachsen

Dr. Micha Gebel, Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR
Dr. Stefan Halbfaß, Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR
Stephan Bürger, Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR
Dr. habil. Karsten Grunewald, LFZ e.V./Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.
PD Dr. Carsten Lorz, TU Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	9
1.1	Aufgaben- und Zielstellung	9
1.2	Stand der Forschung	11
1.3	Stoffstromanalysen und Modellierungswerkzeuge	13
2	Material und Methoden	14
2.1	Vorgehensweise	14
2.2	Modelltechnologie	16
2.3	Modellierungsebenen und räumliche Auswertungsebenen	16
3	Modellanpassungen	18
3.1	Entwicklung Ackerfläche	18
3.2	Entwicklung Grünlandfläche	18
3.3	Waldmehrung	18
3.4	Ertragsentwicklung auf der Ackerfläche	19
3.5	Anpassung der Mineraldüngung an die Ertragsentwicklung	19
3.6	Entwicklung des Anteils von Stilllegungsflächen an der Ackerfläche	19
3.7	Maximaler Flächenanteil Raps bzw. Silomais	19
3.8	Anteile nachwachsende Rohstoffe / Nahrungs- und Futtermittel	20
3.8.1	Ist-Zustand 2005	20
3.8.2	Szenario 1 - 2020	20
3.8.3	Szenario 2 – 2020	22
3.9	Bewirtschaftungsparameter für den NR-Bereich	23
3.10	Einbeziehung Gärreste	23
3.11	Anpassungen Wasserbilanz	24
3.12	Vorgehen zur Abschätzung des PSM-Status 2005 / 2020	24
4	Ergebnisse	28
4.1	Wasserhaushalt	28
4.1.1	Ist-Zustand 2005	28
4.1.2	Szenario 1 - 2020	30
4.1.3	Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	32
4.1.4	Szenario 2 – 2020	32
4.1.5	Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	34
4.2	Bodenabtrag und Sedimenteintrag	38
4.2.1	Ist-Zustand 2005	38
4.2.2	Szenario 1 – 2020	40
4.2.3	Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	42
4.2.4	Szenario 2 – 2020	45
4.2.5	Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	47
4.3	P-Bilanz	51
4.3.1	Ist-Zustand 2005	51
4.3.2	Szenario 1 - 2020	53
4.3.3	Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	56
4.3.4	Szenario 2 – 2020	59
4.3.5	Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	62
4.4	N-Bilanz	68
4.4.1	Ist-Zustand 2005	68
4.4.2	Szenario 1 – 2020	70
4.4.3	Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	73
4.4.4	Szenario 2 – 2020	77

4.4.5	Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005	79
4.5	Pflanzenschutzmittel	85
4.5.1	Ist-Zustand 2005	85
4.5.2	Szenario 1 – 2020	89
4.5.3	Differenzenbetrachtung	89
5	Diskussion und Bewertung	92
5.1	Veränderungen im Fruchtartenspektrum	92
5.2	Veränderungen in der Wasserbilanz	95
5.3	Veränderungen im Bodenabtrag und Sedimenteintrag	96
5.4	Veränderungen in der P-Bilanz	98
5.5	Veränderungen in der N-Bilanz	98
5.6	Veränderungen beim Einsatz von PSM	100
6	Maßnahmenempfehlungen	103
6.1	Vorbemerkungen	103
6.2	Szenario 1 - 2020	103
6.3	Szenario 2 - 2020	104
6.4	Synthese	104
7	Zusammenfassung und Ausblick	106
8	Literaturverzeichnis	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematisierte Lösungsstrategie im Projekt.....	11
Abbildung 2:	Schema der N-Bilanz auf Ackerflächen.....	15
Abbildung 3:	Landwirtschaftliche Wirtschaftsgebiete und Vergleichsgebiete in Sachsen.....	17
Abbildung 4:	Prozentuale Anteile von KUP auf Ackerflächen für Szenario 2 – 2020 (LVG-Grenzen in weiß).....	22
Abbildung 5:	Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	28
Abbildung 6:	Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	31
Abbildung 7:	Differenzkarte für den Gesamtabfluss (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	32
Abbildung 8:	Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Szenario 2 - 2020).....	33
Abbildung 9:	Differenzkarte für den Gesamtabfluss (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	35
Abbildung 10:	Modellierte Beträge des Rückgangs von Gesamtabfluss und Basisabfluss auf Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020.....	37
Abbildung 11:	Modellierte Gesamtabflüsse und Basisabflüsse auf Ackerflächen 2020 (Szenario 2) als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005.....	37
Abbildung 12:	Modellierte Bodenabträge (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	38
Abbildung 13:	Modellierte Sedimenteinträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	39
Abbildung 14:	Modellierte Bodenabträge (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	41
Abbildung 15:	Modellierte Sedimenteinträge für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	41
Abbildung 16:	Differenzkarte für den Bodenabtrag (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	43
Abbildung 17:	Differenzkarte für den Sedimenteintrag (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	43
Abbildung 18:	Modellierte Beträge des Rückgangs von Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 - 2020.....	45
Abbildung 19:	Modellierter Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen für Szenario 1 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005.....	45
Abbildung 20:	Modellierte Bodenabträge (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Szenario 2 – 2020).....	46
Abbildung 21:	Modellierte Sedimenteinträge für Sachsen (Szenario 2 - 2020).....	46
Abbildung 22:	Differenzkarte für den Bodenabtrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	48
Abbildung 23:	Differenzkarte für den Sedimenteintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	48
Abbildung 24:	Modellierte Beträge des Rückgangs von Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020.....	50
Abbildung 25:	Modellierter Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005.....	50
Abbildung 26:	Modellierte partikelgebundene P-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	51
Abbildung 27:	Modellierte gelöste P-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	52
Abbildung 28:	Modellierte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	52
Abbildung 29:	Modellierte partikelgebundene P-Einträge für Sachsen (Szenario 1 – 2020).....	54
Abbildung 30:	Modellierte gelöste P-Einträge für Sachsen (Szenario 1 – 2020).....	54
Abbildung 31:	Modellierte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	55
Abbildung 32:	Differenzkarte für den partikelgebundenen P-Eintrag (Acker, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	57
Abbildung 33:	Differenzkarte für den gelösten P-Eintrag (Acker, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	57
Abbildung 34:	Modellierte Beträge des Rückgangs des partikelgebundenen P-Eintrags von Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 – 2020.....	59
Abbildung 35:	Modellierter partikelgebundener P-Eintrag von Ackerflächen für Szenario 1 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005.....	59
Abbildung 36:	Modellierte partikelgebundene P-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020).....	60
Abbildung 37:	Modellierte gelöste P-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020).....	60
Abbildung 38:	Modellierte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 2 - 2020).....	61
Abbildung 39:	Differenzkarte für den partikelgebundenen P-Eintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	63

Abbildung 40:	Differenzkarte für den gelösten P-Eintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	63
Abbildung 41:	Modellierte Beträge des Rückgangs des partikelgebundenen P-Eintrags von Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020.....	65
Abbildung 42:	Modellierter partikelgebundener P-Eintrag von Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005	65
Abbildung 43:	Vergleich von gemessenen und modellierten Immissionen im Fließgewässer (Ist-Zustand 2005).....	66
Abbildung 44:	Modellierte N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Ist-Zustand 2005).....	68
Abbildung 45:	Modellierte gelöste N-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005)	69
Abbildung 46:	Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Ist-Zustand 2005)	69
Abbildung 47:	Modellierte N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Szenario 1 – 2020)	71
Abbildung 48:	Modellierte gelöste N-Einträge für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	71
Abbildung 49:	Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 1 - 2020).....	72
Abbildung 50:	Differenzkarte für den N-Austrag aus der Bodenzone (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	74
Abbildung 51:	Differenzkarte für den gesamten N-Eintrag aus diffusen Quellen (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	74
Abbildung 52:	Modellierte Beträge des Rückgangs von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag von Ackerflächen aus diffusen Quellen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 - 2020.....	76
Abbildung 53:	Modellierte N-Austräge, gelöste N-Einträge und N-Gesamteinträge aus diffusen Quellen von Ackerflächen 2020 als Prozentwert zu 2005	76
Abbildung 54:	Modellierte N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Szenario 2 – 2020)	77
Abbildung 55:	Modellierte gelöste N-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020).....	78
Abbildung 56:	Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 2 - 2020).....	78
Abbildung 57:	Differenzkarte für den N-Austrag aus der Bodenzone (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	80
Abbildung 58:	Differenzkarte für den gesamten N-Eintrag aus diffusen Quellen (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	80
Abbildung 59:	Modellierte Beträge des Rückgangs von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag von Ackerflächen aus diffusen Quellen von 2005 zu Szenario 2 – 2020.....	82
Abbildung 60:	Modellierte N-Austräge, gelöste N-Einträge und N-Gesamteinträge aus diffusen Quellen von Ackerflächen 2020 als Prozentwert zu 2005	82
Abbildung 61:	Vergleich von gemessenen und modellierten Immissionen im Fließgewässer (Ist-Zustand 2005).....	83
Abbildung 62:	Normierte Behandlungsindizes für Sachsen (Ist-Zustand 2005)	88
Abbildung 63:	Normierte Behandlungsindizes für Sachsen (Szenario 1 - 2020)	89
Abbildung 64:	Differenzkarte für den normierten Behandlungsindex (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	90
Abbildung 65:	Fruchtartengruppenverteilung für Ist-Zustand 2005 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food)	92
Abbildung 66:	Fruchtartengruppenverteilung für Szenario 1 - 2020 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food).....	92
Abbildung 67:	Fruchtartenverteilungsdifferenzen von Szenario 1 – 2020 zu 2005 (sächsisches Mittel)	93
Abbildung 68:	Fruchtartengruppenverteilung für Szenario 2 - 2020 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food).....	93
Abbildung 69:	Fruchtartenverteilungsdifferenzen von Szenario 2 – 2020 zu 2005 (sächsisches Mittel)	94
Abbildung 70:	Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Basisabflüsse im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020	95
Abbildung 71:	Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Gesamtabflüsse im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020	96
Abbildung 72:	Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Bodenabträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020	97
Abbildung 73:	Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Sedimenteinträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020	97
Abbildung 74:	Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten partikelgebundenen P-Einträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020	98

Abbildung 75: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten diffusen N-Gesamteinträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020	99
Abbildung 76: Vergleich von modellierter Mobilisierung und Immobilisierung von Stickstoff für den Ist-Zustand 2005.....	99
Abbildung 77: Vergleich von modellierter Mobilisierung und Immobilisierung von Stickstoff für Szenario 1 - 2020	100
Abbildung 78: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten NBI im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der Anbaufläche für Ackerkulturen in Sachsen (Quelle: StaLa).....	18
Tabelle 2: Ertragsentwicklung für ausgewählte Ackerkulturen in Sachsen (LfJULG 2009/1).....	19
Tabelle 3: Fruchtarten mit NR-Anbau und Prozentanteile an der Ackerfläche für 2005, gemittelt für Sachsen	20
Tabelle 4: Fruchtarten mit NR-Anbau und Prozentanteile an der Ackerfläche für 2020 für Sachsen	21
Tabelle 5: ERA (Erhebungsregionen Ackerbau) und zugewiesene LVG in Sachsen (nach Roßberg et al. 2007)	25
Tabelle 6: Behandlungsindices von Pflanzenschutzmitteln in Ackerkulturen in den Vergleichsbetrieben in Deutschland und einzelnen für Sachsen relevanten Erhebungsregionen Ackerbau (ERA), Bezugsjahr 2007 (nach Freier et al. 2008 und Roßberg et al. 2008)	26
Tabelle 7: Annahme der Änderungen der normierten Behandlungsindices aller Pflanzenschutzmaßnahmen beim Anbau zur Energiegewinnung im Vergleich zum Anbau der Kultur für Nahrungs- oder Futtermittelzwecke.....	27
Tabelle 8: Mittlere modellierte Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete auf Ackerflächen [mm/a] (Ist-Zustand 2005).....	29
Tabelle 9: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung des Gesamtabflusses und Basisabflusses in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [mm/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005)	30
Tabelle 10: Mittlere Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 – 2020)	31
Tabelle 11: Mittlere Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020)	33
Tabelle 12: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung des Gesamtabflusses in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020)	34
Tabelle 13: Modellierte Differenzen der Gesamtabflüsse und Basisabflüsse [mm/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005).....	36
Tabelle 14: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005)	40
Tabelle 15: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020)	42
Tabelle 16: Modellierte Differenzen von C-Faktor, Bodenabtrag [kg/ha/a] und Sedimenteintrag [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	44
Tabelle 17: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020)	47
Tabelle 18: Modellierte Differenzen von C-Faktor, Bodenabtrag [kg/ha/a] und Sedimenteintrag [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)	49
Tabelle 19: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (2005)	53
Tabelle 20: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020)	56
Tabelle 21: Modellierte Differenzen von partikelgebundenen und gelösten P-Einträgen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)	58
Tabelle 22: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020)	62

Tabelle 23:	Modellierte Differenzen von partikelgebundenen und gelösten P-Einträgen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)	64
Tabelle 24:	Ein- und Austragsfrachten von Phosphor in den sächsischen Gebietsteilen der FGE Elbe und FGE Oder (Ist-Zustand 2005, Szenario 1 – 2020, Szenario 2 – 2020)	67
Tabelle 25:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und diffusem Gesamteintrag in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005).....	70
Tabelle 26:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020) ...	73
Tabelle 27:	Modellierte Differenzen von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)	75
Tabelle 28:	Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020) ...	79
Tabelle 29:	Modellierte Differenzen von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)	81
Tabelle 30:	Ein- und Austragsfrachten von Stickstoff in den sächsischen Gebietsteilen der FGE Elbe und FGE Oder (Ist-Zustand 2005, Szenario 1 – 2020, Szenario 2 – 2020)	84
Tabelle 31:	PSM-Wirkstoffe mit UQN-Überschreitung in sächsischen Gewässern und aktuellem Bezug zu landwirtschaftlichen Anwendungen im Ackerbau (zugelassenes PSM, Stand 2010, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2010).....	87
Tabelle 32:	Einsatzstrategie zu Unkraut/Ungräsern bei KUP (Quelle: Röhricht 2009).....	88
Tabelle 33:	Modellierte Indexwerte (Ist-Zustand 2005 und Szenario 1 – 2020) und Differenzen für den normierten Behandlungsindex in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen.....	91

1 Einführung

1.1 Aufgaben- und Zielstellung

Hintergrund der vorliegenden Studie ist das Bestreben des Freistaates Sachsen, den Anteil Biomasse am Endenergieverbrauch bei Strom und Wärme bis 2020 von gegenwärtig 3,48% auf bis zu 10% zu erhöhen (SMUL 2007). Den Anforderungen des Umwelt- und Ressourcenschutzes im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung soll im Rahmen der beabsichtigten Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger dabei besonders Rechnung getragen werden (SMUL 2007).

Hierbei stellt sich vor allem die Frage

- welche Produktlinien mittel- oder langfristig eine nachhaltige Nutzung ermöglichen,
- welche Produktlinien eine positive und damit förderwürdige Energie- und Treibhausgasbilanz ermöglichen und
- welche Anbauverfahren und Produktlinien einen nachhaltigen Boden-, Gewässer-, Natur- und Immissionsschutz gewährleisten (LfUG 2007, Dworak et al. 2008, Nitsch et al. 2008).

Vor diesem Hintergrund wurde vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) das Verbundvorhaben „Untersuchung der Umweltaspekte der für Sachsen relevanten Produktlinien für die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ initiiert. Ziel ist dabei die Erfassung und Bewertung der Begleitfolgen der derzeit in Sachsen angewandten und künftig zu erwartenden Produktlinien nachwachsender Rohstoffe (NR) auf Natur und Umwelt. Projekt 2 dieses Verbundprojektes widmet sich der „Ermittlung und Optimierung der mit dem Anbau und der Verwendung von Nachwachsenden Rohstoffen in Zusammenhang stehenden Umweltaspekte im Landes- und regional differenzierten Maßstab mit anschließender Ableitung von Schlussfolgerungen“. Projekt 2 gliedert sich wiederum in die folgenden Teilprojekte:

2.1: Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen.

2.2: Erfassung und Bewertung der im Zusammenhang mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe stehenden Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz sowie Ableitung von Maßnahmen für eine gewässerschutzverträgliche Realisierung und Entwicklung des künftigen Anbaues nachwachsender Rohstoffe.

2.3: Ermittlung von im Zusammenhang mit dem NaWaRo-Anbau stehenden Treibhausgasemissionen – Ist-Stand und Prognose.

Im Rahmen des Teilprojektes 2.2 wurden folgende Aspekte als Teilleistungen hinsichtlich möglicher großräumiger Erweiterungen des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen in Sachsen näher untersucht und deren Auswirkungen und Konfliktpotenziale im Bereich Wasserhaushalt und Gewässerschutz quantifiziert:

- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Wasserhaushalt, insbesondere auf Abfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung.
- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Eintrag der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor in die sächsischen Grund- und Oberflächenwasserkörper sowie in die Küstengewässer von Nord- und Ostsee.
- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwasserkörper.

Die Beauftragung des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens (Teilprojekt 2.2) erging an die Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR in Kooperation mit der TU Dresden und dem Landschaftsforschungszentrum (LFZ) e.V. unter Projektleitung der GALF bR. Die genannten Untersuchungen und Quantifizierungen wurden modellgestützt und auf Basis von Expertenwissen durchgeführt. Für die Wirkungsabschätzungen auf die Emissionen und Immissionen von Komponenten der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor erfolgte dies auf der Grundlage des Web GIS-basierten sächsischen

Nährstoffbilanzierungsmodells „STOFFBILANZ“. Dieses bereits im Rahmen der Realisierung des Projektes „Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ (Halbfaß et al. 2009) erfolgreich eingesetzte und systematisch weiter entwickelte integrative Wasserhaushalts- und Stoffbilanzierungsmodell ist für den im Teilprojekt 2.2. vorgesehenen Einsatz in den mittleren regionalen Maßstabsebenen ideal geeignet und repräsentiert gleichzeitig einen bereits erreichten hohen fachlichen Stand von Wissenschaft und Technik.

Insgesamt wurden zwei verschiedene Szenarien¹ möglicher Entwicklungen der Flächennutzungssituation in Bezug auf Produktion und Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen / Biomasse in Sachsen mit Prognosezeitpunkt Jahr 2020 hinsichtlich der jeweiligen zu erwartenden Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz betrachtet:

Szenario 1 - Optimale Ausschöpfung der Potenziale an nachwachsenden Rohstoffen/ Biomasse unter Betrachtung aktueller Rahmenseetzungen der Landwirtschaft.

Grundlage für die Datenbasis ist die Potenzialstudie des SMUL (2007), untersetzt durch tiefer gehende regionale Abschätzungen.

Szenario 2 - Optimale Ausschöpfung der Biomassepotenziale unter Beachtung der Synergiewirkung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerflächen mit der Förderung des Natur- und Bodenschutzes.

Grundlage für die Datenbasis sind die Ergebnisse des Teilprojektes 2.1 – Natur- und Bodenschutz, insbesondere die Anbaukulisse KUP.

Die Ableitung geeigneter sächsischer Gebietskulissen für die Nutzung von Ackerflächen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen für die jeweiligen Bezugszeiträume und Szenarien erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber (u.a. Referat 71 und 72 des LfULG) sowie Teilprojekt 2.1, welche hierfür die entsprechende Gebietskulisse bereitstellten. Die Szenarien wurden durch den Forschungsnehmer des Teilprojektes 2.2 – Wasserhaushalt und Gewässerschutz - für die Szenarioanalysen in eine geeignete modelltechnische Datenumgebung übertragen. Eine ausführliche Beschreibung der Szenariorandbedingungen findet sich in Kapitel 3.

Als technologische und methodische Basis konnten die inzwischen flächendeckend für das Gebiet des Freistaates Sachsen ermittelten Ergebnisse des fortgeschriebenen Projektes „Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ (www.viewer.stoffbilanz.de) genutzt werden. Um einen direkten Vergleich von Ist-Zustand und Szenarien zu gewährleisten, war zuvor die Aktualisierung der Ist-Zustandsbetrachtung (Zeitraum 2005) unter Berücksichtigung einer Differenzierung des Nahrungs-/Futtermittelanbaus und des Anbaus nachwachsender Rohstoffe für die ackerbauliche Seite notwendig.

Die Szenarioergebnisse wurden den Ergebnissen für den Ist-Zustand im Vergleich gegenübergestellt und daraus geeignete fachliche Auswertungen und Schlussfolgerungen abgeleitet.

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Arbeitsschritte geleistet:

- Szenariobeschreibung, Datenaufbereitung /-integration, Ableitung und Einstellung von Bewirtschaftungsparametern in Abstimmung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung
 - regionsspezifischer Anbaukulissen und Bewirtschaftungspraktiken,
 - erweiterter Fruchtartenspektren / Fruchtfolgengestaltung (einschließlich KUP),
 - modifizierter Ertrags- und Düngereinträge,
 - der Ausbringung von Gärresten,
 - modifizierter Entzugswerte durch Ganzpflanzenentnahme,
 - modifizierter N-An- bzw. Abreicherung im Humus,
 - modifizierter PSM-Aufwendungen,
 - Anpassung von Datenbank-/Modelloberfläche und Viewer unter Berücksichtigung der obigen Punkte,
- Durchführung der Modellierungsarbeiten,

¹ Die Erstellung von Szenarien ist eine von mehreren möglichen Herangehensweisen zur Untersuchung zukünftiger Entwicklungen, die zuerst von Militärstrategen entwickelt und später auch im Unternehmensbereich eingesetzt worden sind. Szenarien bieten das methodische Werkzeug, um sich mit unsicheren Entwicklungen und ihren Folgen auseinander zu setzen. Im Gegensatz zu einer Prognose ist ein Szenario keine Vorhersage und nicht mit einer Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit verbunden, sondern es stellt eine unter definierten Bedingungen absehbare Entwicklungsmöglichkeit dar. Es kann durchaus berechtigt sein, ein Szenario spekulativ oder sogar unwissenschaftlich zu nennen. Allerdings bietet dieser Ansatz die seltene Möglichkeit, Spekulation mit wissenschaftlichen Kenntnissen zu „disziplinieren“ sodass die Ergebnisse durchaus wissenschaftlichen Kriterien gerecht werden können (Henrichs et al. 2009). Ein Szenariensatz erlaubt es, mögliche Langzeitwirkungen zu testen, indem gefragt wird: Was würden die Folgen einer spezifischen Entscheidung unter definierten Umständen sein. Oder: Welche Politikansätze könnten benötigt werden, um ein bestimmtes langfristiges Ergebnis zu erreichen oder zu vermeiden?

- Ergebnisvisualisierung und -auswertung (in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber),
- Maßnahmenableitung (in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber).

Die im Projekt verfolgte Herangehensweise verdeutlicht Abbildung 1.

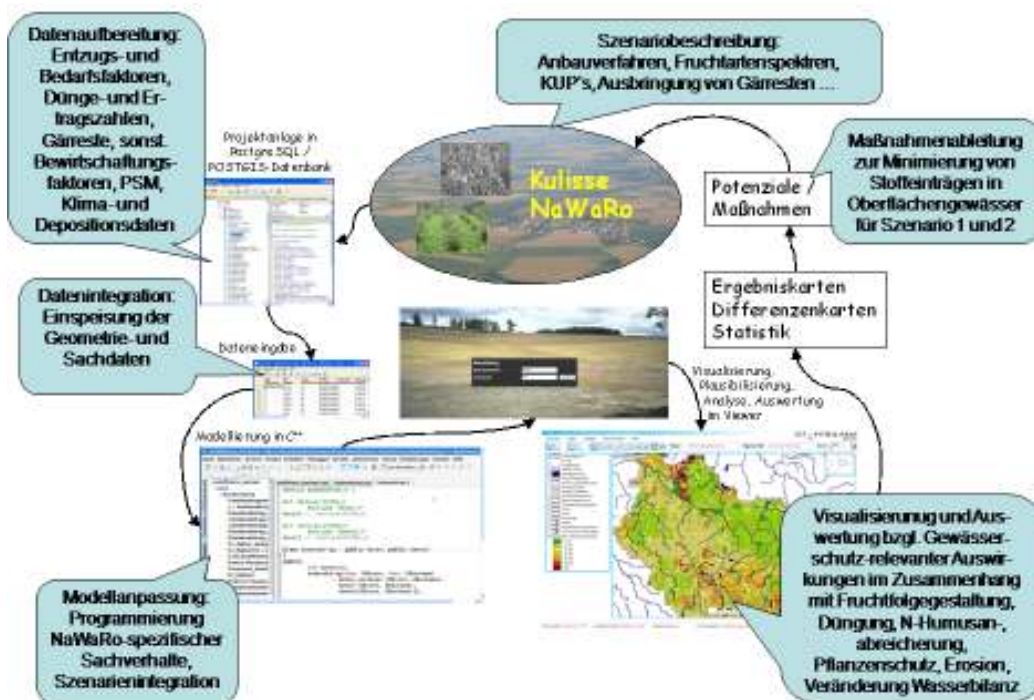


Abbildung 1: Schematisierte Lösungsstrategie im Projekt

1.2 Stand der Forschung

Der Klimaschutz und die in diesem Zusammenhang aufgestellte Forderung nach Verringerung der Emissionen von Treibhausgasen (THG) stellen zur Zeit eines der meist beachteten Themen der Umweltpolitik dar (vgl. z.B. IPCC 2007). So fordert die Europäische Union in diesem Zusammenhang eine deutliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieeinsatz auf 20% bis zum Jahr 2020. Damit verbunden wird eine verstärkte Nutzung des Biomasseeinsatzes innerhalb des Pools an erneuerbaren Energien sein (SRU 2007). Allerdings betont der SRU (2007), dass sich der Ausbau der energetischen Biomassenutzung an ihren tatsächlichen Effekten für den Klimaschutz orientieren sollte. Dies sei nur dann sichergestellt, wenn die Rahmenbedingungen für den Anbau und die Nutzung von Biomassepflanzen, also insbesondere die Förderpolitiken und die rechtlichen Anforderungen an den Biomasseanbau die relevanten umweltfachlichen Grenzen angemessen in den Blick nähmen. Die Gefahr von Fehlentwicklungen sieht der SRU (2007) vor allem in der Tatsache begründet, „dass der Ausbau von Bioenergie gleich durch drei zentrale politische Anliegen ... bestimmt ist: Neben dem Klimaschutz geht es vor allem um die Förderung des ländlichen Raumes, aber auch um die Versorgungssicherheit bei Energieträgern.“ Daraus können Zielkonflikte zwischen Agrar-, Energie- und Klimapolitik entstehen. Weiterhin ist mit dem massiven Ausbau der Bioenergie eine erhebliche nachteilige Beeinträchtigung von Boden, Wasser und Biodiversität zu befürchten, die gegebene und angenommene ökologische Vorteile biogener Energieträger relativieren kann (SRU 2007). Zu den unter Umständen negativen ökologischen Folgen des Energiepflanzenbaus kann auf eine stetig anwachsende Fachliteratur der zuständigen Einrichtungen und Gremien zurückgegriffen werden. Als mögliche unerwünschte Wirkungen des Ausbaus der energetischen Nutzung von Biomasse auf Natur und Umwelt (vgl. LfUG 2007, Rode et al. 2001, Vetter 2001, Roßberg et al. 2002) kommen z.B.

- Intensivierung / vereinheitlichte und verkürzte Fruchtfolgen / Förderung von Monokulturen,
- Förderung von Kulturen mit hohem N-Bedarf und hohen N-Überschüssen,
- Anbau wasserzehrender Kulturen vor dem Hintergrund tendenziell abnehmender Wasserverfügbarkeit,
- erhöhte Erosionsgefährdung z.B. in Folge von Energiemaisanbau oder verstärkter Entnahme von organischem Material auf erosionsgefährdeten Standorten,
- Entnahme von organischem Material mit den Folgen einer verstärkten Humuszehrung,
- Erhöhung des Pflanzenschutzmittelbedarfs aufgrund von Veränderungen im Fruchtartenspektrum (z.B. Zunahme Raps, Mais) und Produktionsintensivierung,
- Nutzungsumwidmung Grünland in Ackerflächen zur Erzeugung von nachwachsenden Rohstoffen mit erheblichen Effekten auf die C-, N-, P-Freisetzung,
- unkontrollierte / unsachgemäße Ausbringung von Gärückständen auf die Flächen

in Frage.

Mögliche negative Umweltauswirkungen des Energiepflanzenanbaus sind damit insbesondere von Bewirtschaftungsfaktoren abhängig, z.B.

- Fruchtart und Ein- oder Mehrjährigkeit der Fruchtart,
- Ertrag,
- Schaderregeranfälligkeit,
- Dünge- und Pflanzenschutzmittelbedarf (Bassam 1998).

Im inzwischen vorliegenden Entwurf des DWA-Merkblattes „Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter besonderer Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes“ (DWA 2008) werden diese Einschätzungen bestätigt.

Von hohen Risiken hinsichtlich **Bodenerosion** und **P-Verlagerung** ist vor allem bei Mais auszugehen. Als Gewässerschutzmaßnahmen kommen bei Mais prinzipiell Mulchsaat bzw. Direktsaat, Engsaat sowie die Vornahme von Untersaaten in Frage (Nitsch et al. 2008). Auch Zweikultur-Nutzungssysteme können eine verstärkte Erosionsgefährdung auslösen, wenn die vorgezogene Ernte der Erstkultur im Mai/Juni in eine Phase erhöhter Niederschlagsintensität fällt (DWA 2008). Ansonsten dürfte die nahezu ganzjährige Bodenbedeckung die Erosionsgefährdung aber verringern (Nitsch et al. 2008).

Insbesondere Raps unterliegt einer hohen **N-Auswaschungsgefahr** im Falle hoher Niederschläge direkt nach der Ernte. Während der winterlichen Sickerwasserperiode ist dagegen in der Praxis von einer geringeren Auswaschungsgefahr auszugehen, da aufgrund der sehr guten Vorfruchtwirkung meist eine Wintergetreideart angebaut wird (Mitteilung Dr. Grunert, LfULG). Der bioenergetische Anbau von Getreide wird hinsichtlich der Nährstoffauswaschungsrisiken dagegen eher günstig beurteilt, da auf eine Qualitätsdüngung (Spätdüngung bei Brotgetreide) verzichtet werden kann. Raps und Mais benötigen im Vergleich zu Getreide einen deutlich höheren Düngerinput (Nitsch et al. 2008, DWA 2008).

Zweikulturnutzungssysteme verringern die Risiken der Nährstoffauswaschung aufgrund der nahezu ganzjährigen N-Aufnahme (Nitsch et al. 2008). Die Etablierung von KUP's auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen dürfte eher zu einer Nährstoffanreicherung führen (Meyer-Marquart & Feldwisch 2006). Grünlandumbruch geht mit einem Mineralisierungsschub und dem Risiko verstärkter Erosion einher. Die Vergärung von Gülle und Ernteresten im Rahmen der Biogaserzeugung ist insofern gewässerschutzrelevant, als die Gärückstände wieder als Dünger auf die Flächen verbracht werden. Unsicherheit besteht hinsichtlich der Anrechnung von Stickstoff in den Gärückständen, die über eine bessere Düngewirkung verfügen als z.B. Rohgülle (Meyer-Marquart & Feldwisch 2006). Die Ausbringung der Gärreste trägt im Wesentlichen zum Ausgleich der ansonsten defizitären Humusbilanz bei (Willms et al. 2007). Bei der Ausbringung von Gärresten sollten Zusammensetzung und pflanzenbauliche Wirkung des ausgebrachten Substrats beachtet werden, um nachteilige Folgen (wie z.B. verstärkte Ammoniakausgasung, N-Auswaschung) zu vermeiden (DWA 2008). Weiterhin müssen die direkt verfügbaren Anteile in der Düngebedarfsermittlung entsprechend angerechnet werden. Das Gleiche gilt für die Düngeplanung in den Folgejahren, die die zusätzliche Nachlieferung aus den Gärresten angemessen berücksichtigen muss.

Der Einsatz von **Pflanzenschutzmitteln** (PSM) ist heute ein fester Bestandteil der Agrarproduktion und wird es auch künftig und unter zunehmendem Anbau nachwachsender Rohstoffe bleiben. Zur guten fachlichen Praxis der Landwirtschaft gehört, dass die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes und der Schutz des Grundwassers berücksichtigt werden (§2a Abs. 1 Pflanzenschutzgesetz; s. auch „Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, BMELV 2008 sowie EU-Rahmenrichtlinie zur nachhaltigen Anwendung von Pestiziden vom 13.01.2009).

Um Ertragsverluste in der Landwirtschaft zu minimieren, werden in Sachsen jährlich 1.000 bis 2.000 Tonnen PSM ausgebracht (www.smul.sachsen, 16.06.2009). Nebenwirkungen, insbesondere die Beeinträchtigung von Schutzgütern, wie Boden, Grund- und Oberflächenwasser oder Organismen, sollen dabei so gering wie möglich gehalten werden. Mit der Erzeugung von „Energiepflanzen“ können Gefährdungen von Grund- und Oberflächenwasserkörpern entstehen, vor allem in Einzugsgebieten von Trinkwassergewinnungsanlagen (DVGW 2008). Anbauseitig sind nachteilige Auswirkungen für die Gewässer zu erwarten, wenn in diesem Zusammenhang der Grad der Intensivierung weiter ansteigt, zunehmend Stilllegungs- und Grünlandflächen in Kultur genommen werden und/oder der Anteil der potentiell belastenden Kulturen in der Fruchtfolge zunimmt (UBA 2007).

Eine intensive Produktion von Raps erfordert beispielsweise aufgrund seiner starken Anfälligkeit für Krankheiten und Schädlinge einen hohen Einsatz an PSM. Hauptsächlich kommt chemische Unkrautbekämpfung zum Einsatz. Pilzkrankheiten stellen ebenfalls ein Problem im Rapsanbau dar. Daher werden Fungizide je nach den schlagspezifischen Besonderheiten eingesetzt. Die Meinungen zum Umfang des PSM-Einsatzes bei NR-Raps gehen weit auseinander.

Auch Getreide ist einem hohen Krankheits- und Schädlingsdruck ausgesetzt. Dies erfordert bei hohen Ertragserwartungen einen entsprechend intensiven Pestizideinsatz. Die Belastung mit PSM hängt wesentlich von der späteren Art der energetischen Verwertung ab. Ganzpflanzensysteme, die als feuchte oder silierte Biomasse geerntet werden, haben nur wenige Schadsituationen durch Konkurrenzorganismen. Aufgrund von geringen Anbauumfängen und geringer Anbaudauer liegen aber bisher kaum belastbare Informationen vor². PSM-Anwendungen zur Sicherung der Lebensmittel- und Futterqualität (z.B. Fungizideinsatz gegen Fusarien) sind beim Energiepflanzenanbau nicht notwendig. Beim Miscanthusanbau kann auf PSM-Anwendungen völlig verzichtet werden. Auf KUP ist eine Unkrautbekämpfung lediglich im ersten Jahr notwendig (vgl. Meyer-Marquart & Feldwisch 2006). Insgesamt dürfte sich die Intensität der PSM-Anwendung nicht wesentlich verändern (DWA 2008). Allerdings müssen auch hier Erfahrungen gesammelt und Überwachungen realisiert werden.

Hinsichtlich des **Wasserverbrauchs** ist der Anbau von Energiemais und Hackfrüchten aufgrund der hohen Biomassezuwächse und der langen Standzeit sowie der Betrieb von Kurzumtriebsplantagen im Vergleich zum Getreideanbau deutlich ungünstiger einzuschätzen, was insbesondere in Wassermangelgebieten problematisch ist (EEA 2006, Nitsch et al. 2008, DWA 2008). Gleiches gilt für die Nutzung in Zweifruchtsystemen³.

1.3 Stoffstromanalysen und Modellierungswerkzeuge

Zur Analyse der zu erwartenden Auswirkungen auf den Landschaftsstoffhaushalt und -wasserhaushalt, die durch den verstärkten Anbau von Energiepflanzen ausgelöst werden, bietet sich die Erstellung von Stoffstromanalysen an. Diese stellen ein unverzichtbares Werkzeug zur Quantifizierung von Ein- und Austrägen dar. Das Management des Stoffhaushalts in Landschaften und der Wasserqualität im Speziellen erfordert integrierte Betrachtungen. Möglichst optimale Entscheidungen über Maßnahmen müssen auf der Grundlage von multikriteriellen Bewertungen vorgenommen werden. Nur dadurch ist es möglich, zielgerichtet Maßnahmen zur Verringerung der Gewässerbelastung durchzuführen und die Erfolge zu bewerten. Deshalb wurden in den letzten Jahren umfangreiche wissenschaftliche Modelle entwickelt, die geeignete Analyse- und Planungswerkzeuge bereitstellen sollen (Ostrowski 2006).

Nährstoffeintragsmodelle in diesem Sinne werden eingesetzt, um Herkunft und Menge von Nährstoff- und Sedimenteinträgen in Fließgewässer, Seen und Grundwasser zu erfassen (u.a. Franko et al. 1995, Krysanova & Becker 1999, Behrendt et al. 2002, Casper et al. 2005, Kunkel & Wendland 2006, Robrecht et al. 2007).

Prozessbasierte Modelle finden aufgrund des hohen Parametrisierungsaufwandes vor allem in kleinen Einzugsgebieten Anwendung. Sie sind in der Lage, die Nährstoffeinträge hoch aufgelöst abzubilden (z.B. ereignisbezogen). Mit zunehmender Modellkomplexität wird einerseits die Modellunsicherheit reduziert, andererseits vergrößert sich im Gegenzug die Parameterunsicher-

² http://www.ecologic.de/download/projekte/200-249/201-08/201-08_gutachten.pdf

³ <http://www.ingenieurbuero-feldwisch.de/energiepflanzen.htm>

heit (Schmitt-Heiderich et al. 2000). Für die Modellierung der Einträge in größeren Flussgebietseinheiten kommen deshalb überwiegend Bilanzmodelle zur Anwendung. Dies gilt z.B. auch für die gegenwärtig und zukünftig laufenden Arbeiten zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), wo die Planungsebenen vorwiegend im mesoskaligen Bereich angesiedelt sind (Flussgebietseinheit, regionales Bewirtschaftungsgebiet, Wasserkörper). In diesem Skalenbereich erfolgt die Nährstoffbilanzierung vor allem über so genannte Emissionsmodelle. Im Gegensatz zu großräumigen Bilanzierungen (z.B. Behrendt et al. 2002, Lord & Anthony 2000, Parr et al. 1998), die lediglich einen Überblick zur Belastungssituation über statische Elemente innerhalb von Anbausystemen geben, wird für mesoskalige Bearbeitungsgebiete (z.B. die Landesfläche des Freistaates Sachsen) eine quellen- und pfadbezogene sowie räumlich ausreichend differenzierte und verortete Aussage zur Nährstoffbelastung benötigt. Diese ist für das räumlich konkrete Aufzeigen von Hot Spots der Belastung als auch für die szenarienhafte Umsetzung von Maßnahmen und die Überprüfung von deren Effektivität unbedingt erforderlich.

2 Material und Methoden

2.1 Vorgehensweise

Für die mesoskalige Bilanzierung von Parametern des Wasserhaushaltes, Bodenabtrages und Sediment- und Nährstoffeintrages unter Berücksichtigung von NR-Anbaukulissen wurde eine vorhandene und erprobte Modelltechnologie genutzt und weiterentwickelt, in die die notwendigen inhaltlichen und methodischen Modifikationen implementiert wurden.

Methodisch und technologisch wurde auf die von der GALF bR entwickelte Web-GIS basierte Software STOFFBILANZ zurückgegriffen (Halbfaß et al. 2006). Hierbei handelt es sich um ein Verfahren zur flussgebietsspezifischen Ermittlung und Quantifizierung diffuser Stoffausträge aus der Fläche und deren Eintrag in die Gewässer (Emissionsbetrachtung). Der Ansatz eignet sich insbesondere für mesoskalige Anwendungen im Bereich der wasserwirtschaftlichen Planung. Neben der Wasserhaushaltsbilanzierung werden Bodenabträge (durch Wasser) sowie Stickstoff-, Phosphor- und Sedimenteinträge abgebildet. Die wesentlichen Eintragsquellen und -pfade werden naturraum- und nutzungsspezifisch identifiziert und berechnet. Die Ergebnisse stellen räumlich differenzierte Größenordnungen der Stoffeinträge als Jahresbilanzen dar. Mittels wissenschaftlich validierter Methoden entsprechend dem Stand der Forschung können Stoffstrombilanzen für unterschiedliche Landschaftszustände (Ist-Zustand, Zielzustand, Szenarien) vorgenommen und nach verschiedenen Kriterien ausgewertet werden:

- Herkunftsanalyse (Quellen)
- Transportpfadanalyse (Pfade)
- Identifizierung von Risikogebieten und Source Areas
- Aggregation auf unterschiedliche Raumebenen

Zur umfassenden Bilanzierung von Nährstoff- und Sedimenteinträgen in die Gewässer vor dem Hintergrund einer Steigerung des Anbaus von Energiepflanzen sind die Module Wasserhaushalt, Stickstoff, Phosphor, Bodenabtrag und Sedimenteintrag zu bearbeiten.

Die Notwendigkeit zur Berücksichtigung der Wasserbilanz ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass die Abflusskomponenten als Nährstofftransferpfade in Erscheinung treten. Zum anderen sind Veränderungen der Wasserbilanz z.B. durch den Anbau besonders wasserzehrender Kulturen abzubilden. So ist von erhöhten kapillaren Aufstiegsraten auf Maisflächen oder Kurzumtriebsplantagen gegenüber Getreideanbauflächen auszugehen (EEA 2006). Verfahren zur Ermittlung einer ausreichend differenzierten Wasserbilanz wurden im Rahmen der Projektbearbeitung „Nährstoffatlas Sachsen“ bereits angewendet und stehen für eine weitere Nutzung im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung zur Verfügung (z.B. Sickerwasserrate nach TUB-BGR, Ad-hoc-AG Boden 2003, Oberflächenabfluss nach Curve number-Verfahren, US SCS 1972).

Die Stickstoffbilanz im Boden ist abhängig von anthropogen bedingten Nutzungseinflüssen und der Ausprägung der naturräumlichen Faktoren und ergibt sich im einfachsten Sinne als das Resultat von Stickstoffeinträgen und -verlusten. Diese „einfache“ Bilanz wird in der vorliegenden Skala von zahlreichen Modellansätzen abgebildet (z.B. Behrendt et al. 2002, Bach et al. 2003). Prozesse der Mobilisierung bzw. Immobilisierung von Stickstoff innerhalb des N-Pools werden dagegen überwiegend erst in An-

sätzen mit Anwendungsschwerpunkten in der Mikroskala (z.B. Hülsbergen & Diepenbrock 1997, Brisson et al. 1998) implementiert.

Um die gebietstypische Bewirtschaftungspraxis sowie deren Veränderungen (z.B. Maßnahmen zur Minimierung von Stoffeinträgen durch Anbau von Zwischenfrüchten / Veränderung von Fruchtfolgen etc.) detaillierter abbilden zu können, müssen die Prozesse der Mobilisierung und Immobilisierung möglichst vollständig mit berücksichtigt werden. Ein Lösungsweg besteht in der Einbeziehung indikatorbasierter Ansätze nach Mary & Guérif (1994) bzw. Meynard et al. (1996) zur Berücksichtigung standortabhängiger Mineralisierungsleistungen anhand von Humus- und Tongehalt sowie der Temperatur. Mit Hilfe dieses Verfahrens können z.B. auch

Veränderungen der N-Humusbilanz durch die verstärkte Entnahme von Nebenprodukten zur energetischen Verwertung abgebildet werden. Einen Überblick über die Ableitung der N-Bilanz auf Ackerflächen gibt Abbildung 2.

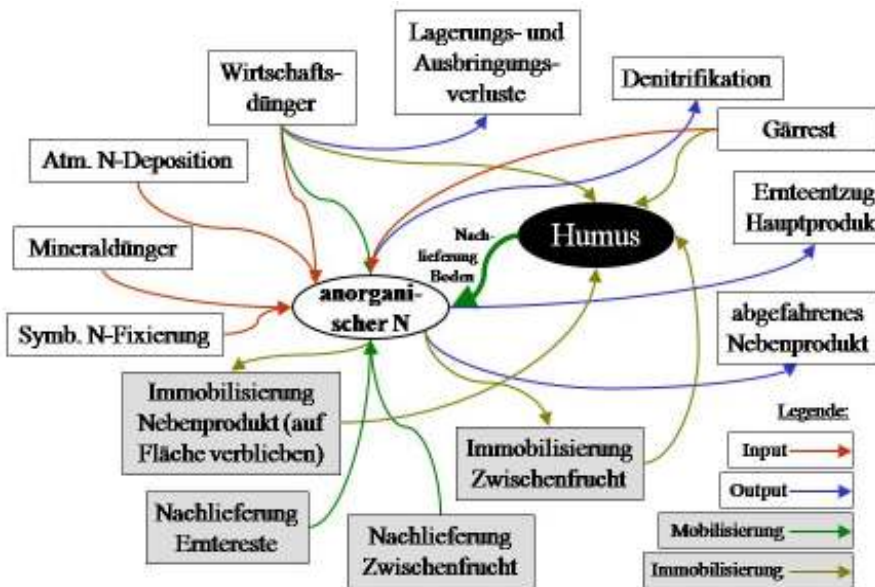


Abbildung 2: Schema der N-Bilanz auf Ackerflächen

Die Abbildung der Denitrifikation in der Bodenzone erfolgt anhand des Bodentyps - als integralem Parameter der Boden- und Bodenwasserverhältnisse - sowie des N-Überschusses auf Basis einer Michaelis-Menten-Kinetik (Wendland 1992, Kunkel & Wendland 2006).

Für Phosphor dominiert die partikelgebundene Verlagerung in Folge von Bodenabträgen und daraus resultierenden Sedimenteinträgen. Für die Modellierung der potenziellen Bodenerosion (Flächen- und Rillenerosion) durch Wasser bietet sich die Nutzung der modifizierten Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (Wischmeier & Smith 1978, Auerswald & Schwertmann 1988) an. Die Einflüsse des Energiepflanzenanbaus auf den Betrag der Bodenerosion werden über die im Verfahren berücksichtigten C-Faktoren in Abhängigkeit vom Fruchtartenspektrum und der Bewirtschaftung (z.B. Mulchsaat, Direktsaat, konventionell) wiedergegeben. Nicht-eintragsrelevante Flächen, d.h. Flächen mit fehlender hydrologischer Anbindung, sollten vor dem Modellierungsprozess ermittelt und ausgegliedert werden (Halbfaß & Grunewald 2006, 2008, COST Action 869 2006, Voges 1999). Der Sedimenteintrag als wesentlicher Steuerparameter für die partikelgebundene P-Verlagerung kann aus dem Bodenabtrag und dem Sediment Delivery Ratio (SDR) ermittelt werden (Halbfaß et al. 2009). Letzteres ist ein Maß für die Effizienz des Sedimenttransports von der erodierenden Fläche bis zum Vorfluter. Der partikulär gebundene P-Eintrag aus der Fläche in die Gewässer errechnet sich anhand des Sedimenteintrages, dem Enrichment Ratio sowie dem Gesamtphosphorgehalt des Bodens. Ein steigender Anreicherungsfaktor bei gleichzeitig abnehmendem Bodenabtrag beschreibt dabei den selektiven Transportprozess, bei dem Ton und Schluff bevorzugt verlagert werden (Auerswald 1989, Ghadiri & Rose 1991a, 1991b, Sharpley et al. 1993, Duttman 1999, Schaub & Wilke 1996, Lammers 1997). Neben der partikulär gebundenen Verlagerung von Phosphor gelangen Phosphorverbindungen auch über die gelöste Phase in die Gewässer (vgl. Halbfaß et al. 2009).

Eine detaillierte Modellbeschreibung und Ablauf der Modellierung sind der Programmdokumentation zu entnehmen (siehe Gebel et al. 2009). Im vorliegenden Bericht wird nur auf Sachverhalte eingegangen, die im direkten Zusammenhang mit dem Anbau von nachwachsenden Rohstoffen stehen.

2.2 Modelltechnologie

Die über das Internet verfügbare Modellplattform (www.viewer.stoffbilanz.de) ist von den Partnern und der das Projekt begleitenden Arbeitsgruppe interaktiv nutzbar. Daten- und Ergebnistransfer werden dadurch erheblich vereinfacht.

In der Modelloberfläche verbinden sich Nutzerfreundlichkeit, fachliche Aspekte und Anforderungen für das Flussgebietsmanagement miteinander. Um das Modell als Herzstück des Webservices gruppieren sich verschiedene Werkzeuge zum Datenimport und -export, zur Datenanalyse und Visualisierung. Die Speicherung der Raum- und Sachdaten erfolgt zentral in einer PostgreSQL / POSTGIS Datenbank. Moderne Webtechnologien wie AJAX und PHP ermöglichen den Aufbau einer desktopähnlichen Benutzeroberfläche. Ein wichtiges Element bildet die Implementierung des UMN-Mapservers, mit dessen Unterstützung Modelldaten und -ergebnisse im STOFFBILANZviewer dynamisch visualisiert werden können. Anwender werden damit befähigt, in einem kartographischen Modus Daten und Resultate zu kontrollieren und auszuwerten. Statistiktools unterstützen die Auswertung der Modelldaten und den Vergleich von Szenarien. In der Projektverwaltung von STOFFBILANZ erfolgen die Organisation grundlegender Modelleinstellungen und die Datenverwaltung. Eine Prüfung sämtlicher Modelldaten und die Ausgabe von Prüfprotokollen erfolgen im Datencheck. Damit werden die Datenkonsistenz gewährleistet und logische Fehler minimiert. Zusätzlich bestehen die Möglichkeiten des Datendownloads (shape-Format) sowie der interaktiven Kartenerstellung (pdf-Format).

Inhaltlich stehen die Projektdaten und -ergebnisse (Ist-Zustand 2005) im Rahmen der Erstellung des „Nährstoffatlas Sachsen“ zur Verfügung. Die Aufbereitung und Integration weiterer NR-relevanter Parameter und Daten in das Modell erfolgte in enger Absprache mit dem Auftraggeber und unter Hinzuziehung der verfügbaren Literatur anhand von Recherchen. Räumliche Daten (Geometrien) wurden vom Auftraggeber bereitgestellt.

Nach Abschluss eines Preprocessing-Verfahrens schließt sich die Modellierung der Wasserbilanz, der Bodenabträge, Sedimenteinträge und der N- und P-Einträge an (siehe Gebel et al. 2009). Hier konnte zunächst auf die bereits vorliegenden validierten Ergebnisse des „Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ (Halbfaß et al. 2009) zurückgegriffen werden. Die Einbeziehung der für den Energiepflanzenbau modifizierten Parameter erfolgte über Szenarienrechnungen.

Nach Durchführung der jeweiligen Modellierungsdurchläufe werden die Zwischenergebnisse bzw. Ergebnisse direkt in der Modellumgebung über den STOFFBILANZviewer visualisiert. Aufwändige Datentransformationen und Datentransfers entfallen somit. Anhand der Web-GIS-basierten Werkzeuge sind Differenzenrechnungen und zugehörige kartographische Differenzkarten zwischen Ist-Zustand und Szenarien bzw. zwischen verschiedenen Szenarienrechnungen per Knopfdruck genauso wie die interaktive Erstellung von Kartenplots möglich.

Neben der Visualisierung, Analyse und Auswertung der modellierten Parameter zum Bodenabtrag, Sediment-, N- und P-Eintrag werden auch die Sachverhalte zum Status des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und der prognostizierten Veränderungen im Rahmen der Szenarienrechnungen unter Nutzung vereinfachter Indikatoren (s. Kap. 3.12) in den Viewer eingespeist.

Eine Überwachungsgrundlage stellen die Erhebungen der Pestizidimmissionen anhand der Messnetzdaten des LfULG (nach WRRL, vgl. LfULG 2009/2) dar. Diese spiegeln den „PSM-Status bzgl. Gewässer“ der gegenwärtigen Flächennutzung wieder und bilden die Vergleichsbasis für mögliche Veränderungen in Abhängigkeit der jeweiligen bioenergetischen Produkt-/Verwertungslinien und Anbauverfahren. Detaillierte PSM-Einträge in Gewässer können mit STOFFBILANZ jedoch nicht modelliert werden. Das würde den Einsatz anderer, aufwändiger Modelltechnologien zur Risikobewertung, wie zum Beispiel SYNOPSIS (Gutsche & Strassemeyer 2007), erfordern.

2.3 Modellierungsebenen und räumliche Auswertungsebenen

Im Modell STOFFBILANZ erfolgen die Berechnungen mit einer Zeitschrittweite von einem Jahr, wobei mittlere Systemzustände abgebildet werden. Bei der Berechnung von Szenarien wird der Systemzustand abgebildet, der sich langfristig ergibt, wenn die unterstellten Bedingungen konstant gehalten werden.

Hinsichtlich der Datengrundlage wurde auf die vorliegende Arbeit von Halbfaß et al. (2009) zurückgegriffen. Dort findet sich eine ausführliche Beschreibung aller verwendeten Daten, die durch die Ausführungen in Kapitel 3 dieses Berichtes ergänzt wird.

Für das Projekt wurde als räumliche Modellgrundlage ein quadratisches Gitter mit einer Kantenlänge von 500 m gewählt. Die rasterbezogene Zuordnung von Informationen erfolgte je nach Datentypus nach Dominanz- oder Mittelwertprinzip. Das sächsische Territorium umfasst nach Angaben des Statistischen Landesamtes eine Fläche von 18.419 km² (Stand 12/2008) und wurde mit einem Gitternetz von 75.293 Elementen überzogen.

Wichtige Modellierungs- und Auswertungsebenen sind im vorliegenden Projekt die Wirtschaftsgebiete sowie die Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG) (siehe Abbildung 3).

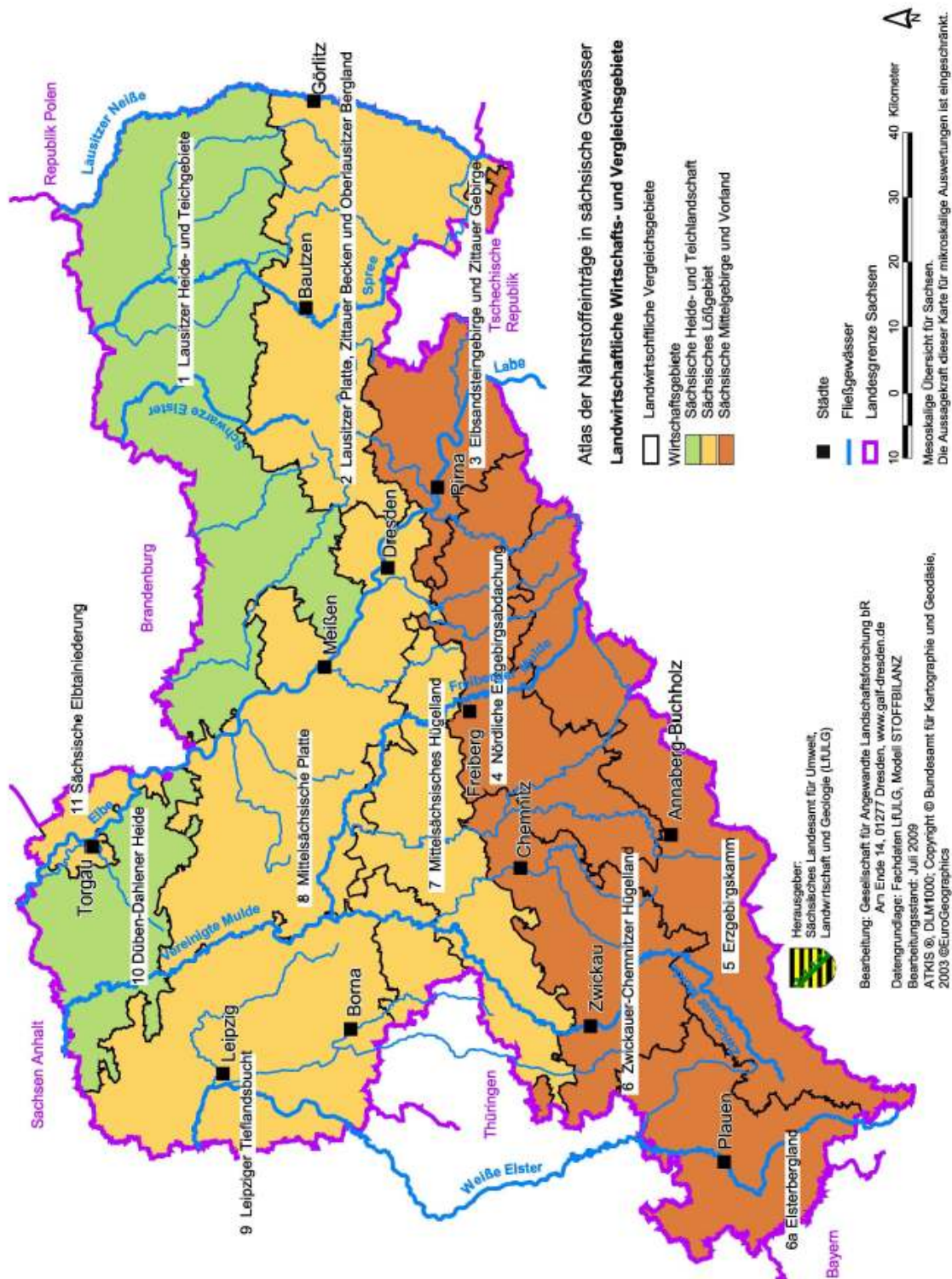


Abbildung 3: Landwirtschaftliche Wirtschaftsgebiete und Vergleichsgebiete in Sachsen

3 Modellanpassungen

Im Rahmen der Erstellung einer NR-Kulisse für Szenario 1 wurde vom Auftraggeber entsprechendes Expertenwissen zur Verfügung gestellt. Hinsichtlich der zu treffenden Festlegungen konnte weiterhin auf die bereits vorliegende Datenbank Biomassepotenziale (SifL 2008) zurückgegriffen werden.

3.1 Entwicklung Ackerfläche

Hinsichtlich des angenommenen Umfangs der Ackerfläche für Szenario 1 (Bilanzzeitraum 2020) wird von einer Fortsetzung der Anbauflächenentwicklung entsprechend dem seit 2000 zu beobachtenden Trend ausgegangen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Entwicklung der Anbaufläche für Ackerkulturen in Sachsen (Quelle: StaLa⁴)

Zeitraum	Ackerfläche [ha]	Anteil Ackerfläche an Gesamtfläche Sachsens [%]	Rückgang Ackerfläche an Gesamtfläche Sachsens [%] gegenüber 2000
2000	726 356	39,44	-
2005	720 560	39,13	0,31
2007	721 373	39,17	0,27

Im Bezugszeitraum 2000 bis 2007 hat sich die Ackerfläche um 0,27% der Gesamtfläche Sachsens (18 416 km²) verringert, was einer Fläche von 4 983 ha entspricht. Unter der Annahme, dass sich dieser Trend fortsetzt, verringert sich die Ackerfläche bis zum Jahr 2020 im Vergleich zum gewählten Bezugsjahr 2005 (Ist-Zustand) somit um 0,6% (bezogen auf die Gesamtfläche Sachsens), was einem Flächenrückgang von 10 678 ha entspricht.

3.2 Entwicklung Grünlandfläche

Für die Grünlandflächen wird im Bilanzzeitraum 2020 davon ausgegangen, dass diese den gleichen Flächenanteil einnehmen, wie 2005. Dies begründet sich in der Annahme, dass eine Zunahme des Grünlandanteils aus naturschutzfachlichen Gründen durch Grünlandumbrüche in vergleichbarer Größenordnung ausgeglichen werden dürfte (in Absprache mit dem Auftraggeber).

3.3 Waldmehrung

Der Freistaat Sachsen hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der Waldfläche zu erhöhen. In der Modellierung für 2020 wird pauschal von einer Zunahme dieser Flächen um 1%, bezogen auf die Gesamtfläche Sachsens ausgegangen (in Absprache mit dem Auftraggeber).

⁴ http://www.statistik.sachsen.de/21/10_02/10_02_00_tabelle.asp (Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen, 09.10.2009)

3.4 Ertragsentwicklung auf der Ackerfläche

Ertragssteigerung von 2005 zu 2020 werden für die nachfolgend genannten Fruchtartengruppen angenommen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ertragsentwicklung für ausgewählte Ackerkulturen in Sachsen (LfULG 2009/1)

Ackerkultur	Angenommene jährliche Ertragssteigerung im Zeitraum 2005 bis 2020 [dt ha ⁻¹ a ⁻¹]	Geschätzter mittlerer Bezugs-ertrag für 2005 [dt ha ⁻¹ a ⁻¹]	Kummulative Ertragssteigerung im Zeitraum 2005 bis 2020 [%]
Winterweizen	0,44	66	10
Wintergerste	0,32	63	7,6
Winterroggen	0,19	56	5,2
Raps	0,28	38	11,1
Silomais	0,82	443	2,8

Die errechnete kummulative Ertragssteigerung setzt auf Basis der Bezugsenerträge für 2005 an, die der vom LfULG zur Verfügung gestellten BEFU-Auswertung für die Erstellung des „Nährstoffatlas Sachsen“ entnommen wurde.

3.5 Anpassung der Mineraldüngung an die Ertragsentwicklung

In Absprache mit dem Auftraggeber wird für 2020 die Mineraldüngung für Silomais um 2%, für Wintergetreide (Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen) um 5% gegenüber 2005 erhöht.

3.6 Entwicklung des Anteils von Stilllegungsflächen an der Ackerfläche

Der Anteil von Stilllegungsflächen an der Ackerfläche beträgt gemäß Stand 2005 ca. 4,3%. Für 2020 wird aufgrund des Wegfalls der Stilllegungsverpflichtung angenommen, dass die Flächenanteile im Mittel nur noch bei 1,5% der Ackerfläche liegen (in Absprache mit dem Auftraggeber).

3.7 Maximaler Flächenanteil Raps bzw. Silomais

Die Obergrenzen der Flächenanteile werden für Raps auf 25% (empfohlene Obergrenze aus Fruchtfolgesicht) und für Silomais auf 33% (Erhalt der Möglichkeit einer dreigliedrigen Fruchtfolge) festgesetzt (in Absprache mit dem Auftraggeber).

3.8 Anteile nachwachsende Rohstoffe / Nahrungs- und Futtermittel

3.8.1 Ist-Zustand 2005

Aus der gemeindebezogen vorliegenden InVeKoS-basierten Fruchtartenverteilung sind lediglich die für die bioenergetische Verwertung eingesetzten Stilllegungsflächen mit 00-Raps ersichtlich. Für die mit Körnerraps, Getreide und Silomais bestellten Flächen wurden sachsenweit vorliegende durchschnittliche Anteile an der Ackerfläche eingesetzt und auf die gemeindebezogene Agrarstruktur umgerechnet. Danach ergibt sich anhand der vorliegenden Daten ein bioenergetisch genutzter NR-Anteil je Gemeinde von 7,7%, bezogen auf die Gesamtackerfläche (Tabelle 3, SMUL 2007). Zusätzlich erfolgt vor allem für Raps und Winterweizen NR-Anbau für die stoffliche Verwertung. Hier wird vereinfachend davon ausgegangen, dass ca. 3% der Ackerfläche durch Körnerraps und ca. 3,3% durch Winterweizen abgedeckt werden (siehe FNR 2009, SMUL 2007). Auf den verbleibenden 86% der Ackerfläche wird damit von einer Nahrungs- und Futtermittelproduktion ausgegangen.

Tabelle 3: Fruchtarten mit NR-Anbau und Prozentanteile an der Ackerfläche für 2005, gemittelt für Sachsen

Fruchtarten mit NR-Anbau	%-Anteil an der Ackerfläche
energetische Verwertung	
00-Raps	5,31
Körnerraps	0,86
Winterweizen	0,86
Winterroggen	0,54
Triticale	0,09
Silomais	0,06
gesamt	7,72
stoffliche Verwertung	
Winterweizen	3,30
Körnerraps	3,00

3.8.2 Szenario 1 - 2020

Für das Szenario 1 - 2020 wird der NR-Anteil auf 30% der Gesamtackerfläche erhöht, der Anteil der für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzten Flächen reduziert sich dementsprechend auf 70%. Die prozentuale Fruchtartenverteilung entspricht hier derjenigen von 2005. Für den NR-Bereich wurde für die Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG) folgende Fruchtartenverteilung auf Basis von SiFL (2008) unterstellt (Tabelle 4, Erstellung durch Auftraggeber).

Tabelle 4: Fruchtarten mit NR-Anbau und Prozentanteile an der Ackerfläche für 2020 für Sachsen

LVG- Landwirtschaftliches
Nr. Vergleichsgebiet

Angenommener Anteil von Acker-Kulturen auf der NR-Fläche im Jahr 2020 [%-Anteil an NR-Fläche]

		KUP	einj. Gräser ⁵	mehrj. Gräser ⁶	GPS ⁷	SM	WW	WR	TR	R
1	Lausitzer Heide und Teichgebiete	1	2	2	4	20	5	30	11	25
2	Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlaus. Bergland	3	1	1	4	20	21	7	3	40
3	Elbsandsteingebirge	1	13	0	10	25	17	2	2	30
4	Nördliche Erzgebirgsabdachung	4	16	0	0	30	8	2	5	35
5	Erzgebirgskamm	0	20	0	22	25	1	2	10	20
6	Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	5	10	1	4	20	14	2	4	40
6a	Elsterbergland	2	6	0	13	20	14	3	2	40
7	Mittelsächsisches Hügelland	5	9	1	3	20	20	5	2	35
8	Mittelsächsische Platte	3	3	2	0	15	20	10	2	45
9	Leipziger Tieflandsbucht	2	2	1	6	10	21	10	3	45
10	Dübener-Dahlener Heide	1	2	2	1	20	12	30	12	20
11	Sächsische Elbtalniederung	1	0	2	5	15	22	5	5	45

⁵ Feldgras/Ackergras (FG)

⁶ Miscanthus (MI)

⁷ Getreide-Ganzpflanzensilage

3.8.3 Szenario 2 – 2020

Auch Szenario 2 - 2020 geht von einem NR-Anteil auf 30% der Gesamtackerfläche aus. Im Unterschied zu Szenario 1 – 2020 sollen jedoch vorrangig Kurzumtriebsplantagen (KUP) betrieben werden, sofern damit synergetische Wirkungen im Hinblick auf die Förderung von Natur- und Bodenschutz erzielt werden. Eine entsprechende Kulisse KUP wurde im Rahmen des Teilprojektes 2.1 „Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen“ (Feger et al. 2010) durch den Auftragnehmer (TU Dresden) übergeben. Hierbei werden KUP-Flächen auf Ackerland mit starker bzw. sehr starker Synergie zu Belangen des Natur- und/oder Bodenschutzes (ca. 1/3 der Ackerfläche Sachsens) ausgewiesen (siehe Abbildung 4). Die ebenfalls ausgewiesenen Ertragspotenziale wurden nicht zur weiteren Differenzierung des Anbauflächenumfangs herangezogen, da diese zumindest teilweise mit den ackerbaulichen Ertragspotenzialen korrespondieren. So sind z.B. geringe Ertragspotenziale für KUP nicht unbedingt ein sinnvolles Ausschlusskriterium, da das Ertragspotenzial auch für Ackerfrüchte als dementsprechend niedrig einzuschätzen ist.

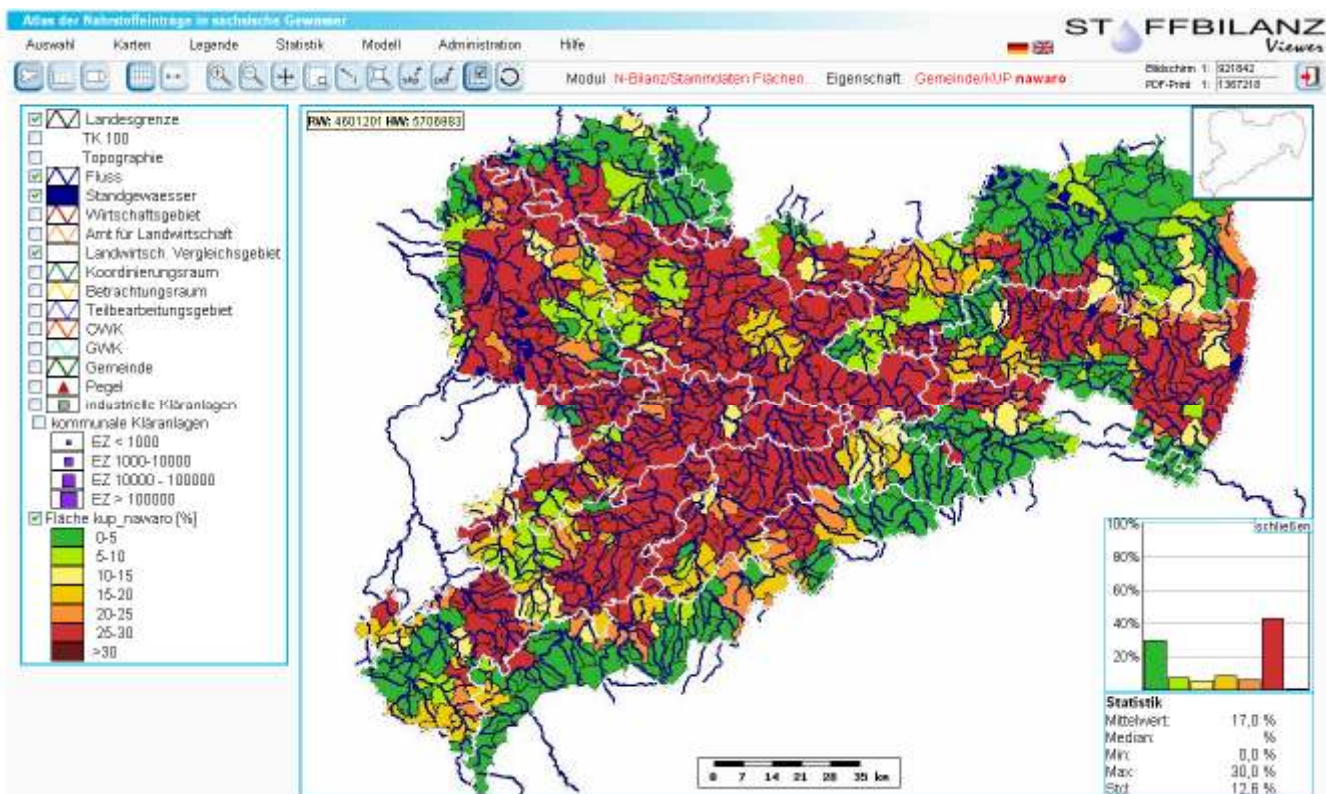


Abbildung 4: Prozentuale Anteile von KUP auf Ackerflächen für Szenario 2 – 2020 (LVG-Grenzen in weiß)

Die in einer deutlich höheren räumlichen Auflösung übergebenen Daten wurden auf die Gemeindegeometrien übertragen und damit ein gemeindebezogener KUP-Anteil ermittelt. Der hierbei entstehende Informationsverlust muss hingenommen werden, da eine Standort spezifische Modellierung sachsenweit im Rahmen des Projektes nicht möglich ist. Da der NR-Anteil bei maximal 30% liegt, wurden KUP-Anteile größer 30% abgeschnitten. Liegen die KUP-Anteile niedriger als 30%, so wurde auf der Restfläche der NR-Fläche die Fruchtartenverteilung der NR-Ackerfrüchte aus Szenario 1 – 2020 eingesetzt. Der Anteil nachwachsender Rohstoffe an der Ackerfläche bleibt also immer bei 30%, der Anteil der Ackerflächen, die im Rahmen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt werden beträgt immer 70%. Die prozentuale Fruchtartenverteilung entspricht hier derjenigen von Szenario 1 - 2020.

3.9 Bewirtschaftungsparameter für den NR-Bereich

Die Anbaukulisse für den NR-Bereich wurde vom Auftraggeber erstellt und übergeben. Dabei ergibt sich eine Differenzierung anhand der zwölf ausgewiesenen Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG). Diese repräsentieren die naturräumlichen und bewirtschaftungsspezifischen Verhältnisse in Sachsen in einer für die vorliegende Betrachtungsskala ausreichenden Auflösung. Für die Kulturen **einjährige Gräser** (Feldgras/Ackergras), **Energiemais** (Silomais), **Winterroggen**, **Winterweizen**, **Triticale** und **Winterraps** wurden die je LVG vergebenen Erträge für 2005 übernommen (gemäß Halbfaß et al. 2009). Dies gilt gleichermaßen für die Mineraldüngung, wobei für Winterweizen unterstellt wird, dass auf die Spätdüngung (40 kg N/ha) beim NR-Anbau verzichtet werden kann. Auch die Verteilung der Wirtschaftsdüngung entspricht derjenigen von 2005, differenziert nach den zwölf sächsischen LVG. N-Gehalte im Hauptprodukt und Nebenprodukt (Wurzel, Stroh / Kraut / Blatt) entsprechen denjenigen im Bereich der Nahrungs- und Futtermittelproduktion.

Für **Getreide GP** wird wie folgt vorgegangen (Quelle: SLfL 2008, in Absprache mit dem Auftraggeber):

N-Gehalt [kg N/dt FM⁸]: 0,56

Ertrag (TS⁹ in FM 35%): 257 dt/ha für LVG 1, 10, 11 (D-Standorte)
309 dt/ha für LVG 3, 4, 5, 6a (V-Standorte)
334 dt/ha für LVG 2, 7, 8, 9 (Löss-Standorte)

Düngung: 100 kg N/ha für D-Standorte
110 kg N/ha für V-Standorte
120 kg N/ha für Löss-Standorte

Für **Miscanthus** wird pauschal ein Ertrag von 187,5 dt/ha Frischmasseertrag (80% Trockenmasseanteil) bei einem N-Gehalt von 0,15 kg N/dt und eine N-Düngung von 30 kg/ha angesetzt (SLfL 2007). Der C-Faktor wird mangels differenzierterer Angaben in der Literatur demjenigen von mehrjährigem Ackerfutter gleichgesetzt und liegt damit deutlich unter demjenigen für Getreide und Raps.

Kurzumtriebsplantagen (KUP) ordnen sich in der gemeindebezogenen Anbaustruktur von Szenario 1 (2020) mit ein und werden, genau wie die anderen Kulturen, nicht innerhalb der Gemeinde verortet. Das heißt jedes der Gemeinde zugehörige Raster-element mit ausgewiesener Ackernutzung erhält die mittlere Fruchtartenverteilung der Gemeinde. Die entsprechende Kulisse für Szenario 1 – 2020 wurde vom Auftraggeber erarbeitet und übergeben. Für Szenario 2 – 2020 konnten die Ergebnisse aus Teilprojekt 2.1 genutzt werden.

Auf KUP-Flächen wird, abweichend von den übrigen Fruchtarten, davon ausgegangen, dass die Stickstoffbilanz im Mittel der Umtriebszeit ausgeglichen ist. Eine Auswaschung von N wird somit nicht betrachtet (Zwischenbilanz $N_{\text{surplus}} = 0$, vgl. Gebel et al. 2009). Dies begründet sich darin, dass für KUP lediglich eine Extensivdüngung empfohlen wird bzw. je nach Baumartenwahl auch vollständig auf eine N-Düngung verzichtet werden kann. N-Auswaschungen sind, je nach Nachlieferungspotenzial des Bodens jedoch in den ersten Standjahren nicht grundsätzlich auszuschließen (vgl. Röhrich & Ruscher 2010, Eckel et al. 2006).

Der für die Modellierung des Bodenabtrages maßgebliche C-Faktor wird vereinfachend demjenigen für mehrjähriges Ackerfutter gleichgesetzt. Detailliertere Angaben hierzu waren in der Literatur nicht recherchierbar. Zudem muss beachtet werden, dass eine Bodenabtragsgefährdung bei KUP vor allem im Anlagejahr sowie nach der Ernte bzw. in der Phase der Rekultivierung gegeben sein dürfte und somit relativ gesehen umso geringer ist, je länger die Umtriebszeit beträgt (vgl. Röhrich & Ruscher 2010).

3.10 Einbeziehung Gärreste

Gärreste werden nur für die NR-Kulturen einbezogen, die überwiegend für eine Produktion von Biogas geeignet sind. Hierzu zählen vor allem Mais, Getreide GP und Gräser. Im derzeitigen Berechnungsstand wird von einer 100-prozentigen Rückführung

⁸ Frischmasse

⁹ Trockensubstanz

des N-Anteils des pflanzlichen Ausgangssubstrates ausgegangen, wobei insgesamt 15% Ausbringungsverluste angerechnet werden. Lagerungsverluste werden nicht einbezogen, da im Regelfall von einer vollständigen Abdeckung der Silos ausgegangen werden kann. Co-Produkte (Wirtschaftsdünger aus Viehhaltung) werden ebenfalls nicht berücksichtigt, da sie als Wirtschaftsdünger bereits in der Bilanz enthalten sind.

Der NH₄-N-Anteil schwankt je nach Verfahren (Nass-, Trockenfermentation) zwischen 50 und 67%. Die Pflanzenverfügbarkeit im Berechnungsjahr wird durchschnittlich mit 42,5% angesetzt. Diese wird bei der Mineraldüngerbemessung über Anrechnungsfaktoren (Wintergerste 0,5 / Zuckerrüben 1,1 / Sommergerste und Raps 0,9 / Sonstige 1) berücksichtigt. Für die Folgejahre ist von einer erhöhten Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz auszugehen.

3.11 Anpassungen Wasserbilanz

In der vorliegenden Modellierung wird die Dauer des kapillaren Aufstiegs getrennt für Getreide- und Hackfrüchte vorgenommen. Bisher wurde bei der Ermittlung des kapillaren Aufstiegs vorrangig der in der Fruchtfolge dominante Getreideanteil berücksichtigt. Die fruchtartenspezifische Unterscheidung ist deshalb notwendig, um die mögliche Minderung der Infiltration bei steigendem Maisanteil in der Fruchtfolge zu berücksichtigen.

Für die Berechnung der Sickerwasserrate bietet das im Modell implementierte TUB-BGR-Verfahren (u.a. Wessolek et al. 2008) lediglich einen Regressionsansatz für Nadelwald- bzw. Laubwaldflächen an (siehe Gebel et al. 2009). Verfahren zur Behandlung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) fehlen dagegen. Informationen zum Wasserbedarf und -verbrauch von KUP für die Verhältnisse in Deutschland/Sachsen sind bisher aber nur sehr eingeschränkt verfügbar. Vorliegende Ergebnisse aus Großbritannien, Skandinavien und Belgien sind nur bedingt übertragbar (Petzold et al. 2009), was insbesondere für die in der vorliegenden Studie zu Grunde liegende Skalenbetrachtung gilt. Die zu erwartenden Verdunstungsraten dürften aber deutlich über denjenigen von Laubholzforsten liegen, was vor allem durch die gute Wasserleitfähigkeit der Gefäße, den hohen Blattflächenindex und das effektive Wurzelsystem begründet ist (vgl. Hall 2003, Petzold et al. 2009). So weisen z.B. Petzold et al. (2009) anhand vorliegender Standortuntersuchungen höhere Verdunstungsraten eines achtjährigen KUP-Bestandes (*Populus nigra x maximosowiczii*, 622 mm ET/VZ¹⁰, Methau/Sachsen) gegenüber einem Fichtenbestand (*Picea abies*, 115 Jahre, 328 mm ET/VZ) bzw. Rotbuchenbestand (*Fagus sylvatica*, 97 Jahre, 386 mm ET/VZ), bezogen auf die Vegetationszeit, nach. Beim direkten Vergleich ist allerdings zu beachten, dass auf den Buchen- bzw. Fichtenstandorten (Tharandter Wald/Sachsen) ungünstigere Standortbedingungen vorherrschen, die geringere Verdunstungsraten erwarten lassen. Zudem begünstigt die durchgehende Benadelung der Fichte im Winter Verdunstungsverluste durch Interzeption und, bei günstiger Witterung, auch Transpirationsverluste durch die Pflanze. Auch bei Einbeziehung dieser Effekte ist aber davon auszugehen, dass die Verdunstungsraten von KUP (Pappeln, Weiden) deutlich über denjenigen von Laubholzforsten liegen und sich denjenigen von Nadelholzforsten annähern (vgl. auch Hall et al. 2003). Insofern wird bei der hier vorgenommenen Wasserhaushaltssimulation auf den Nadelwaldansatz des TUB-BGR-Verfahrens zurückgegriffen.

3.12 Vorgehen zur Abschätzung des PSM-Status 2005 / 2020

PSM werden über diffuse und punktuelle Quellen in Gewässer eingetragen und können die Gewässerbeschaffenheit nachteilig beeinflussen. Deshalb werden Qualitätsvorgaben zur Begrenzung des Vorkommens von PSM-Wirkstoffen in Gewässer erlassen (prioritäre Stoffe; Umweltqualitätsziele nach sog. ECO- und CHEM-Liste).

Zunächst erfolgt eine Analyse des „Ist“-Zustandes der PSM-Einträge in sächsische Gewässer anhand der Erhebungen zur WRRL (Messdaten aus dem Messnetz nach WRRL, LfULG 2009/2). Daraus kann eine erste Charakterisierung der im Zusammenhang mit nachwachsenden Rohstoffen besonders zu beachtenden PSM-Wirkstoffe vorgenommen werden. Die Erhebungen des LfULG (LfUG 2005) beinhalten auch Aussagen zu Risikogebieten in Sachsen bzgl. PSM-Belastungen der Gewässer. Auf einzelne Quellen und Pfade der Stoffeinträge kann und soll in diesem Bericht nicht eingegangen werden.

Es wird unterstellt, dass beim Anbau von Energiepflanzen kein grundsätzlich anderes PSM-Wirkstoffspektrum eingesetzt wird (vgl. z.B. LfL Bayern 2008), als beim Anbau von Kulturen zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Damit lassen sich mögliche

¹⁰ ET/VZ: Evapotranspiration/Vegetationszeit

Effekte vereinfachend auf die unterschiedlichen Wirkstofffrachten je Hektar reduzieren. Im Rahmen des „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ (BMELV 2008) wurden PSM-Überwachungsindikatorsysteme entwickelt. In einem Netzwerk zur Ermittlung der PSM-Anwendung in unterschiedlichen, landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands (NEPTUN) wurden kultur- und regionalspezifisch Daten erhoben und plausibilisiert.

Die auf Basis der Erhebungen (Netz von Vergleichsbetrieben) berechneten regionalen fruchtartenspezifischen „Behandlungsindex“-Kennziffern sind ein auf die Anwendung von PSM orientierter Indikator (Roßberg et al. 2008). Der **Behandlungsindex** stellt die Anzahl von Pflanzenschutzmittel-Anwendungen auf einer betrieblichen Fläche, in einer Kultur oder in einem Betrieb unter Berücksichtigung von reduzierten Aufwandmengen und Teilflächenbehandlungen dar, wobei bei Tankmischungen jedes Pflanzenschutzmittel gesondert zählt. In Freier et al. (2008) sind die Größen „Behandlungsindex“ und „notwendiges Maß“ bei der Anwendung der PSM näher erläutert. Der Behandlungsindex ist inzwischen als ein geeignetes Maß zur Beschreibung der Intensität des chemischen Pflanzenschutzes anerkannt (Roßberg et al. 2008, BMELV 2008).

Die Bilanzierung erfolgt anhand von Bezugswerten, die lt. NEPTUN-Erhebung für jeweilige Boden-Klima-Regionen typisch sind (Roßberg et al. 2002, 2007, 2008). Für Sachsen sind die Erhebungsregionen Ackerbau (ERA) 1011 (Oberlausitz/Sächsisch-Thüringisches Hügelland), 1012 (mitteldeutsche Mittelgebirge und Vorland/Ostbayern), 1008 (Mitteldeutsches Schwarzerdegebiet) und 1006 (Ost- und Südbrandenburgisches Heide- und Seengebiet/Fläming) relevant (Roßberg et al. 2007). Den Landwirtschaftlichen Vergleichsgebieten (LVG) als bewirtschaftungsrelevanten Bezugseinheiten im vorliegenden Projekt können folgende ERA zugewiesen werden (Tabelle 5):

Tabelle 5: ERA (Erhebungsregionen Ackerbau) und zugewiesene LVG in Sachsen (nach Roßberg et al. 2007)

ERA	LVG-Nr.	LVG
1006	1, 10, 11	Lausitzer Heide und Teichgebiet, Dübener-Dahlener Heide, Sächsische Elbtalniederung
1008	9	Leipziger Tieflandsbucht
1011	2, 6, 7, 8	Lausitzer Platte, Zittauer Becken, Zwickauer/Chemnitzer Hügelland, Oberlausitzer Bergland, Mittelsächsisches Hügelland, Mittelsächsische Platte
1012	3, 4, 5, 6a	Elbsandsteingebirge, Nördliche Erzgebirgsabdachung, Erzgebirgskamm, Elsterbergland

In Tabelle 6 sind aktuell verfügbare Behandlungsindices als Summe der Herbizid-, Fungizid-, Insektizid- und Wachstumsregler aufgeführt. Sie beziehen sich auf das Erhebungsjahr 2007. Im Durchschnitt aller Erhebungsregionen Deutschlands wurden im Jahre 2007 folgende Behandlungsindices berechnet (vgl. Freier et al. 2008): Winterweizen (n=179 Felder): 1,9 (Herbizide), 1,9 (Fungizide), 1,2 (Insektizide) und 0,8 (Wachstumsregler), Wintergerste (n=110 Felder): 1,5 (Herbizide), 1,1 (Fungizide), 0,9 (Insektizide) und 0,6 (Wachstumsregler), Winterraps (n=137): 1,6 (Herbizide), 1,0 (Fungizide), 2,3 (Insektizide) und 0,5 (Wachstumsregler).

Für Zuckerrüben wurden 2007 separate Erhebungen realisiert (Roßberg et al. 2008). Für die Kulturen Mais, Gras, Triticale, Kartoffeln, Winterroggen und Sommergerste liegen hingegen nur Mittelwerte Deutschlands vor (s. Tabelle 6), die zudem nur auf geringen Stichproben beruhen. Bei Kartoffeln wurde der hohe Behandlungsindex insbesondere durch die Fungizidanwendungen (Behandlungsindex = 16,5) bestimmt. Im Mais wurden auf allen 26 Feldern nur Herbizide angewendet. Bei Triticale war eine relativ zu den anderen Getreidearten geringe Intensität der Herbizidanwendungen festzustellen. Die Daten zum Winterroggen sind mit denen der Wintergerste bezüglich der Herbizide und Wachstumsregler und bezüglich der Fungizide mit dem Winterweizen vergleichbar (Freier et al. 2008).

Für Leguminosen (ab Mai 2010 soll eine Erhebung für Ackerbohnen vorliegen, mdl. Mitt. von Herrn Roßberg, Julius Kühn-Institut) und Sonnenblumen wurden bisher keine Behandlungsindices ermittelt, da die Datenbasis nicht ausreichte.

Zwischen den Regionen und vor allem zwischen den Feldern wurden im Hinblick auf die Behandlungsindices erhebliche Unterschiede festgestellt. Gleiches gilt für unterschiedliche Bezugsjahre. Besonders im Ackerbau werden Herbizide, Fungizide und Wachstumsregler mit reduzierten Aufwandmengen angewendet. Die Ausschöpfung der zugelassenen Aufwandmengen lag z. B.

im Winterweizen bei 63% (Herbizide), 57% (Fungizide) und 46% (Wachstumsregler). Die Analyse der fachlichen Bewertungen durch die Pflanzenschutzdienste im Jahr 2007 zeigte, dass insbesondere regionale Besonderheiten des Schaderregerauftretens die Pflanzenschutzmittel-Anwendungen bestimmen. Die Varianz der Behandlungsindices wird auch durch andere objektive und subjektive Einflüsse beeinflusst, z. B. im Ackerbau durch die Vorfrucht und die Bodenbearbeitung (Freier et al. 2008).

Tabelle 6: Behandlungsindices von Pflanzenschutzmitteln in Ackerkulturen in den Vergleichsbetrieben in Deutschland und einzelnen für Sachsen relevanten Erhebungsregionen Ackerbau (ERA), Bezugsjahr 2007 (nach Freier et al. 2008 und Roßberg et al. 2008)

Fruchtart	Deutschland	ERA 1006	ERA 1008	ERA 1011	ERA 1012
Winterweizen	5,8	3,3	5,2	4,1	5
Wintergerste	4,1	2,4	3,2	4,3	4,8
Winterraps	5,5	5,5	5,4	4,1	5,6
Zuckerrüben	6,1	5,7	6,5	5,5	kein Anbau
Mais	1,9	-	-	-	-
Grassamen	4,4	-	-	-	-
Triticale	4,4	-	-	-	-
Kartoffeln	20,3	-	-	-	-
Winterroggen	4,8	-	-	-	-
Sommergerste	4,8	-	-	-	-
Getreide-GPS ¹¹	5,3	4,1	5	4,5	4,9

Die Szenarien der PSM-Einträge in Kapitel 4 werden über die Änderung der Behandlungsindices einerseits und aus den NR-Szenarien der Verschiebungen der Anteile der Anbaukulturen andererseits quantifiziert.

Für die Bilanzänderung der Behandlungsindices für Energiepflanzen werden die in Tabelle 7 dargestellten Größen angenommen. Es gibt bisher kaum quantitative Erhebungen zum PSM-Einsatz bei Energiepflanzen im Vergleich zum Anbau von Kulturen zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Insofern stellen die in Tabelle 7 dargestellten leichten Abnahmen der Gesamtindices selbst ein Szenario und undifferenzierten Pauschalwert (bzw. Wertespanne) dar, jedoch kein belastbares Faktum.

¹¹ Mittelwert aus Winterweizen und Winterroggen, vgl. www.saaten-union.de/index.cfm/nav/410/article/4085.html

Tabelle 7: Annahme der Änderungen der normierten Behandlungsindices aller Pflanzenschutzmaßnahmen beim Anbau zur Energiegewinnung im Vergleich zum Anbau der Kultur für Nahrungs- oder Futtermittelzwecke

Fruchtart	Änderungen des normierten Behandlungsindex nach LfL Bayern (2008)	abgeleitete Modellannahme „Änderung 2020“
Bioethanol-Zuckerrüben	+/- 0	0
Biodiesel-Raps	+/- 0	0
Bioethanol-Getreide	-0,25 bis +0,25	0
Getreide zur Verbrennung	-0,5 bis 0	-0,25
Biogas-Mais (als Hauptkultur)	-0,25 bis +0,25	0
Biogas-Mais (als Zweitkultur)	-1,0 bis -0,25	-0,5
Getreide-GPS ¹²	-1,0 bis -0,5	-0,75
GPS-Raps	-0,5 bis -0,25	-0,25

Da der jeweilige Verwertungszweck einer NR-Fruchtart im Rahmen der Modellierung u.a. skalenbedingt nicht eindeutig feststellbar ist, können die Angaben in Tabelle 7 nur teilweise umgesetzt werden. Für NR-Mais (als Haupt- bzw. Zweitkultur) wird der Behandlungsindex gemäß Tabelle 6 um den Wert 0,25 reduziert, für Getreideganzpflanzen ergibt sich eine Verminderung um 0,75.

Da der Behandlungsindex allein die Intensität der PSM-Anwendung beschreibt, sind Risikoabschätzungen der Anwendungen nur bedingt ableitbar. Auf der Basis PC-gestützter Modelle wie SYNOPSIS (Synoptisches Bewertungsmodell für Pflanzenschutzmittel) lassen sich relative Veränderungen von Risiken für aquatische und terrestrische Ökosysteme, die aus der Anwendung von PSM entstehen, berechnen (Gutsche & Strassemer 2007, BMELV 2008). Nach dem „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (BMELV 2008) besteht die Hoffnung, dass bis zum Jahr 2020 eine Reduktion der Risikopotenziale um 25% erreicht werden kann. Als Basis für die Berechnung der Risiken wurden die Mittelwerte der Berechnungen für die Jahre 1996 bis 2005 herangezogen¹³. Eine Anwendung des SYNOPSIS-Modells und eine konkrete Darstellung der Risikoänderung kann im Rahmen dieses Projektes nicht realisiert werden.

¹² GPS: Ganzpflanzensilage

¹³ <http://nap.jki.bund.de>

4 Ergebnisse

4.1 Wasserhaushalt

4.1.1 Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Gesamtabflusshöhen, basierend auf der Jahresreihe 1961-2005, zeigt Abbildung 5.

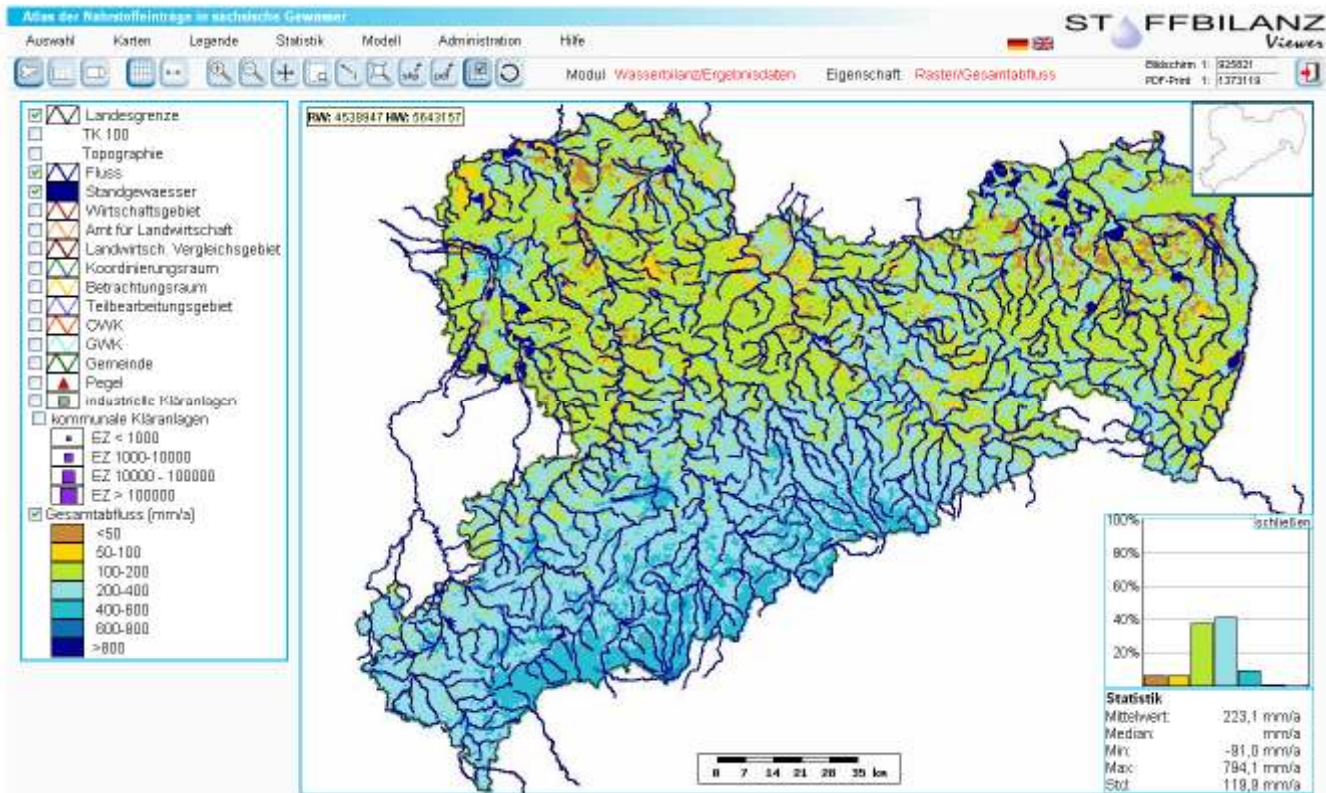


Abbildung 5: Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 des Stoffatlas Sachsen (Halbfaß et al. 2009) ergeben sich im aktualisierten Rechenlauf der vorliegenden Studie (Ist-Zustand 2005) geringfügige Abweichungen (Verringerung von 2 mm/a im Mittel), die im Wesentlichen auf eine veränderte Berücksichtigung des kapillaren Aufstiegs auf Ackerflächen bei der Ermittlung der Sickerwasser rate zurückzuführen sind. In der vorliegenden Modellierung wird die Dauer des kapillaren Aufstiegs getrennt für Getreide- und Hackfrüchte vorgenommen. Bisher wurde bei der Ermittlung vorrangig der in der Fruchtfolge dominante Getreideanteil berücksichtigt. Der Gesamtabfluss liegt bei 223,1 mm/a im sächsischen Mittel, die reale Evapotranspiration beträgt 562 mm/a. Im Vergleich mit gemessenen Abflussdaten an 39 Beschaffenheitsmessstellen (siehe Halbfaß et al. 2009) ergibt sich ein r^2 von 0,90. Auf die Betrachtung der einzelnen Abflusskomponenten im Rahmen der Abbildungsdarstellung wird im vorliegenden Endbericht verzichtet, da die Unterschiede zum „Stoffatlas Sachsen“ (Halbfaß et al. 2009) marginal sind. Einen Überblick über die Einzelwerte für Sachsen, bezogen auf die Ackerfläche, gibt Tabelle 8.

Tabelle 8: Mittlere modellierte Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete auf Ackerflächen [mm/a] (Ist-Zustand 2005)

Wirtschaftsgebiet	Basisabfluss	Interflow	Dränabfluss	Oberflächenabfluss	Gesamtabfluss
Sächs. Heide- u. Teichlandschaft	119	50	23	4	197
Sächsisches Lössgebiet	65	43	44	12	164
Sächs. Mittelgebirge und Vorland	142	94	70	27	332
Sachsen	94	57	47	14	212

Einen regionsspezifischen Überblick über die Modellierungsergebnisse des Gesamtabflusses bzw. Basisabflusses für den Ist-Zustand 2005 liefert Tabelle 9 für Ackerflächen, bezogen auf die Wirtschaftsgebiete und Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG).

Tabelle 9: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung des Gesamtabflusses und Basisabflusses in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [mm/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Gesamtabfluss	Basisabfluss
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	197,0	119,5
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	204,3	123,0
10 Dübener-Dahlener Heide	183,0	112,8
Sächsisches Lössgebiet	164,3	65,2
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	174,0	65,5
7 Mittelsächsisches Hügelland	222,0	65,3
8 Mittelsächsische Platte	149,0	66,3
9 Leipziger Tieflandsbucht	134,6	59,5
11 Sächsische Elbtalniederung	169,9	89,2
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	331,6	141,5
3 Elbsandsteingebirge	207,2	95,0
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	333,6	144,8
5 Erzgebirgskamm	443,4	200,8
6a Elsterbergland	339,8	145,1
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	304,2	115,6
Sachsen	211,5	93,9

4.1.2 Szenario 1 - 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten Gesamtabflusshöhen für die prognostizierte Bewirtschaftungssituation in 2020 (Szenario 1) zeigt Abbildung 6.

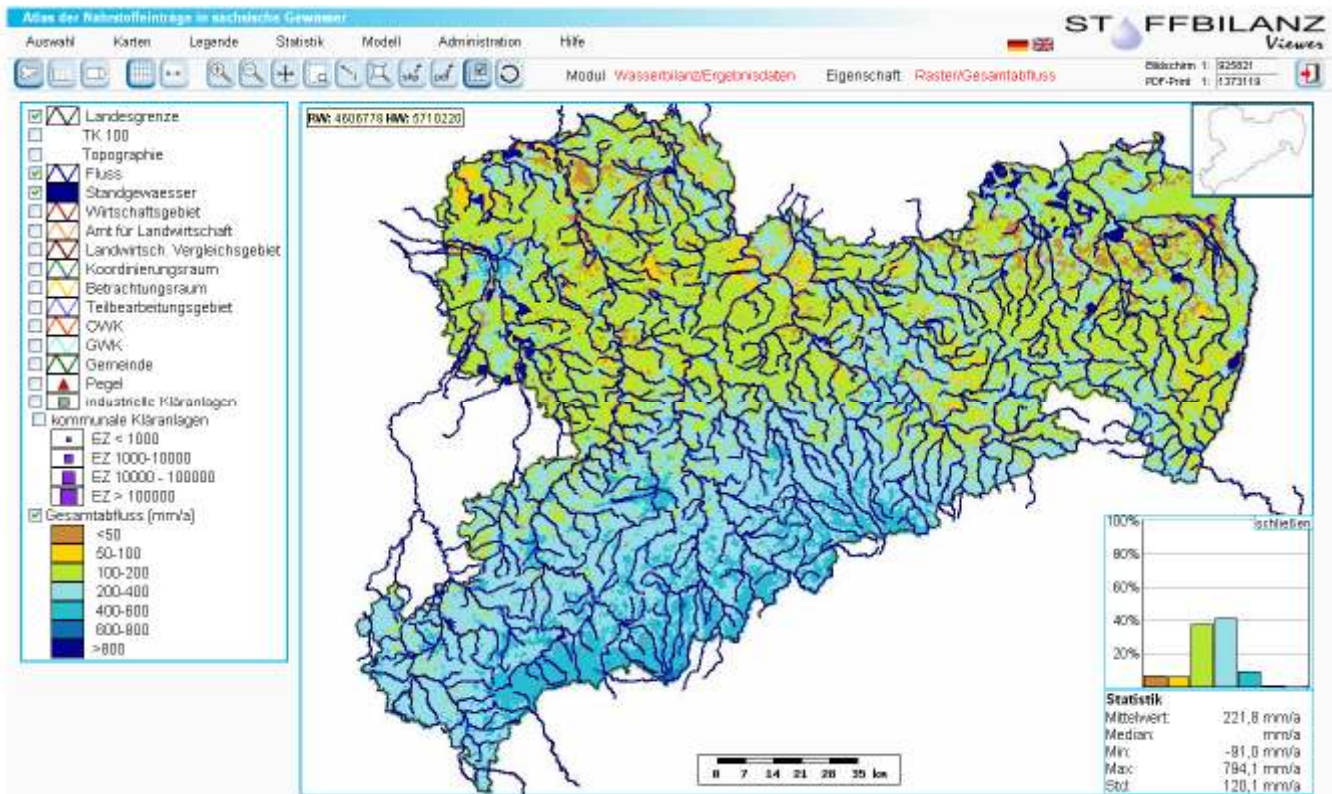


Abbildung 6: Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

Als Klimadatenreihe liegt auch hier die Jahresreihe 1961-2005 zu Grunde, so dass die Auswirkungen der veränderten Bewirtschaftungssituation nicht durch Effekte des Klimawandels überlagert werden können. Die Gesamtabflusshöhe beläuft sich im Mittel für Sachsen auf 221,8 mm/a, die reale Evapotranspiration beträgt 563,3 mm/a. Auf die Betrachtung der einzelnen Abflusskomponenten im Rahmen der Abbildungsdarstellung wird in der vorliegenden Studie verzichtet. Einen Überblick über die Einzelwerte für Sachsen auf Ackerflächen gibt Tabelle 10.

Tabelle 10: Mittlere Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 – 2020)

Wirtschaftsgebiet	Basisabfluss	Interflow	Dränabfluss	Oberflächenabfluss	Gesamtabfluss
Sächs. Heide- u. Teichlandschaft	119	50	23	4	196
Sächsisches Lössgebiet	65	43	44	11	163
Sächs. Mittelgebirge und Vorland	141	93	70	26	331
Sachsen	93	57	47	14	210

4.1.3 Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen der berechneten Gesamtabflusshöhen für 2020 und 2005 zeigt Abbildung 7. Im Mittel liegt die Differenz bei 1,2 mm/a. Aufgrund der marginalen Unterschiede wird auf eine tabellarische Gegenüberstellung verzichtet.

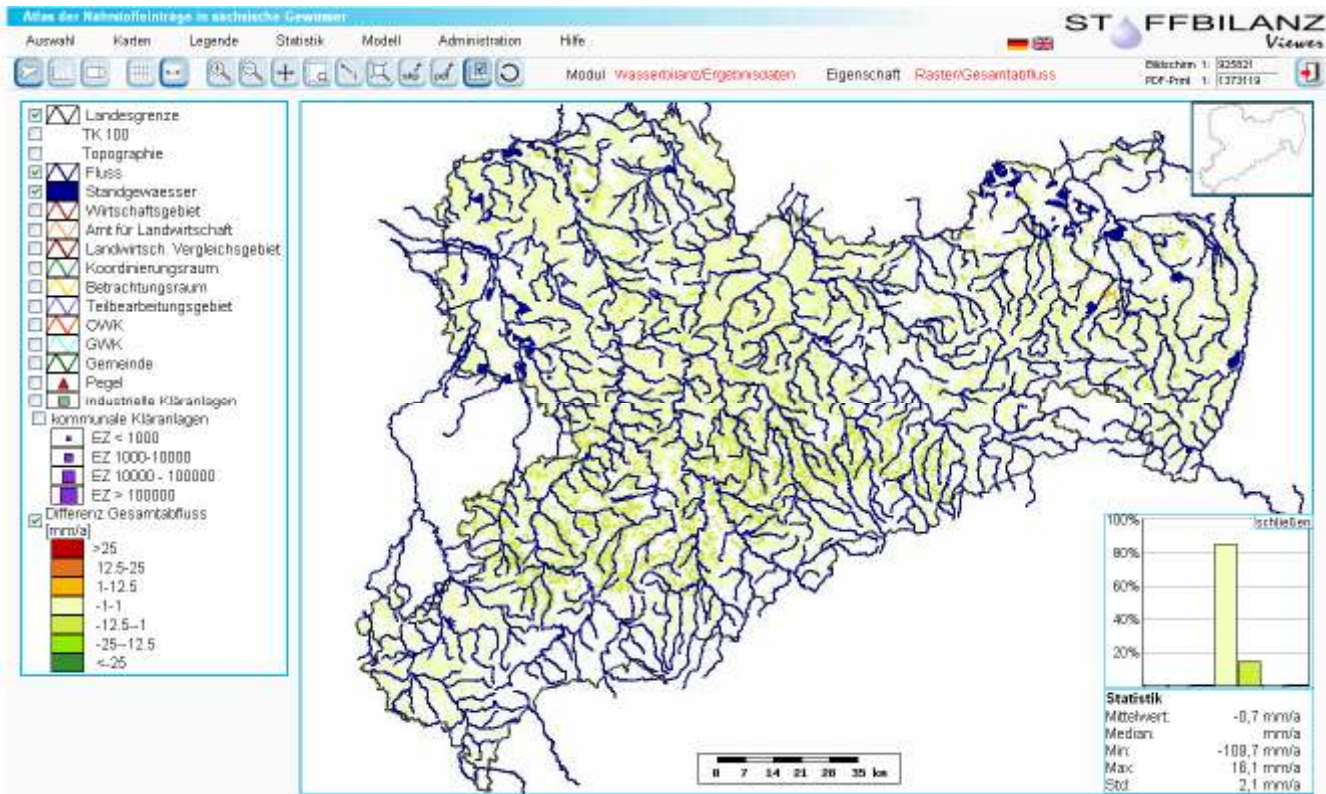


Abbildung 7: Differenzenkarte für den Gesamtabfluss (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

4.1.4 Szenario 2 – 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten Gesamtabflusshöhen für die prognostizierte Bewirtschaftungssituation auf Ackerflächen in 2020 unter Annahme eines KUP-Anbaus auf Synergieflächen für Natur- und Bodenschutz zeigt Abbildung 8. Als Klimadatenreihe liegt auch hier die Jahresreihe 1961-2005 zu Grunde, so dass die Auswirkungen der veränderten Bewirtschaftungssituation nicht durch Effekte des Klimawandels überlagert werden können. Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 ergibt sich ein Rückgang der Gesamtabflusshöhe im Mittel für Sachsen von 223,1 auf 215,7 mm/a. Die reale Evapotranspiration liegt jetzt bei 569,4 mm/a.

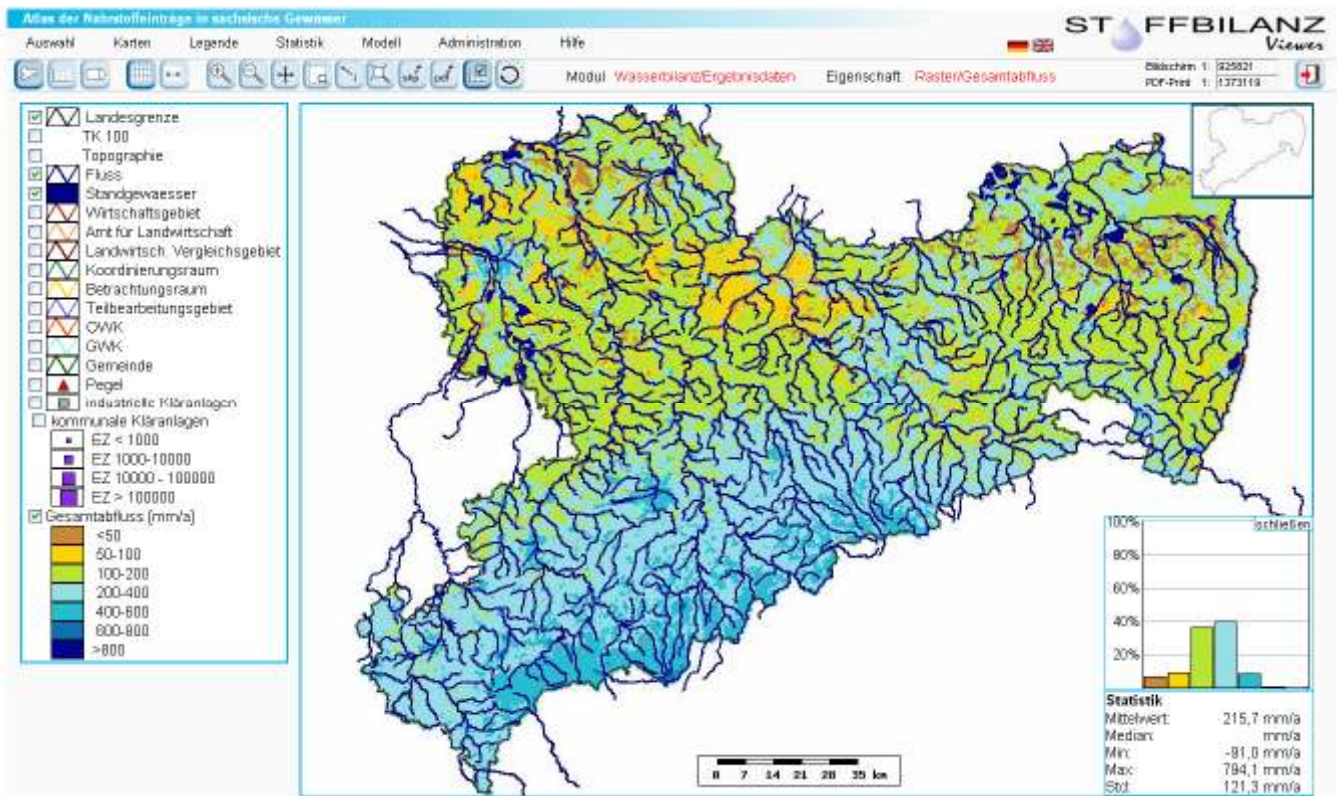


Abbildung 8: Modellierter Gesamtabfluss für Sachsen (Szenario 2 - 2020)

Auf die Betrachtung der einzelnen Abflusskomponenten im Rahmen der Abbildungsdarstellung wird in der vorliegenden Studie verzichtet. Einen Überblick über die Einzelwerte für Sachsen auf Ackerflächen gibt Tabelle 11.

Tabelle 11: Mittlere Abflusshöhen der Abflusskomponenten in Sachsen für Wirtschaftsgebiete [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020)

Wirtschaftsgebiet	Basisabfluss	Interflow	Dränabfluss	Oberfl.abfluss	Gesamtabfluss
Sächs. Heide- u. Teichlandschaft	111	46	23	4	185
Sächsisches Lössgebiet	55	36	44	11	146
Sächs. Mittelgebirge und Vorland	132	87	70	26	315
Sachsen	84	50	47	14	195

Einen regionspezifischen Überblick über die Modellierungsergebnisse des Gesamtabflusses liefert Tabelle 12 für Ackerflächen, bezogen auf die Wirtschaftsgebiete und Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG).

Tabelle 12: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung des Gesamtabflusses in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [mm/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Gesamtabfluss	Basisabfluss
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	185,0	111,4
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	192,0	114,7
10 Dübener-Dahlener Heide	171,8	105,3
Sächsisches Lössgebiet	146,3	54,6
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	157,4	55,9
7 Mittelsächsisches Hügelland	202,6	55,6
8 Mittelsächsische Platte	127,0	52,5
9 Leipziger Tieflandsbucht	120,4	51,0
11 Sächsische Elbtalniederung	168,7	88,5
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	315,1	131,9
3 Elbsandsteingebirge	193,8	86,9
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	314,8	133,8
5 Erzgebirgskamm	432,0	193,7
6a Elsterbergland	324,6	135,9
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	284,4	104,5
Sachsen	194,6	83,8

4.1.5 Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen der berechneten Gesamtabflusshöhen für Szenario 2 – 2020 und Ist-Zustand 2005 zeigt Abbildung 9.

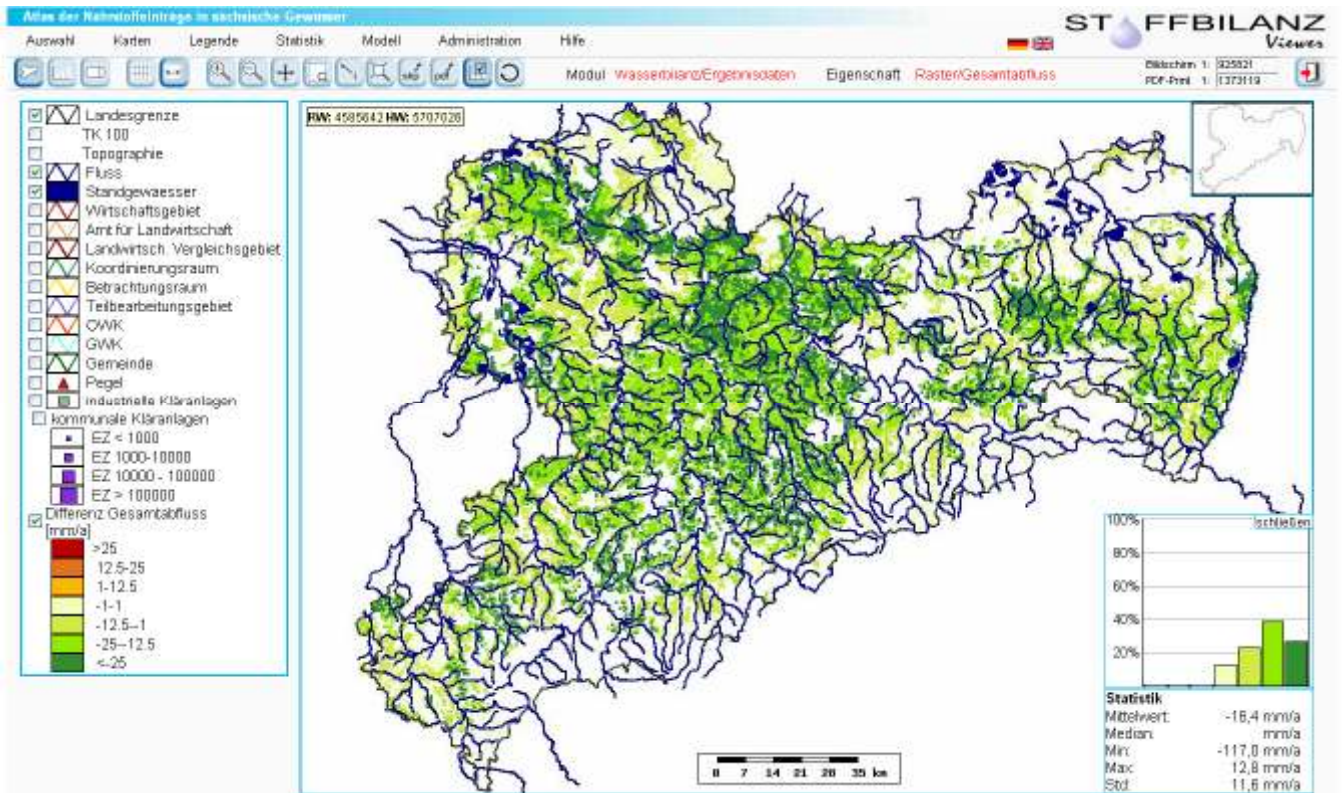


Abbildung 9: Differenzkarte für den Gesamtabfluss (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

Im sächsischen Mittel verringert sich der Gesamtabfluss gegenüber dem Ist-Zustand 2005 um 3,3%. Einen regionspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen für Sachsen zeigt Tabelle 13 für Ackerflächen.

Tabelle 13: Modellierte Differenzen der Gesamtabflüsse und Basisabflüsse [mm/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Gesamtabfluss	Basisabfluss
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-12,0	-8,1
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-12,3	-8,3
10 Dübener-Dahlener Heide	-11,2	-7,5
Sächsisches Lössgebiet	-18,0	-10,6
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-16,6	-9,6
7 Mittelsächsisches Hügelland	-19,4	-9,7
8 Mittelsächsische Platte	-22,0	-13,8
9 Leipziger Tieflandsbucht	-14,2	-8,5
11 Sächsische Elbtalniederung	-1,2	-0,7
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-16,5	-9,6
3 Elbsandsteingebirge	-13,4	-8,1
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-18,8	-11,0
5 Erzgebirgskamm	-11,4	-7,1
6a Elsterbergländ	-15,2	-9,2
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-19,8	-11,1
Sachsen	-16,9	-10,1

Anhand von Abbildung 10 und Abbildung 11 werden die Rückgänge auf Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 im Vergleich zum Ist-Zustand 2005, differenziert nach LVG, nochmals verdeutlicht.

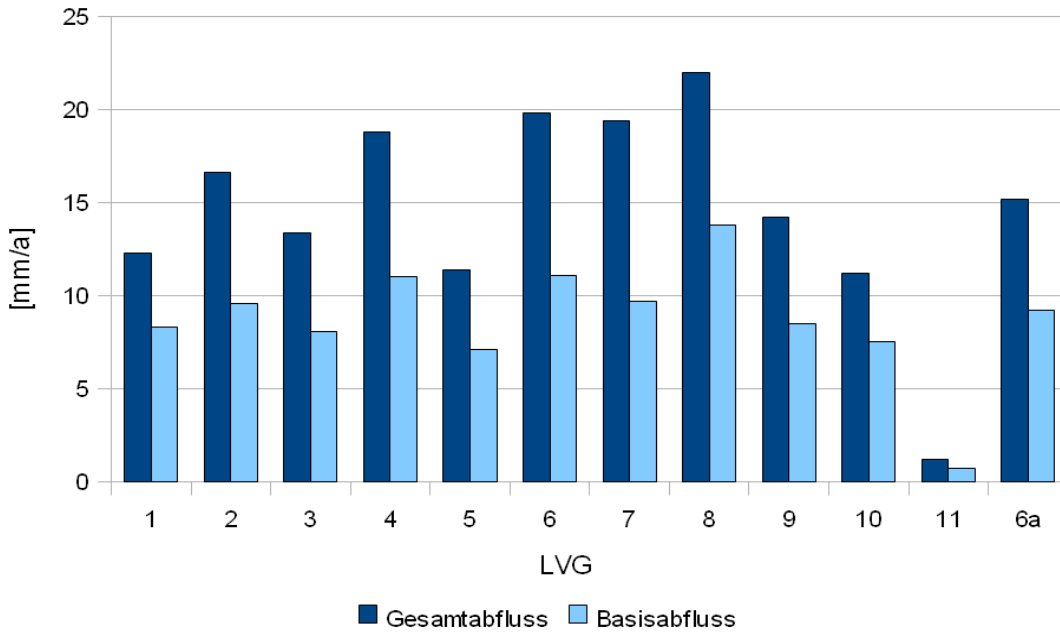


Abbildung 10: Modellerte Beträge des Rückgangs von Gesamtabfluss und Basisabfluss auf Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020

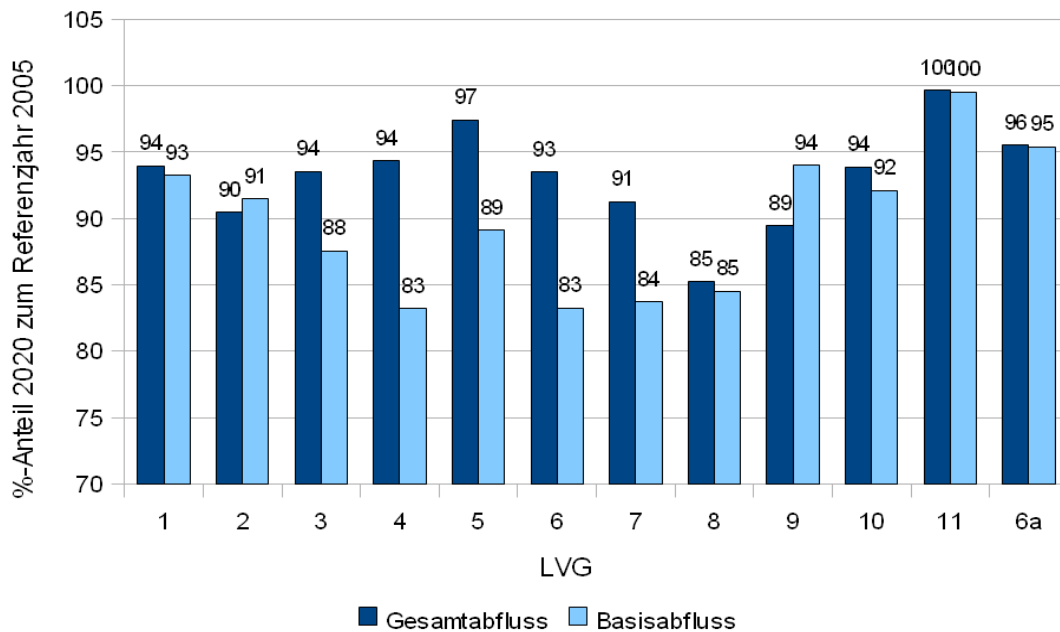


Abbildung 11: Modellerte Gesamtabflüsse und Basisabflüsse auf Ackerflächen 2020 (Szenario 2) als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005

Die höchsten prozentualen Rückgänge werden in den LVG 2, 6, 7, 8 und 9 und damit insbesondere im Tiefland und Teilen des Lössgebietes erreicht. Dies begründet sich in der Tatsache, dass hier die höchsten Anteile an KUP-Flächen liegen. Auch die Beträge des Rückgangs des Gesamtabflusses sind hier besonders hoch. Weiterhin ist zu beachten, dass Tiefland und Lössgebiet im Vergleich zum Mittelgebirge und Mittelgebirgsvorland durch ein sowieso schon geringeres Wasserdargebot gekennzeichnet sind.

4.2 Bodenabtrag und Sedimenteintrag

4.2.1 Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die modellierten räumlich verteilten Bodenabtrags- und Sedimenteintragsraten, basierend auf der Klimadatenjahresreihe 1961-2005, zeigen Abbildung 12 und Abbildung 13.

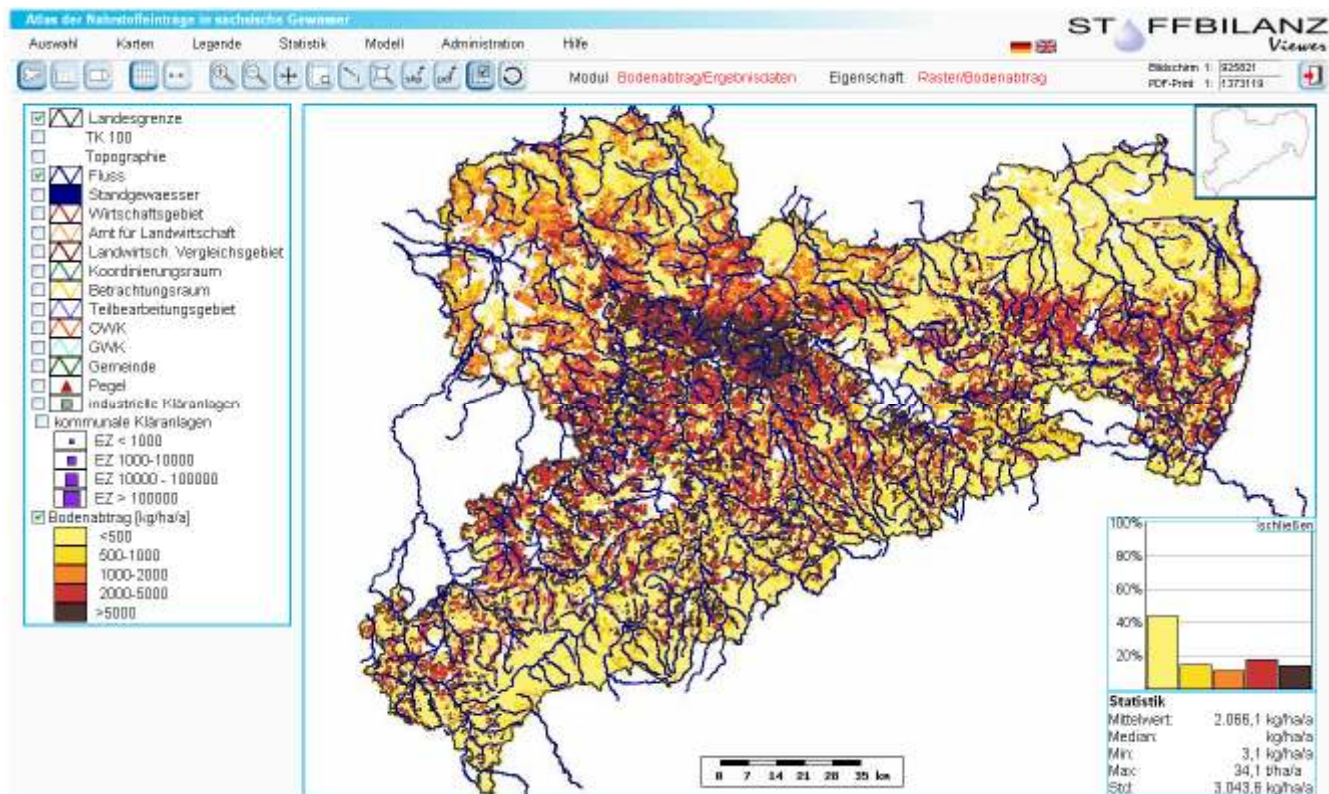


Abbildung 12: Modellerte Bodenabträge (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

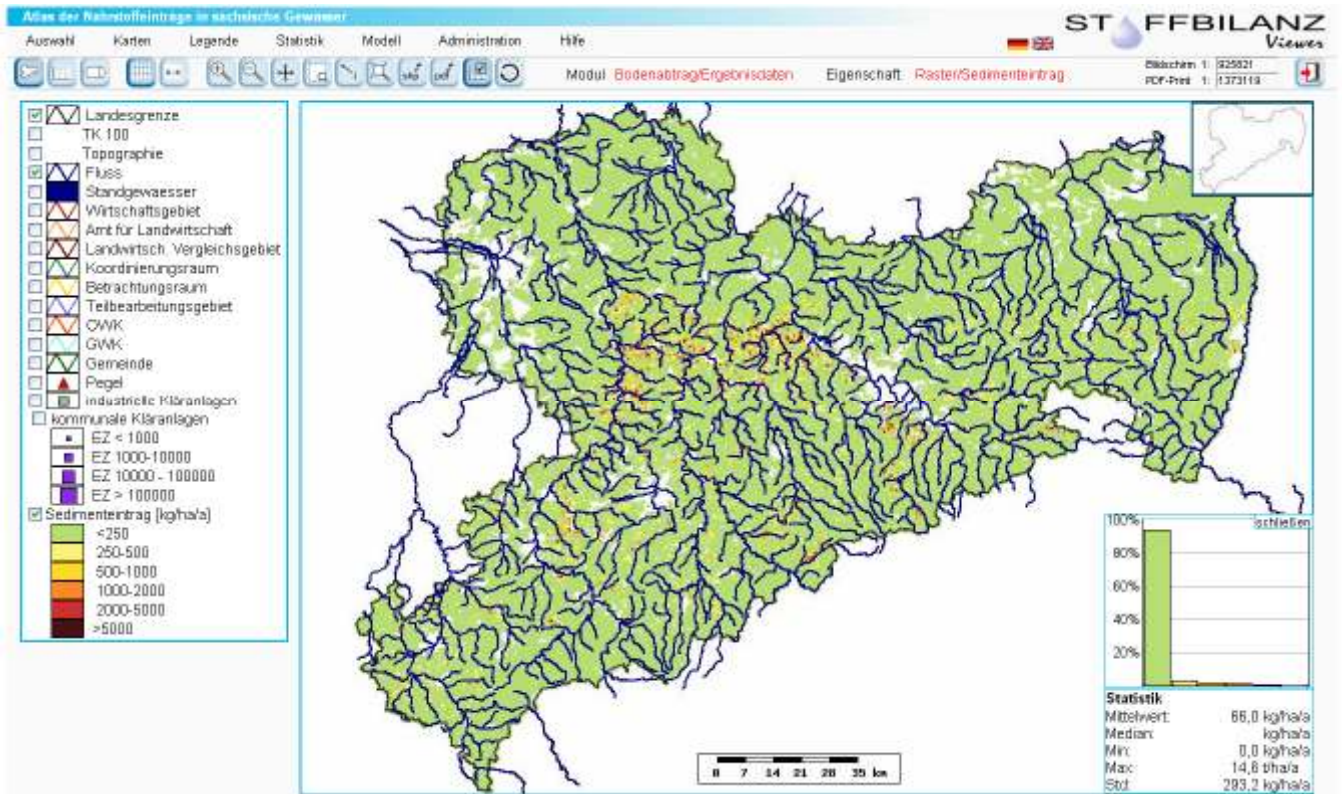


Abbildung 13: Modellerte Sedimenteinträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 des Stoffatlas Sachsen (Halbfaß et al. 2009) ergeben sich marginale Reduzierungen. Diese sind auf die aus rechentechnischen Gründen notwendig gewordene Umstellung der Flächenanteile des Fruchtartenspektrums von Hektar- auf Prozentwerte zurückzuführen. Die Bodenabträge für Sachsen liegen in der Summe bei 3.219.345 t/a, die Sedimenteinträge belaufen sich auf 102.827 t/a. Einen regionspezifischen Überblick über die Modellierungsergebnisse gibt Tabelle 14 für Ackerflächen, bezogen auf die Wirtschaftsgebiete und Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG).

Tabelle 14: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	C-Faktor	Bodenabtrag	Sedimenteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,11	1364	16
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,11	1381	19
10 Dübener-Dahlener Heide	0,10	1331	10
Sächsisches Lössgebiet	0,08	4078	143
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,09	4247	116
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,08	4723	147
8 Mittelsächsische Platte	0,09	5400	249
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,09	1852	24
11 Sächsische Elbtalniederung	0,10	803	2
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,08	5603	192
3 Elbsandsteingebirge	0,09	7214	258
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,08	4984	155
5 Erzgebirgskamm	0,10	6857	255
6a Elsterbergland	0,08	4952	171
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,07	5230	179
Sachsen	0,09	3964	132

4.2.2 Szenario 1 – 2020

Rasterbezogene Bodenabträge und Sedimenteinträge für die Klimadatenjahresreihe 1961-2005 zeigen Abbildung 14 und Abbildung 15 für Szenario 1 – 2020.

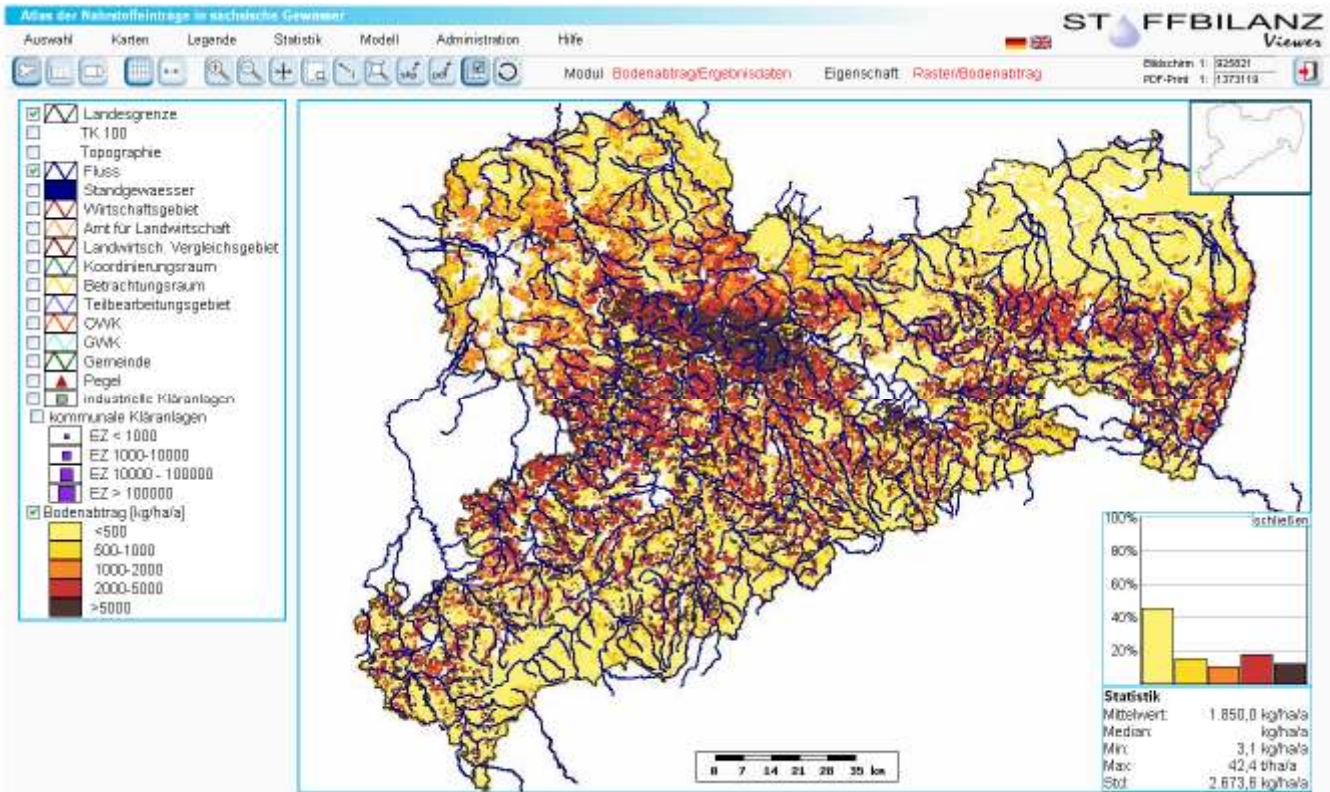


Abbildung 14: Modellierter Bodenabtrag (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

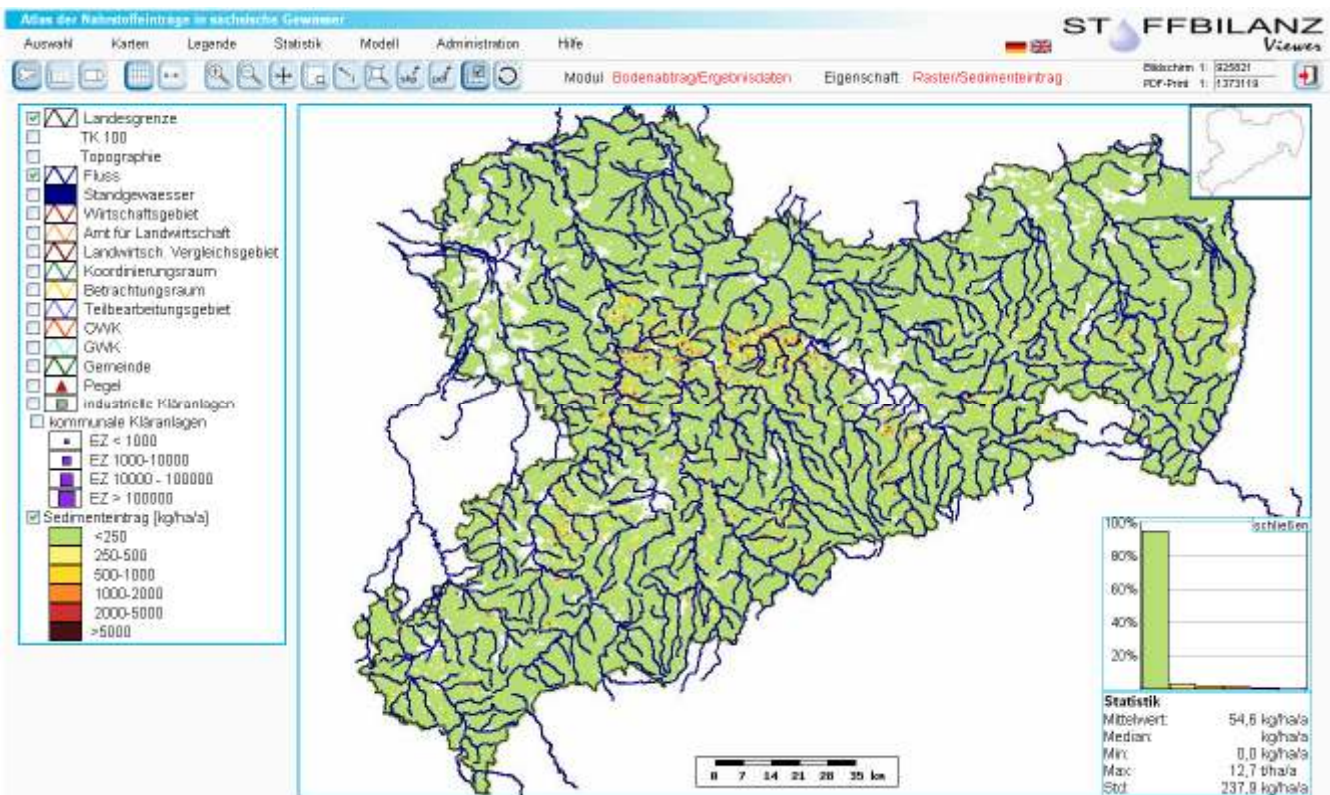


Abbildung 15: Modellierter Sedimenteintrag für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 (Ist-Zustand) zeigt sich ein leichter Rückgang der Bodenabträge um 216,0 kg/ha/a bzw. der Sedimenteinträge um 11,4 kg/ha/a im Mittel aller Rasterflächen. Die Gesamtsummen für Sachsen belaufen sich auf 2.895.051 t/a bzw. 85.412 t/a. Einen regionspezifischen Überblick über die Modellierungsergebnisse für Sachsen gibt Tabelle 15 für Ackerflächen.

Tabelle 15: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	C-Faktor	Bodenabtrag	Sedimenteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,08	1117	12
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,08	1123	14
10 Dübener-Dahlener Heide	0,08	1218	7
Sächsisches Lössgebiet	0,08	3753	124
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,08	4003	104
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,07	4400	127
8 Mittelsächsische Platte	0,08	4852	212
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,08	1767	23
11 Sächsische Elbtalniederung	0,08	668	2
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,08	4978	153
3 Elbsandsteingebirge	0,08	6029	176
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,08	4547	133
5 Erzgebirgskamm	0,08	5683	182
6a Elsterbergland	0,08	4615	148
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,07	4787	150
Sachsen	0,08	3575	111

4.2.3 Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 1 – 2020 und dem Bezugsjahr 2005 (Ist-Zustand) für Bodenabtrag und Sedimenteintrag zeigen Abbildung 16 und Abbildung 17.

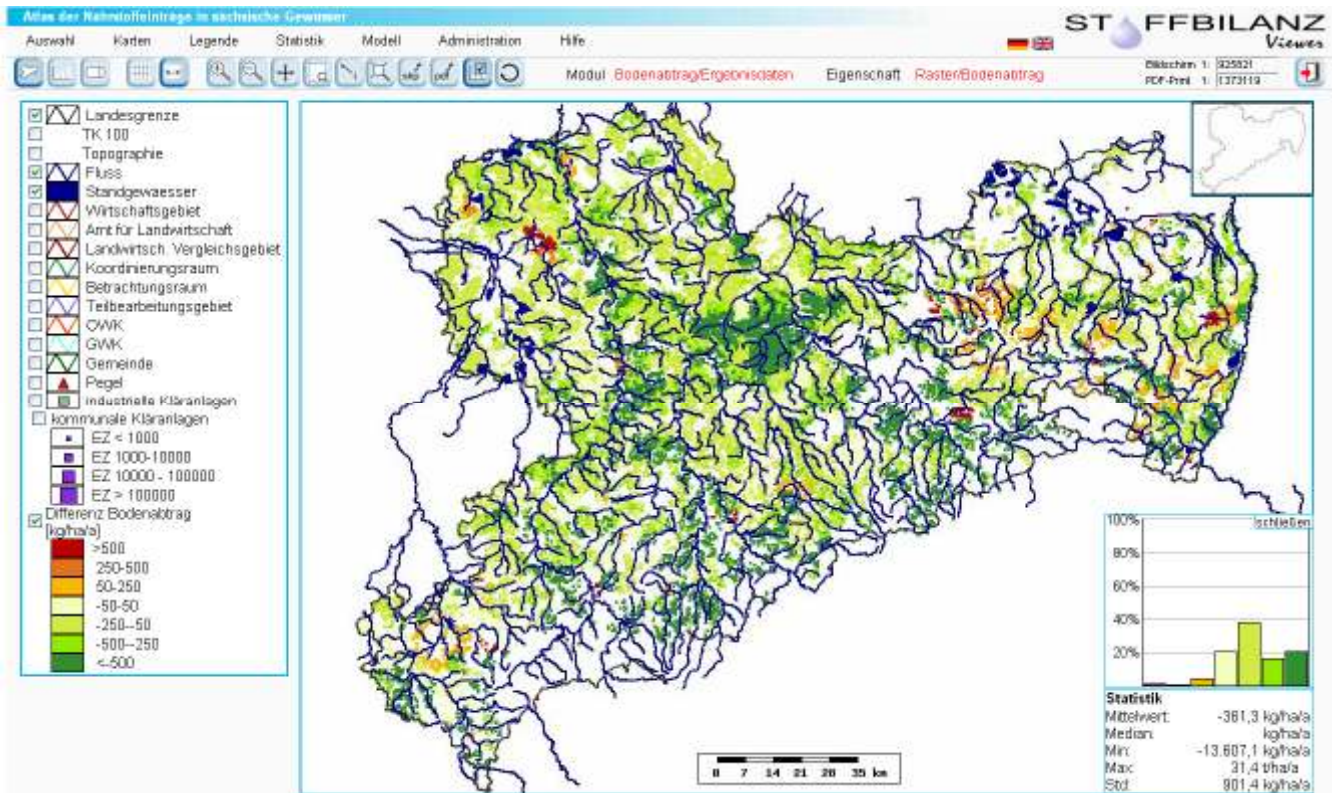


Abbildung 16: Differenzkarte für den Bodenabtrag (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

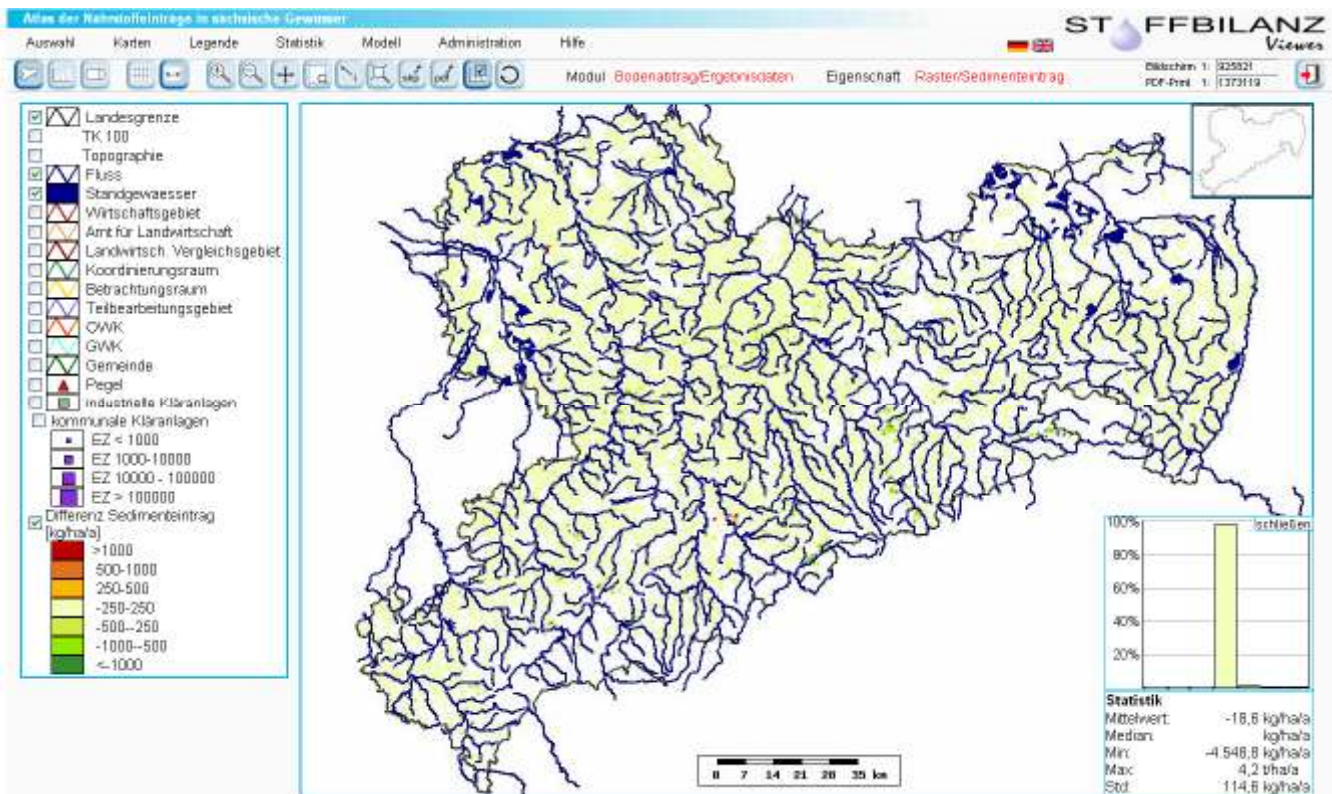


Abbildung 17: Differenzkarte für den Sedimenteintrag (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

In der Summe für Sachsen verringern sich die Bodenabträge gegenüber 2005 um 324.294 t/a (10,1%). Die Sedimenteinträge reduzieren sich um 17.415 t/a (16,9%). Einen regionsspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen für Sachsen zeigt Tabelle 16 für Ackerflächen.

Tabelle 16: Modellierete Differenzen von C-Faktor, Bodenabtrag [kg/ha/a] und Sedimenteintrag [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	C-Faktor	Bodenabtrag	Sedimenteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-0,03	-247	-4
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-0,03	-258	-5
10 Dübener-Dahlener Heide	-0,02	-113	-3
Sächsisches Lössgebiet	0,00	-325	-19
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-0,01	-244	-12
7 Mittelsächsisches Hügelland	-0,01	-323	-20
8 Mittelsächsische Platte	-0,01	-548	-37
9 Leipziger Tieflandsbucht	-0,01	-85	-1
11 Sächsische Elbtalniederung	-0,02	-135	0
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,00	-625	-39
3 Elbsandsteingebirge	-0,01	-1185	-82
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,00	-437	-22
5 Erzgebirgskamm	-0,02	-1174	-73
6a Elsterbergland	0,00	-337	-23
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,00	-443	-29
Sachsen	-0,01	-389	-21

Anhand von Abbildung 18 und Abbildung 19 werden die Rückgänge auf Ackerflächen für 2020 im Vergleich zu 2005 differenziert nach LVG nochmals verdeutlicht.

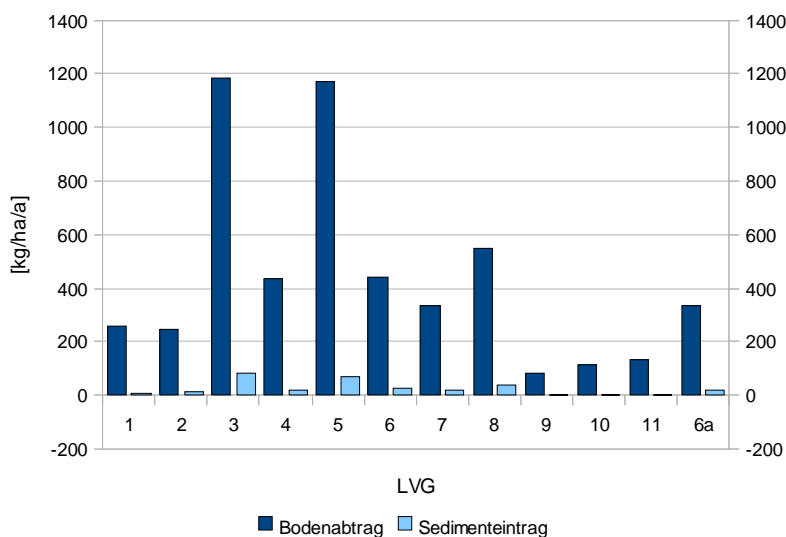


Abbildung 18: Modellierter Beträge des Rückgangs von Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 - 2020

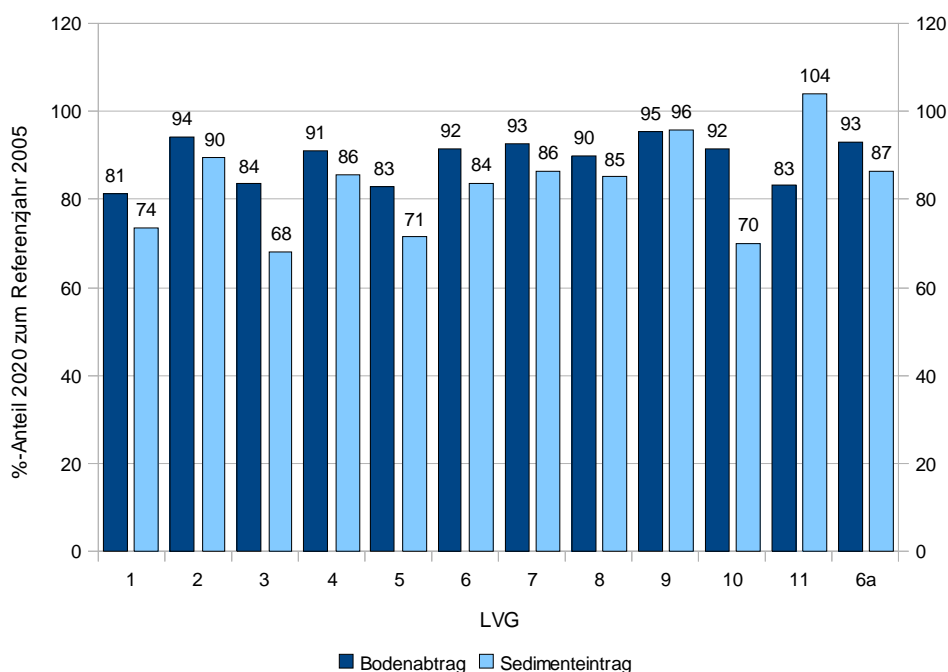


Abbildung 19: Modellierter Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen für Szenario 1 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005

Die höchsten Rückgänge für Bodenabtrag und Sedimenteintrag werden in LVG 3 (Elbsandsteingebirge), 5 (Erzgebirgsabdachung) und 8 (Mittelsächsische Platte) erreicht. Dies begründet sich einerseits in der Tatsache, dass hier die höchsten Anteile erosiver Flächen liegen. Zum Anderen verstärken die Fruchtartenverteilungen im NR-Bereich diese Effekte (hohe Anteile von Graseinsaat und Getreideganzpflanzen in LVG 3 und 5, geringe Silomais- und hohe Raps-Anteile in LVG 8).

4.2.4 Szenario 2 – 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten Bodenabträge und Sedimenteinträge für die prognostizierte Bewirtschaftungssituation auf Ackerflächen in Szenario 2 - 2020 unter Annahme eines KUP-Anbaus auf Synergieflächen für Natur- und Bodenschutz zeigt Abbildung 20 und Abbildung 21. Als Klimadatenreihe liegt auch hier die Jahresreihe 1961-2005 zu Grunde, so dass die Auswirkungen der veränderten Bewirtschaftungssituation nicht durch Effekte des Klimawandels überlagert werden können.

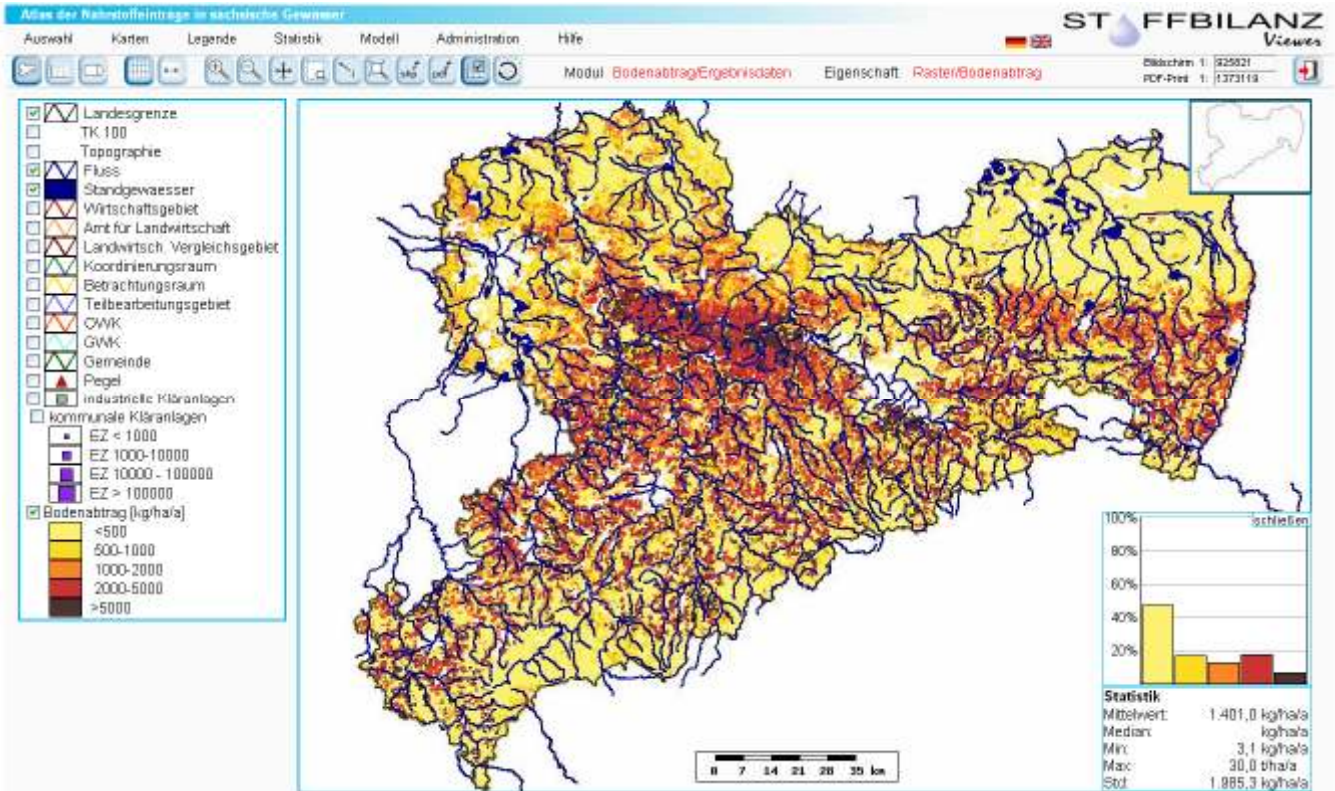


Abbildung 20: Modellierter Bodenabtrag (Bodenerosion durch Wasser) für Sachsen (Szenario 2 – 2020)

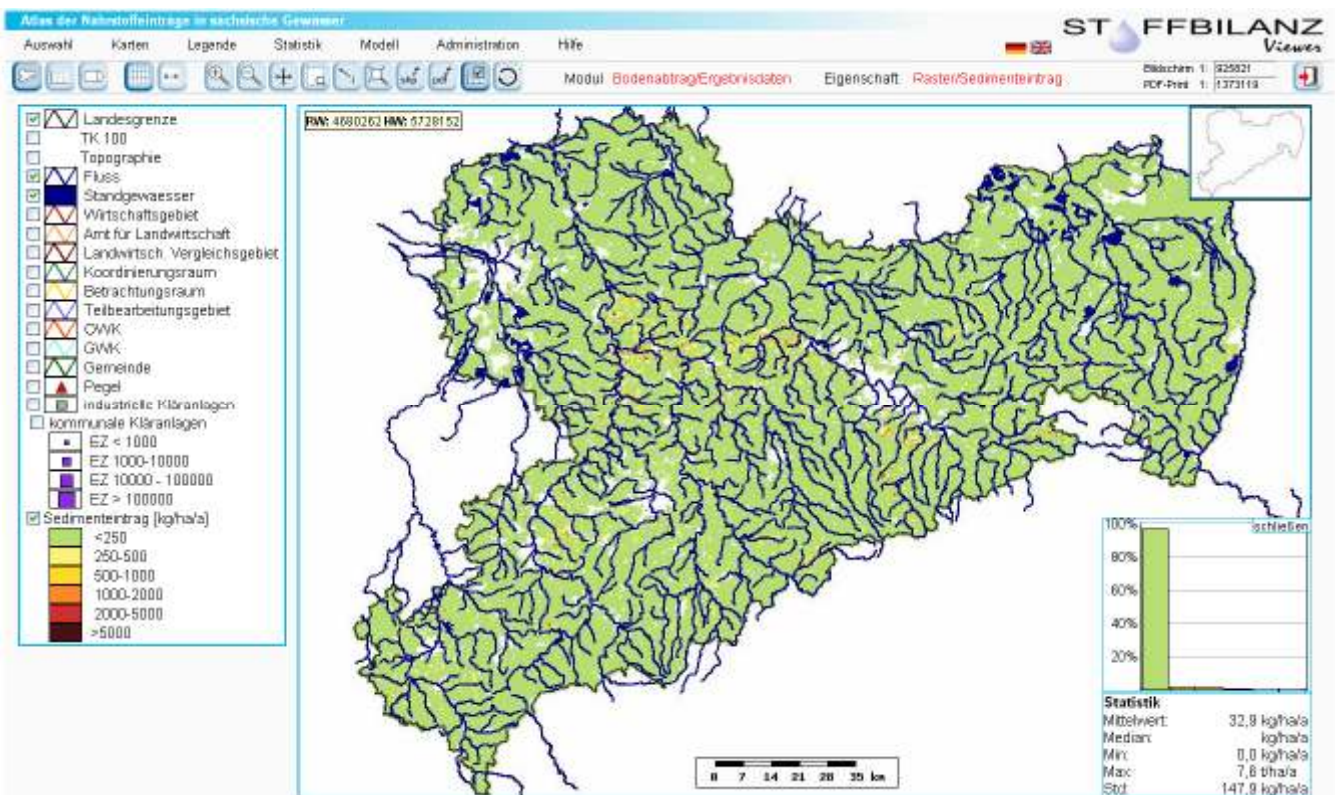


Abbildung 21: Modellierter Sedimenteintrag für Sachsen (Szenario 2 - 2020)

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 ergibt sich ein Rückgang des Bodenabtrags bzw. Sedimenteintrags im Mittel für Sachsen um 664,7 bzw. 33,1 kg/ha/a auf 1.400,4 bzw. 32,9 kg/ha/a. Die Gesamtsummen für Sachsen belaufen sich damit auf 2.192.542 t/a bzw. 51.457 t/a. Einen regionsspezifischen Überblick über die Modellierungsergebnisse des C-Faktors, Bodenabtrags und Sedimenteintrags gibt Tabelle 17 für Ackerflächen, bezogen auf die Wirtschaftsgebiete und Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete (LVG).

Tabelle 17: Ausgewählte Ergebnisse der Bodenabtrags- und Sedimenteintragsmodellierung in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	C-Faktor	Bodenabtrag	Sedimenteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,07	891	9
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,07	888	11
10 Dübener-Dahlener Heide	0,07	898	5
Sächsisches Lössgebiet	0,06	2611	66
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,06	2971	63
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,05	3071	68
8 Mittelsächsische Platte	0,05	3171	106
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,06	1323	15
11 Sächsische Elbtalniederung	0,08	657	1
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,06	3893	101
3 Elbsandsteingebirge	0,07	4905	124
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,06	3449	84
5 Erzgebirgskamm	0,07	4632	129
6a Elsterbergland	0,06	3634	104
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,05	3628	89
Sachsen	0,06	2613	64

4.2.5 Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen der berechneten Bodenabträge und Sedimenteinträge für Szenario 2 – 2020 und den Ist-Zustand 2005 zeigt Abbildung 22 bzw. Abbildung 23.

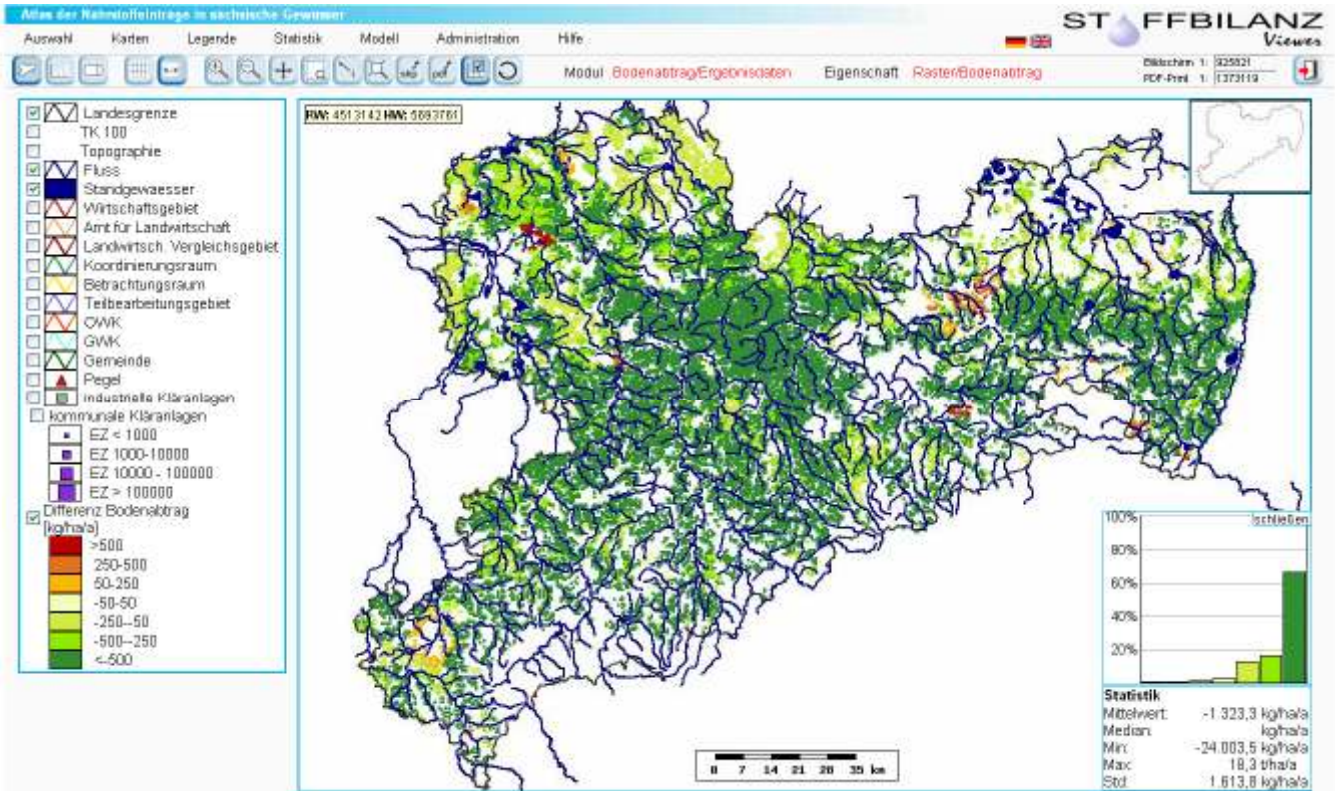


Abbildung 22: Differenzkarte für den Bodenabtrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

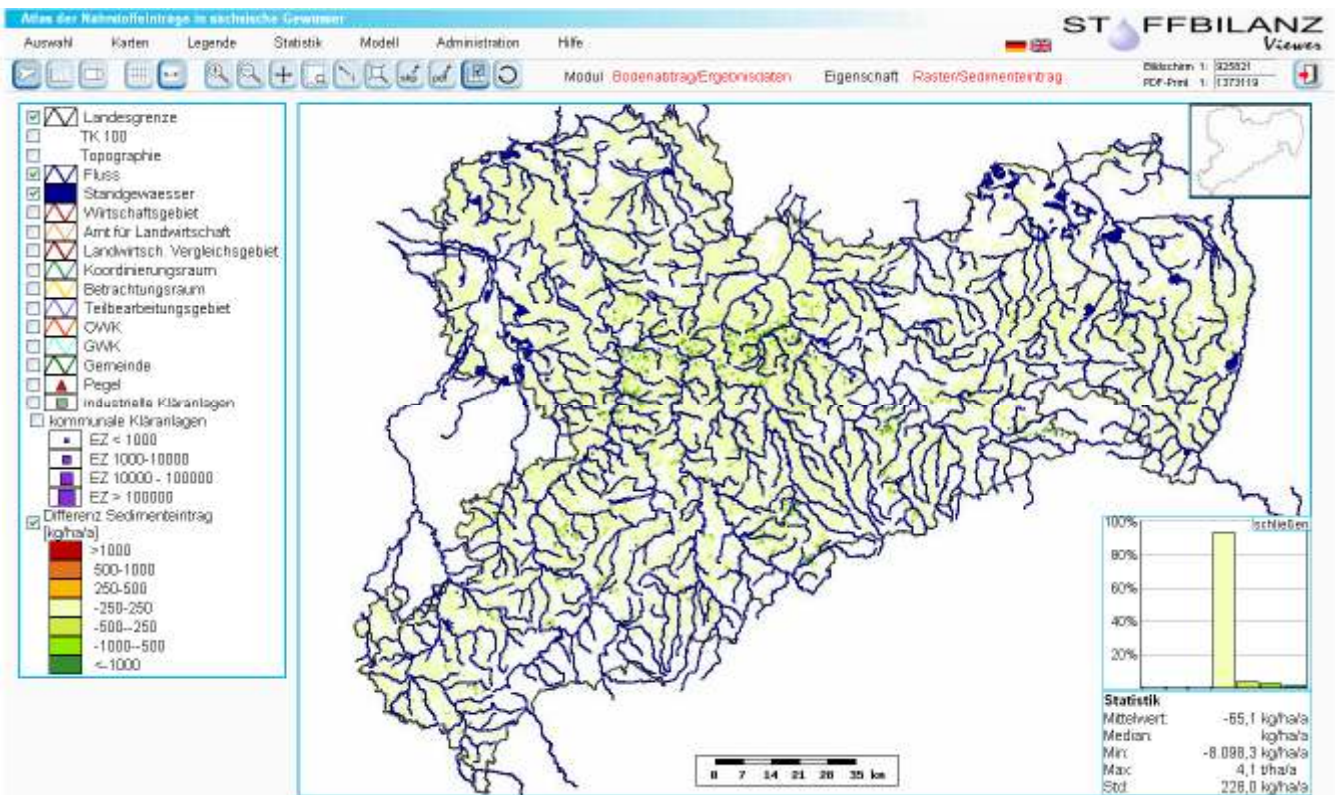


Abbildung 23: Differenzkarte für den Sedimenteintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

Im sächsischen Mittel verringert sich der Bodenabtrag bzw. Sedimenteintrag gegenüber dem Ist-Zustand 2005 um 32,2% bzw. 50,2%. Einen regionspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen für Sachsen zeigt Tabelle 18 für Ackerflächen.

Tabelle 18: Modellierte Differenzen von C-Faktor, Bodenabtrag [kg/ha/a] und Sedimenteintrag [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	C-Faktor	Bodenabtrag	Sedimenteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-0,04	-473	-7
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-0,04	-493	-8
10 Dübener-Dahleener Heide	-0,03	-433	-5
Sächsisches Lössgebiet	-0,02	-1467	-77
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-0,03	-1276	-53
7 Mittelsächsisches Hügelland	-0,03	-1652	-79
8 Mittelsächsische Platte	-0,04	-2229	-143
9 Leipziger Tieflandsbucht	-0,03	-529	-9
11 Sächsische Elbtalniederung	-0,02	-146	-1
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-0,02	-1710	-91
3 Elbsandsteingebirge	-0,02	-2309	-134
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-0,02	-1535	-71
5 Erzgebirgskamm	-0,03	-2225	-126
6a Elsterbergland	-0,02	-1318	-67
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-0,02	-1602	-90
Sachsen	-0,03	-1351	-68

Abbildung 24 und Abbildung 25 veranschaulichen die Rückgänge auf Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 im Vergleich zum Ist-Zustand 2005, differenziert nach LVG.

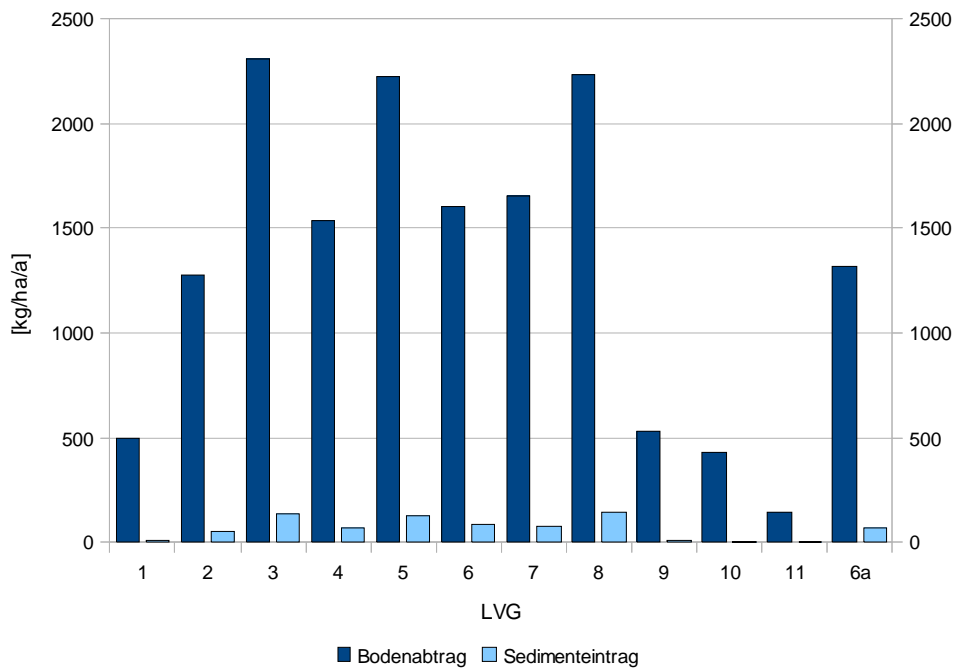


Abbildung 24: Modellierter Rückgang von Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020

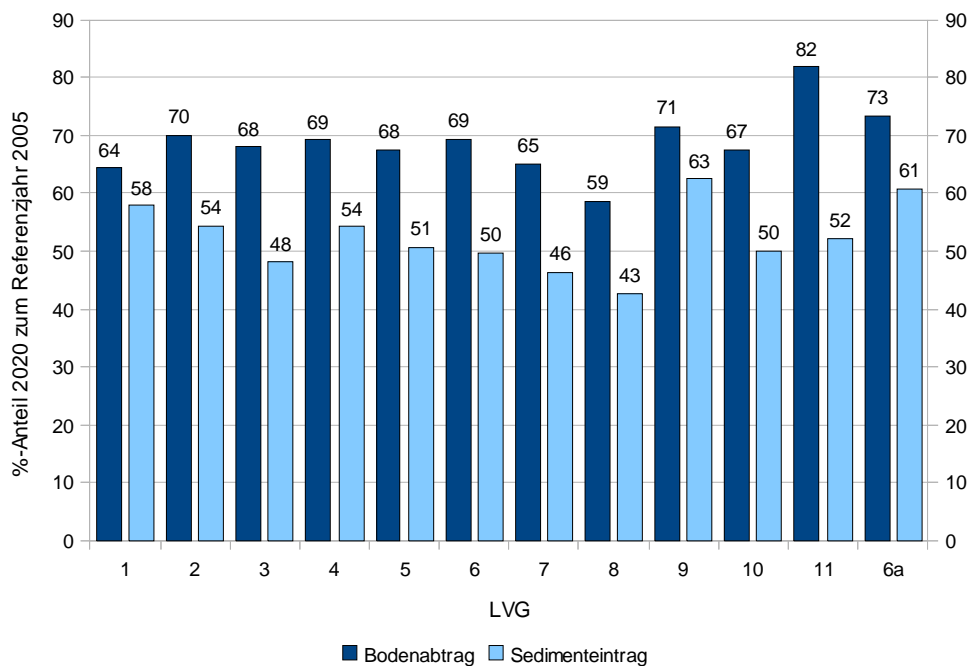


Abbildung 25: Modellierter Bodenabtrag und Sedimenteintrag von Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005

Hohe betragsmäßige und prozentuale Rückgänge für Bodenabtrag und Sedimenteintrag werden insbesondere in LVG 3, 4, 5, 6, 7 und 8 erreicht. Dies begründet sich einerseits in der Tatsache, dass hier die höchsten Anteile erosiver Flächen liegen. Zum Anderen sind die KUP-Anteile in den mittelsächsischen Regionen besonders hoch angesetzt. Auch die LVG 3 und 5 schneiden sehr gut ab, obwohl die KUP-Anteile hier weniger hoch liegen. Grund ist die Tatsache, dass die bereits in Szenario 1 – 2020 beschriebenen Faktoren (Änderungen im NR-Bereich) auch hier wirksam werden.

4.3 P-Bilanz

4.3.1 Ist-Zustand 2005

Die rasterbezogenen partikelgebundenen und gelösten P-Einträge sowie den P-Gesamteintrag aus diffusen Quellen zeigen Abbildung 26 bis Abbildung 28 für 2005.

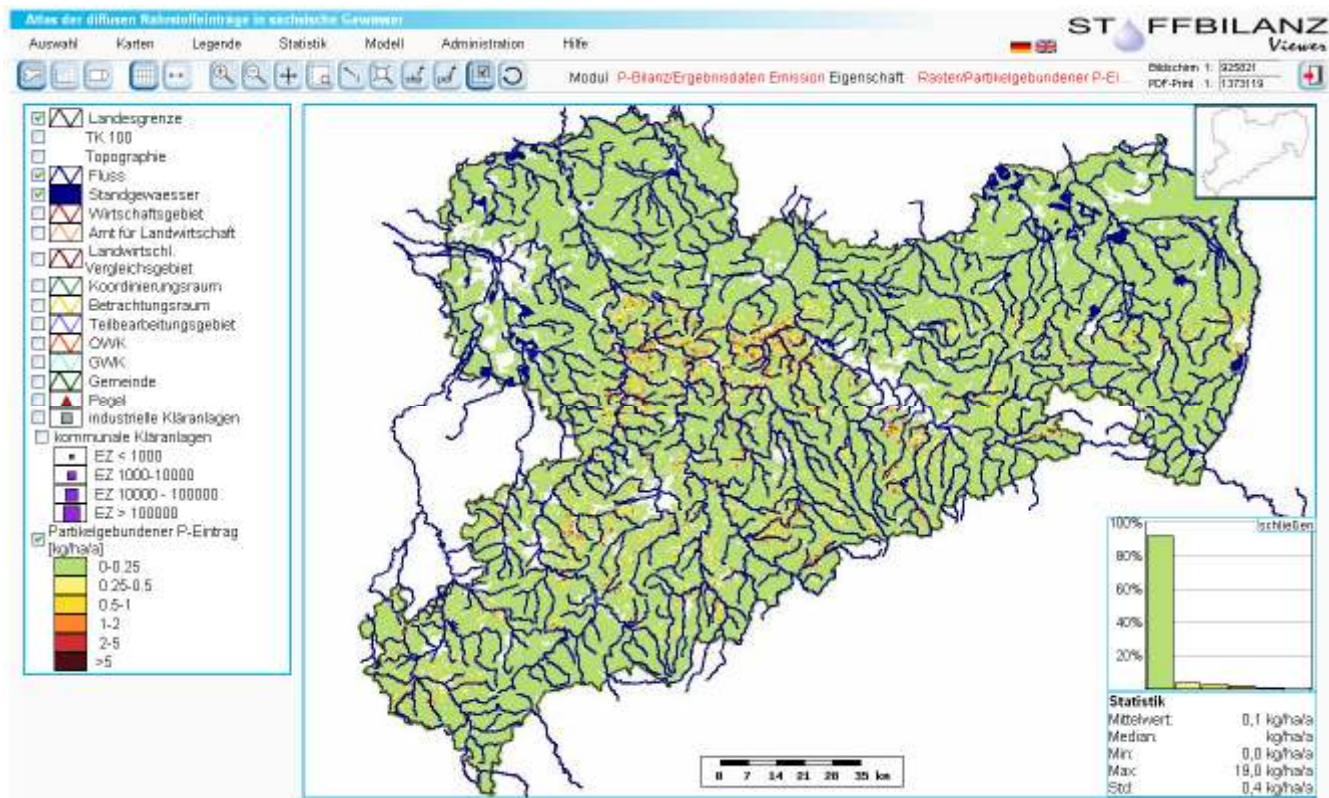


Abbildung 26: Modellerte partikelgebundene P-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

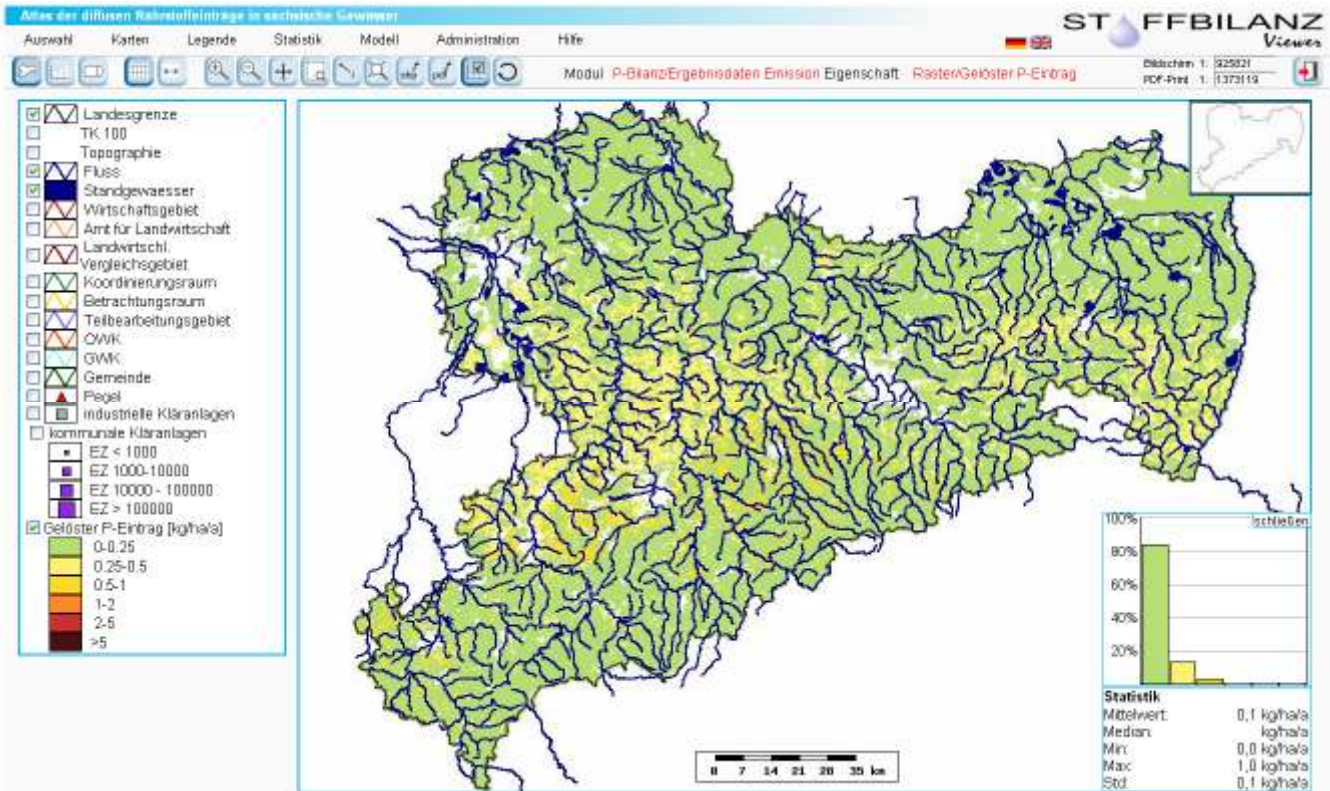


Abbildung 27: Modellerte gelöste P-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

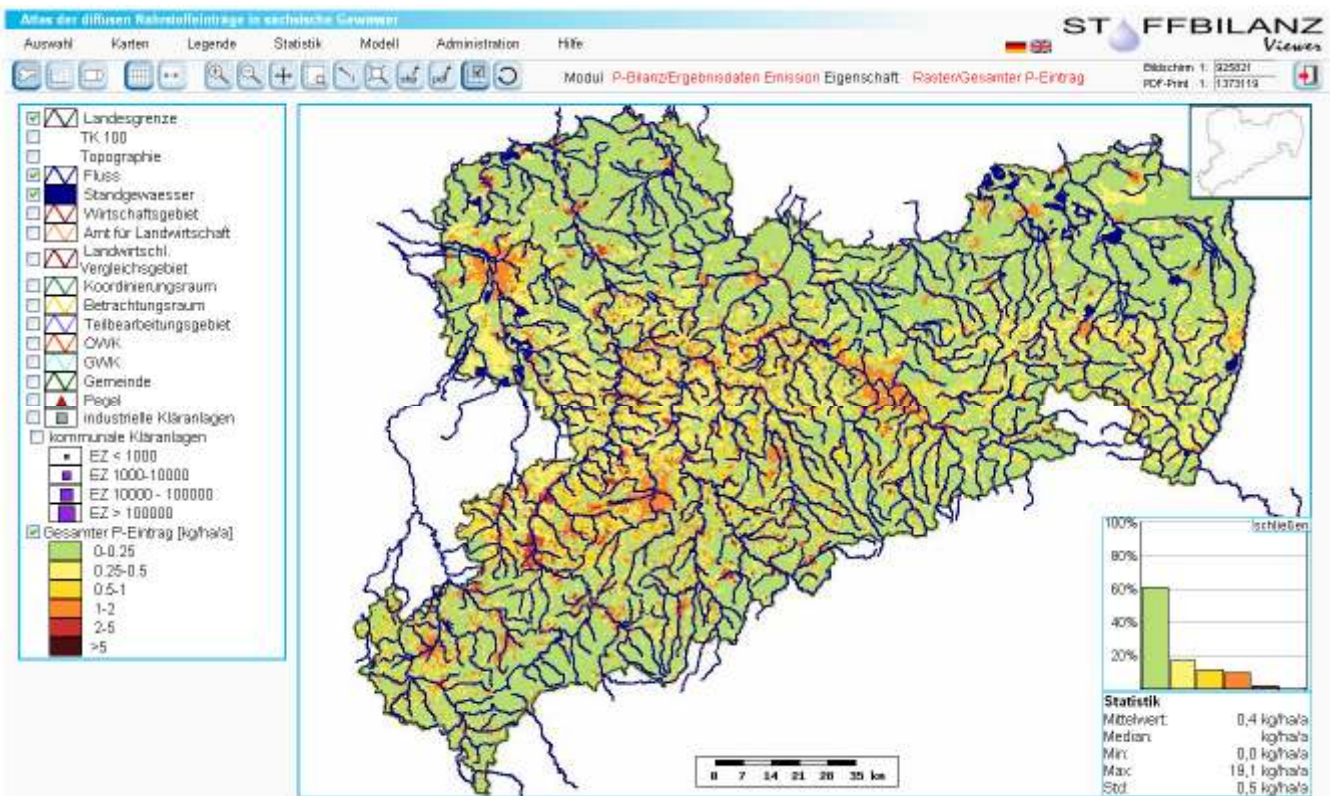


Abbildung 28: Modellerte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 des Stoffatlas Sachsen (Halbfaß et al. 2009) ergeben sich marginale Veränderungen (siehe Kapitel 4.2). Die partikelgebundenen P-Einträge liegen in der Summe bei 140,4 t/a, die gelösten P-Einträge belaufen sich auf 189,8 t/a für Sachsen. Hinzu kommen diffuse P-Einträge von 348,4 t/a, die für die Hauptnutzungsformen Siedlung, Gewässer und Sonstiges ohne Aufschlüsselung in den partikelgebundenen bzw. gelösten Pfad berechnet werden. Tabelle 19 fasst die Ergebnisse für 2005 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen.

Tabelle 19: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Partikel gebundener P-Eintrag	Gelöster P-Eintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,03	0,10
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,03	0,10
10 Dübener-Dahlener Heide	0,02	0,10
Sächsisches Lössgebiet	0,18	0,20
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,15	0,21
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,20	0,33
8 Mittelsächsische Platte	0,31	0,16
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,04	0,16
11 Sächsische Elbtalniederung	0,00	0,04
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,28	0,23
3 Elbsandsteingebirge	0,30	0,19
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,25	0,23
5 Erzgebirgskamm	0,39	0,19
6a Elsterbergland	0,26	0,19
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,25	0,29
Sachsen	0,18	0,19

4.3.2 Szenario 1 - 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten partikelgebundenen und gelösten P-Einträge sowie die P-Gesamteinträge aus diffusen Quellen, basierend auf der Klimadatenjahresreihe 1961-2005, zeigen Abbildung 29 bis Abbildung 31 für Szenario 1 – 2020.

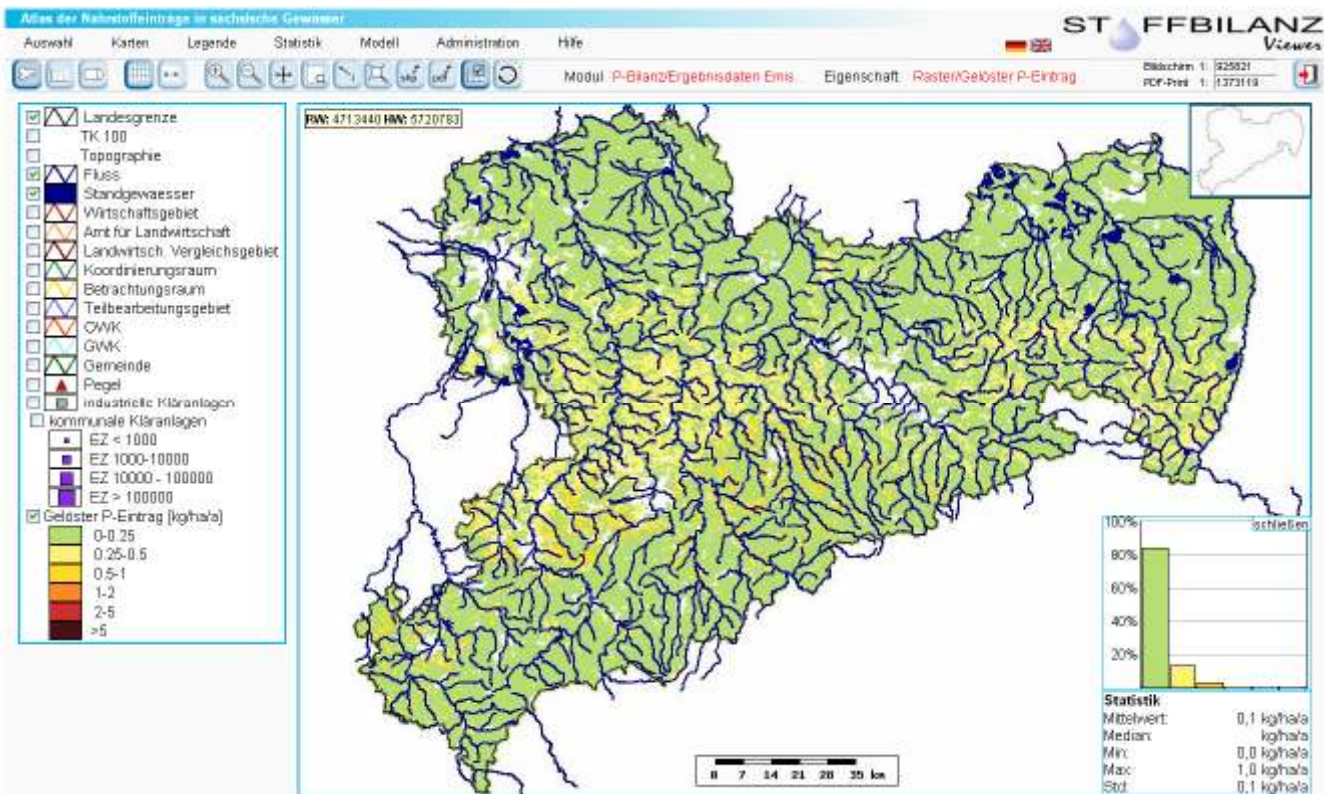


Abbildung 29: Modellierter partikelgebundener P-Einträge für Sachsen (Szenario 1 – 2020)

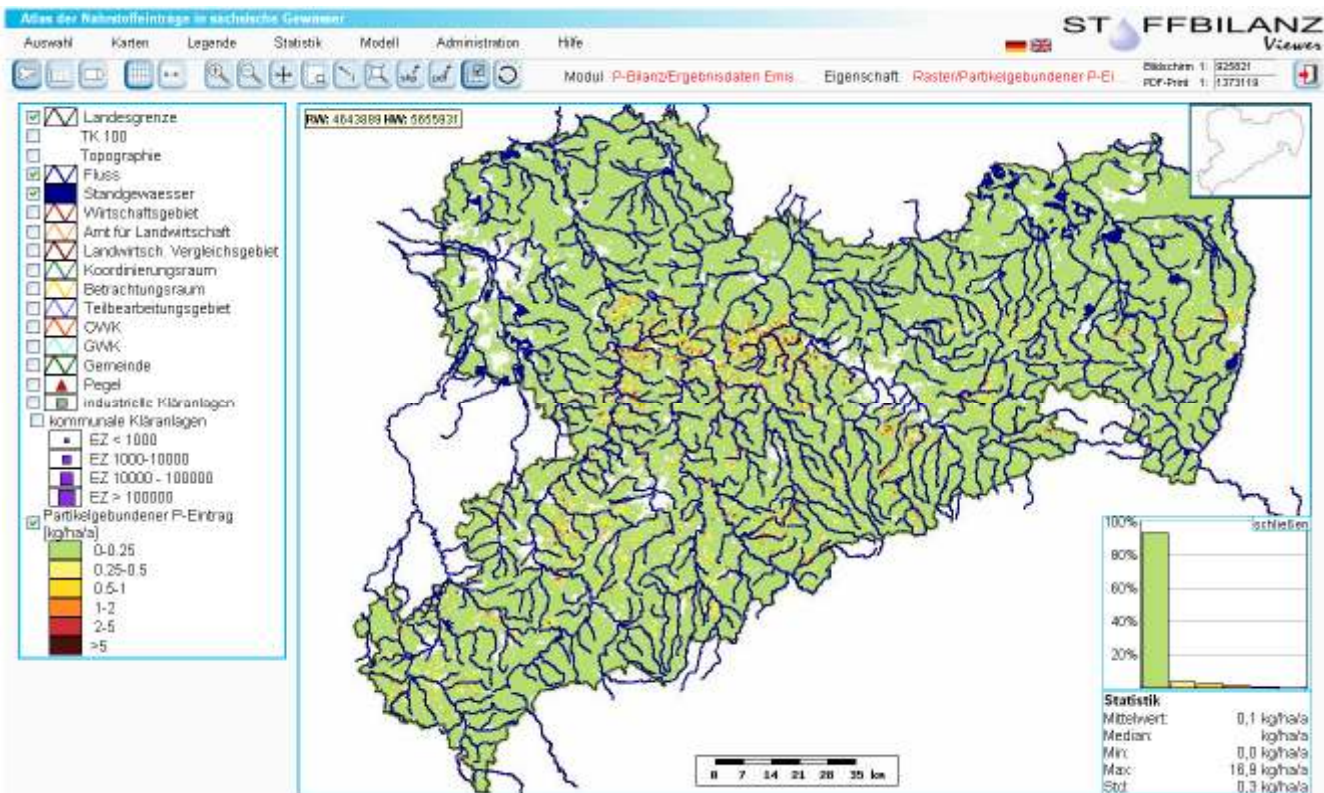


Abbildung 30: Modellierter gelöster P-Einträge für Sachsen (Szenario 1 – 2020)

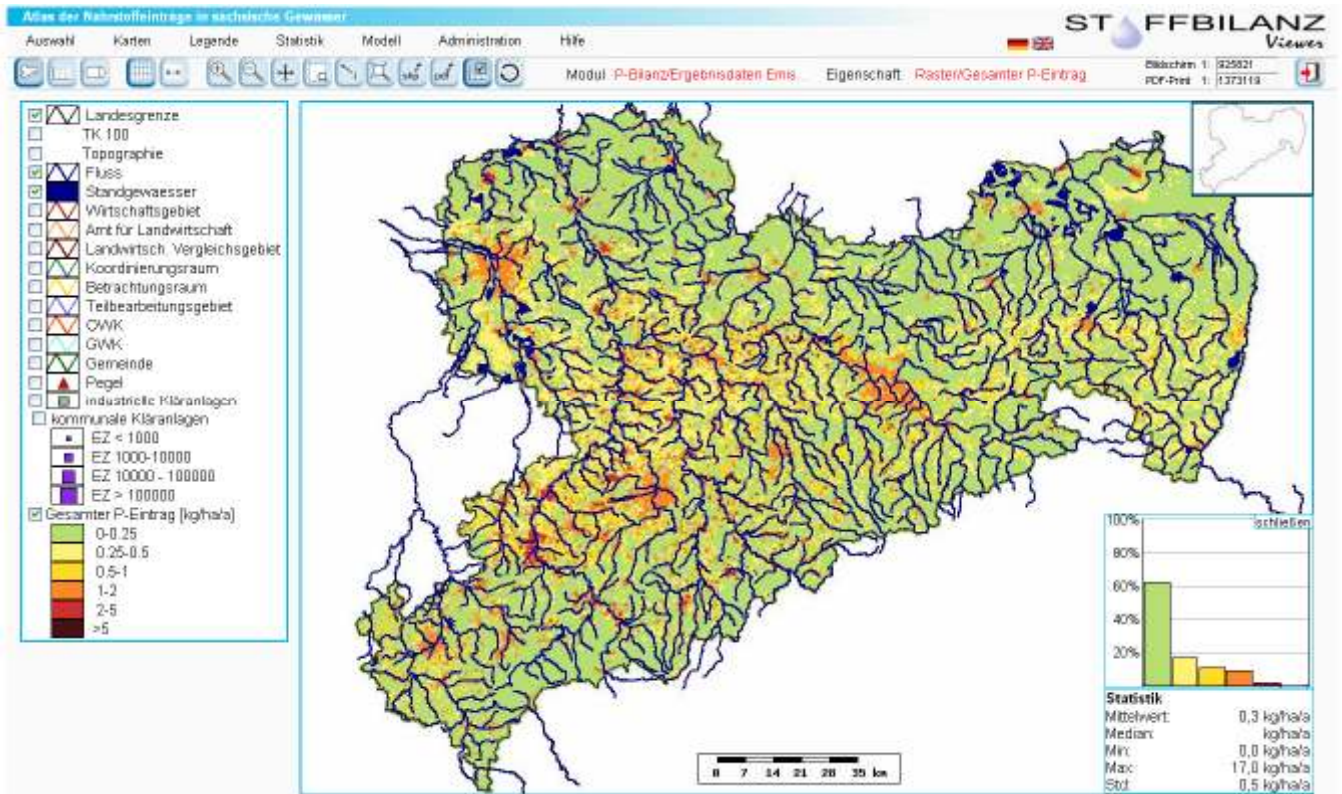


Abbildung 31: Modellierte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 ergeben sich insbesondere beim partikelgebundenen P-Eintrag Veränderungen. Diese verringern sich auf 119,4 t/a. Die gelösten P-Einträge liegen unverändert bei 187,8 t/a. Die diffusen P-Einträge für die Hauptnutzungsformen Siedlung, Gewässer und Sonstiges liegen fast unverändert bei 344,7 t/a. Tabelle 20 fasst die Ergebnisse für 2020 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen.

Tabelle 20: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Partikel gebundener P-Eintrag	Gelöster P-Eintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,02	0,10
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,02	0,10
10 Dübener-Dahlener Heide	0,01	0,10
Sächsisches Lössgebiet	0,16	0,20
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,14	0,21
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,18	0,33
8 Mittelsächsische Platte	0,27	0,16
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,03	0,16
11 Sächsische Elbtalniederung	0,00	0,04
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,23	0,23
3 Elbsandsteingebirge	0,22	0,19
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,22	0,23
5 Erzgebirgskamm	0,29	0,19
6a Elsterbergland	0,23	0,19
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,22	0,30
Sachsen	0,15	0,19

4.3.3 Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 1 – 2020 und dem Ist-Zustand 2005 für den partikelgebundenen und gelösten P-Eintrag geben Abbildung 32 und Abbildung 33.

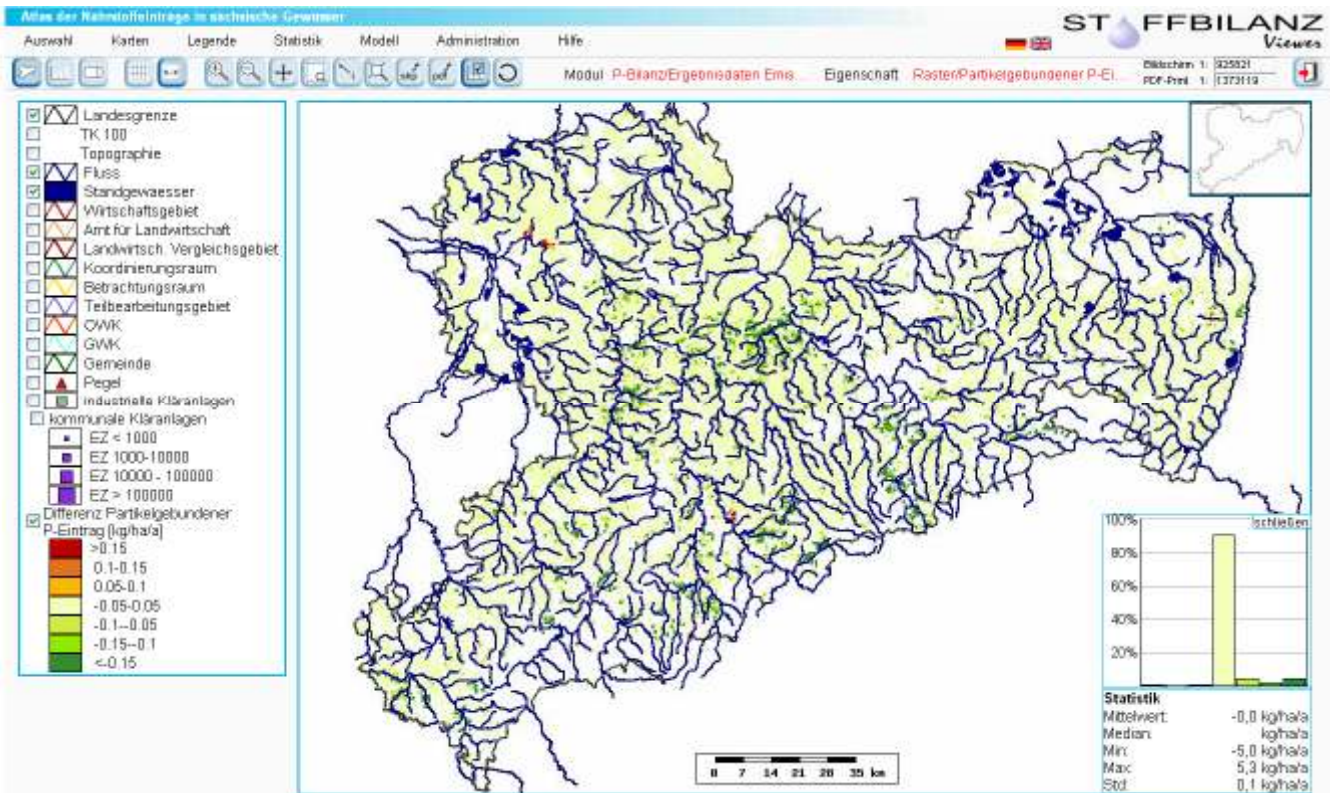


Abbildung 32: Differenzkarte für den partikelgebundenen P-Eintrag (Acker, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

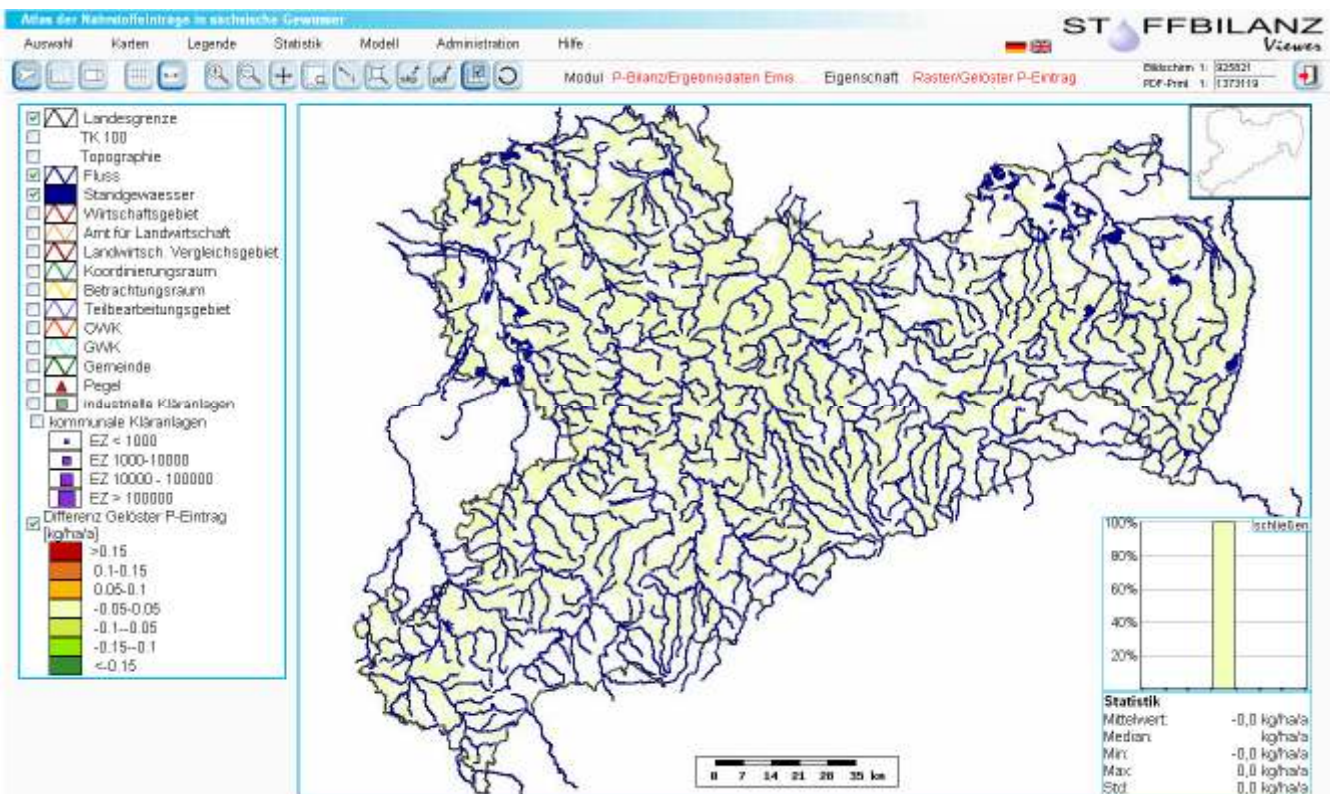


Abbildung 33: Differenzkarte für den gelösten P-Eintrag (Acker, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

In der Summe für Sachsen verringern sich die partikelgebundenen P-Einträge gegenüber dem Ist-Zustand 2005 um 21 t/a (15%), die gelösten Einträge gehen um 2 t/a (1%) zurück. Einen regionsspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen des partikelgebundenen P-Eintrags für Sachsen zeigt Tabelle 21 für Ackerflächen.

Tabelle 21: Modellierte Differenzen von partikelgebundenen und gelösten P-Einträgen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Partikel gebundener P-Eintrag	Gelöster P-Eintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-0,01	0,00
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-0,01	0,00
10 Dübener-Dahlener Heide	-0,01	0,00
Sächsisches Lössgebiet	-0,02	0,00
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-0,01	0,00
7 Mittelsächsisches Hügelland	-0,02	0,00
8 Mittelsächsische Platte	-0,04	0,00
9 Leipziger Tieflandsbucht	-0,01	0,00
11 Sächsische Elbtalniederung	0,00	0,00
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-0,05	0,00
3 Elbsandsteingebirge	-0,08	0,00
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-0,03	0,00
5 Erzgebirgskamm	-0,10	0,00
6a Elsterbergland	-0,03	0,00
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-0,03	0,01
Sachsen	-0,03	0,00

Anhand von Abbildung 34 und Abbildung 35 werden die Rückgänge für den partikelgebundenen P-Eintrag auf Ackerflächen für Szenario 1 - 2020 im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 differenziert nach LVG nochmals verdeutlicht. Die besonders deutlichen Minderungseffekte für den partikelgebundenen P-Eintrag in LVG 3, 5 und 8 lassen sich analog zu denjenigen beim Bodenabtrag bzw. Sedimenteintrag interpretieren.

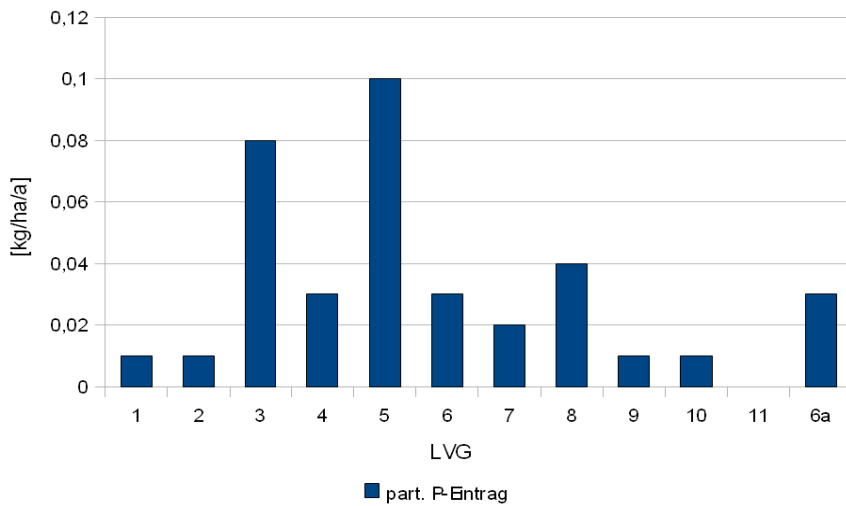


Abbildung 34: Modellerte Beträge des Rückgangs des partikelgebundenen P-Eintrags von Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 – 2020

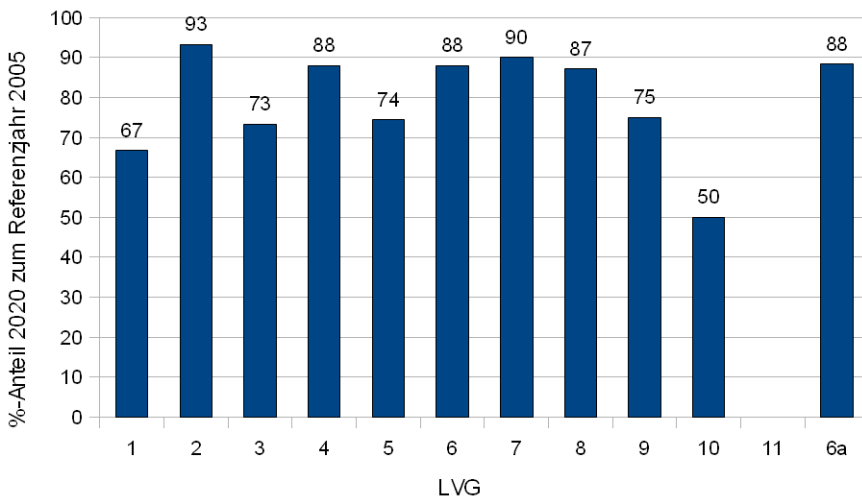


Abbildung 35: Modellierter partikelgebundener P-Eintrag von Ackerflächen für Szenario 1 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005

4.3.4 Szenario 2 – 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten partikelgebundenen und gelösten P-Einträge sowie die P-Gesamteinträge aus diffusen Quellen, basierend auf der Klimadatenjahresreihe 1961-2005, zeigen Abbildung 36 bis Abbildung 38 für Szenario 2 – 2020.

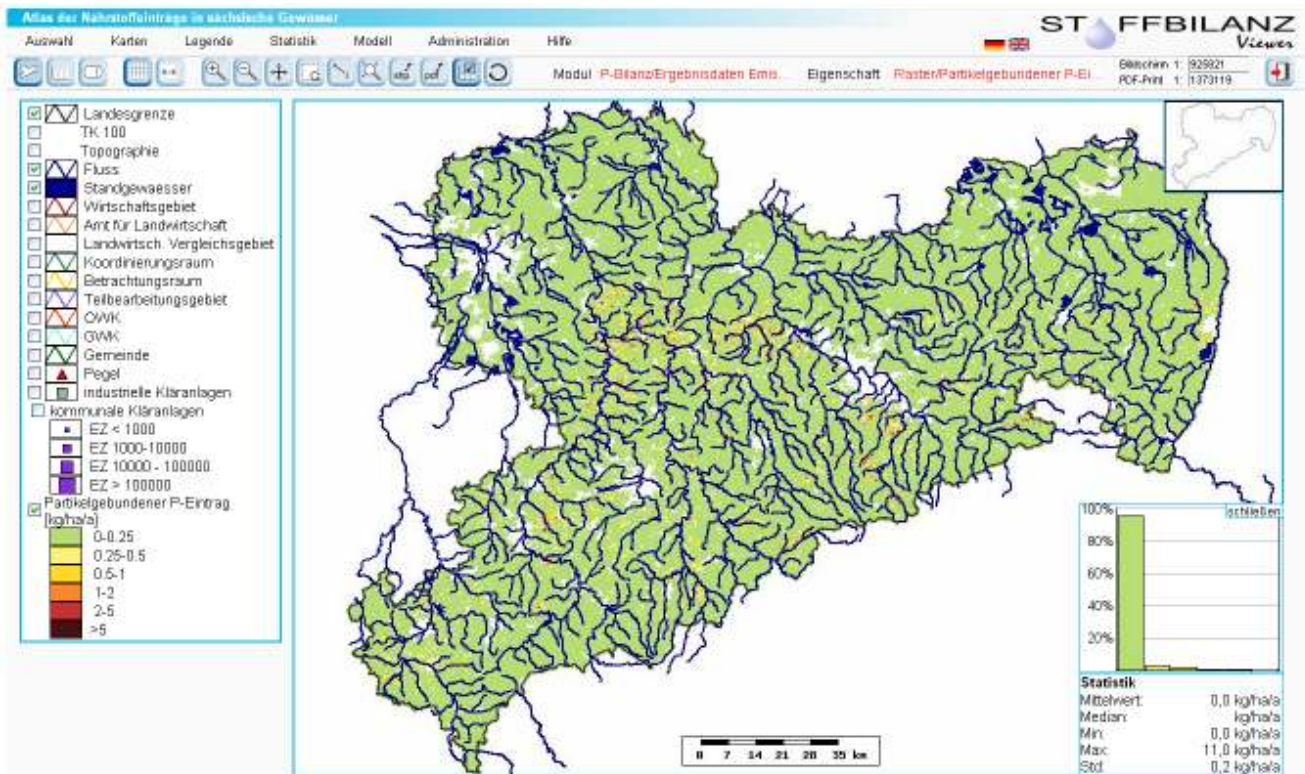


Abbildung 36: Modellerte partikelgebundene P-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020)

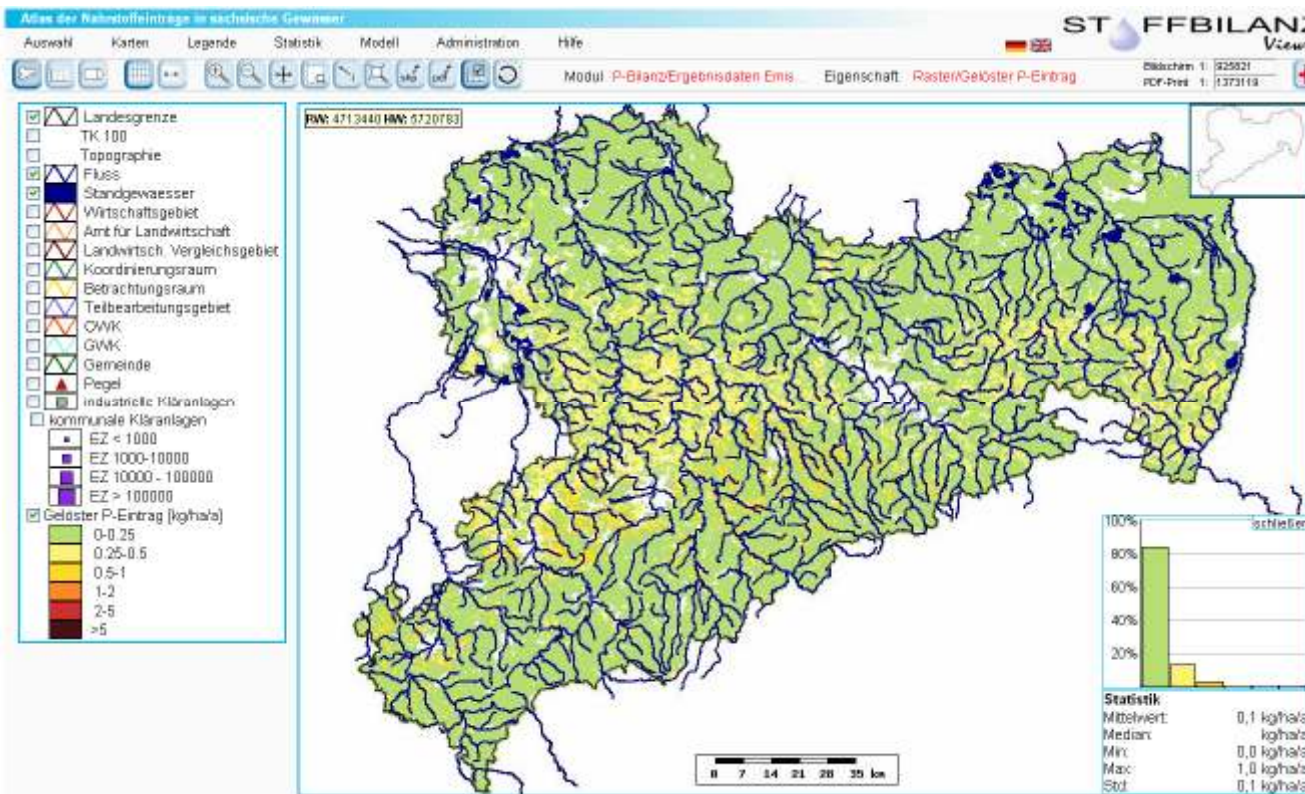


Abbildung 37: Modellerte gelöste P-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020)

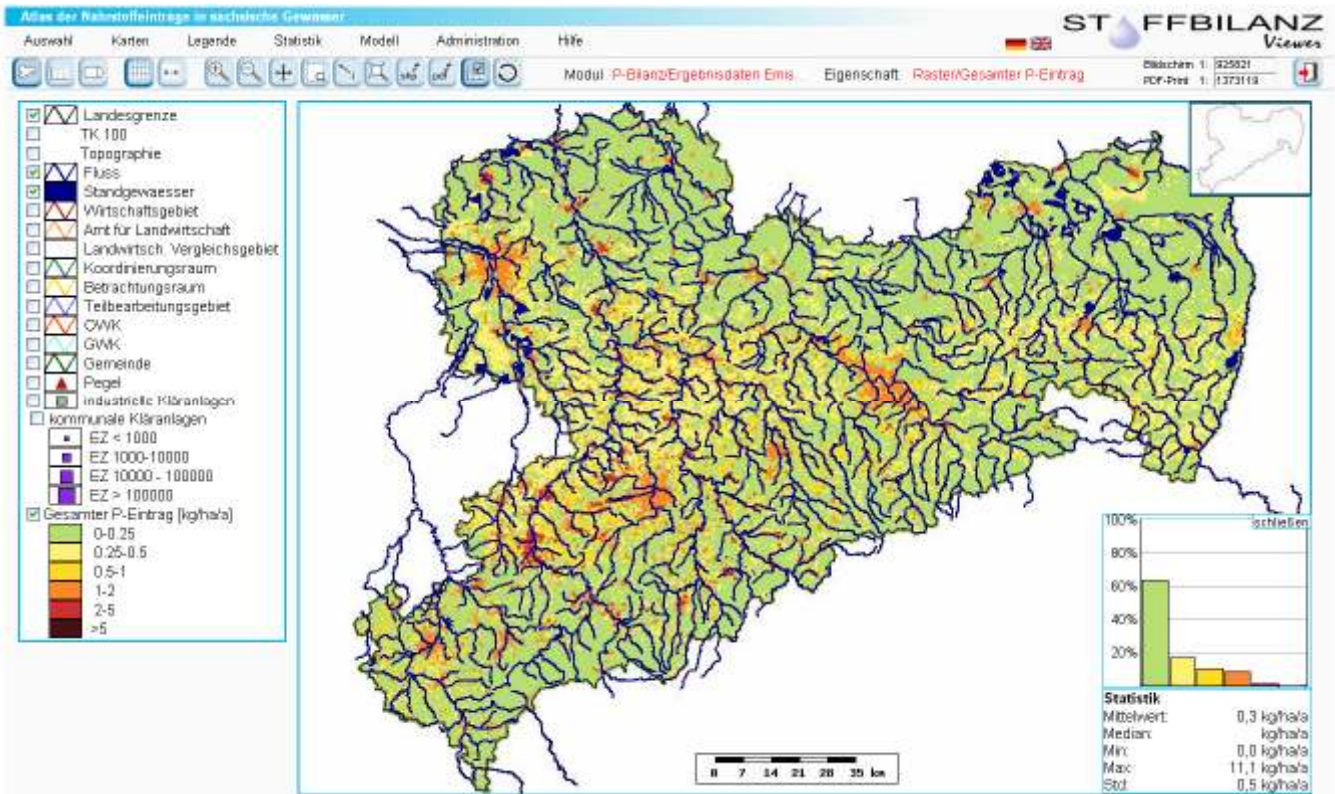


Abbildung 38: Modellierte gesamte P-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 2 - 2020)

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 ergeben sich insbesondere beim partikelgebundenen P-Eintrag Veränderungen. Diese verringern sich auf 76,9 t/a. Die gelösten P-Einträge liegen bei 185,9 t/a. Tabelle 22 fasst die Ergebnisse für Szenario 2 - 2020 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen. Die diffusen P-Einträge für die Hauptnutzungsformen Siedlung, Gewässer und Sonstiges liegen unverändert bei 344,7 t/a.

Tabelle 22: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung partikelgebundener und gelöster P-Einträge in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Partikel gebundener P-Eintrag	Gelöster P-Eintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	0,02	0,10
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	0,02	0,10
10 Dübener-Dahlener Heide	0,01	0,09
Sächsisches Lössgebiet	0,09	0,19
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	0,09	0,21
7 Mittelsächsisches Hügelland	0,10	0,33
8 Mittelsächsische Platte	0,14	0,16
9 Leipziger Tieflandsbucht	0,02	0,16
11 Sächsische Elbtalniederung	0,00	0,04
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	0,16	0,22
3 Elbsandsteingebirge	0,16	0,19
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	0,14	0,23
5 Erzgebirgskamm	0,22	0,19
6a Elsterbergland	0,17	0,19
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	0,14	0,29
Sachsen	0,10	0,18

4.3.5 Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 2 – 2020 und dem Ist-Zustand 2005 für den partikelgebundenen und gelösten P-Eintrag geben Abbildung 39 und Abbildung 40.

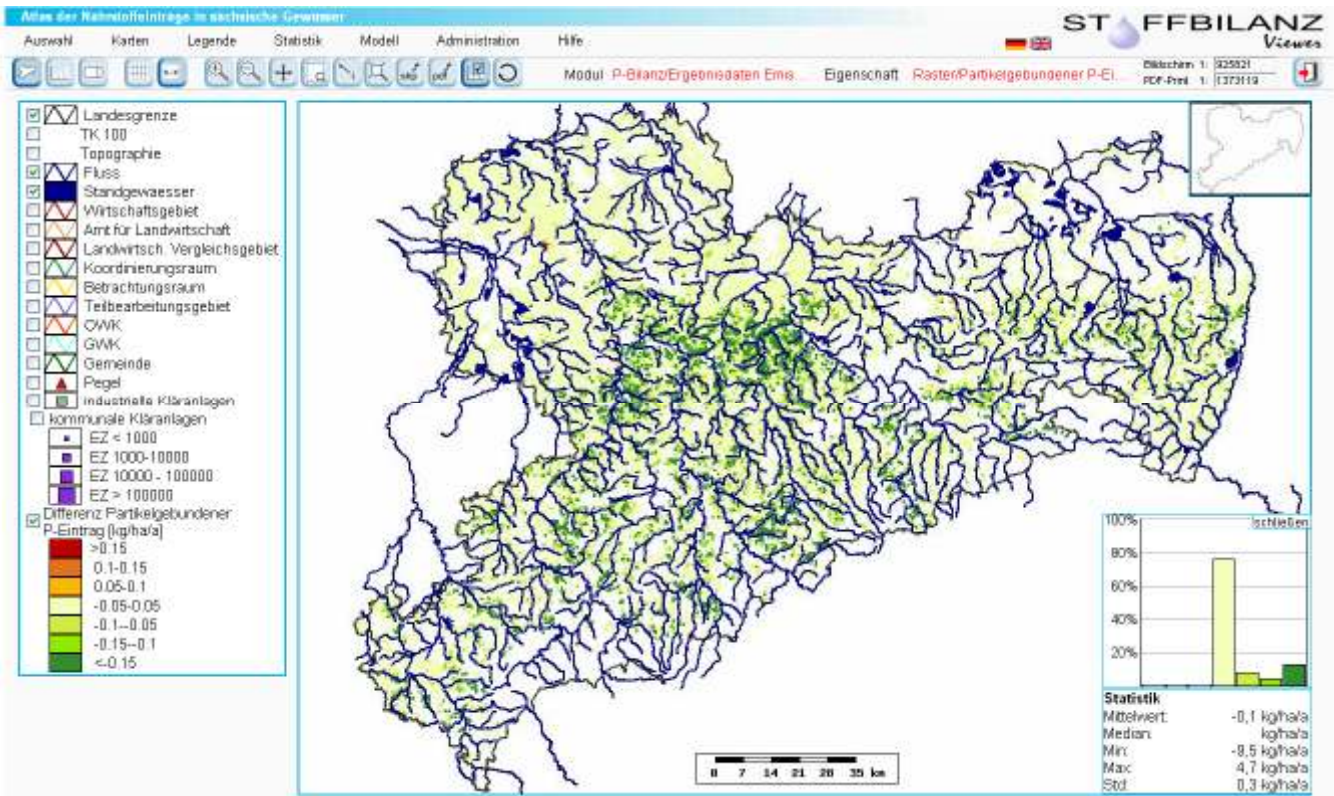


Abbildung 39: Differenzkarte für den partikelgebundenen P-Eintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

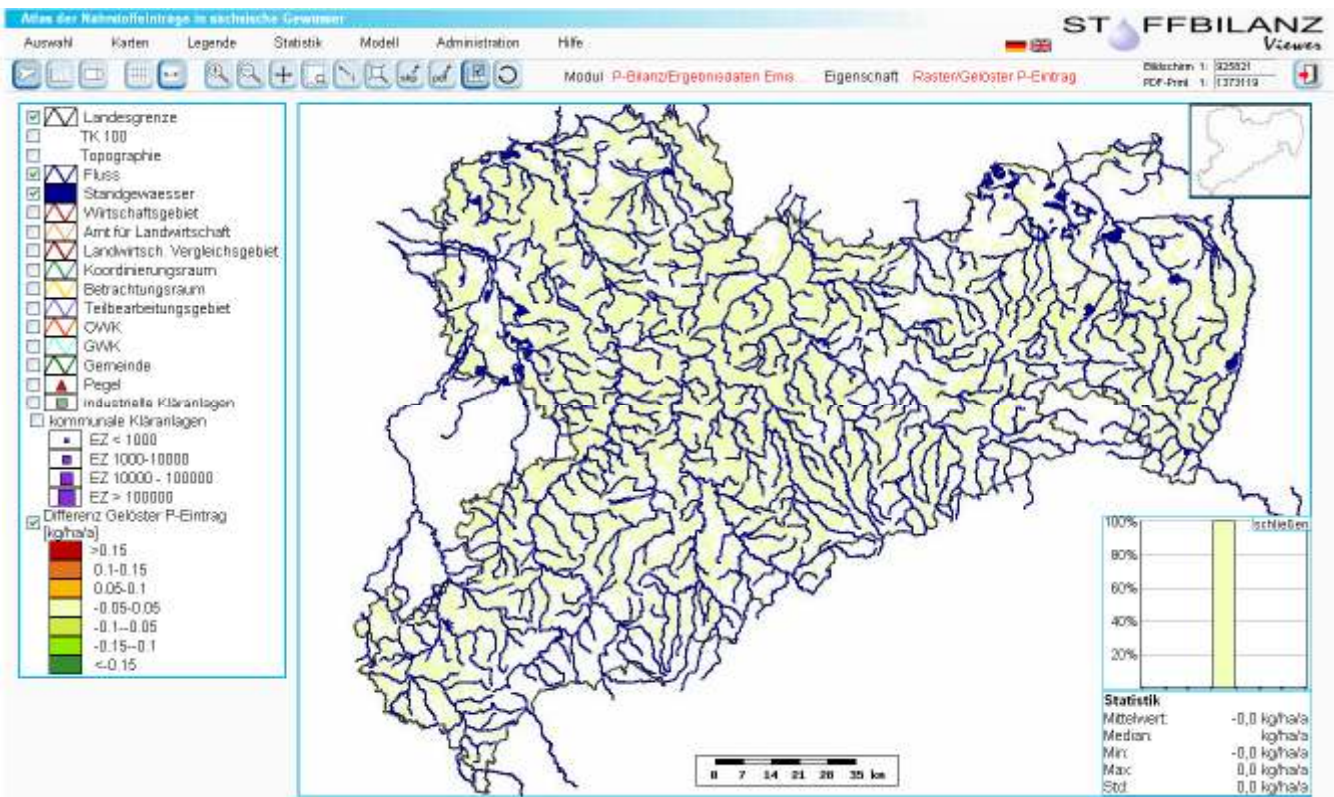


Abbildung 40: Differenzkarte für den gelösten P-Eintrag (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

In der Summe für Sachsen verringern sich die partikelgebundenen P-Einträge gegenüber dem Ist-Zustand 2005 um 63,5 t/a (45%), die gelösten Einträge gehen um 3,9 t/a (2%) zurück. Einen regionsspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen des partikelgebundenen P-Eintrags für Sachsen zeigt Tabelle 23 für Ackerflächen.

Tabelle 23: Modellierte Differenzen von partikelgebundenen und gelösten P-Einträgen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	Partikel gebundener P-Eintrag	Gelöster P-Eintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-0,01	0,00
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-0,01	0,00
10 Dübener-Dahlener Heide	-0,01	-0,01
Sächsisches Lössgebiet	-0,09	-0,01
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-0,06	0,00
7 Mittelsächsisches Hügelland	-0,10	0,00
8 Mittelsächsische Platte	-0,17	0,00
9 Leipziger Tieflandsbucht	-0,02	0,00
11 Sächsische Elbtalniederung	0,00	0,00
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-0,12	-0,01
3 Elbsandsteingebirge	-0,14	0,00
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-0,11	0,00
5 Erzgebirgskamm	-0,17	0,00
6a Elsterbergländ	-0,09	0,00
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-0,11	0,00
Sachsen	-0,08	-0,01

Anhand von Abbildung 41 und Abbildung 42 werden die Rückgänge für den partikelgebundenen P-Eintrag auf Ackerflächen für 2020 im Vergleich zu 2005 differenziert nach LVG nochmals verdeutlicht.

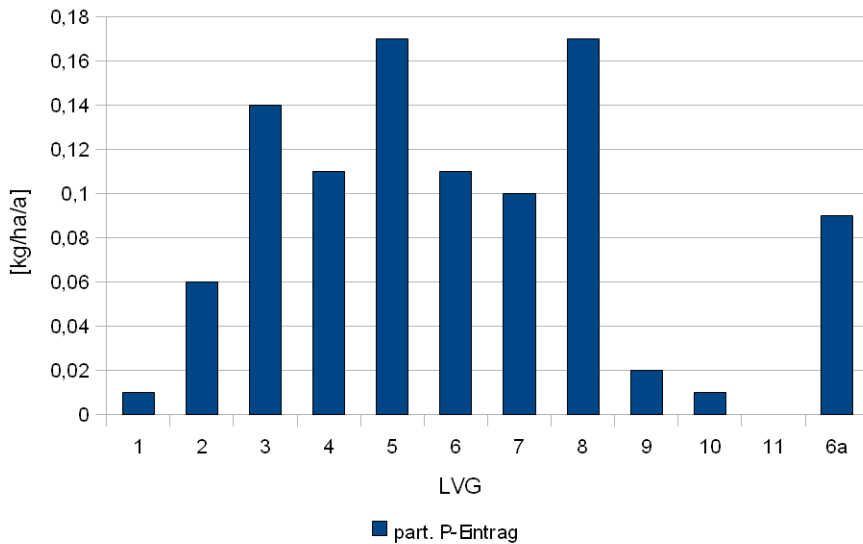


Abbildung 41: Modellierter Beträge des Rückgangs des partikelgebundenen P-Eintrags von Ackerflächen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 2 - 2020

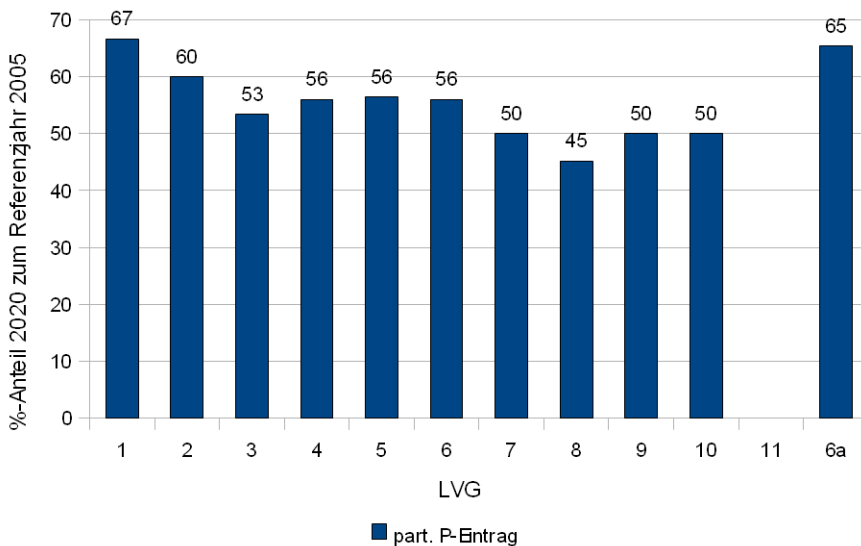


Abbildung 42: Modellierter partikelgebundener P-Eintrag von Ackerflächen für Szenario 2 - 2020 als Prozentwert zum Ist-Zustand 2005

Die besonders deutlichen Minderungseffekte für den partikelgebundenen P-Eintrag in LVG 3 bis 8 lassen sich analog zu denjenigen beim Bodenabtrag bzw. Sedimenteintrag interpretieren.

Emissionen aus punktuellen Quellen

Kommunale Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter tragen zu reichlich einem Drittel zur Gesamtbelastung der Oberflächengewässer mit Phosphor bei (Ist-Zustand: 434 t/a, 39% der Gesamtbelastung aus diffusen und punktuellen Quellen, siehe Halbfuß et al. 2009). Auf eine detailliertere Betrachtung wird hier verzichtet, da unmittelbar auf die Ergebnisse des „Atlas der Nährstoffeinträge“ (Halbfuß et al. 2009) zurückgegriffen wurde. Für den Zeitraum 2020 wurde im Rahmen der Immissionsbetrachtung von einer unveränderten Größenordnung des punktuellen P-Eintrags ausgegangen.

Immissionsbetrachtung und Validierung

Ausgangspunkt für die Abschätzung der P-Frachten unter Berücksichtigung der P-Retention während der Abflusspassage im Oberflächengewässer bis hin zur Messstelle sind die modellierten diffusen und punktuellen P-Einträge.

Nach Ableitung der Retention gemäß der in Halbfaß et al. (2009) detailliert beschriebenen Methodik der Frachtberechnung ergibt sich für den Ist-Zustand 2005 an der Mehrzahl der Messstellen im Vergleich mit den modellierten Immissionen (Eintrag abzüglich Retention) eine gute Übereinstimmung. Bei der Berechnung des Bestimmtheitsmaßes in Abbildung 43 wurden die Oberflächenwasserbeschaffenheitsmessstellen OBF00200 (Labe), OBF01800 (Elbe-1), OBF02810 (Elbe-2) und OBF47600 (Mulde-7) nicht einbezogen, um eine Übergewichtung der dort realisierten überproportional hohen Frachten in der Statistik zu vermeiden ($r^2 = 0,99$ bei entsprechender Einbeziehung aller vier Messstellen, $r^2 = 0,93$ bei Einbeziehung der Messstelle OBF47600). Alle anderen Messstellen, für die Durchfluss- und Konzentrationswerte für P_{ges} vorlagen, wurden dagegen einbezogen. Im Vergleich mit der in Halbfaß et al. (2009) vorgenommenen Validierung anhand der Ergebnisse des „Nährstoffatlas Sachsen“ ergibt sich unter Verwendung des Ist-Zustands 2005 der hier vorliegenden Studie mit einem r^2 von 0,71 gegenüber 0,69 ein etwas höheres Bestimmtheitsmaß. Größere Abweichungen ergeben sich erwartungsgemäß vor allem in der Lausitz (z. B. Spreeeinzugsgebiet, Schöps) aufgrund der speziellen wasserhaushaltlichen Gegebenheiten in Zusammenhang mit dem Braunkohlebergbau (siehe Flutungssteuerungsmodell GRMSTEU) sowie in Gebieten mit hohem Einfluss durch Talsperrenbewirtschaftung (z. B. nicht erfasste Einflüsse von Vorsperren, Wasserableitung, -überleitung). Nähere Informationen zu den einbezogenen Beschaffenheitsmessstellen und -daten sind in Halbfaß et al. (2009) enthalten.

Einen Vergleich von modellierten Emissionen und modellierten Immissionen für die sächsischen Gebietsteile der FGE¹⁴ Elbe und FGE Oder zeigt Tabelle 24. Zu beachten ist dabei, dass die mittlere Retention lediglich ein Integral der in den unterschiedlichen Einzugsgebietsteilen (Oberlieger) teilweise stark variierenden Retention darstellt. Im Rahmen der Modellierung der Retention kann davon ausgegangen werden, dass die Intensität des P-Rückhalts in großen Flüssen etwas überschätzt, in den Mittelgebirgsflüssen dagegen eher unterschätzt wird. Die tschechischen Emissionsanteile entsprechen den Immissionen an den Messstellen OBF00200 (Schmilka) und OBF16700 (Neiße).

Da die in den Szenarien erzielten Minderungseffekte im Wesentlichen nur den partikelgebundenen Eintragspfad betreffen, die Gesamtemission aber je nach Region deutlich von Einträgen im Siedlungsbereich bzw. punktuellen Einträgen geprägt ist, sind die Minderungseffekte auf die Gesamtemissionen bzw. -immissionen entsprechend geringer.

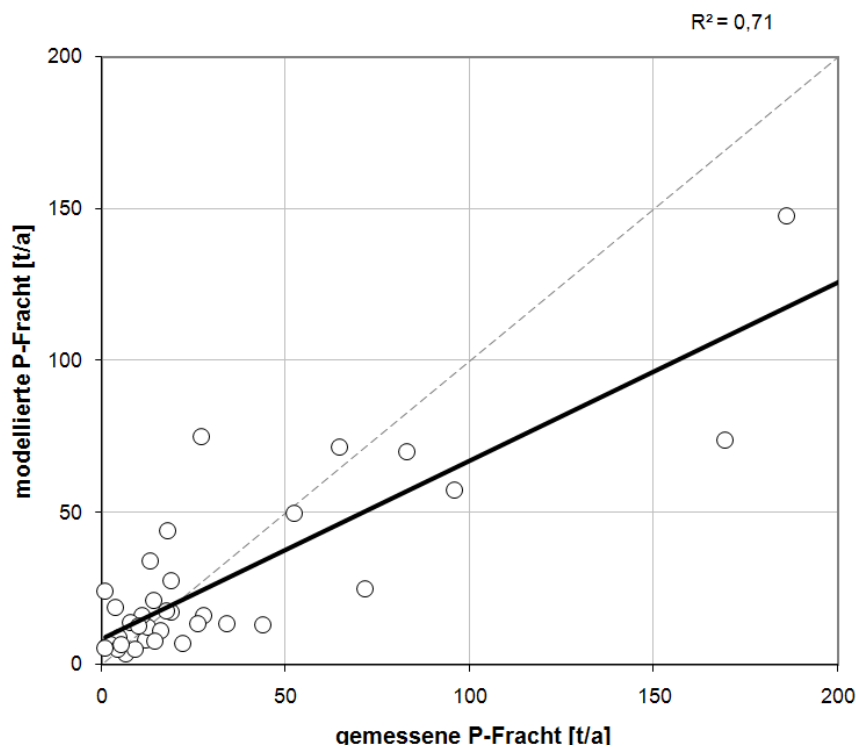


Abbildung 43: Vergleich von gemessenen und modellierten Immissionen im Fließgewässer (Ist-Zustand 2005)

¹⁴ FGE: Flussgebietseinheit

Tabelle 24: Ein- und Austragsfrachten von Phosphor in den sächsischen Gebietsteilen der FGE Elbe und FGE Oder (Ist-Zustand 2005, Szenario 1 – 2020, Szenario 2 – 2020)

Gebietsteile	P-Emission [t/a]			P-Immission [t/a]			P-Retention [%]		
	2005	2020		2005	2020		2005	2020	
	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2
Mulde	471	460	440	338	328	307	28,2	28,7	30,2
Elbe1	241	233	219	158	158	157	34,4	32,2	28,3
Weißer Elster/Eger	213	210	206	102	101	99	52,1	51,9	51,9
Spree	71	70	67	44	44	43	38,0	37,1	35,8
Schwarze Elster	80	78	76	59	59	58	26,3	24,4	23,7
FGE Elbe	1077	1051	1008	702	688	665	34,8	34,5	34,0
Lausitzer Neiße	29	28	27	23	23	23	20,7	17,9	14,8
FGE Oder	29	28	27	23	23	22	20,7	17,9	18,5
Sachsen	1106	1079	1035	725	711	687	34,4	34,1	33,6

4.4 N-Bilanz

4.4.1 Ist-Zustand 2005

Die rasterbezogenen N-Austräge aus der Bodenzone, die gelösten N-Einträge und die N-Gesamteinträge aus diffusen Quellen zeigen Abbildung 44 bis Abbildung 46 für den Ist-Zustand 2005.

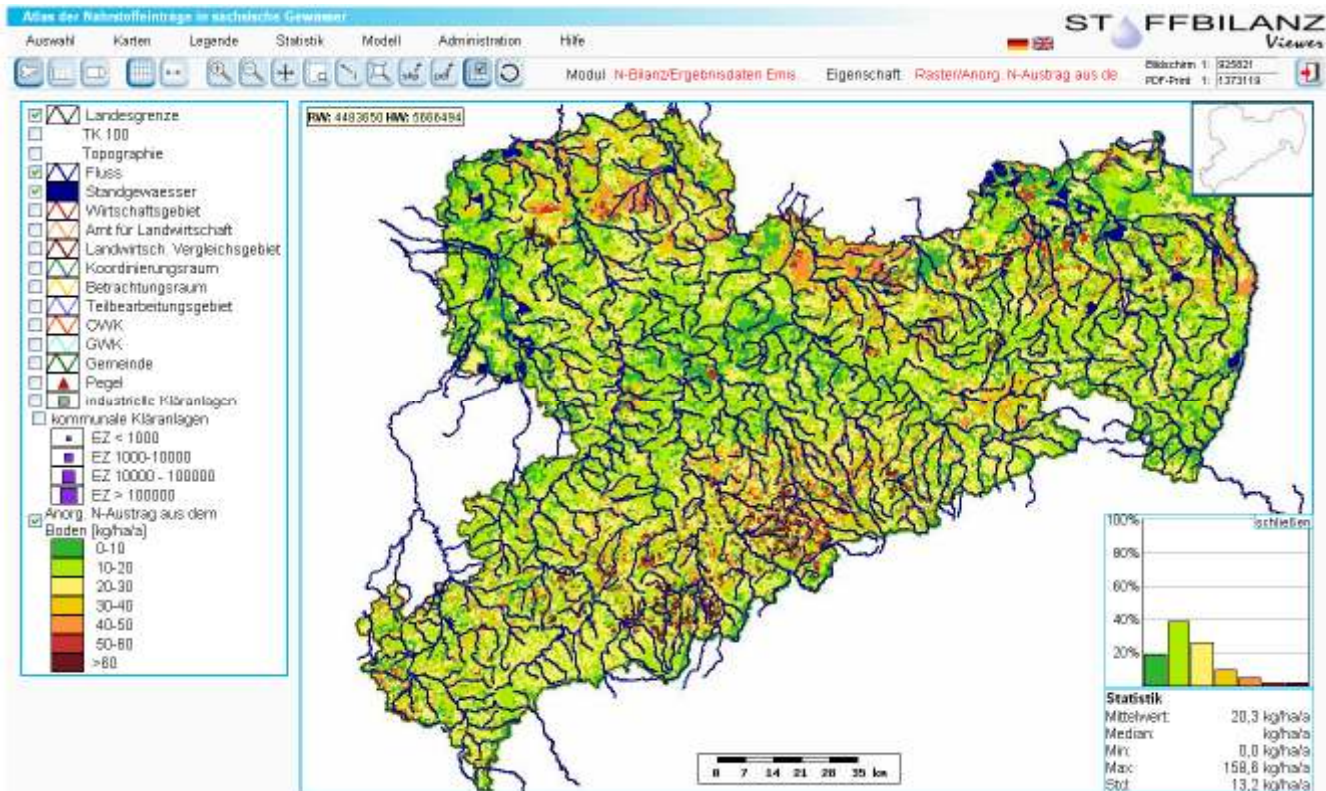


Abbildung 44: Modellerte N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 des „Stoffatlas Sachsen“ (Halbfaß et al. 2009) ergibt sich ein leichter Rückgang der Frachten, der beim N-Eintrag ca. 1 kg/ha/a beträgt. Dieser Rückgang ist auf die im aktuellen Modelldurchlauf vorgenommene Aufteilung der Ackerntzung auf den Nahrungs- und Futtermittel- bzw. NR-Anteil zurückzuführen. Auf der NR-Fläche wirkt sich insbesondere die unterlassene Qualitätsdüngung bei Winterweizen positiv auf die Frachtentwicklung aus.

Tabelle 25 fasst die Ergebnisse für 2005 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen. Die Summen für Sachsen liegen für den N-Austrag bei 38.124 t/a, für den anorganischen N-Eintrag bei 28.721 t/a und für den N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen bei 30.553 t/a.

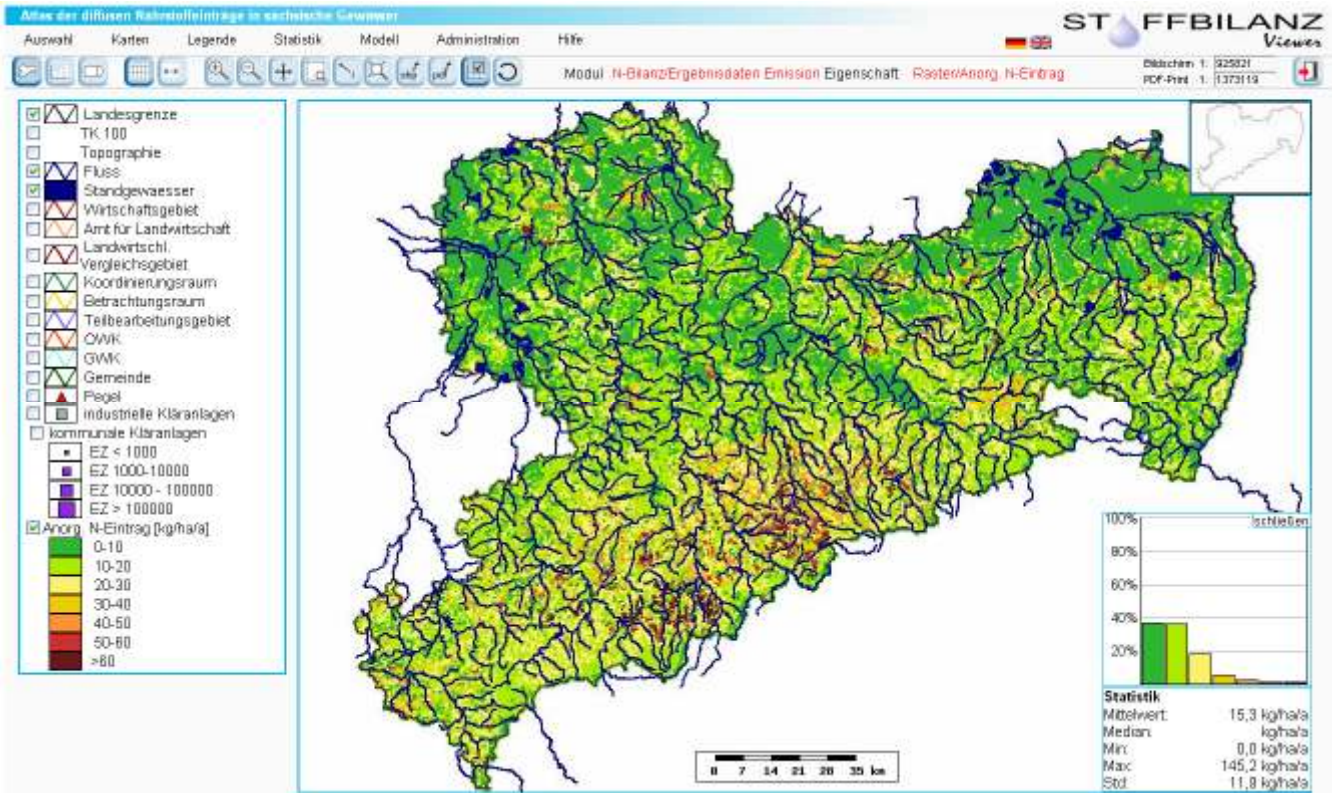


Abbildung 45: Modellierte gelöste N-Einträge für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

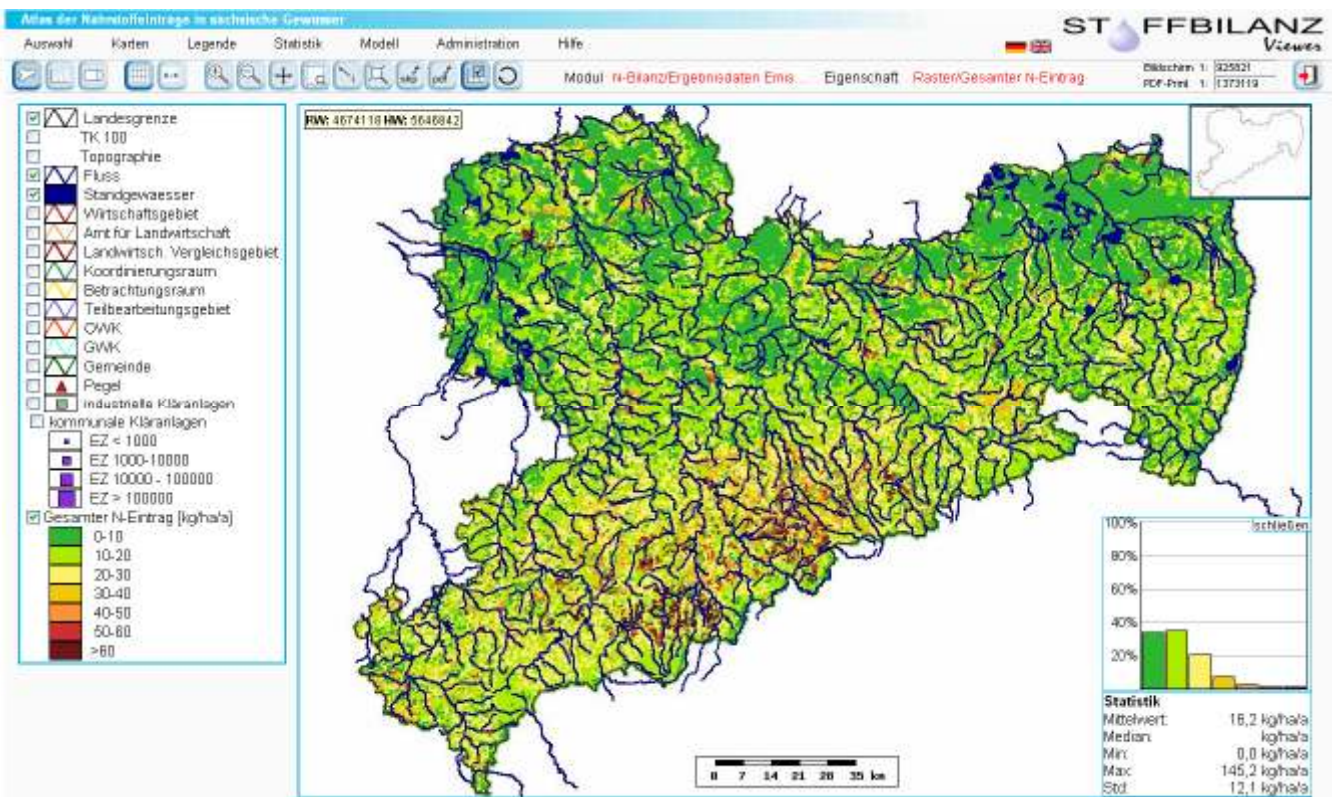


Abbildung 46: Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Tabelle 25: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und diffusem Gesamteintrag in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	N-Austrag	gelöster N-Eintrag	N-Gesamteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	40,60	21,83	21,85
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	41,93	23,29	23,31
10 Dübener-Dahlener Heide	38,08	19,06	19,06
Sächsisches Lössgebiet	19,01	14,03	14,22
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	19,88	16,22	16,37
7 Mittelsächsisches Hügelland	17,48	15,71	15,90
8 Mittelsächsische Platte	17,83	12,42	12,74
9 Leipziger Tieflandsbucht	20,04	13,21	13,23
11 Sächsische Elbtalniederung	26,00	13,05	13,06
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	37,11	34,56	34,84
3 Elbsandsteingebirge	31,50	27,65	28,02
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	37,32	35,02	35,24
5 Erzgebirgskamm	58,51	54,79	55,20
6a Elsterbergland	27,68	25,63	25,87
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	32,32	30,49	30,74
Sachsen	27,38	20,51	20,69

4.4.2 Szenario 1 – 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten anorganischen N-Austräge aus der Bodenzone, die gelösten N-Einträge sowie die N-Gesamteinträge in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen, basierend auf der Klimadatenjahresreihe 1961-2005, zeigen Abbildung 47 bis Abbildung 49 für Szenario 1 – 2020.

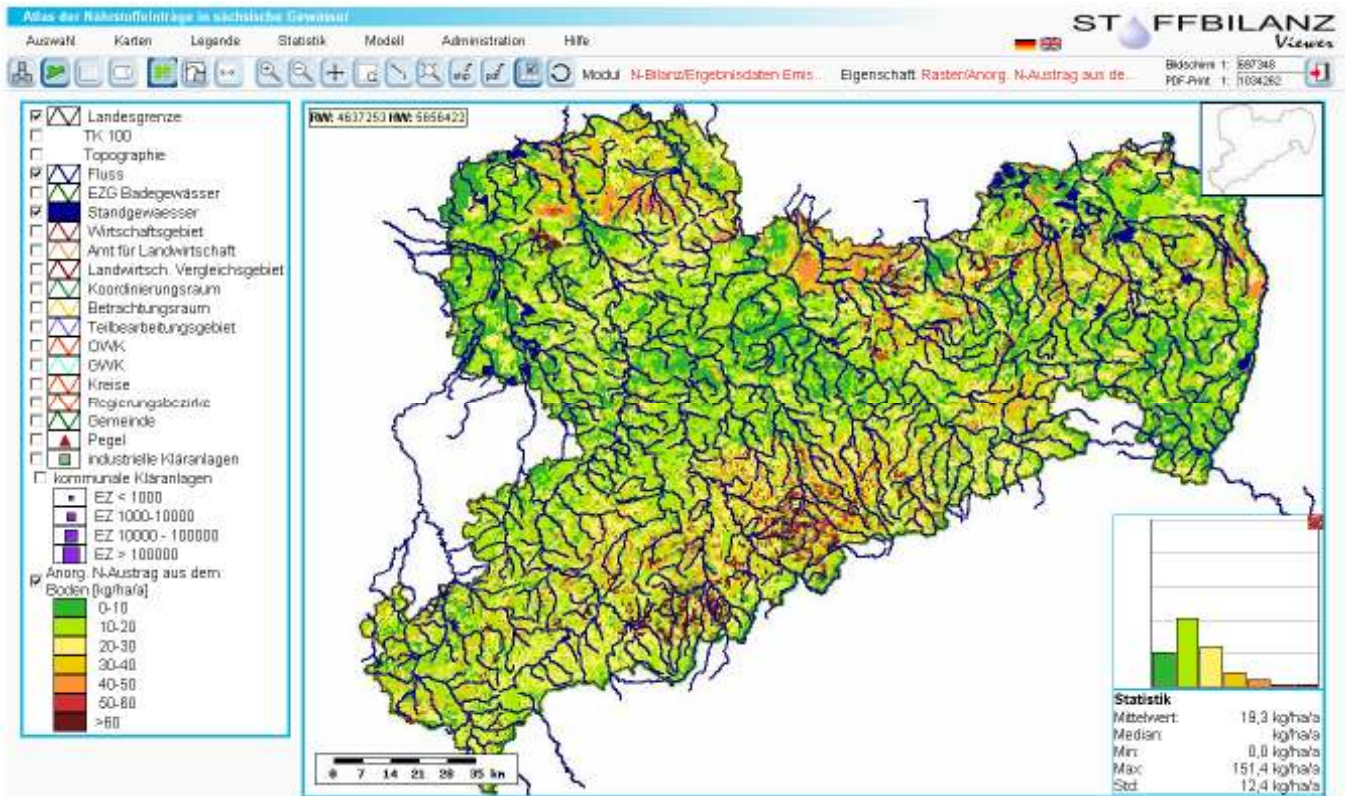


Abbildung 47: Modellierter N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Szenario 1 – 2020)

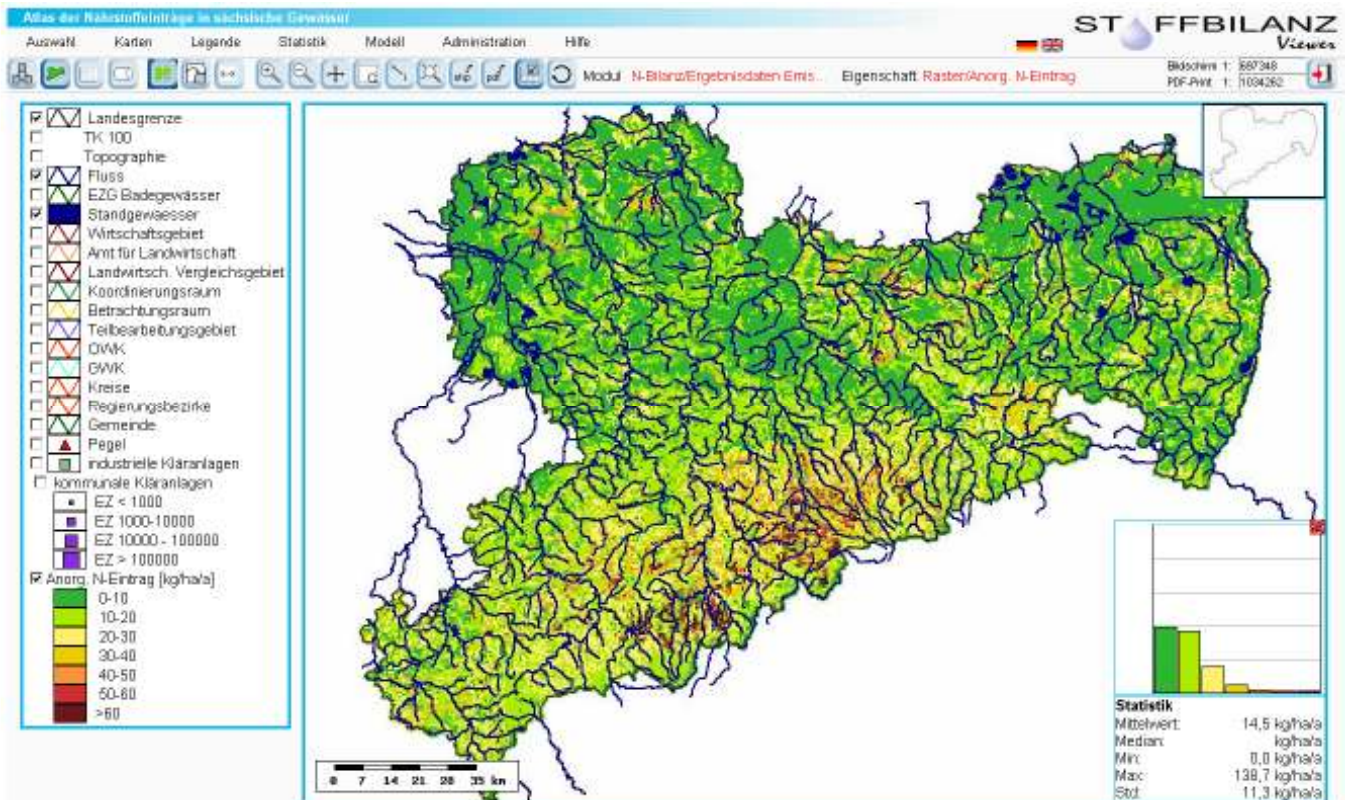


Abbildung 48: Modellierter gelöste N-Einträge für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

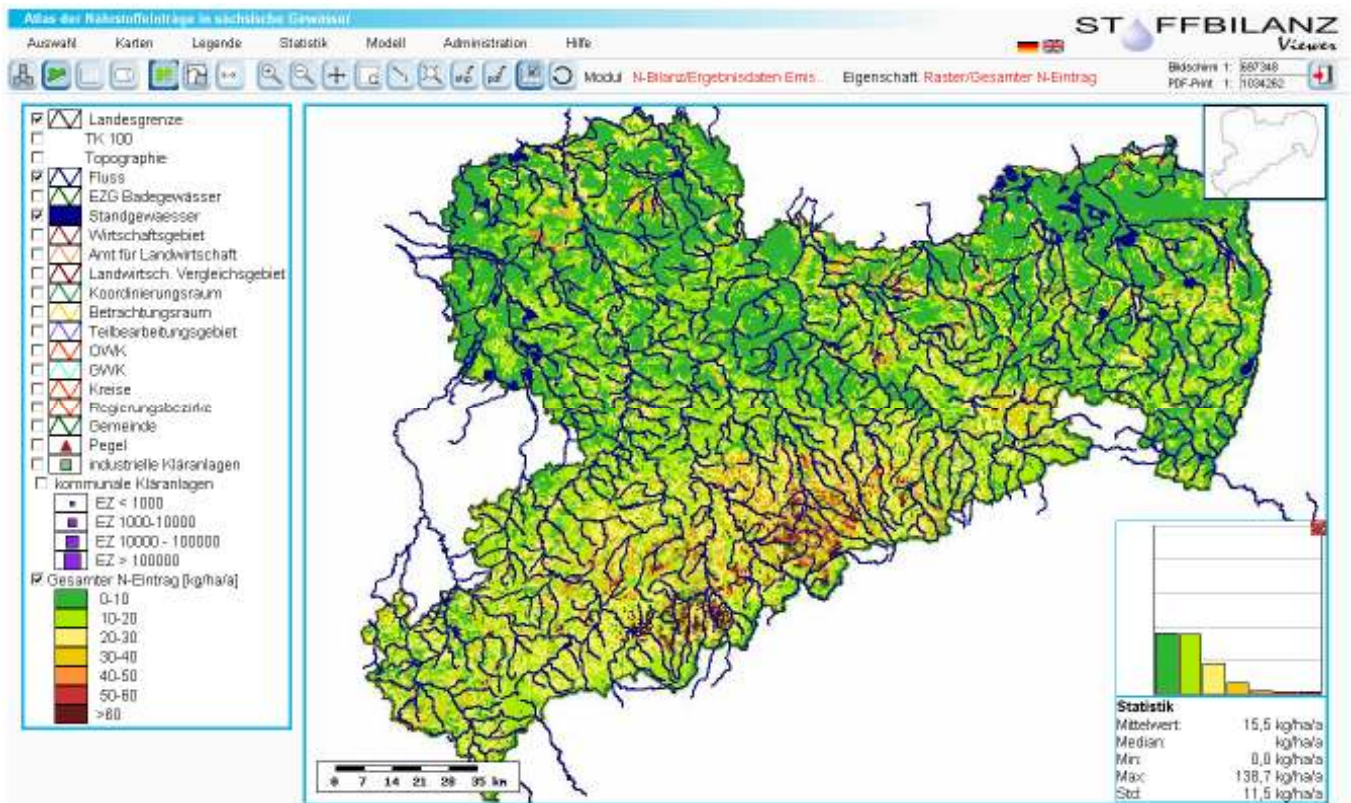


Abbildung 49: Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 ergeben sich Reduzierungen von ca. 1-2 kg/ha/a. Die Summen für Sachsen liegen für den N-Austrag bei 36.245, für den anorganischen N-Eintrag bei 27.372 t/a und für den N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen bei 29.180 t/a. Tabelle 26 fasst die Ergebnisse für 2020 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen.

Tabelle 26: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	N-Austrag	gelöster N-Eintrag	N-Gesamteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	38,93	21,08	21,09
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	40,45	22,59	22,61
10 Dübener-Dahlener Heide	36,06	18,24	18,24
Sächsisches Lössgebiet	15,46	11,4	11,56
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	16,03	12,99	13,13
7 Mittelsächsisches Hügelland	15,47	13,89	14,06
8 Mittelsächsische Platte	14,32	9,88	10,16
9 Leipziger Tieflandsbucht	15,59	10,31	10,34
11 Sächsische Elbtalniederung	22,66	11,3	11,31
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	35,01	32,6	32,82
3 Elbsandsteingebirge	29,44	25,79	26,04
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	35,67	33,47	33,65
5 Erzgebirgskamm	59,63	55,86	56,15
6a Elsterbergland	23,74	21,97	22,17
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	28,8	27,17	27,38
Sachsen	25,5	18,34	18,49

4.4.3 Differenzenbetrachtung Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 1 – 2020 und dem Bezugsjahr 2005 (Ist-Zustand) für den N-Austrag und den N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen geben Abbildung 50 und Abbildung 51.

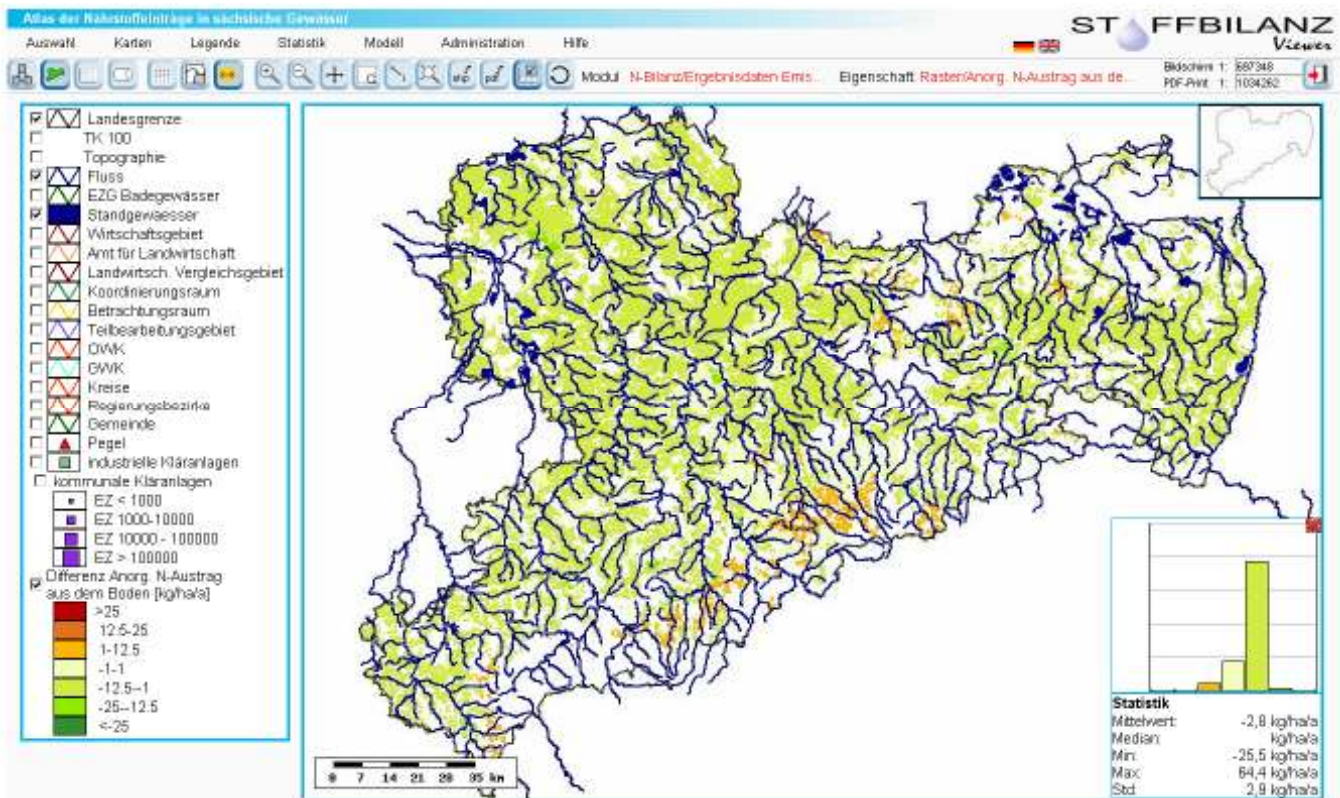


Abbildung 50: Differenzkarte für den N-Austrag aus der Bodenzone (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

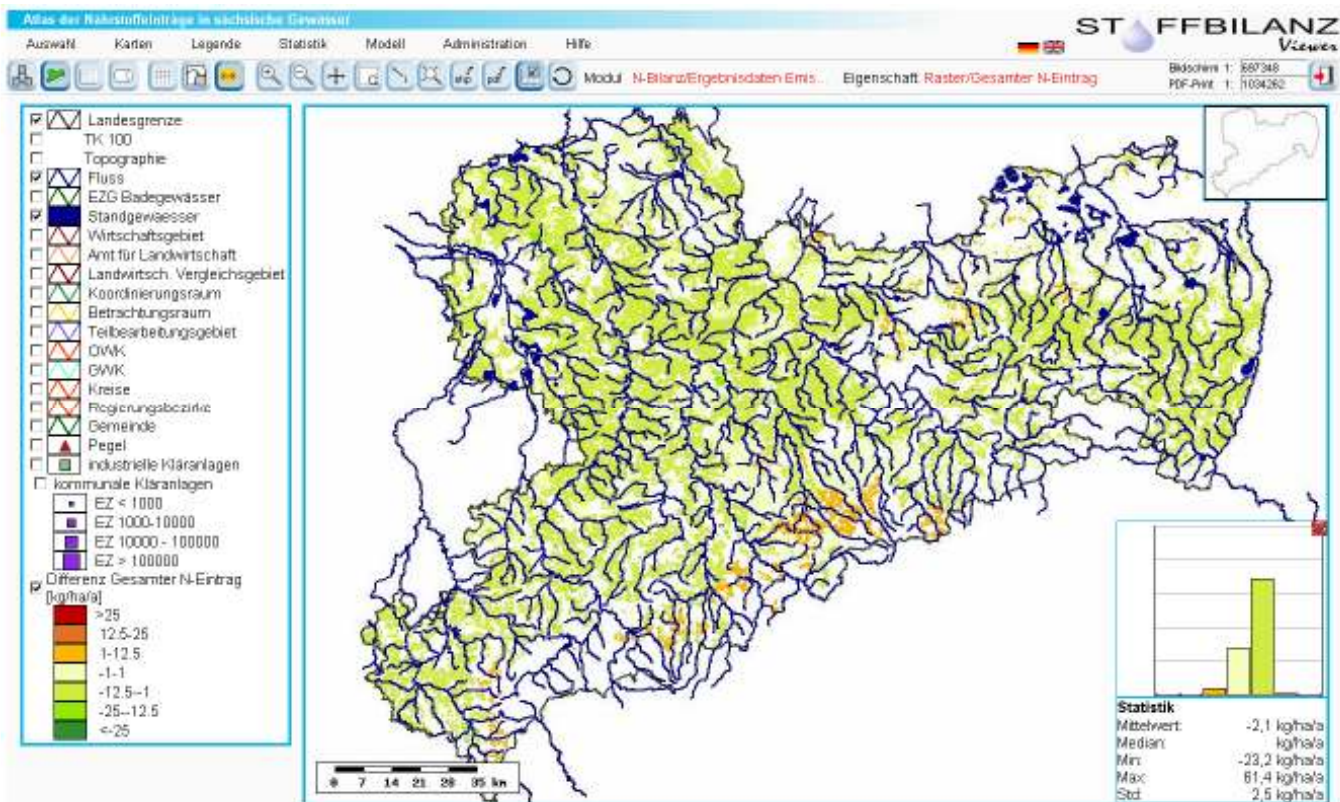


Abbildung 51: Differenzkarte für den gesamten N-Eintrag aus diffusen Quellen (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

Die N-Austräge verringern sich in der Summe um 1.879 t/a (4,9%), die anorganischen N-Einträge gehen um 1.349 t/a (4,7%) und die diffusen N-Gesamteinträge um 1.373 t/a (4,5%) zurück. Einen regionsspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen des N-Austrags, gelösten N-Eintrags und N-Gesamteintrags aus diffusen Quellen für Sachsen zeigt Tabelle 27 für Ackerflächen.

Tabelle 27: Modellierte Differenzen von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 1 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	N-Austrag	gelöster N-Eintrag	N-Gesamteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-1,67	-0,75	-0,76
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-1,48	-0,70	-0,70
10 Dübener-Dahleener Heide	-2,02	-0,82	-0,82
Sächsisches Lössgebiet	-3,55	-2,63	-2,66
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-3,85	-3,23	-3,24
7 Mittelsächsisches Hügelland	-2,01	-1,82	-1,84
8 Mittelsächsische Platte	-3,51	-2,54	-2,58
9 Leipziger Tieflandsbucht	-4,45	-2,90	-2,89
11 Sächsische Elbtalniederung	-3,34	-1,75	-1,75
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-2,10	-1,96	-2,02
3 Elbsandsteingebirge	-2,06	-1,86	-1,98
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-1,65	-1,55	-1,59
5 Erzgebirgskamm	1,12	1,07	0,95
6a Elsterbergland	-3,94	-3,66	-3,70
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-3,52	-3,32	-3,36
Sachsen	-1,88	-2,17	-2,20

Anhand von Abbildung 52 und Abbildung 53 werden die Rückgänge für den N-Austrag, gelösten N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen für Ackerflächen für 2020 im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 differenziert nach LVG nochmals verdeutlicht.

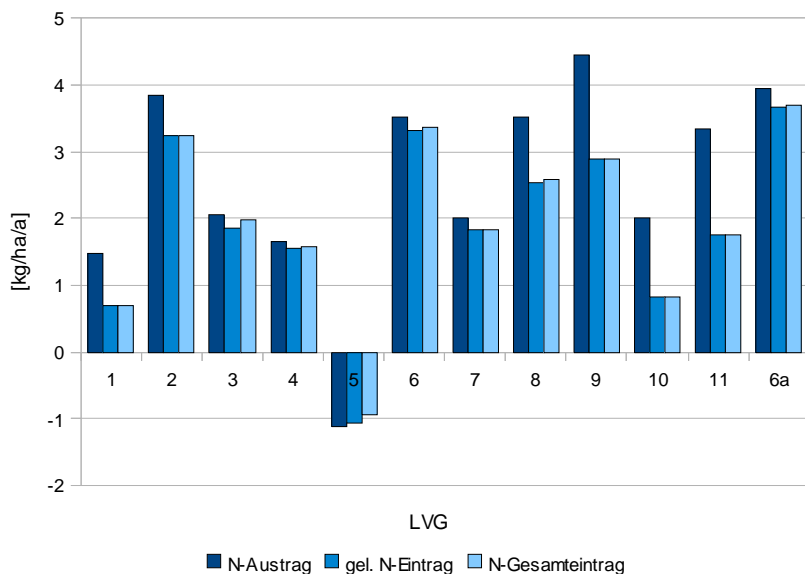


Abbildung 52: Modellierter Beträge des Rückgangs von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag von Ackerflächen aus diffusen Quellen von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 - 2020

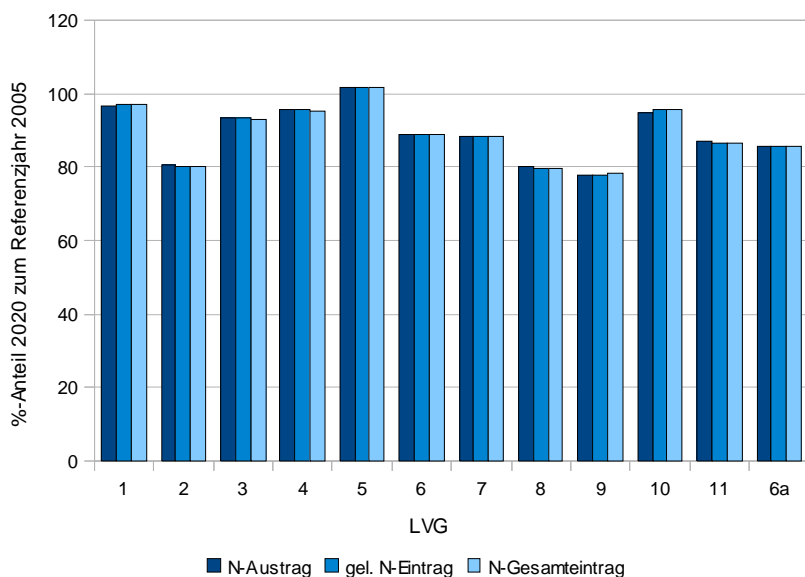


Abbildung 53: Modellierter N-Austräge, gelöste N-Einträge und N-Gesamteinträge aus diffusen Quellen von Ackerflächen 2020 als Prozentwert zu 2005

Besonders hohe Rückgänge ergeben sich in den LVG, deren Agrarstruktur im NR-Bereich durch besonders hohe Winterweizenanteile bzw. niedrige Silomaisanteile gekennzeichnet ist (LVG-Nr. 2, 9, 8, 7). Grund hierfür ist die gering angesetzte Düngung für Winterweizen bzw. die Düngungsbeaufschlagung für Silomais. In LVG 5 (Erzgebirgsabdachung) nehmen die Frachten sogar geringfügig zu. Die Winterweizenanteile im NR-Bereich liegen hier lediglich bei 1%.

4.4.4 Szenario 2 – 2020

Einen Überblick über die räumlich verteilten anorganischen N-Austräge aus der Bodenzone, die gelösten N-Einträge sowie die N-Gesamteinträge in die Oberflächengewässer aus diffusen Quellen, basierend auf der Klimadatenjahresreihe 1961-2005, zeigen Abbildung 54 bis Abbildung 56 für Szenario 2 – 2020.

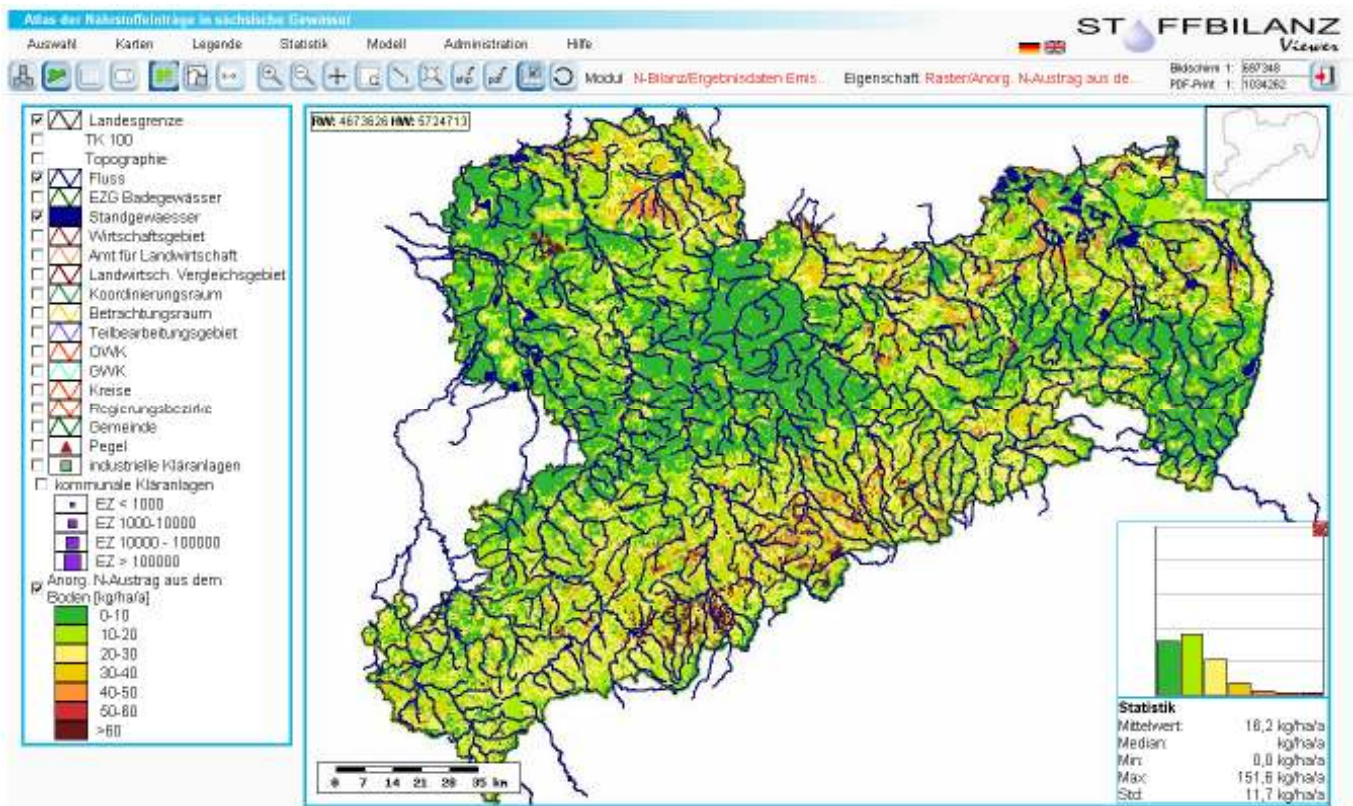


Abbildung 54: Modellierter N-Austräge aus der Bodenzone für Sachsen (Szenario 2 – 2020)

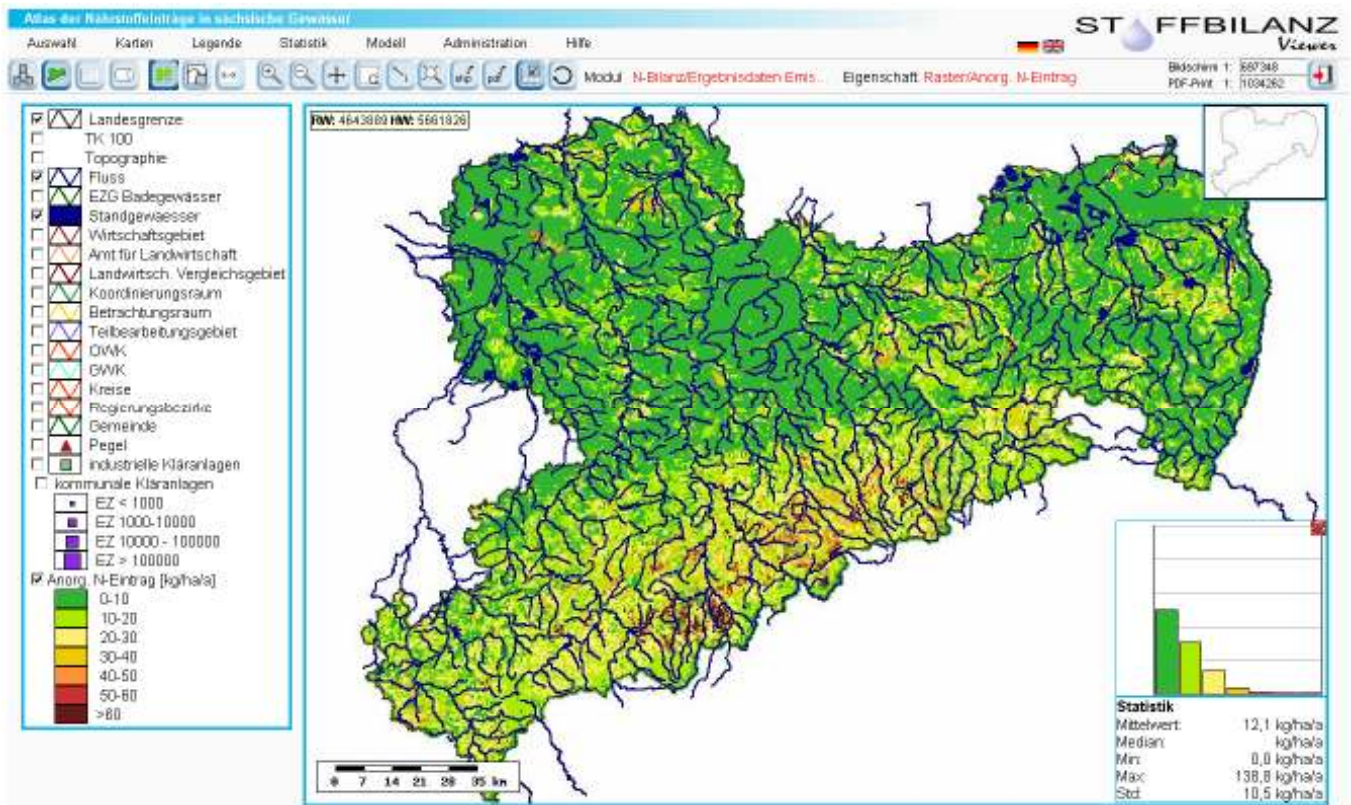


Abbildung 55: Modellierte gelöste N-Einträge für Sachsen (Szenario 2 – 2020)

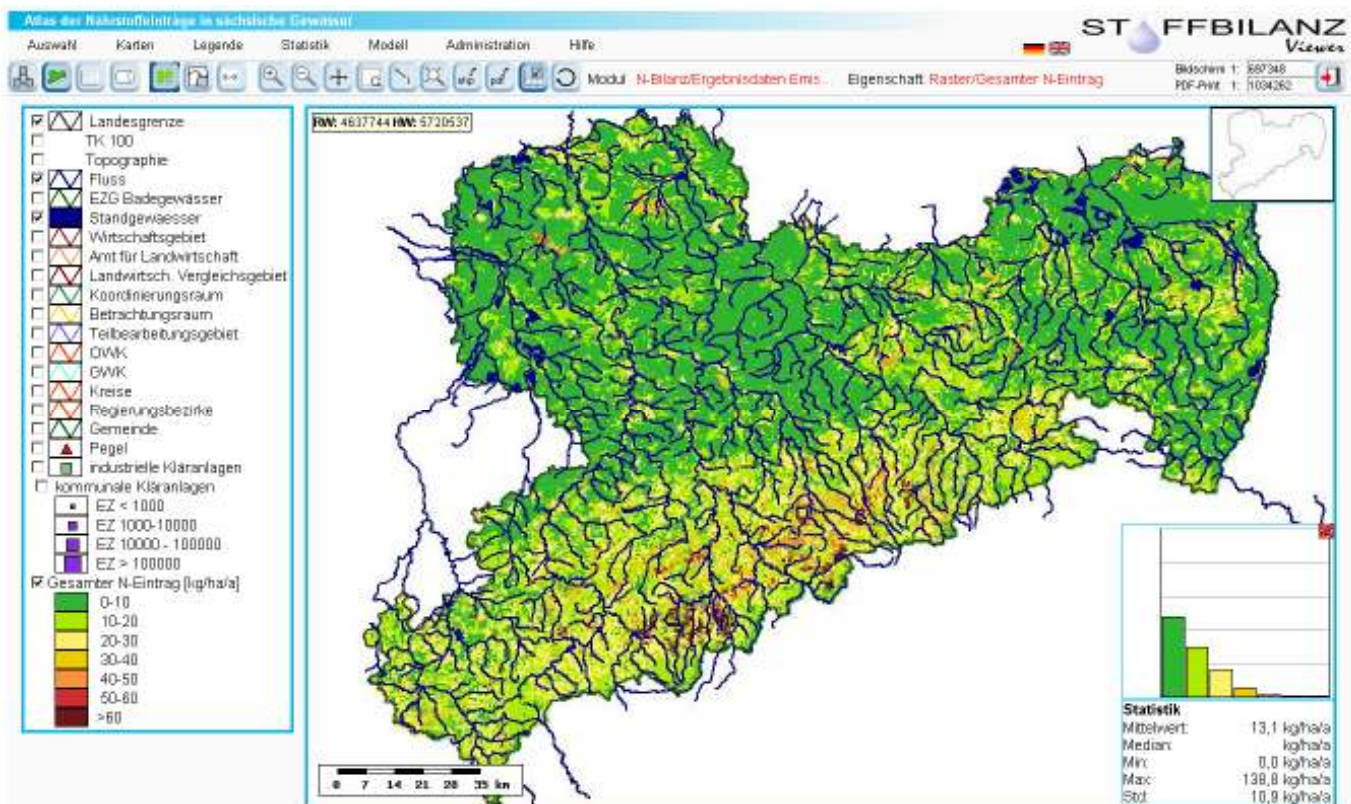


Abbildung 56: Modellierte gesamte N-Einträge aus diffusen Quellen für Sachsen (Szenario 2 - 2020)

Im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 ergeben sich Reduzierungen von 3 bis 4 kg/ha/a. Die Summen für Sachsen liegen für den N-Austrag bei 30.575, für den anorganischen N-Eintrag bei 22.847 t/a und für den N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen bei 24.609 t/a. Tabelle 28 fasst die Ergebnisse für Szenario 2 - 2020 regionsspezifisch für Ackerflächen zusammen.

Tabelle 28: Ausgewählte Ergebnisse der Modellierung von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG [kg/ha/a] auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	N-Austrag	gelöster N-Eintrag	N-Gesamteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	31,23	16,24	16,25
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	32,34	17,36	17,37
10 Dübener-Dahlener Heide	29,14	14,12	14,12
Sächsisches Lössgebiet	7,86	5,39	5,48
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	8,77	6,69	6,77
7 Mittelsächsisches Hügelland	6,10	5,46	5,54
8 Mittelsächsische Platte	5,75	3,68	3,82
9 Leipziger Tieflandsbucht	9,37	5,84	5,85
11 Sächsische Elbtalniederung	22,30	11,10	11,10
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	26,81	24,96	25,10
3 Elbsandsteingebirge	22,92	20,09	20,27
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	25,85	24,25	24,37
5 Erzgebirgskamm	51,49	48,23	48,44
6a Elsterbergland	17,55	16,24	16,39
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	20,01	18,91	19,03
Sachsen	16,73	12,14	12,23

4.4.5 Differenzenbetrachtung Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 2 – 2020 zum Ist-Zustand 2005 für den N-Austrag und den N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen geben Abbildung 57 und Abbildung 58.

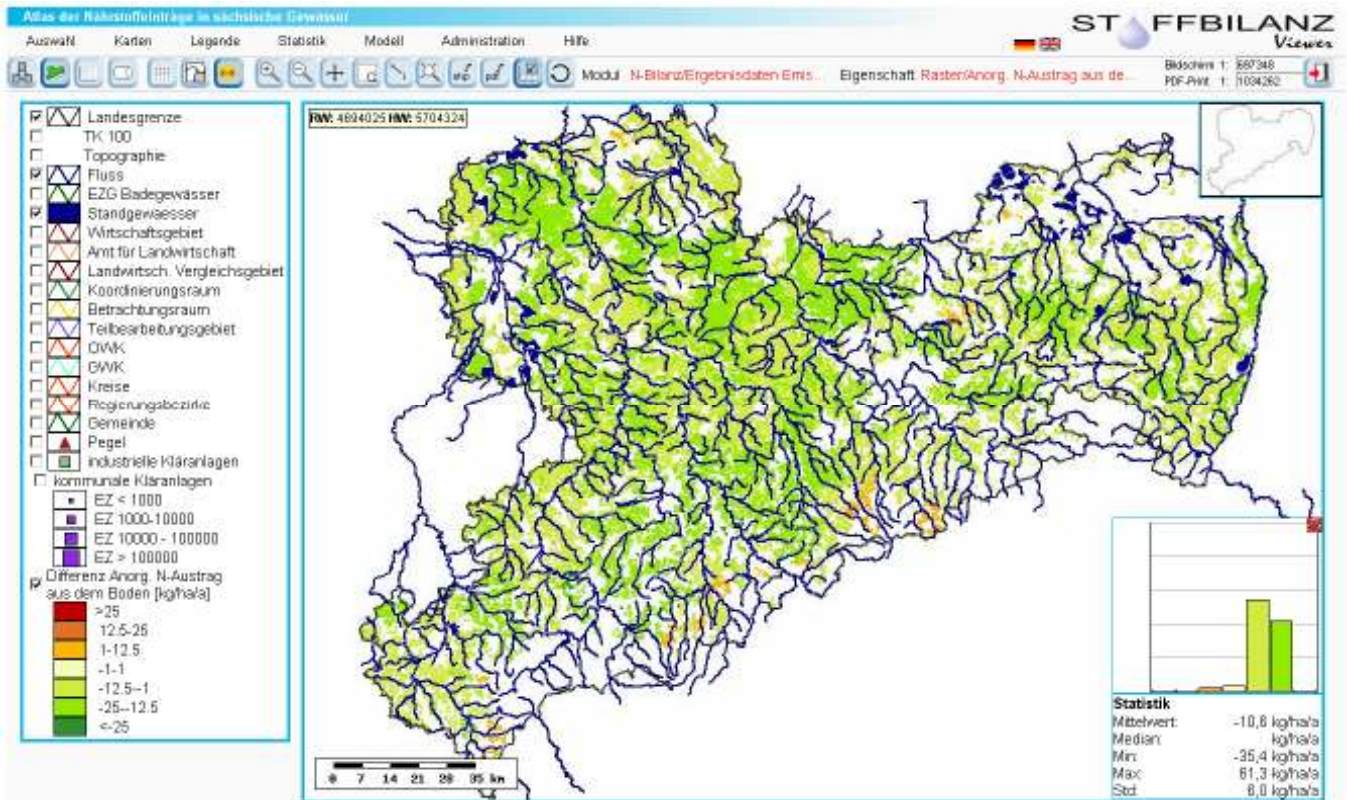


Abbildung 57: Differenzkarte für den N-Austrag aus der Bodenzone (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

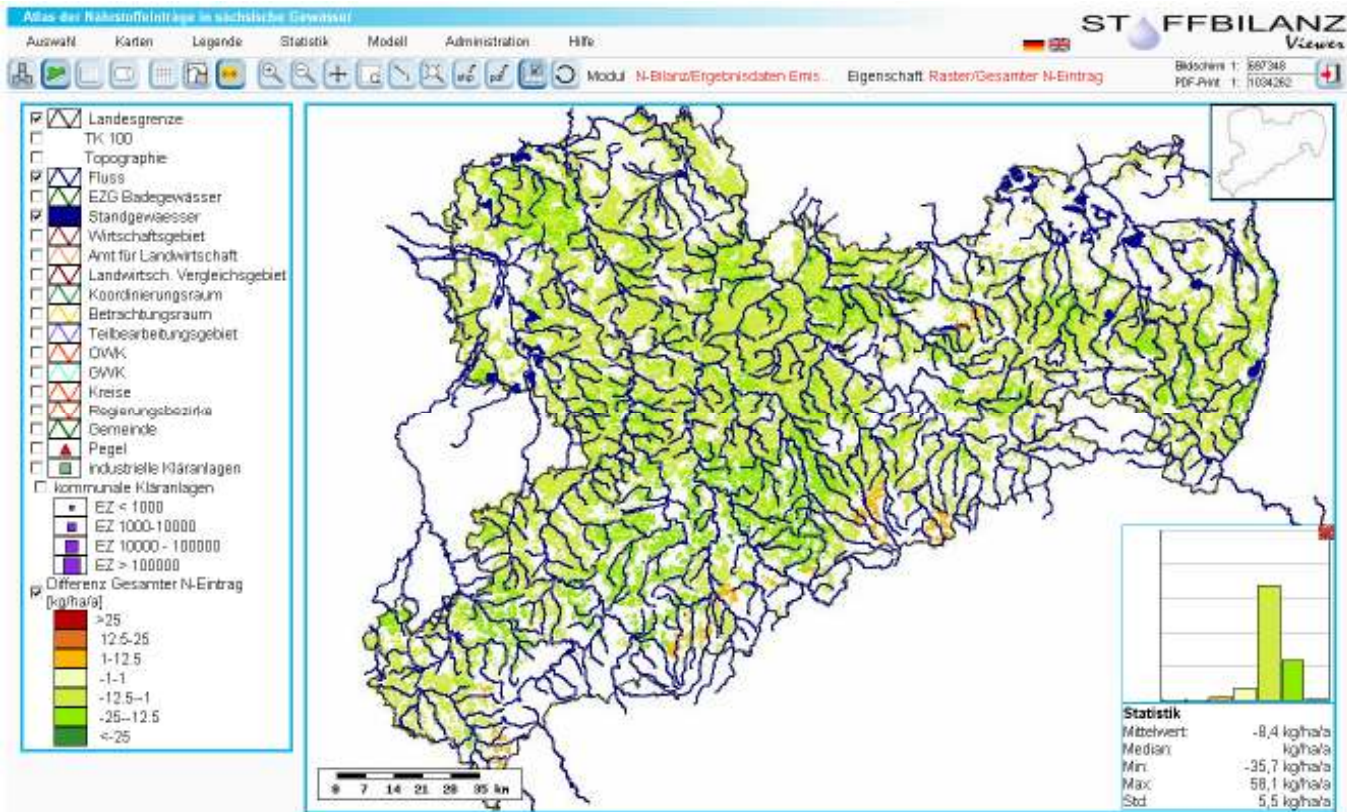


Abbildung 58: Differenzkarte für den gesamten N-Eintrag aus diffusen Quellen (Ackerflächen, Szenario 2 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

Die N-Austräge verringern sich gegenüber dem Ist-Zustand 2005 in der Summe um 7.549 t/a (19,8%), die anorganischen N-Einträge gehen um 5.874 t/a (20,4%) und die diffusen N-Gesamteinträge um 5.944 t/a (19,5%) zurück. Einen regionsspezifischen Überblick über die modellierten Differenzen des N-Austrags, gelösten N-Eintrags und N-Gesamteintrags aus diffusen Quellen für Sachsen zeigt Tabelle 29 für Ackerflächen.

Tabelle 29: Modellierte Differenzen von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen [kg/ha/a] in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen (Szenario 2 - 2020 zu Ist-Zustand 2005)

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	N-Austrag	gelöster N-Eintrag	N-Gesamteintrag
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	-9,37	-5,59	-5,60
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	-9,59	-5,93	-5,94
10 Dübener-Dahlener Heide	-8,94	-4,94	-4,94
Sächsisches Lössgebiet	-11,15	-8,64	-8,74
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-11,11	-9,53	-9,60
7 Mittelsächsisches Hügelland	-11,38	-10,25	-10,36
8 Mittelsächsische Platte	-12,08	-8,74	-8,92
9 Leipziger Tieflandsbucht	-10,67	-7,37	-7,38
11 Sächsische Elbtalniederung	-3,7	-1,95	-1,96
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	-10,30	-9,60	-9,74
3 Elbsandsteingebirge	-8,58	-7,56	-7,75
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	-11,47	-10,77	-10,87
5 Erzgebirgskamm	-7,02	-6,56	-6,76
6a Elsterbergland	-10,13	-9,39	-9,48
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	-12,31	-11,58	-11,71
Sachsen	-10,65	-8,37	-8,46

Anhand von Abbildung 59 und Abbildung 60 werden die Rückgänge für den N-Austrag, gelösten N-Eintrag und N-Gesamteintrag aus diffusen Quellen für Ackerflächen für 2020 im Vergleich zum Ist-Zustand 2005 differenziert nach LVG nochmals verdeutlicht.

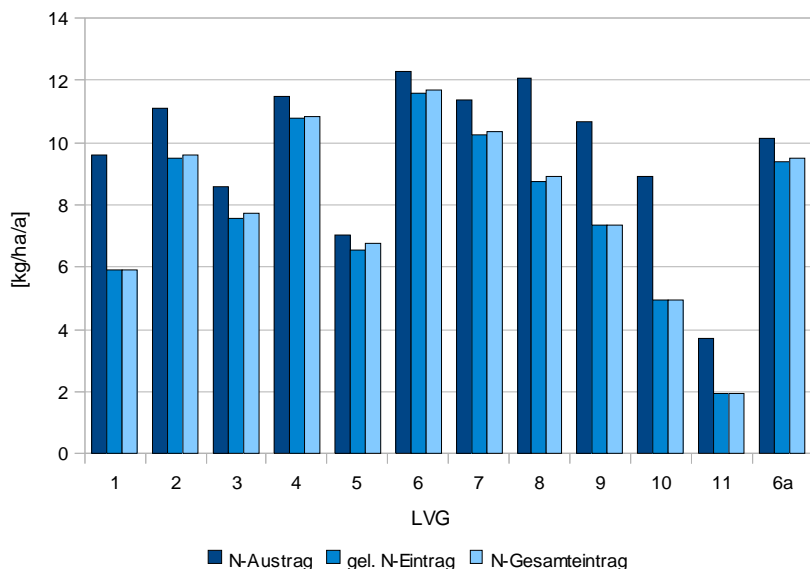


Abbildung 59: Modellerte Beträge des Rückgangs von N-Austrag, gelöstem N-Eintrag und N-Gesamteintrag von Ackerflächen aus diffusen Quellen von 2005 zu Szenario 2 – 2020

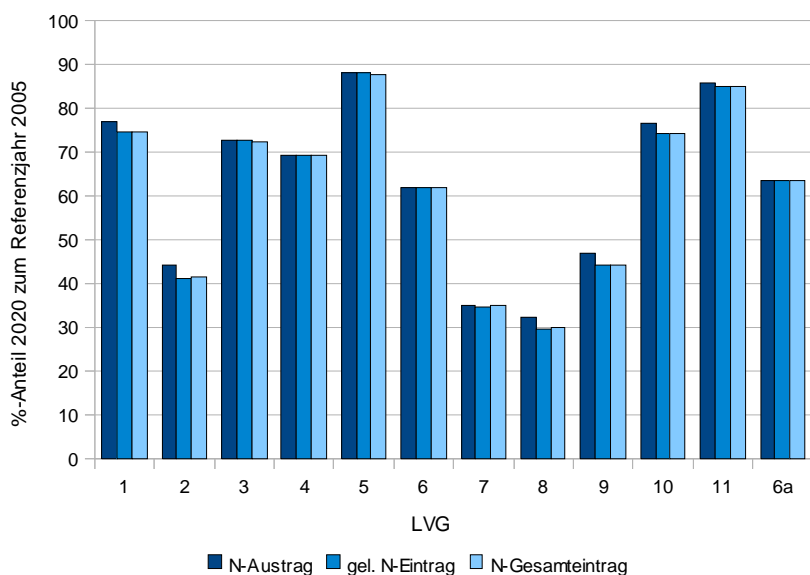


Abbildung 60: Modellerte N-Austräge, gelöste N-Einträge und N-Gesamteinträge aus diffusen Quellen von Ackerflächen 2020 als Prozentwert zu 2005

Besonders hohe Rückgänge ergeben sich in den LVG, deren Agrarstruktur im NR-Bereich durch besonders hohe KUP-Anteile gekennzeichnet ist (LVG-Nr. 2, 6, 7, 8, 9). Grund hierfür ist die Annahme einer Nullbilanz für KUP.

Emissionen aus punktuellen Quellen

Im Freistaat Sachsen werden ca. 4.492 kg N (Ist-Zustand 2005) in die Oberflächengewässer über Kläranlagen (KA) eingeleitet. Dies entspricht für 2005 ca. 12% der Gesamtbelastung aus diffusen und punktuellen Quellen (siehe Halbfaß et al. 2009). Auf eine detailliertere Betrachtung des punktuellen Eintragspfades wird hier verzichtet, da unmittelbar auf die Ergebnisse des „Atlas

der Nährstoffeinträge“ (Halbfaß et al. 2009) zurückgegriffen wurde. Für den Zeitraum 2020 wurde im Rahmen der Immissionsbetrachtung von einer unveränderten Größenordnung des punktuellen N-Eintrags ausgegangen.

Immissionsbetrachtung und Validierung

Ausgangspunkt für die Abschätzung der N-Frachten unter Berücksichtigung der N-Retention während der Abflusspassage im Oberflächengewässer bis hin zur Messstelle sind die modellierten diffusen und punktuellen N-Einträge.

Nach Ableitung der Retention gemäß der in Halbfaß et al. (2009) detailliert beschriebenen Methodik der Frachtberechnung ergibt sich für den Ist-Zustand 2005 an der Mehrzahl der Messstellen im Vergleich mit den modellierten Immissionen (Eintrag abzüglich Retention) eine gute Übereinstimmung. Bei der Berechnung des Bestimmtheitsmaßes in Abbildung 61 wurden die Oberflächenwasserbeschaffenheitsmessstellen OBF00200 (Labe), OBF01800 (Elbe-1), OBF02810 (Elbe-2) und OBF47600 (Mulde-7) nicht einbezogen, um eine Übergewichtung der dort realisierten überproportional hohen Frachten in der Statistik zu vermeiden. Alle anderen Messstellen, für die Durchfluss- und Konzentrationswerte für N_{ges} vorlagen, wurden dagegen einbezogen. Im Vergleich mit der in Halbfaß et al. (2009) vorgenommenen Validierung anhand der Ergebnisse des „Nährstoffatlas Sachsen“ ergibt sich unter Verwendung des Ist-Zustands 2005 der hier vorliegenden Studie mit einem r^2 von 0,89 gegenüber 0,85 ein höheres Bestimmtheitsmaß. Die Frachten der in der Validierung einbezogenen Pegel werden in der Modellierung tendenziell etwas unterschätzt. Bei Einbeziehung der Pegel Labe, Elbe-1, Elbe-2 und Mulde-7 ist diese Unterschätzung nicht mehr zu beobachten. Die größere Einzugsgebiete repräsentierenden Pegel werden durch die Modellierung extrem gut abgebildet ($r^2 = 0,96$ bei entsprechender Einbeziehung aller vier Messstellen).

Größere Abweichungen ergeben sich erwartungsgemäß vor allem in der Lausitz (z. B. Spreeeinzugsgebiet, Schöps) aufgrund der speziellen wasserhaushaltlichen Gegebenheiten in Zusammenhang mit dem Braunkohlebergbau (siehe Flutungssteuerungsmodell GRMSTEU) sowie in Gebieten mit hohem Einfluss durch Talsperrenbewirtschaftung (z. B. nicht erfasste Einflüsse von Vorsperren, Wasserableitung, -überleitung). Nähere Informationen zu den einbezogenen Beschaffenheitsmessstellen und -daten sind in Halbfaß et al. (2009) enthalten.

Einen Vergleich von modellierten Emissionen und modellierten Immissionen für die sächsischen Gebietsteile der FGE¹⁵ Elbe und FGE Oder zeigt Tabelle 30. Zu beachten ist dabei, dass die mittlere Retention lediglich ein Integral der in den unterschiedlichen Einzugsgebietsteilen (Oberlieger) teilweise stärker variierenden Retention darstellt.

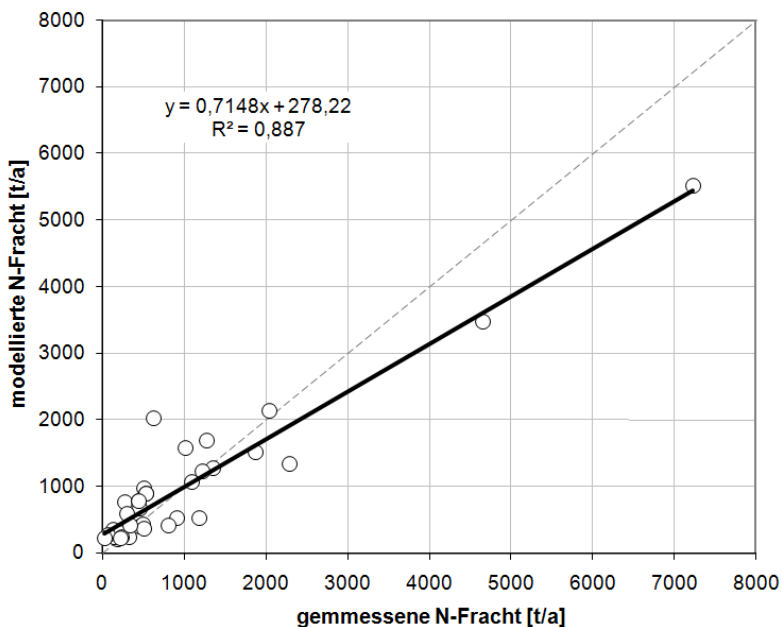


Abbildung 61: Vergleich von gemessenen und modellierten Immissionen im Fließgewässer (Ist-Zustand 2005)

¹⁵ FGE: Flussgebietseinheit

Tabelle 30: Ein- und Austragsfrachten von Stickstoff in den sächsischen Gebietsteilen der FGE Elbe und FGE Oder (Ist-Zustand 2005, Szenario 1 – 2020, Szenario 2 – 2020)

Gebietsteile	N-Emission [t/a]			N-Immission [t/a]			N-Retention [%]		
	2005	2020		2005	2020		2005	2020	
	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2	Ist-Zust.	Sz. 1	Sz. 2
Mulde	14422	13960	11978	9450	9116	7702	34,5	34,7	35,7
Elbe1	7640	7374	6513	5549	5354	4703	27,4	27,4	27,8
Weißer Elster/Eger	5763	5451	4806	4500	4247	3710	21,9	22,1	22,8
Spree	2681	2544	2201	2029	1931	1682	24,3	24,1	23,6
Schwarze Elster	3359	3222	2640	2808	2693	2212	16,4	16,4	16,2
FGE Elbe	33865	32551	28138	24337	23339	20034	28,1	28,3	28,8
Lausitzer Neiße	1110	1051	892	826	788	675	25,6	25,0	24,3
FGE Oder	1110	1051	892	826	788	675	25,6	25,0	24,3
Sachsen	34975	33602	29030	25163	24126	20728	28,1	28,2	28,6

4.5 Pflanzenschutzmittel

4.5.1 Ist-Zustand 2005

Belastung der OWK mit Pflanzenschutzmitteln (PSM)

Anhand der im LfULG vorliegenden Untersuchungsdaten der zurückliegenden Jahre zu Belastungen sächsischer Oberflächengewässer mit PSM-Wirkstoffen kann davon ausgegangen werden, dass diese kein flächendeckendes Problem darstellen. Viele der in den Anlagen 4 und 5 der SächsWRRLVO (ECO- und CHEM-Listen) aufgeführten PSM-Wirkstoffe besitzen keine Relevanz in sächsischen Oberflächengewässern. Jedoch weisen einige PSM-Wirkstoffe in regionalen Einzelfällen wiederholt erhöhte Befunde bzw. Überschreitungen der jeweiligen Umweltqualitätsnormen (UQN) auf. Diesbezügliche Probleme bereiten insbesondere auch noch immer „Altwirkstoffe“, wie DDT oder Lindan. Diese sind zwar schon seit vielen Jahren nicht mehr zugelassen und somit bereits langfristig nicht mehr in der Anwendung, jedoch aufgrund ihrer hohen Persistenz immer noch in den Umweltsystemen enthalten und analytisch nachweisbar (LfUG 2005; aktualisiert im Rahmen der WRRL-Berichterstattung in LfULG 2009/2).

Die aktuell verfügbaren Auswertungsergebnisse des LfULG zu UQN-Überschreitungen bei PSM-Wirkstoffen in sächsischen Oberflächenwasserkörpern (OWK) berücksichtigen den Gesamtumfang aller nach WRRL relevanten PSM-Stoffe sowohl unter Einbeziehung der „ECO-Listen-Stoffe“ zur Bewertung des ökologischen Zustandes als auch hinsichtlich der PSM-Stoffe und Kriterien für den chemischen Zustand nach „Tochter-RL-Umweltqualitätsnormen“ (RL 2008/105/EG). Auch diese Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen das bisher festgestellte Gesamtbild der einzelfallbezogenen PSM-Belastungsproblematik an Wasserkörpern (siehe auch LfULG 2009/2 bzw. WGN-SAXINFO).

UQN-Überschreitungen bei PSM-Wirkstoffen betreffen - ohne Einbeziehung der „Altwirkstoffe“ DDT und Lindan - insgesamt 35 und damit ca. 5 % der 651 sächsischen OWK. Regional auffällig sind hier vor allem die Teilbearbeitungsgebiete (TBG) der Sächsischen Mulden mit insgesamt 13 OWK (zwei OWK im TBG Zwickauer M.; vier OWK im TBG Freiburger M.; sieben OWK im TBG Vereinigte M.), welche Überschreitungen der jeweiligen PSM-stoffspezifischen Umweltqualitätsnormen aufweisen.

Weitere OWK mit diesbezüglich festgestellten UQN-Überschreitungen verteilen sich wie folgt auf die übrigen sächsischen Teilbearbeitungsgebiete: jeweils fünf OWK im TBG Ebestrom-1 und TBG Elbestrom-2; vier OWK im TBG Sächsische Weiße Elster/ Pleiße, jeweils drei OWK im TBG Schwarze Elster und TBG Obere Spree und zwei OWK im TBG Lausitzer Neiße. Im TBG Sächsische Weiße Elster/Eger wurden keine OWK mit UQN- Überschreitungenen WRRL-relevanter PSM-Wirkstoffe festgestellt. Von den genannten UQN-Überschreitungen ist hinsichtlich der Standgewässer-Wasserkörper nur die Talsperre Schömbach im TBG Sächsische Weiße Elster/Pleiße betroffen (LfULG 2009/2, Datenstand 2008).

Das Nachweisspektrum zeigte folgende für die festgestellten UQN- Überschreitungen relevanten Wirkstoffe (E- nach ECO-Stoffliste / C- nach CHEM-Stoffliste-Tochter-RL) in Verbindung mit der Anzahl der jeweils betroffenen OWK¹⁶:

UQN-Überschreitungen bei PSM-Wirkstoffen betreffen - ohne Einbeziehung der „Altwirkstoffe“ DDT und Lindan - insgesamt 35 und damit ca. 5 % der 651 sächsischen OWK. Regional auffällig sind hier vor allem die Teilbearbeitungsgebiete (TBG) der Mulden mit jeweils 4 bis 5 Überschreitungen der jeweiligen PSM- stoffspezifischen Umweltqualitätsnormen. Jeweils zwei Überschreitungen betreffen die TBG Lausitzer Neiße, Obere Spree, Elbestrom-2 sowie Sächsische Weiße Elster/Pleiße. In den TBG Schwarze Elster, Sächsische Weiße Elster/Eger und Elbestrom-1 konnten bislang keine UQN-Überschreitungen WRRL- relevanter PSM-Wirkstoffe nachgewiesen werden. Von den genannten UQN-Überschreitungen ist dabei hinsichtlich der Standgewässer-Wasserkörper nur die Talsperre Schömbach im TBG Sächsische Weiße Elster/Pleiße betroffen (LfULG 2009/2, Datenstand 2008).

Weiter wurde festgestellt, dass für die nach Tochter-RL-Umweltqualitätsnormen (RL 2008/105/EG) neu als WRRL- relevant benannten prioritären Stoffe Dicofol, Glyphosat, AMPA und Quinoxifen die bisherigen Untersuchungsergebnisse für eine gesicherte Einschätzung noch nicht ausreichen.

Das Nachweisspektrum zeigte die Wirkstoffe:

■ Atrazin (1 OWK betroffen) - C

¹⁶ Drei der 35 OWK sind von jeweils zwei PSM-Stoffen mit UQN-Überschreitung betroffen. Bei den Aufstellungen der von PSM-UQN-Überschreitungen betroffenen OWK wurden die „Altlastenstoffe“ HCH und DDT nicht mit berücksichtigt.

- Bentazon (4 OWK betroffen) - E
- Chlorpyrifos (2 OWK betroffen) - C
- Dimethoat (2 OWK betroffen) - E
- Disulfoton (4 OWK betroffen) - E
- Diuron (1 OWK betroffen) - C
- Isoproturon (3 OWK betroffen) - C
- Metazachlor (2 OWK betroffen) - E
- Metolachlor (3 OWK betroffen) - E
- Mevinphos (6 OWK betroffen) - E
- MPCA (1 OWK betroffen) - E
- Parathion-Methyl (3 OWK betroffen) - E
- Simazin (2 OWK betroffen) - C
- Terbutylazin (4 OWK betroffen) - E

Weiter wurde festgestellt, dass für die nach Tochter-RL-Umweltqualitätsnormen (RL 2008/105/EG) neu als WRRL-relevant benannten prioritären Stoffe Dicofol, Glyphosat, AMPA und Quinoxifen die bisherigen Untersuchungsergebnisse für eine gesicherte Einschätzung noch nicht ausreichen.

Bezug zu aktuellen Anwendungen im Ackerbau und auf Kurzumtriebsplantagen

Die nachgewiesenen Wirkstoffe weisen zu mehr als der Hälfte einen Bezug zu aktuell zugelassenen PSM-Mitteln auf (Tabelle 31). Aus der Spalte Einsatzgebiet ist abzulesen, dass eine Relevanz hinsichtlich NR-Pflanzen bestehen kann.

Für die restlichen Wirkstoffe, die in 2008 Überschreitungen der UQN in sächsischen Gewässern aufwiesen, findet man aktuell keine Zulassung in der Landwirtschaft. Die Zulassung der Produkte mit den Wirkstoffen Parathion-Methyl (Insektizid, out seit 2002), Disulfoton (Insektizid, out seit 2003), Mevinphos (Insektizid, out seit 2003), Atrazin (Herbizid, out seit 2004) und Simazin (Herbizid, out seit 2004) lief aus (Bundesamt für Verbraucherschutz 2010).

Einen Überblick über die Einsatzstrategie von PSM zu Unkraut/Ungräsern bei KUP gibt Tabelle 32 (Quelle: Röhricht 2009).

Tabelle 31: PSM-Wirkstoffe mit UQN-Überschreitung in sächsischen Gewässern und aktuellem Bezug zu landwirtschaftlichen Anwendungen im Ackerbau (zugelassenes PSM, Stand 2010, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2010)

Wirkstoff	Wirkungsbereich	Produktname	Einsatzgebiet
Bentazon	Herbizid	Artett Basagran	Bekämpfung von Unkräutern in Sommerweizen, Sommergerste, Hafer, Kartoffeln, Ackerbohnen, Futtererbse, Sojabohne und Rotklee
Chlorpyrifos	Insektizid	Garten-Loxiran Insektenstreuemittel NEXION NEU	gegen die Blutlaus an Äpfeln und die Obstmade an Kernobst sowie gegen beißende Insekten an Kernobst, Pflaumen und Zwetschgen; gegen Ameisen an Zierpflanzen und gegen Drahtwürmer und Moosknopfkäfer an Zuckerrüben sowie als Stallspritzmittel
Dimethoat	Insektizid	BI 58, Danadim Progress, Detia Insekten-Spritzmittel, Insekten Spritzmittel Roxion D, Jaguar, Perfekthion Insektenvernichter, ROGOR 40 L	z.B. in Getreide
Diuron	Herbizid	Widerruf der Zulassung für alle Mittel mit dem Wirkstoff Diuron: RA-15-Neu, Vetyl-Unkrautfrei-Neu, Unkraut-Ex, Cumatol WG, Rapir WG, Vorox WPD ¹⁷ (13.12.2007; Ablauffrist lief bis 13.12.2009)	bevorzugt als Totalherbizid auf Wegen und Plätzen; selektive Verwendung zur Unkrautbekämpfung bei Spargel, im Weinbau, bei Ziergehölzen und unter Kernobst (Bis zum freiwilligen Verzicht der Deutschen Bahn Mitte der 90er Jahre war Diuron das wichtigste Herbizid zur Vegetationskontrolle im Gleisbereich.)
Isoproturon	Herbizid	Arelan, Azur, FENIKAN, Herbaflex, Isotox, Protugan, TOLKAN FLO	bevorzugt für Winterweizen, Wintergerste, Roggen, Sommergerste und Sommerweizen gegen Ungräser (jeweils als Vor- und Nachlaufherbizid)
Metazachlor	Herbizid	Butisan, Fuego, Nimbus CS	Basisherbizid für die Unkrautbekämpfung v.a. im Raps
Metolachlor	Herbizid	Dual Gold, Gardo Gold, Primagram Gold	gegen Gräser und Hirseunkräuter bei Mais, Sojabohnen u.a.
MPCA	Herbizid	Agroxone, Anario, Berghoff MPCA, BOFIX, CERIDOR MPCA, Dicapur M, U 46 M-Fluid	z.B. im Getreidebau
Terbuthylazin	Herbizid	Artett, Bromoterb, Calaris, CHAC, CLICK, Gardo Gold, Gardobuc, Lido SC, Primagram Gold, Successor T, Terbuthylazin 500, ZEAGRAN	Bekämpfung von Unkraut beim Anbau von Mais

¹⁷ <http://www.biologie.uni-hamburg.de/bzf/psa/zulassung.html>, 04.05.2010

Tabelle 32: Einsatzstrategie zu Unkraut/Ungräsern bei KUP (Quelle: Röhricht 2009)

Anwendungszeitpunkt	Mittel	empfohlene Menge	Einsatzziel
Vor Pflanzung	Round up (Durano)	1,5 L ha ⁻¹	Totalherbizid
Vor Austrieb der Stechkölzer	Flexidor oder Bacara	1,0 L ha ⁻¹	Zweikeimblättrige Unkräuter
Nach Blattaustrieb der Stechkölzer	Fusilade Max	2,0 L ha ⁻¹	einkeimblättrige Unkräuter, vor allem Hirse
Herbstanwendung nach Vegetationsruhe der Bäume	Kerb 50 W	3,0 kg ha ⁻¹	Ein- und zweikeimblättrige Unkräuter

Belastung der GWK mit PSM

In den sächsischen Grundwasserkörpern sind derzeit keine Überschreitungen von WRRL-relevanten Umweltqualitätsnormen bei PSM-Wirkstoffen zu verzeichnen. Zwar sind nur 37 der 70 GWK in Sachsen in einem guten chemischen Zustand, die Belastungsursache stellen jedoch überwiegend Stickstoffverbindungen (v.a. Nitrat) dar (LfULG 2009/2).

Normierte Behandlungsindizes (NBI)

Die Sachverhalte zum Status des PSM-Einsatzes und der prognostizierten Veränderungen wurden im Rahmen der Szenarienrechnungen in den STOFFBILANZ-Viewer eingespeist, so dass die zu erwartende Be- oder auch Entlastungssituation regionalisiert und diskutiert werden kann. Die rasterbezogenen normierten Behandlungsindizes zeigt Abbildung 62 für den Ist-Zustand 2005 (Raster 500x500 m, Grundlage der Mittelwertbildung je Raster: NBI je Fruchtart und Erhebungsregion Ackerbau, vgl. Kapitel 3.12). Fruchtarten, für die keine NBI recherchiert werden konnten, wurden bei der Bilanzierung nicht einbezogen.

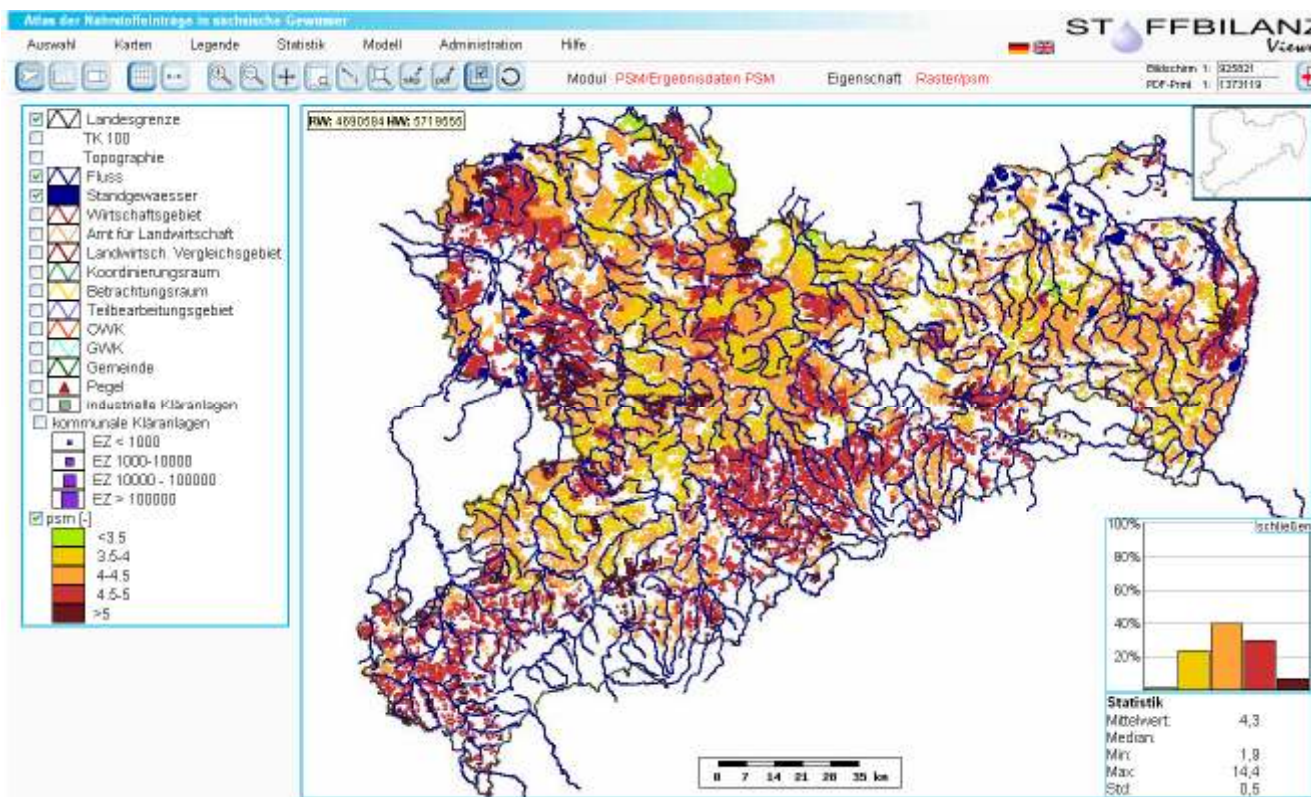


Abbildung 62: Normierte Behandlungsindizes für Sachsen (Ist-Zustand 2005)

Im Ergebnis ergibt sich für die Ackerflächen Sachsens ein mittlerer Indexwert von 4,3. Es zeigt sich, dass sowohl in der Leipziger Tieflandsbucht (ERA 1008) als auch in Teilen des Mittelgebirges und Vorlandes (ERA 1012) etwas höhere NBI berechnet werden, als in den übrigen Regionen. Grund ist vor allem der hier eingesetzte höhere NBI für Winterweizen bzw. Wintertraps. In Teilen der Sächsischen Elbtalniederung Nord Sachsens (LVG 11) wirkt sich der hohe Anteil an Weizen und Wintergerste besonders günstig aus, da beide Fruchtartengruppen in der betreffenden Erhebungsregion 1006 einen besonders niedrigen NBI aufweisen (siehe Tabelle 6).

4.5.2 Szenario 1 – 2020

Einen Überblick über die gemittelten normierten Behandlungsindizes für Szenario 1 -2020 zeigt Abbildung 63.

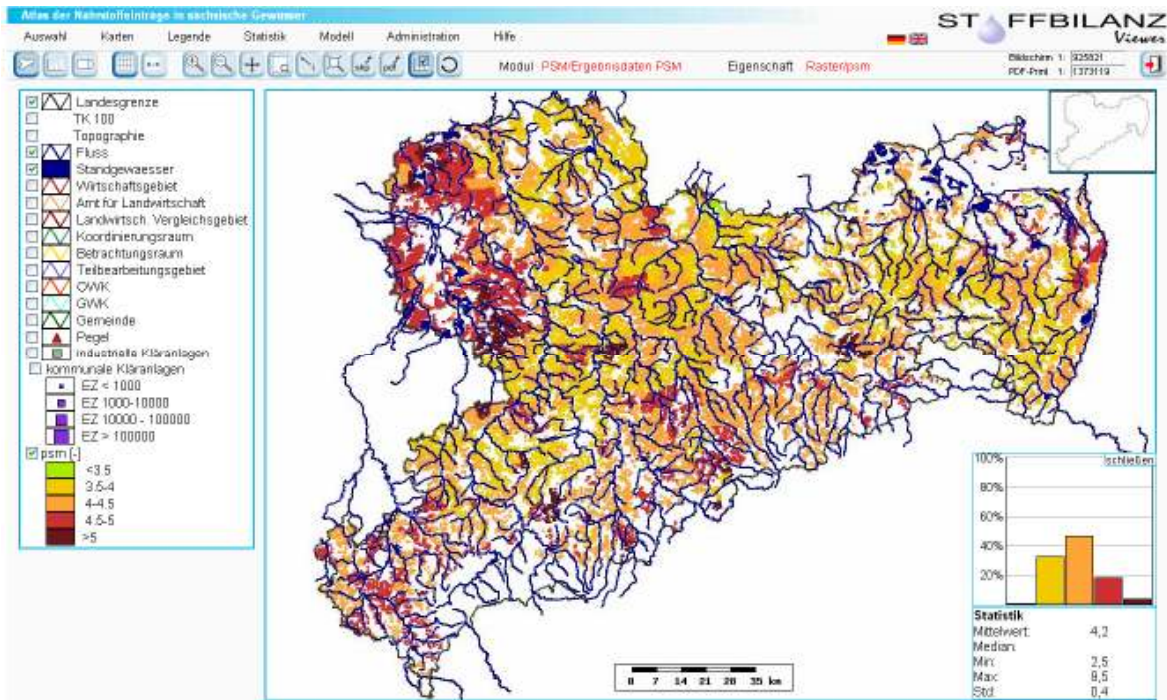


Abbildung 63: Normierte Behandlungsindizes für Sachsen (Szenario 1 - 2020)

Unter den in Kapitel 3 dargestellten Randbedingungen und Annahmen wird für Szenario 1 – 2020 ein mittlerer Indexwert von 4,2 für die Ackerfläche berechnet.

4.5.3 Differenzenbetrachtung

Einen Überblick über die räumlich verteilten Differenzen zwischen Szenario 1 – 2020 und dem Ist-Zustand 2005 für den normierten Behandlungsindex auf Ackerflächen zeigt Abbildung 64. Auch hier wurden Fruchtarten, für die keine NBI recherchiert werden konnten, in der Bilanzierung ausgeklammert. Dies gilt auch für die im Vergleich zu 2005 flächenmäßig etwas bedeutsameren KUP. Im Vergleich zum Berechnungslauf 2005 ergibt sich ein sehr leichter Rückgang des gemittelten Index um 0,14 Punkte.

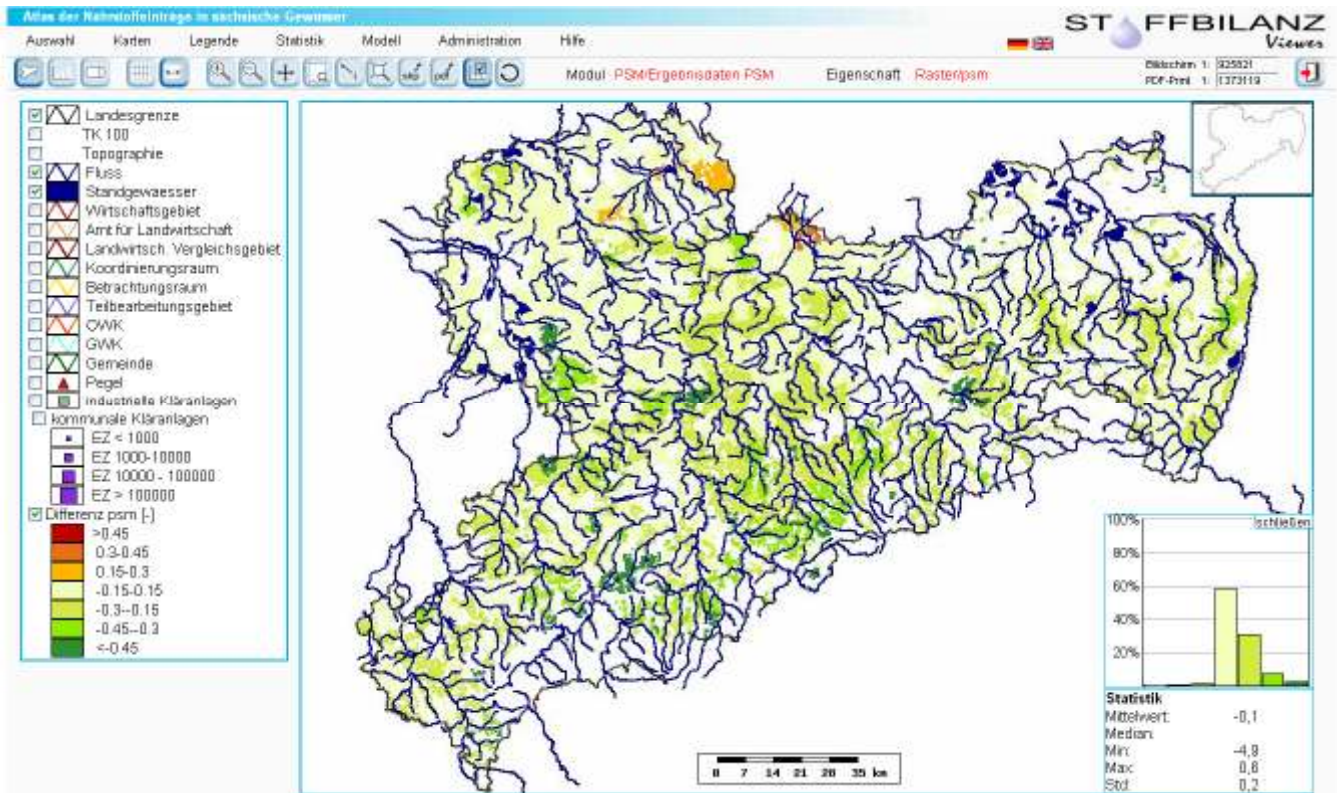


Abbildung 64: Differenzkarte für den normierten Behandlungsindex (Ackerflächen, Szenario 1 – 2020 zu Ist-Zustand 2005)

Einen regionspezifischen Überblick über die modellierten Indexwerte für 2005 bzw. 2020 und die Differenzen der Indexwerte von 2005 zu 2020 zeigt Tabelle 33 für Ackerflächen.

Tabelle 33: Modellierte Indexwerte (Ist-Zustand 2005 und Szenario 1 – 2020) und Differenzen für den normierten Behandlungsindex in Sachsen für Wirtschaftsgebiete und LVG auf Ackerflächen

WG / LVG-Nr. u. LVG-Bezeichnung	NBI 2005	NBI 2020	Differenz 2020 – 2005
Sächsische Heide- und Teichlandschaft	4,04	4,02	-0,02
1 Lausitzer Heide und Teichgebiete	4,08	4,06	-0,02
10 Dübener-Dahlener Heide	3,96	3,94	-0,02
Sächsisches Lössgebiet	4,33	4,21	-0,12
2 Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	4,17	4,0	-0,17
7 Mittelsächsisches Hügelland	4,28	4,09	-0,19
8 Mittelsächsische Platte	4,24	4,11	-0,13
9 Leipziger Tieflandsbucht	4,76	4,72	-0,04
11 Sächsische Elbtalniederung	3,83	3,91	0,08
Sächsisches Mittelgebirge und Vorland	4,61	4,36	-0,25
3 Elbsandsteingebirge	4,68	4,49	-0,19
4 Nördliche Erzgebirgsabdachung	4,66	4,40	-0,26
5 Erzgebirgskamm	4,80	4,43	-0,37
6a Elsterbergland	4,72	4,55	-0,17
6 Zwickauer/Chemnitzer Hügelland	4,29	4,05	-0,24
Sachsen	4,35	4,21	-0,14

Etwas größere Rückgänge der NBI von 2005 zu 2020 sind im Mittelgebirge und Vorland zu verzeichnen. Dies begründet sich vor allem in der Erhöhung der Maisanteile im NR-Bereich (LVG 4, 5) und den höheren Getreide-GPS-Anteilen. Im Vergleich dazu werden nur sehr geringe Rückgänge der NBI für LVG 1, 10 und 9 berechnet. Ein leichter Anstieg ergibt sich dagegen in LVG 11, u.a. bedingt durch die sehr geringen Maisanteile im NR-Bereich.

Auf die Berechnung von Szenario 2 – 2020 wurde aufgrund der fehlenden Informationen von Normierten Behandlungsindizes zu Kurzumtriebsplantagen verzichtet.

5 Diskussion und Bewertung

5.1 Veränderungen im Fruchtartenspektrum

Anhand von Abbildung 65 bis Abbildung 66 werden die angenommenen Veränderungen im Fruchtartenspektrum von 2005 (Ist-Zustand) zu Szenario 1 - 2020 im sächsischen Mittel abgebildet. Die Anbaufläche von Qualitätsweizen, Wintergerste und Sommergetreide nimmt in Szenario 1 – 2020 leicht ab, Mais und Raps verzeichnen Zunahmen. Kartoffeln, Hackfrüchte und Bracheanteile sind rückläufig, KUP und Miscanthus nehmen leicht zu.

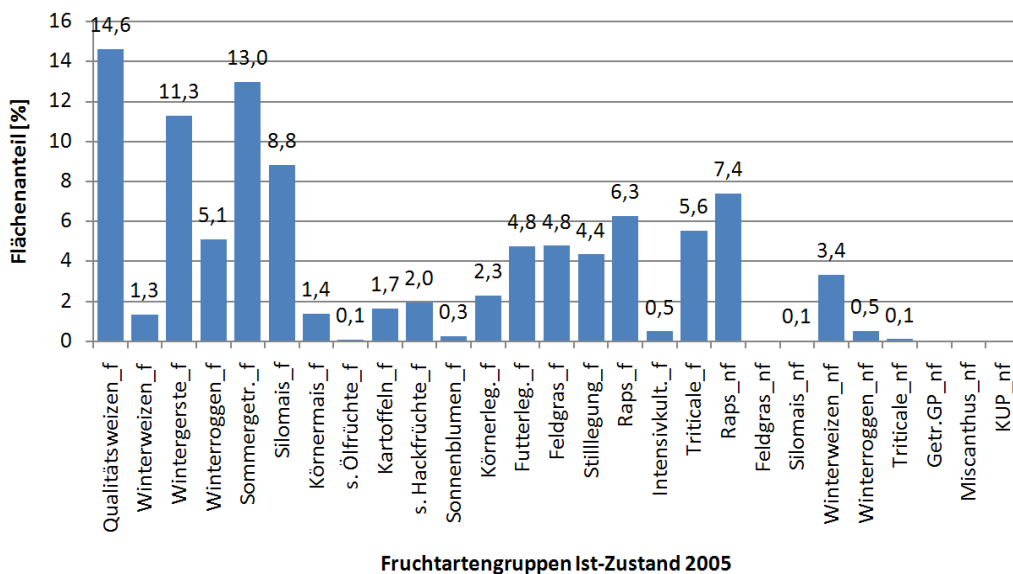


Abbildung 65: Fruchtartengruppenverteilung für Ist-Zustand 2005 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food)

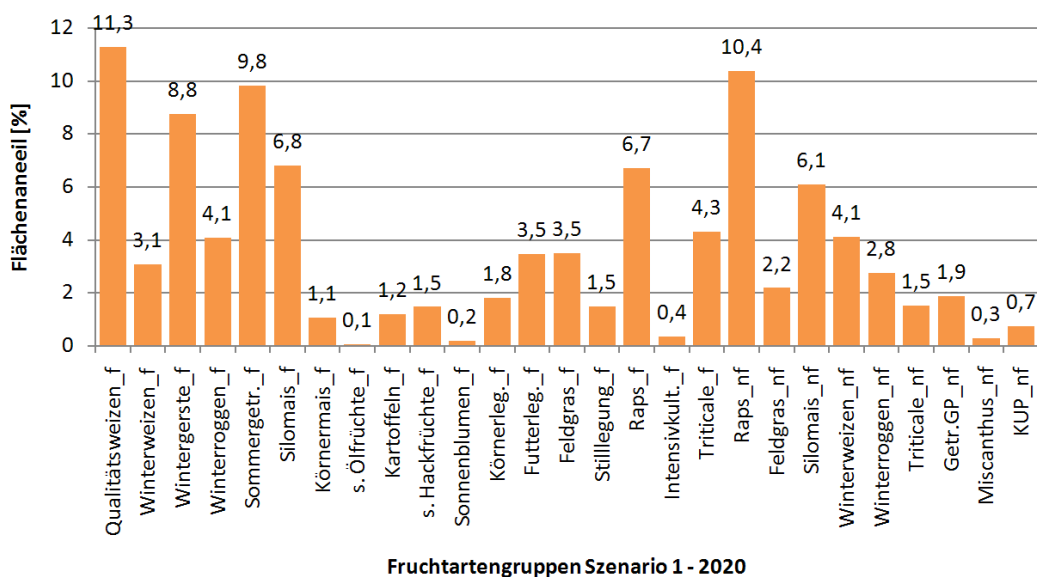


Abbildung 66: Fruchtartengruppenverteilung für Szenario 1 - 2020 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food)

Abbildung 67 verdeutlicht die beschriebenen Tendenzen, indem Fruchtartengruppen zusammengefasst betrachtet werden.

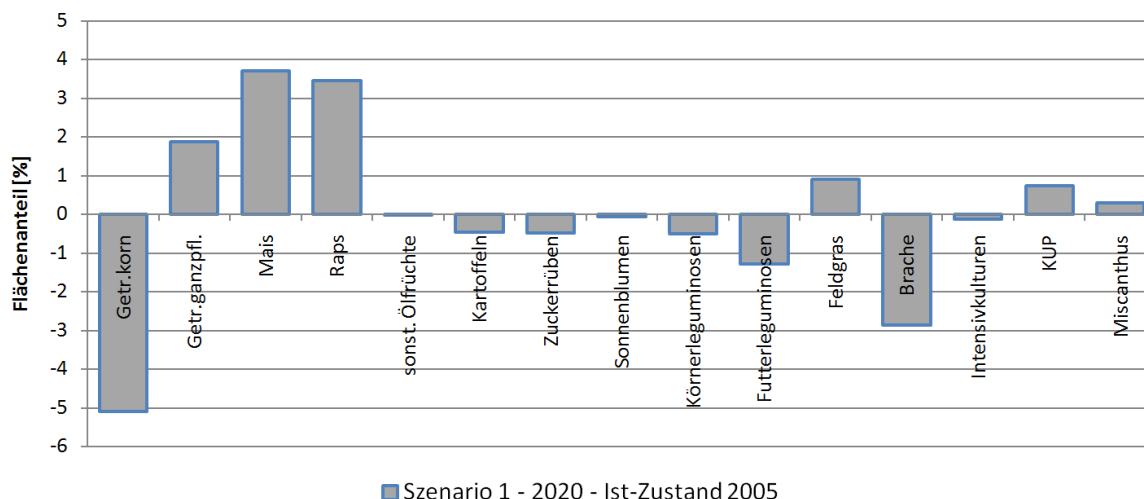


Abbildung 67: Fruchtartenverteilungsdifferenzen von Szenario 1 – 2020 zu 2005 (sächsisches Mittel)

Die Nutzung von Getreidekorn nimmt insgesamt um 5% ab, Getreideganzpflanzennutzung verzeichnet hingegen einen Anstieg von 0 auf 2%. Auch Raps und Mais nehmen mit ca. 3,5 bis knapp 4% zu. Stilllegungsflächen nehmen um fast 3% auf 1,5% ab. Dies wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber so festgelegt, um dem Wegfall der Stilllegungsprämie Rechnung zu tragen.

Während sich die Fruchtartenverteilung für den Bereich der Nahrungs- und Futtermittelproduktion in Szenario 2 – 2020 gegenüber 1 – 2020 nicht verändert hat, führt die deutliche Erhöhung der KUP-Anteile zu einer relativen Verringerung der übrigen NR-Anteile (Abbildung 68 und Abbildung 69).

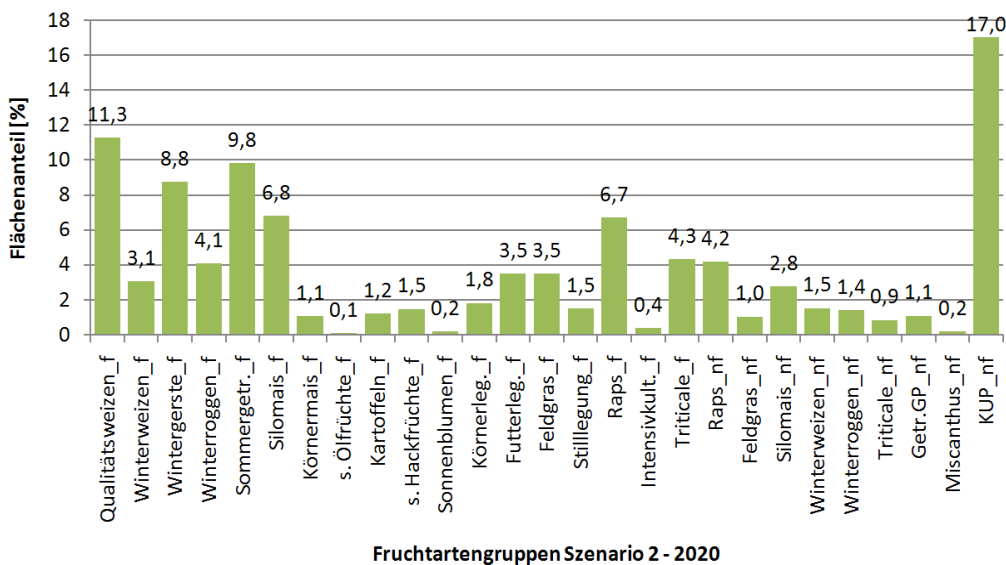


Abbildung 68: Fruchtartengruppenverteilung für Szenario 2 - 2020 im sächsischen Mittel (f: food, nf: non-food)

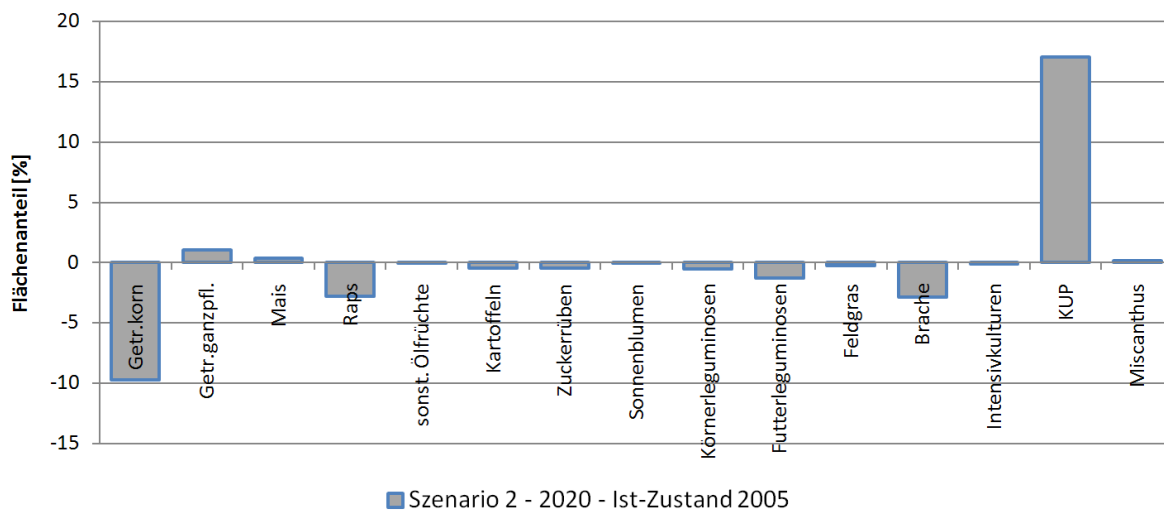


Abbildung 69: Fruchtartenverteilungsdifferenzen von Szenario 2 – 2020 zu 2005 (sächsisches Mittel)

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass für den Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche Sachsens von 2005 zu 2020 ein Rückgang um 0,6% angenommen wurde.

5.2 Veränderungen in der Wasserbilanz

Die zwischen Ist-Zustand 2005 und Szenario 1 - 2020 festgestellten Veränderungen hinsichtlich der Wasserbilanz sind marginal (Abbildung 70 und Abbildung 71). Dies begründet sich zum Einen darin, dass die Klimadatenjahresreihe von 1961 – 2005 in beiden Modellrechnungen Verwendung fand, um eine direkte Vergleichbarkeit und Bewertung der Szenarien hinsichtlich der Bewirtschaftungsannahmen zu gewährleisten. Zum Anderen treten Veränderungen im Fruchtartenspektrum mit nachhaltigen Folgen für die Wasserbilanz nicht auf. Die Anteile stärker wasserzehrender Kulturen (z.B. KUP, Miscanthus) sind zu gering, um entsprechende Ausschläge zu erzielen.

Für Szenario 2 – 2020 wird dagegen eine spürbare negative Beeinflussung der Wasserbilanz modelliert. Grund sind die berechneten höheren Verdunstungsraten auf KUP-Flächen. Hier muss nochmals auf die Tatsache hingewiesen werden, dass die Verdunstungsraten auf KUP vereinfachend über den TUB-BGR-Ansatz berechnet wurden, indem die Algorithmen für Nadelwald verwendet wurden (vgl. Kapitel 3.11).

Probleme dürften sich bei einem KUP-Anbau in der angenommenen Größenordnung vor allem in den Tieflandsbereichen und in niederschlagsarmen Teilen des Lössgebietes ergeben. Da sich die Veränderungen aber ausschließlich auf Ackerflächen beziehen, halten sich die Effekte im sächsischen Mittel in Grenzen (Abbildung 70 und Abbildung 71). Regionaldifferenzierte Informationen können über den WebGIS-basierten Viewer generiert werden (www.viewer.stoffbilanz.de). Positive Effekte des KUP-Anbaus ergeben sich im Sinne einer Reduzierung von Oberflächenabflüssen und damit einer Verbesserung der Wasserrückhaltung im Sinne des Hochwasserschutzes, die aber im Rahmen der hier vorliegenden Modellskalierung marginal sind und nicht weiter betrachtet werden.

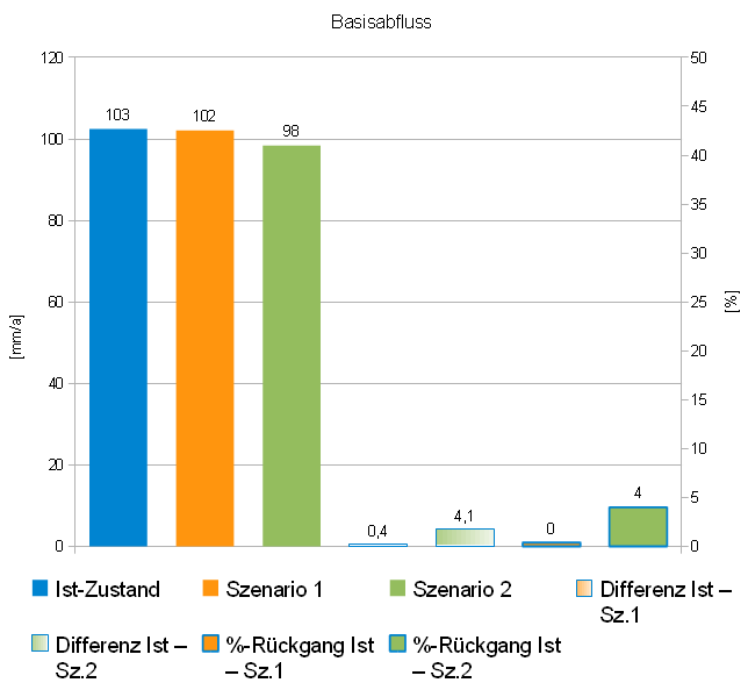


Abbildung 70: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Basisabflüsse im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020

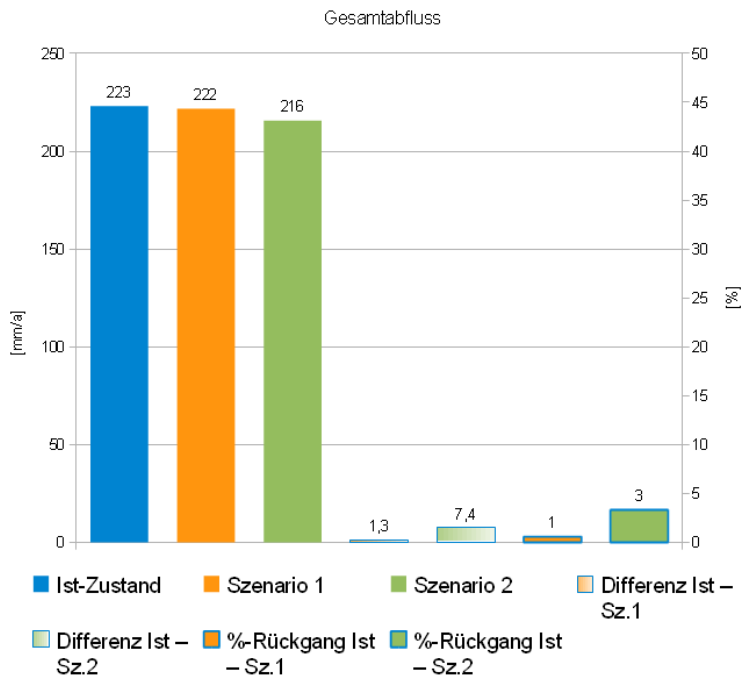


Abbildung 71: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Gesamtabflüsse im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020

Von einer Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen und damit einhergehender Auswirkungen auf die Wasserbilanz wurde nicht ausgegangen, da diese kaum wirtschaftlich sein dürfte. Insofern wird dieser Sachverhalt in Absprache mit dem Auftraggeber nicht betrachtet.

5.3 Veränderungen im Bodenabtrag und Sedimenteintrag

Auch hier sind die Ausschläge für Szenario 1 – 2020 gering, da negative Wirkungen (z.B. erhöhter Maisanbau) von positiven Wirkungen kompensiert werden (z.B. Rückgang Hackfruchtanbau, Zunahme Rapsanbau, Zunahme Feldgras / Miscanthus). Auch halten sich die Verschiebungen im Fruchtartenspektrum, wie oben bereits angesprochen, in Grenzen. Insgesamt überwiegen die positiven Effekte leicht (Abbildung 72).

Für Szenario 2 – 2020 ist dagegen von deutlich positiveren, das heißt erosionsmindernden Wirkungen auszugehen, da auf den KUP-Flächen von einer geringen Erosionsdisposition im Sinne von Dauerkulturen mit guter Bodendeckung ausgegangen wurde. In diesem Zusammenhang muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass die höhere Auflösungsschärfe der übergebenen KUP-Kulisse geht im Rahmen der hier vorliegenden mesoskaligen Betrachtung also verloren. Berücksichtigt die hoch aufgelöste Kulisse überwiegend erosionsgefährdete Standorte, so dürfte dies zu einer Unterschätzung der Minderungseffekte für Bodenerosion ab dem zweiten Standjahr bis zum Ende der Umtriebszeit führen. Hinsichtlich der Einschätzung der Erosionsdisposition während bzw. nach der Ernte der KUP besteht aber noch erheblicher Forschungsbedarf. Hier werden die Erosionsraten in der vorgenommenen Modellierung möglicherweise generell unterschätzt. Dies dürfte wiederum insbesondere für stark erosionsgefährdete Standorte gelten.

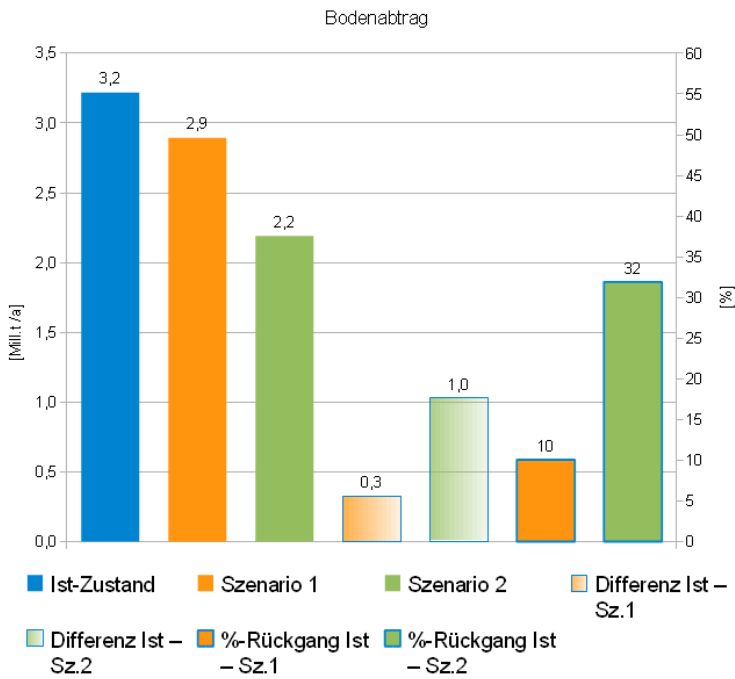


Abbildung 72: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Bodenabträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 - 2020

Hinsichtlich der Rückgänge der Sedimenteinträge in Szenario 1 - 2020 bzw. 2 – 2020 wiederholen sich die bereits für den Bodenabtrag beschriebenen Effekte, wobei sich aufgrund der nicht linearen Beziehung zwischen Bodenabtrag und Sedimenteintrag etwas deutlichere Reduzierungen ergeben (Abbildung 73).

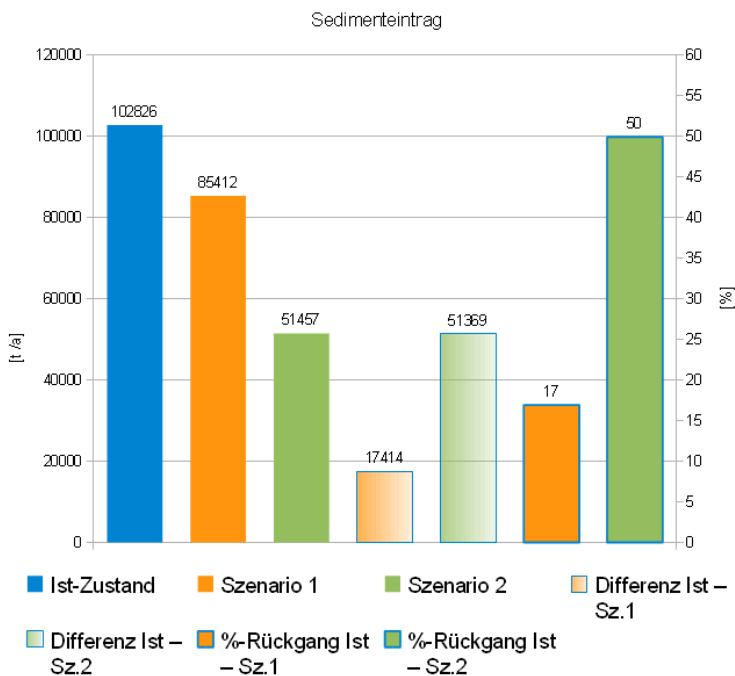


Abbildung 73: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten Sedimenteinträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020

5.4 Veränderungen in der P-Bilanz

Die partikelgebundenen P-Einträge resultieren direkt aus den Sedimenteinträgen und verhalten sich auch dementsprechend. Hinsichtlich der gelösten P-Einträge sind nur minimale Veränderungen zu beobachten, die letztlich auf der (eingeschränkten) Dynamik der Wasserbilanz im Vergleich beider Zeiträume beruhen. Sonstige P-Einträge sind durch die veränderten Rahmenbedingungen in 2020 gegenüber 2005 nicht betroffen (Abbildung 74).

Zusätzliche regional differenziertere Informationen liefert der WebGIS-basierte Viewer (www.viewer.stoffbilanz.de).

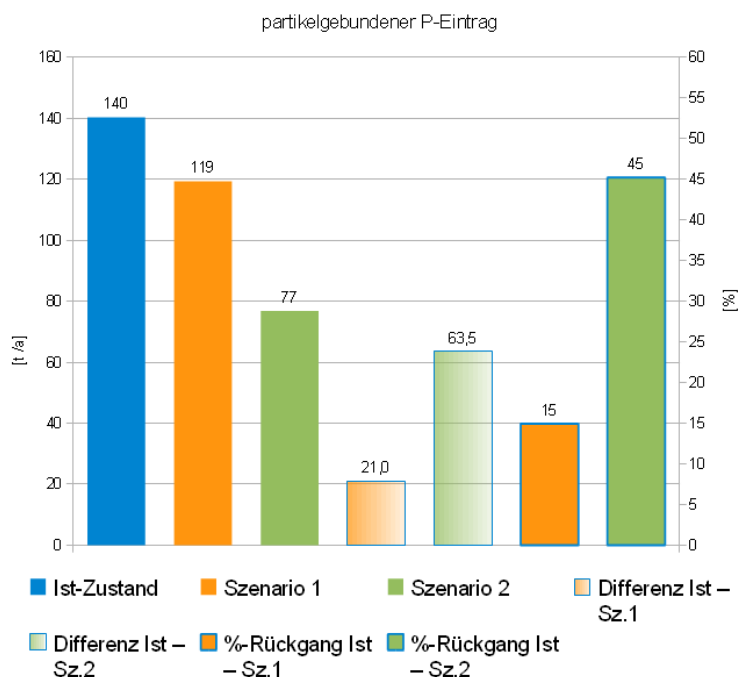


Abbildung 74: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten partikelgebundenen P-Einträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020

5.5 Veränderungen in der N-Bilanz

Hinsichtlich der N-Bilanz führen der abnehmende Anbau von Weizen in der Nahrungs- und Futtermittelproduktion (wegfallende Spätdüngung), die leichten Rückgänge von Leguminosen sowie der Anbau von Miscanthus und KUP zu mehr oder weniger deutlichen Entlastungen. Im Hinblick auf partikelgebundene Verlagerungen wirkt sich die Zunahme der Maisflächenanteile negativ aus. Diese Wirkung wird aber durch die positiven Effekte der Abnahme von Kartoffel-, Hackfruchtanbau und Brachen, die Zunahme von Feldgraskulturen sowie von KUP und Miscanthus mehr als kompensiert. Positiv im Sinne einer Verringerung des C-Faktors wirkt sich auch der zunehmende Rapsanbau aus.

Deutlichere Reduzierungen der N-Aus- bzw. Einträge zeigen sich im Vergleich der beiden Zeiträume für die N-Bilanzierung (Abbildung 75). Dies hat im Wesentlichen folgende Gründe:

- Verringerte Düngungsintensität bei NR-Winterweizen (-40 kg/ha/a)
- Annahme von Ertragssteigerungen für Hauptfruchtarten bei unvollständiger Kompensation durch eine Erhöhung der Düngungsintensität
- günstige Bilanzsalden für KUP und Miscanthus

Gärreste werden auf die Fläche zurückgeführt und je nach Fruchtart unterschiedlich angerechnet. Im Mittel tragen sie zu einer Erhöhung des N-Umsatzes bei.

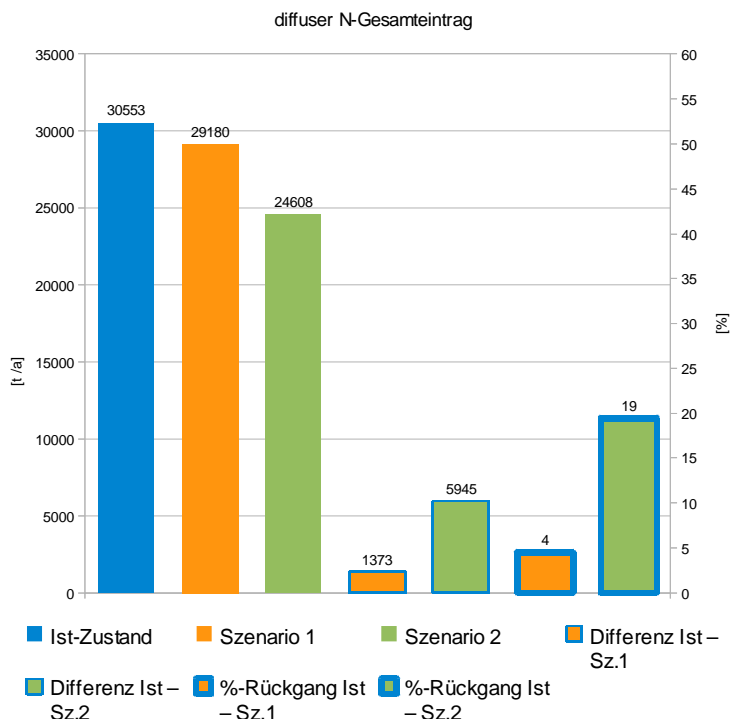


Abbildung 75: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten diffusen N-Gesamteinträge im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020 bzw. 2 – 2020

Abschließend soll noch der Frage nachgegangen werden, inwieweit durch den verstärkten Anbau von Biomasse in Szenario 1 - 2020 unter den angenommenen Rahmenbedingungen Veränderungen im N-Humusgehalt der Böden auftreten könnten. Abbildung 76 verdeutlicht, dass sich die modellierte Mobilisierung und Immobilisierung auf der Ackerfläche im sächsischen Mittel (Ist-Zustand 2005) die Waage halten. So ist insbesondere in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen Mittelsachsens von einer weitgehend ausgeglichenen Bilanz auszugehen.

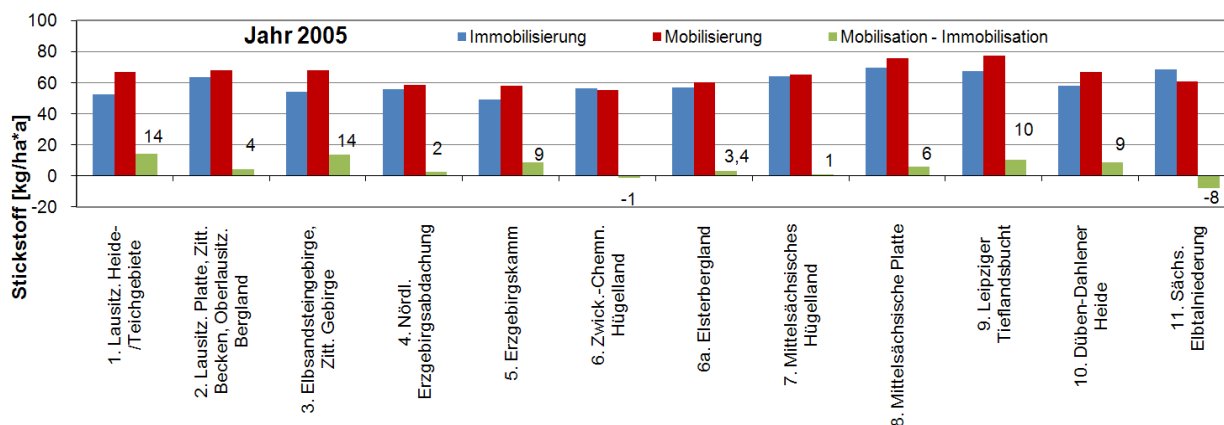


Abbildung 76: Vergleich von modellierter Mobilisierung und Immobilisierung von Stickstoff für den Ist-Zustand 2005

In Szenario 1 – 2020 steigt die modellierte N-Immobilisierung und damit auch der N-Gehalt des Bodens gegenüber 2005 geringfügig an (Abbildung 77), wobei die Verhältnisse immer noch als ausgeglichen angesehen werden können. Anhand der Modellierungen lässt sich somit keine Verarmung des organischen N-Pools aufgrund stärkerer Nutzung der Nebenprodukte erkennen. Grund hierfür ist u.a. die Tatsache, dass die auf die Fläche zurück gebrachten Gärreste einen hohen N-Gehalt haben, der den organischen N-Pool anreichert. Für die C_{org} -Gehalte ist dieser Effekt aufgrund des geringen Kohlenstoffgehalts im Gärrest nicht zu erwarten. Insofern könnte es indirekt zu einer Verengung des C/N-Verhältnisses kommen. Da der C-Kreislauf im Modell STOFFBILANZ aber nicht enthalten ist, kann hierüber nur spekuliert werden. Um zukünftig schärfere Aussagen hierzu ableiten zu können, empfiehlt sich eine zusätzliche Betrachtung der C-Dynamik.

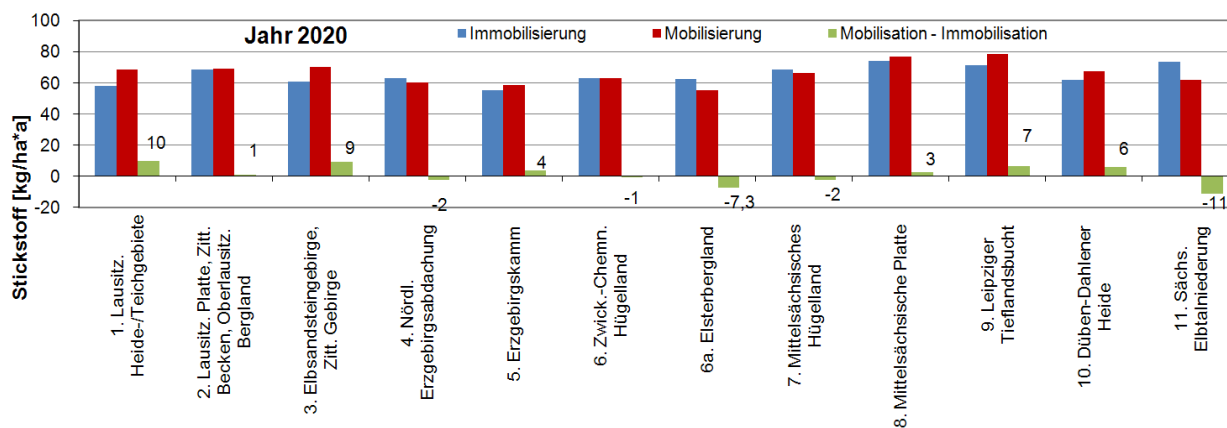


Abbildung 77: Vergleich von modellierter Mobilisierung und Immobilisierung von Stickstoff für Szenario 1 - 2020

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Minderungseffekte zum Zeitpunkt 2020 für die Nitrateinträge über die Grundwasserpassage im Lockergesteinsbereich Sachsens mit deutlich längeren Verweilzeiten und höheren Denitrifikationspotenzialen Zeit verzögert zum Tragen kommen werden.

5.6 Veränderungen beim Einsatz von PSM

Hinsichtlich der Dynamik der PSM-Einträge im Vergleich von Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 - 2020 ergeben sich nur geringe Veränderungen, die aber im Mittel der LVG (mit Ausnahme des LVG 11) stets hin zu niedrigeren Werten führen (Abbildung 78). Etwas größere Abnahmen der Normierten Behandlungsindices werden für das Mittelgebirge und die Vorländer abgebildet. Gründe liegen im Wesentlichen in Veränderungen der Fruchtartenverteilung. In den entsprechenden LVG sind die Anteile von Getreideganzpflanzen und Mais im NR-Bereich vergleichsweise hoch. Wichtig ist hier allerdings der Hinweis, dass nicht alle Fruchtarten mit Normierten Behandlungsindices ausgestattet werden konnten. Insofern können die Veränderungen auch auf Verschiebungen von Flächenanteilen dieser Fruchtartengruppen zurückzuführen sein.

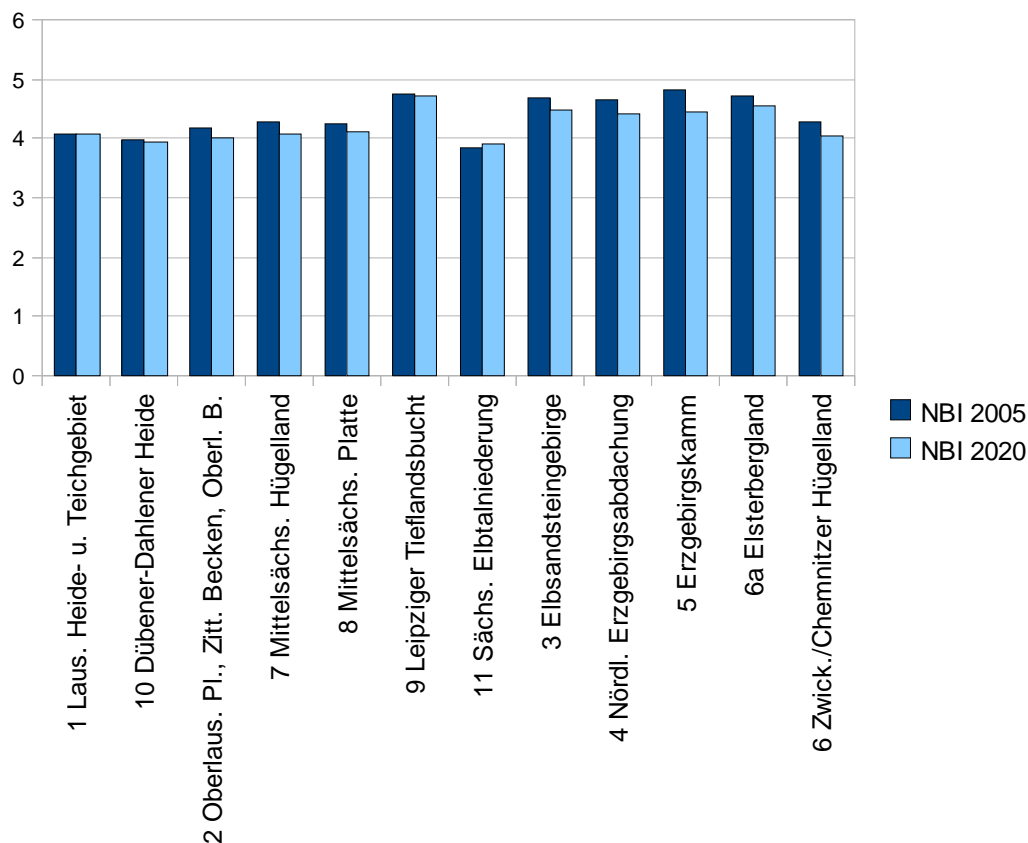


Abbildung 78: Zusammenfassende Gegenüberstellung der modellierten NBI im Gesamtgebiet für Ist-Zustand und Szenario 1 – 2020

Anhand der NEPTUN-Daten (Rossberg et al., 2002, Tab. 2) lässt sich auch zeigen, dass beispielsweise die regionale Erhöhung des Maisanteiles durch eine Biogasanlage bei gleichzeitiger Verdrängung von nennenswerten Anteilen intensiverer Kulturen wie z. B. Kartoffeln zu einer erheblichen Verminderung der Behandlungsdichte in der Region führen kann. Umgekehrt werden durch den Wegfall der Stilllegungsverpflichtung und einer Ausdehnung von Ackerflächen die Pflanzenschutzbehandlungen in Bezug auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche entsprechend zunehmen.

Ebenso ist bei einer zu starken Erhöhung der Fruchtfolgeanteile einzelner Kulturen, neben anderen acker- und pflanzenbaulichen Problemen, auch mit einem erhöhten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu rechnen. Für die im Energiepflanzenanbau bevorzugten Kulturarten können aus phytosanitärer Sicht folgende Fruchtfolgeanteile als unproblematisch empfohlen werden: Raps 25%, Weizen 50% und Getreide insgesamt 75%. Diese Grenzen sind vor allem durch boden- bzw. strohbürtige Pilzkrankungen bedingt, wie z. B. Kohlhernie und Rapskrebs beim Raps oder Halnbruch und DTR- oder Septoria-Blattdürre beim Weizen. Mais ist dagegen unter mitteleuropäischen Verhältnissen ausgesprochen selbstverträglich. Auch Fruchtfolgeanteile über 50%, die bei Erosion, Bodenstruktur oder Humushaushalt bereits Probleme bereiten können, erfordern hinsichtlich Krankheiten und Schädlingen (abgesehen von dem Sonderfall Westlicher Maiswurzelbohrer) keinen erhöhten Pflanzenschutzmitteleinsatz. Die Annahmen von Roßberg et al. (2002) gehen von einem Energiepflanzenanbau aus, der die oben genannten Fruchtfolgeanteile nicht überschreitet.

Zwar besteht bei erhöhten Fruchtfolgeanteilen einzelner Kulturen generell auch die Gefahr einer Selektion von spezifischen Unkräutern oder von Herbizid resistenten Biotypen bei einem häufigen Einsatz von Herbiziden mit dem gleichen Wirkungsmechanismus gegenüber Unkräutern bzw. Ungräsern mit einem entsprechenden Resistenzpotenzial. Dem kann bei Bedarf durch ackerbauliche Maßnahmen (z. B. Pflugeinsatz, gezieltes Stoppelmanagement, Saattermine und Bestandesführung) und einem angepassten Wirkstoffmanagement beim Herbizideinsatz entgegengewirkt werden. Die vorgenannten Fruchtfolgeobergrenzen bieten eine ausreichende Sicherheit vor der ausgeprägten Selektion von Herbizid resistenten Unkräutern. Der Energiepflanzenanbau kann in dieser Hinsicht auch Vorteile gegenüber der konventionellen Nahrungs- und Futtermittelproduktion aufwei-

sen. So verhindern die frühen Erntetermine beim GPS-Getreideanbau für die Biogasproduktion z. B. die Samenreife von wichtigen Ungräsern, was langfristig zu einem geringeren Samenpotential und ggf. niedrigeren Bekämpfungsaufwand führen kann. Bei einigen neuen und wiederentdeckten Kulturarten sind keine zugelassenen Pflanzenschutzmittel verfügbar. Der vor allem dennoch notwendige Herbizideinsatz zur erfolgreichen Etablierung der Kultur bzw. zur Absicherung des standortspezifischen Ertragspotentials kann im Rahmen des Genehmigungsverfahrens im Einzelfall auf die notwendige Einsatzintensität begrenzt werden. Aufgrund der begrenzten Flächenverfügbarkeit und dem Wegfall der Stilllegungsverpflichtung werden auch Grenzertragsstandorte wieder verstärkt für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie für den Anbau von Energiepflanzen genutzt und damit zusätzliche Pflanzenschutzmittel appliziert. Für die Rekultivierung von Dauerstilllegungsflächen ist in den ersten Jahren der erneuten Ackernutzung mit einem relativ höheren Einsatz von Herbiziden zur Bekämpfung von während der Stilllegungsperiode etablierten schwer bekämpfbaren Unkrautarten (z. B. Wurzelunkräuter bzw. -ungräser wie Gemeine Quecke, Winden- und Distel-Arten) zu rechnen.

Kurzumtriebskulturen haben je nach Vornutzung einen deutlich geringeren (Acker) oder geringfügig höheren Pflanzenschutzmitteleinsatz (Grünland) zur Folge. Prinzipiell lassen sich Pappel- und Weidenbestände nicht nur bezüglich Düngung und Bodenbearbeitung, sondern auch hinsichtlich Pflanzenschutz als Dauerkulturen extensiv führen, wobei ein Totalherbizid im Herbst bzw. ein Voraufmittel zur Pflanzung empfohlen wird (Röhricht 2009, 2010). Bei Vornutzung als Ackerfläche ist je nach Umtriebszeit trotzdem von einem geringeren Pflanzenschutzmitteleinsatz auszugehen (LfL Bayern 2008). Da Informationen zu normierten Behandlungsindizes für KUP nicht verfügbar waren, wurden diese Fläche bei der Berechnung von Szenario 1 – 2020 nicht berücksichtigt.

Auf die Berechnung von Szenario 2 – 2020 wurde im Zusammenhang mit den Normierten Behandlungsindizes aufgrund der unvollständigen Datenlage für KUP verzichtet, wobei anhand der vorliegenden Informationen deutliche Minderungseffekte anzunehmen sind.

Regionaldifferenzierte Informationen zu den berechneten Veränderungen beim PSM-Einsatz können über den WebGIS-basierten Viewer generiert werden (www.viewer.stoffbilanz.de).

6 Maßnahmenempfehlungen

6.1 Vorbemerkungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde exemplarisch untersucht, inwiefern eine großräumige Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe in Sachsen Auswirkungen und Konfliktpotenziale im Bereich Wasserhaushalt und Gewässerschutz haben könnte. Eine wesentliche Grundlage aller Berechnungen sind die gemeinsam mit dem Auftraggeber getroffenen Festlegungen und Modellanpassungen (siehe Kapitel 3) für die beiden berechneten Szenarien.

6.2 Szenario 1 - 2020

Die wasser- und stoffhaushaltlichen Veränderungen vom Ist-Zustand 2005 zu Szenario 1 – 2020 werden im Wesentlichen durch die Modifizierungen des Fruchtartenspektrums gesteuert. Negative Folgewirkungen werden in der Literatur (vgl. z.B. Nitsch et al. 2008, DWA 2008) vor allem im Falle einer Intensivierung des Raps und Maisanbaus gesehen. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden Höchstgrenzen für Mais (33%) bzw. Raps (25%) festgelegt. Nur in Ausnahmefällen mussten Veränderungen in den bestehenden Agrarstrukturen vorgenommen werden, um ein Überschreiten dieser Höchstgrenzen zu unterbinden. Als Grund für diese Überschreitung ist das Vorliegen einer unvollständigen oder nicht korrekten Agrarstatistik sehr wahrscheinlich, was im Einzelfall aber nicht überprüft werden konnte. Im Mittel werden die Höchstgrenzen deutlich unterschritten (Raps: 17,1%, Mais 7,9%). Die absoluten Veränderungen im Fruchtartenspektrum halten sich auch bei einem NR-Anteil von 30% in Grenzen:

- Von spürbaren Auswirkungen auf die Wasserbilanz kann anhand der vorliegenden Daten nicht ausgegangen werden.
- Für Bodenabträge, Sedimenteinträge und partikelgebundene P-Einträge werden leichte Rückgänge berechnet, da die Erhöhung der Maisanteile durch Veränderungen im übrigen Fruchtartenspektrum (Rückgänge bei Zuckerrüben, Kartoffeln, Brache, Zunahme Raps u.s.w.) mehr als kompensiert werden.
- Für die N-Einträge werden leichte Rückgänge berechnet, da die Qualitätsdüngung im Getreideanbau (v.a. Winterweizen) im NR-Bereich wegfällt und angenommene Ertragssteigerungen nur zu ca. 50% durch eine erhöhte Düngerausbringung kompensiert werden. Die Ausbringung von Gärresten wirkt gegenläufig, kann den Trend aber nicht umkehren.
- Für die PSM-Ausbringung werden geringfügige Entlastungen berechnet, die auf die angenommenen Reduzierungen der NBI bei einzelnen Fruchtarten zurück zu führen sind.

Im Ergebnis erscheint eine Erhöhung des NR-Bereichs auf 30% der Ackerfläche bis zum Jahr 2020 unter den angenommenen Rahmenbedingungen aus wasserwirtschaftlicher Sicht als vertretbar und förderlich.

Wichtig erscheint nochmals der Hinweis, dass diese Aussage nur für die zu Grunde liegenden mittleren Raps- und Maisanteile von 17,1% bzw. 7,9% gilt, nicht aber für die modellseitig erlaubten Höchstgrenzen von 25% bzw. 33%. Insbesondere eine deutliche Zunahme bei Mais (auch unterhalb der Höchstgrenze) hätte eine deutliche Steigerung der Bodenabträge, Sedimenteinträge und P-Einträge auf erosionsgefährdeten Flächen zur Folge. Als Empfehlung für eine Reduzierung der Einträge bei einer entsprechenden Erhöhung der Maisanteile kann die dauerhafte bodenkonservierende Bearbeitung sowie die Vornahme von Untersaaten und die Kombination mit Zwischenfruchtanbau gegeben werden. Eine Erhöhung der Maisanteile über das hier angenommene Maß bis hin zur 33%-Höchstgrenze könnte sich auch negativ auf die Wasserbilanz auswirken (Erhöhung des kapillaren Aufstiegs auf Standorten mit Grund- oder Stauwasserbeeinflussung). Ob bei Mais grundsätzlich von einer höheren Wasseraufnahme auszugehen ist, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So schwanken die Angaben zu Transpirationskoeffizienten in der Literatur (Lerch 1980, Geissler 1980, Schilling et al. 1982, Günther 1989) von 180 bis 400 kg Wasser/kg TM beträchtlich. Niedrige Transpirationskoeffizienten werden u.a. von Günther (2003) ausgewiesen (203 kg Wasser/kg TM). Er nennt als mögliche Ursachen für Differenzen bzw. Überschätzungen der Transpirationskoeffizienten in der Literatur u.a. die Heranziehung von Mangelparzellen oder ertragsschwachen Sorten sowie die nicht hinreichend genaue Bestimmung des Wasserverbrauchs.

Von einer Erhöhung der N-Einträge kann solange nicht ausgegangen werden, wie die Gärrestausbringungen (gemäß der modellseitig unterstellten Praxis) durch (relative) Düngerreduzierungen kompensiert werden. Auch von einer deutlichen Erhöhung des organischen N-Pools durch die Gärrestausbringung ist vor dem Hintergrund der getroffenen Rahmenbedingungen nicht auszugehen.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass für den Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche Sachsens von 2005 zu 2020 ein Rückgang von 0,6% angenommen wurde. Nutzungsumwidmungen von Grünland in Ackerflächen zum Anbau von NR wurden nicht betrachtet.

6.3 Szenario 2 - 2020

Die wasser- und stoffhaushaltlichen Veränderungen von 2005 zu Szenario 2 – 2020 werden durch die Erhöhung der Flächenanteile der Kurzumtriebsplantagen auf 17% der Ackerfläche im sächsischen Mittel gesteuert. Der ackerbauliche Nahrungs- und Futtermittelbereich bleibt hierbei unverändert bestehen. Die Ackerkulturen im NR-Bereich reduzieren sich dagegen auf 13% der Ackerfläche, wobei die relative Fruchtartenzusammensetzung derjenigen in Szenario 1 entspricht.

Aus wasserwirtschaftlicher Sicht wird in der Literatur bei verstärktem Anbau von KUP vor allem die Gefahr eines erhöhten Wasserverbrauchs gesehen (EEA 2006, Nitsch et al. 2008, DWA 2008). Dies gilt insbesondere in Wassermangelgebieten (Röhrich & Ruscher 2010). Hinsichtlich der Modellierung der Wasserbilanz für KUP muss darauf hingewiesen werden, dass für mitteleuropäische Verhältnisse bisher nur eingeschränkte Informationen zur Verfügung stehen. Anhand des gegenwärtigen Wissenstandes (Hall 2003, Petzold et al. 2009) wurde davon ausgegangen, dass sich der Wasserbedarf von KUP (Weide, Pappel) ungefähr demjenigen von Nadelholzforsten annähert und dementsprechend deutlich über demjenigen von Laubholzforsten liegt. Auch für den partikelgebundenen und gelösten Stoffeintrag mussten Vereinfachungen in Kauf genommen werden. Für die Bodenabtragsmodellierung wird ebenfalls von Verhältnissen ausgegangen, die denjenigen auf Forststandorten entsprechen. Für die N-Einträge, deren Abbildung bei Dauerkulturen besonders schwierig ist, werden vereinfachend Null-Bilanzen angenommen (siehe Kapitel 3.9).

Generell muss bei der Berechnung von Szenario 2 – 2020 betont werden, dass die Erhöhung der KUP-Anteile auf im Mittel 17% sowie die räumliche Verteilung des KUP-Anbaus innerhalb Sachsens (mit hohen Anteilen im Lössgebiet) rein fiktiv ist. Ob ein solches Szenario wirtschaftlich und politisch realisierbar ist, wird nicht betrachtet. Im Mittelpunkt der Arbeiten steht allein die Klärung der Frage, welche Wirkungen sich aus einem solchen Szenario für Wasserbilanzen und Stoffausträge ergeben würden:

- Deutlichere negative Auswirkungen auf die Wasserbilanz können sich in Gebieten mit hohen KUP-Anteilen im sächsischen Tiefland sowie teilweise auch im Lössgebiet ergeben. Je nach Region liegen die mittleren Jahresniederschläge hier gegenwärtig unter 700 mm/a, die mittleren Gesamtabflüsse sind niedriger als 200 mm/a. Sächsische Gebietsteile mit Jahresniederschlägen unter 600 mm/a wären aus Sicht des erhöhten Wasserbedarfs noch problematischer, weisen aber keine hohen KUP-Anteile auf und schneiden somit besser ab.
- Für Bodenabträge, Sedimenteinträge, partikelgebundene P-Einträge und N-Einträge werden deutliche Rückgänge berechnet.
- Für die PSM-Ausbringung wurde aufgrund der lückigen Datenlage auf eine Modellierung verzichtet. Gemäß dem derzeitigen Stand des Wissens würde aber eine Erhöhung der KUP-Anteile mit einer Verringerung des PSM-Einsatzes einhergehen.

6.4 Synthese

Neben positiven Effekten eines Ausbaus der energetischen Biomassennutzung für Ökologie und Klimaschutz werden in der Literatur auch mögliche negative Folgewirkungen diskutiert, die in Kapitel 1.2 bereits zusammengestellt wurden (vgl. LfUG 2007, Rode et al. 2001, Vetter 2001, Roßberg et al. 2002, LfL Bayern 2008, Roßberg et al. 2007, DWA 2008, Nitsch et al. 2008). Neben Gefahren durch Nutzungsintensivierung, Förderung von Kulturen mit hohem N-Überschuss, Anbau wasserzehrender Kulturen und eventuell höherer Erosionsgefährdung werden auch negative Humusbilanzen als Risiko gesehen. Maßnahmen um diesen Risiken effizient entgegenzuwirken sind insbesondere die Förderung des Anbaus von Zwischenfrüchten / Untersaaten, eine moderate Düngungsbemessung, die Begrenzung der Mais-/Raps-Anteile, dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung, die Rückführung organischer Reststoffe, die Humusbilanzierung sowie die Förderung von KUP/Miscanthus. Beim Anbau wasserzehrender Kulturen ist die jeweilige wasserhaushaltliche Situation zu beachten. Im

Rahmen der vorliegenden Studie wurden diese Gesichtspunkte bei der Erarbeitung der Gebietskulissen und der angenommenen Bewirtschaftungspraxis beachtet. Im Rahmen der durchgeführten Modellierungen hat sich gezeigt, dass unter den dort gesetzten Rahmenbedingungen überwiegend positive Folgewirkungen des gesteigerten Anbaus von NR-Kulturen zu erwarten sind.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Projekt „Erfassung und Bewertung der im Zusammenhang mit dem Anbau nachwachsender Rohstoffe stehenden Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz sowie Ableitung von Maßnahmen für eine gewässerschutzverträgliche Realisierung und Entwicklung des künftigen Anbaues nachwachsender Rohstoffe in Sachsen“ wurden folgende Aspekte hinsichtlich möglicher großräumiger Erweiterungen des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen in Sachsen näher untersucht und deren Auswirkungen und Konfliktpotenziale im Bereich Wasserhaushalt und Gewässerschutz quantifiziert:

- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Wasserhaushalt, insbesondere auf Abfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung,
- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Eintrag der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor in die sächsischen Grund- und Oberflächenwasserkörper sowie in die Küstengewässer von Nord- und Ostsee,
- Auswirkungen einer Erweiterung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe auf den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Grund- und Oberflächenwasserkörper.

Die Untersuchungen erfolgten modellgestützt auf der Grundlage des Web GIS-basierten sächsischen Nährstoffbilanzierungsmodells „STOFFBILANZ“ und greifen hinsichtlich der Basisdaten auf die bereits vorliegenden umfangreichen Ergebnisse aus dem Projekt „Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ (Halbfaß et al. 2009) zurück. Die über das Internet verfügbare Modellplattform ist von den Partnern und der Projekt begleitenden Arbeitsgruppe interaktiv nutzbar. Daten- und Ergebnistransfer werden dadurch erheblich vereinfacht.

Das Modell „STOFFBILANZ“ ist als integratives Wasserhaushalts- und Stoffbilanzierungsmodell für den im Projekt vorgesehenen Einsatz in den mittleren regionalen Maßstabsebenen ideal geeignet und repräsentiert gleichzeitig einen bereits erreichten hohen fachlichen Stand von Wissenschaft und Technik.

Insgesamt wurden zwei Szenarien möglicher Entwicklungen der Flächennutzungssituation in Bezug auf Produktion und Verwertung von nachwachsenden Rohstoffen / Biomasse in Sachsen mit Prognosezeitpunkt Jahr 2020 hinsichtlich der jeweiligen zu erwartenden Wirkungen auf Wasserhaushalt und Gewässerschutz betrachtet:

- Szenario 1 - Optimale Ausschöpfung der Potenziale an nachwachsenden Rohstoffen/ Biomasse unter Betrachtung aktueller Rahmensetzungen der Landwirtschaft,
- Szenario 2 - Optimale Ausschöpfung der Biomassepotenziale unter Beachtung natur- und bodenschutzfachlicher Rahmensetzungen.

Neben den Modellierungen, Visualisierungen und Analysen zum Wasserhaushalt, Bodenabtrag, Sediment-, N- und P-Eintrag wurden auch die Sachverhalte zum Status des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und der prognostizierten Veränderungen im Rahmen der Szenarienrechnungen in die Modelloberfläche eingespeist. Der gegenwärtige Status des PSM-Einsatzes und mögliche Veränderungen in Abhängigkeit der jeweiligen bioenergetischen Produkt-/Verwertungslinien und Anbauverfahren wurden unter Nutzung sog. Normierter Behandlungsindizes ermittelt. Mit Hilfe des WebGIS basierten STOFFBILANZviewers werden Stoffspektren und Belastungssituationen regionalisiert.

Eine wesentliche Grundlage der Szenarienrechnungen sind die gemeinsam mit dem Auftraggeber getroffenen Festlegungen und Modellanpassungen. Alle Ergebnisse und Bewertungen beziehen sich auf diese zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass eine Umsetzung der Anbaukulisse von Szenario 1 – 2020 keine signifikant negativen Auswirkungen auf die Wasserbilanz in Sachsen auf Ebene der Landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete hat. Aus Sicht des Stoffhaushaltes lassen sich sogar überwiegend positive Auswirkungen feststellen, wobei dies ausdrücklich für die in den Anbaukulissen gesetzten Rahmenbedingungen gilt. Eine deutliche Erhöhung der im Mittel vergleichsweise niedrig gehaltenen Mais- und Rapsanbauflächen wurde im Projekt nicht untersucht und dürfte ein abweichendes Ergebnis nach sich ziehen.

In Szenario 2 – 2020 wurde eine deutliche Erhöhung der Anteile von Kurzumtriebsplantagen an der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe vorgenommen. Die Anbaufläche für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion blieb dagegen unverändert. Die zu erwartenden positiven Auswirkungen im Hinblick auf die Stoffeintragungssituation im Sinne einer Reduzierung von Bodenabträgen,

Sedimenteinträgen, N- und P-Einträgen hat sich bestätigt. Problematisch können dagegen die regional nicht unbeträchtlichen Reduzierungen des Wasserdargebots insbesondere im sächsischen Tiefland sein. Hier sollten sich vertiefendere regional höher aufgelöste Betrachtungen unter Berücksichtigung der speziellen naturräumlichen Gegebenheiten anschließen. In einer stärker prozessorientierten Betrachtung sollte allerdings auch den Situationen im ersten Standjahr der KUP sowie im Jahr der Ernte bzw. Rekultivierung erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im Rahmen der Modellierungsarbeiten muss generell darauf hingewiesen werden, dass eine „worst case“-Betrachtung aus Kosten- und Zeitgründen nicht vorgenommen werden konnte und auch nicht Auftragsbestandteil war. Perspektivisch wäre eine solche Modellrechnung unter Annahme eines Erreichens der Höchstgrenzen für Raps und Mais hilfreich, um weitere differenziertere Hinweise auf mögliche Auswirkungen für den Wasser- und Stoffhaushalt sowie den Gewässerschutz zu erhalten.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen können abschließend wie folgt zusammengefasst werden:

- Unter den in der vorliegenden Studie gesetzten Rahmenbedingungen ergibt sich aus stoffhaushaltlicher Sicht eine Verträglichkeit bzw. Förderlichkeit des gesteigerten Anbaus von NR-Kulturen mit den Belangen des Gewässerschutzes.
- Auch der gesteigerte Anbau von Kurzumtriebsplantagen ist aus stoffhaushaltlicher Sicht positiv zu bewerten.
- Der möglichen Verringerung des Wasserdargebots bei hohem Anbauumfang von Kurzumtriebsplantagen sollte in einigen Regionen Sachsens, vor allem im Tiefland, gesteigerte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Alle Basis- und Ergebnisdaten werden im WebGIS-Viewer (www.viewer.stoffbilanz.de) vorgehalten und stehen dem Nutzer vollständig und interaktiv zur Verfügung. Sie können damit für eine regional differenzierte Bewirtschaftungsplanung eingesetzt werden. Als Auswertungsebenen bieten sich neben den unterschiedlichen Verwaltungsebenen insbesondere die Grund- und Oberflächenwasserkörpergeometrien an, die im Rahmen der vorliegenden Dokumentation aus Gründen der Übersichtlichkeit nur eingeschränkt genutzt wurden. Statistiktools und die Möglichkeiten des Datendownloads (shape-Format) sowie der interaktiven Kartenerstellung (pdf-Format) sind als weitere wichtige Vorteile für den Nutzer besonders hervorzuheben.

Gemeinsam mit den Ergebnissen aus dem Projekt „Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ bilden die Szenarienrechnungen aus dem nun vorliegenden Forschungsvorhaben auch eine fundierte fachlich-technische Ausgangsbasis für künftig erforderliche Szenariorechnungen, Prognosen und Abschätzungen der Erreichbarkeit nährstoffbezogener Umwelt- bzw. Bewirtschaftungsziele in Sachsen.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Arbeiten wurden von einer Arbeitsgruppe des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie unter Leitung des Referates 21 fachlich begleitet bzw. unterstützt. Bei allen Kolleginnen und Kollegen der an der Projektbearbeitung beteiligten Referate (insbesondere Referate 43, 71, 72, 61, 42, 21) sowie den Auftragnehmern von Teilprojekt 2.1 bedanken wir uns hiermit recht herzlich für die Zusammenarbeit.

8 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-AG Boden (2003): Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Ergänzungsblatt zu Kennwert 4.6 Mittlere jährliche Sickerwasserrate aus dem Boden. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover
- Auerswald, K. & Schwertmann, U. (1988): Modelle zur Erosionsvorhersage als Entscheidungsgrundlage des Bodenschutzes. In: Rosenkranz, D., Einsele, G., Harreß, H.M. [Hrsg.]: Bodenschutz
- Auerswald, K. (1989): Predicting nutrient enrichment from long term average soil loss. *Soil Techn.* 2, 271-277
- Bach, M., Grimm, M., Frede, H.G. (2003): Berechnung von Stickstoff-Flächenbilanzen für Gemeinden – Beispiel Hessen. In *Wasser & Boden*, 55/7+8, 120-126
- Bassam, N. (1998): *Energy plant species. Their use and impact on environment and development.* London: James & James.
- Behrendt, H., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., Scholz, G., Uebe, R. (2002): Estimation of the nutrient inputs into river systems- experiences from German rivers. In: *Regional Environmental Changes* 3, 107-117
- BMELV (2008): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Hrsg. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Gate, P., Devienne, F., Antonioletti, R., Durr, C., Nicoulaud, B., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Richard, G., Cellier, P., Machet, J.M., Meynard, J.M. and Delécolle, R. (1998): STICS : a generic crop simulation model with water and nitrogen balance. Application to wheat and maize. I. Theory and parameterization. *Agronomie*, 22, 1, pp. 69-92.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2010): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland, Stand Januar 2010, Braunschweig
- Casper, M., Grimm-Strele, J., Gudera, T., Korte, S., Lambrecht, H., Schneider, B., van Dijk, P., Rinaudo, J.D., Finck, M. (2005): EU-Project MoNit - decision support system to assess the impact of actions and changing frameworks on the Nitrate load in the Upper Rhine Valley aquifer. Models and scenarios. In: *Proc. of the 6th EWRA conference*, Menton, Sept. 7-10 2005. Editions de la Boyere.
- COST Action 869 (2006): Mitigation options for nutrient reduction in surface water and groundwaters. 164th CSO Meeting 29-30 March 2006, Proposal for a new COST Action
- Duttmann, R. (1999): Partikuläre Stoffverlagerungen in Landschaften. *Geosynthesis* 10. Universität Hannover
- DVGW (2008): Energiepflanzenproduktion und Einsatz von Gärückständen aus Biogasanlagen aus Sicht des Gewässerschutzes. Positionspapier des DVGW, Bonn, 26.11.2008
- DWA [Hrsg.] (2008): Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. Merkblatt DWA-M 907 (unveröff. Entwurf). DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- Dworak, T., Eppler, U., Petersen, J.-E., Schlegel, S. & Laaser, C. (2008): A review of the possible impact of biomass production from agriculture on water. Background paper for the conference "WFD meets CAP – Looking for a consistent approach", Final version 26/01/2008
- Eckel, H., Döhler, H., Frisch, J. (2006): Energiepflanzen. KTBL-Datensammlung mit Internetangebot. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam.
- EEA (European Environment Agency) (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. EEA Report 7/2006.
- Feger, K. H., Petzold, R., Schmidt, P. A., Glaser, T., Schroiff, A., Feldwisch, N., Friedrich, C., Peters, W., Schmelter, H. (2010): Standortpotenziale, Standards und Gebietskulissen für eine natur- und bodenschutzgerechte Nutzung von Biomasse zur Ener-

giegewinnung in Sachsen unter besonderer Berücksichtigung von Kurzumtriebsplantagen und ähnlichen Dauerkulturen. Hrsg. v. Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

FNR (2009): Nachwachsende Rohstoffe - Alter Hut auf neuen Köpfen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., www.fnr.de (30.04.2010)

Franko, U., Oelschlägel, B., Schenk, S. (1995): Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. In: *Ecol. Modelling* 81, 213-222

Freier, B., Pallutt, B., Jahn, M., Sellmann, J., Gutsche, V., Zornbach, W. (2008): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz Jahresbericht 2007. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 144, Braunschweig

Fritsche, U.R., Dehoust, G., Jenseit, W. et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse. Endbericht zum BMU-Verbundprojekt, Darmstadt

Gebel, M., Halbfaß, S., Bürger, S., Uhlig, M., Grunewald, K., Kaiser, M. (2009): STOFFBILANZ - Modellerläuterung. In: www.stoffbilanz.de (30.04.2010)

Geissler, G. (1980): Pflanzenbau – Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Verlag P. Parey, Berlin u. Hamburg.

Ghadiri, H. & Rose, C. (1991a): Soil processes and chemical transport. Sorbed chemical transport in overland flow. 1. A nutrient and pesticide enrichment mechanism. *J. Environ. Qual.* 20, 628-633

Ghadiri, H. & Rose, C. (1991b): Soil processes and chemical transport. Sorbed chemical transport in overland flow. 2. Enrichment ratio variation with erosion process. *J. Environ. Qual.* 20, 634-641

Grunewald, K., Hanschmann, G., Schmidt, W. Unger, C. (2001): Behavior of glyphosate and AMPA in soils and waters of the catchment area of the reservoir Radeburg II (Saxony). In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164, 65-70

Günther, R. (2003): Zur Wassernutzung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. 10. Gumpensteiner Lysimetertagung, BAL, 85-89, Irdning.

Gutsche, V., Strassemeyer, J. (2007): SYNOPSIS - ein Modell zur Bewertung des Umwelt-Risikopotentials von chemischen Pflanzenschutzmitteln. Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Halbfaß, S. & Grunewald, K. (2006): Abschätzung potenzieller Herkunftsflächen von erosionsbedingten Stoffeinträgen in Oberflächengewässer im mittleren Maßstab. In: *Wasserwirtschaft* 12, 28-32

Halbfaß, S., Grunewald, K. (2008): Ermittlung räumlich verteilter SDR-Faktoren zur Modellierung von Sedimenteinträgen in Fließgewässer im mittleren Maßstab. *Wasserwirtschaft* 3, 31-35

Halbfaß, S., Bürger, S., Gebel, M., Grunewald, K. (2006): Entwicklung einer webbasierten Applikation zur Quantifizierung von diffusen Nährstoffeinträgen im mittleren Maßstab. In: Strobl/Blaschke/Griesebner: *Angewandte Geoinformatik 2006 - Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg*, Wichmann Verlag

Halbfaß, S., Gebel, M., Friese, H., Grunewald, K., Mannsfeld, M. (2009): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer. Hrsg. v. Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

Hall, R.L. (2003): Short rotation coppice for energy production hydrological guidelines. DTI New and Renewable Energy Programme, Department of Trade and Industry, B/CR/00783/Guidelines/SRC URN 03/883.

Henrichs, T. et al. (2009): Scenario Development and Analysis for Forward-looking Ecosystem Assessments. In *Ecosystems and human well-being - A Manual for Assessment Practitioners*. MA.

Hülsbergen, K.J. & Diepenbrock, W. (1997): Das Modell REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: DBU [Hrsg.]: *Umweltverträgliche Pflanzenproduktion – Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen*, 159-185, Zeller Verlag, Osnabrück

IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.

- Krysanova, V. & Becker, A. (1999): Integrated modelling of Hydrological Processes and Nutrient Dynamics at the river basin scale. In: *Hydrobiologia*, 410, 131-138
- Kunkel, R. & Wendland, F. (2006): Diffuse Nitrateinträge in die Grund- und Oberflächengewässer von Rhein und Ems – Ist-Zustand und Maßnahmenanalysen. In: *Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment*, Bd./Vol. 62
- Lammers, A. (1997): Phosphatformen und Phosphatfreisetzung in hochgedüngten Böden Europas. Diss. Agrarwissenschaften München
- Lerch, G. (1980): Pflanzenökologie, Teil II: Zur Ökologie von Stoffproduktion und Ertragsbildung. Akademie Verlag, Berlin.
- LfL Bayern (2008): Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 11
- LfUG (2005): Pflanzenschutzmittelwirkstoffe – Vorkommen in sächsischen Fließgewässern. LfUG und LfL Sachsen. Dresden
- LfUG (2007): Nachhaltige energetische Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse – Auf dem Weg zu einer Gesamtstrategie. 9. Fachsymposium „Umwelt und Raumnutzung“, hrsg. v. Landesamt für Umwelt und Geologie des Freistaates Sachsen
- LfULG (2009/1): Klimawandel und Landwirtschaft – Fachliche Grundlagen für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Hrsg. v. Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
- LfULG (2009/2): Bericht über die sächsischen Beiträge zu den Bewirtschaftungsplänen der Flussgebietseinheiten Elbe und Oder. Dresden
- LUA-Materialien (1999): Gewässergütebericht 1997 des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen. Essen
- Lord, E.I. & S.G. Anthony (2000): MAGPIE: A modelling framework for evaluating nitrate losses at national and catchment scales. *Soil Use and Management* 16, 167-174
- Mary, B. & Guérif, J. (1994): Intérêts et limites des modèles de prévision de l' évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. *Cahiers Agricultures* 3, 247-257
- Meyer-Marquart, D. & Feldwisch, N. (2006): Vorstudie – Rahmenbedingungen und Potenziale für eine natur- und umweltverträgliche Nutzung von Biomasse im Freistaat Sachsen. Abschlussbericht im Auftrag des LfL/LfUG (unveröff.)
- Meynard, J.M., Justes, E., Machet, J.M., Recous, S. (1996) : Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. In: Lemaire, G. & Nicolardot, B. (Eds.): *Maitrise de l'azote dans les agro-systèmes. Les colloques de l'INRA*, INRA, Reims, 183-199
- Nitsch, H., Osterburg, B., von Buttlar, C., von Buttlar, H.B. (2008): Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen – Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Auftrag des UBA. IGLU/vTI, Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 3/08 (www.vti.bund.de/de/institute/lr/publikationen/bereich/ab_03_2008_de.pdf, 30.04.2010)
- Ostrowski, M. (2006): Integrierte transdisziplinäre Modellierung als Grundlage des Wasserqualitätsmanagements, Berichtsentwurf der AG des DWA (unveröff.), Darmstadt
- Parr, W., Wheeler, M.A., Codling, I. (1998): Nutrient status of the Glaslyn/Dwyrhyd, Mawddach and Dyfi estuaries – its context and ecological importance. WRc report to the countryside Council of Wales.
- Petzold R., Feger K.H., Schwärzel k. (2009): Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg T., Bemann A., Konold W., Murach D., Spiecker H. (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. WILEY-VCH Verlag, Weinheim (im Druck)
- Robrecht, D., Lehmann, R., Schön, K., Kaul, U. (2007): Vergleich von Modellen und Verfahren zur Abschätzung von Nährstoffeinträgen in Gewässer. In: *WasserWirtschaft* 11, 22-26.
- Rode, M., Schneider, C., Ketelhake, G., Reißhauer, D. (2005): Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme- und Stromgewinnung. Bonn: BfN. BfN-Skripten 136.
- Röhricht, C. (2009): Anbau und Wirtschaftlichkeit von KUP. (www.landwirtschaft.sachsen.de, 22.01.2010).
- Röhricht, C. & Ruscher, K. (2010): Anbauempfehlungen Schnellwachsende Baumarten im Kurzumtrieb. Hrsg. v. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

- Roßberg, D., Gutsche, V., Enzian, S., Wick, M. (2002): NEPTUN 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands. Braunschweig: BBA. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 98.
- Roßberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 59 (7), S. 155-161.
- Roßberg, D., Ladewig, E., Lukashyk, P. (2008): NEPTUN 2007 – Zuckerrüben. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 145, Braunschweig.
- Schaub, D., Wilke, B. (1996): Phosphatanreicherung bei der Bodenerosion. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesell., 79, 435-438
- Schilling, G. et al. (1982): Pflanzenernährung und Düngung. Teil 1: Pflanzenernährung. Verlag P. Parey, Berlin u. Hamburg.
- Schmitt-Heiderich, P. G., Ihringer, J., Plate, E. J. (2000): Prinzip eines stochastischen Bemessungsverfahrens zur Bestimmung der Vorfluterbelastung aus urbanen Einzugsgebieten Korrespondenz Abwasser Wasserwirtschaft Abwasser Abfall Jg. 47, Nr. 3, 2000, S. 397 – 402
- Sharpley, A., Daniel, T., Edwards, D. (1993): Phosphorus movement in the landscape. J. Prod. Agri. 6(4), 492-500
- SLfL (2007): Umsetzung der Düngeverordnung – Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Hrsg. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden
- SLfL (2008): Datenbank Biomassepotenziale. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 12/2008, Dresden.
- SMUL (2007): Energie für die Zukunft – Sachsens Potenzial an nachwachsenden Rohstoffen / Biomasse. Hrsg. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden
- SRU (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen, Hausdruck
- UBA (2007): Nachwachsende Rohstoffe zur Energiegewinnung – Neue Probleme für den Gewässerschutz? kepler.hansolo.net/.../nachwachsende_rohstoffe_zur_energiegewinnung.pdf (20.10.2009)
- US SCS (1972): National engineering handbook (Chap. IV: Hydrology, 2nd reprint). US Dept. Agriculture, Washington
- Vetter, A. (2001): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergeträger hinsichtlich der energetischen Verwertung. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (Hrsg.): Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Stand der Technik und Perspektiven für den ländlichen Raum. Gülzow: FNR. Gülzower Fachgespräche 17, S. 36-50.
- Voges, J. (1999): Empirisches Modell für die mittlere Maßstabebene zur GIS-gestützten Bestimmung der Anbindung erosionsgefährdeter Ackerflächen an Fließgewässer. Diss. Univ. Hannover
- Wendland, F. (1992): Die Nitratbelastung in den Grundwasserlandschaften der alten Bundesländer (BRD). Berichte aus der ökologischen Forschung 8, Forschungszentrum Jülich GmbH
- Willms, M., Hufnagel, J., Eulenstein, F., Wagner, B., Vetter, A. (2007): Humus- und Stickstoffbilanzen beim Anbau von Energiepflanzen. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110 (2), 635-636
- Wischmeier W.H. & Smith, D.D. (1978): Predicting rainfall losses – a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook, 537, 1-58

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung (GALF) bR
Dr. Micha Gebel, Dr. Stefan Halbfaß, Stephan Bürger
Telefon: +49 351 20965-40
Telefax: +49 351 20965-37
E-Mail: gebel@galf-dresden.de
Landschaftsforschungszentrum e.V. (LFZ)/Leibniz-Institut für ökologische
Raumentwicklung e.V. (IÖR)
Dr. habil. Karsten Grunewald
Telefon: +49 351 20965-42
Telefax: +49 351 20965-37
E-Mail: K.Grunewald@ioer.de
Technische Universität Dresden, Institut für Bodenkunde und Standortslehre
PD Dr. Carsten Lorz
Telefon: +49 35203 38-31816
Telefax: +49 35203 38-31388
E-Mail: carsten.lorz@tu-dresden.de

Redaktion:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Referat Oberflächen- und Grundwasser
Holm Friese
Telefon: +49 351 8928-4412
Telefax: +49 351 8928-4099
E-Mail: Holm.Friese@smul.sachsen.de
Referat Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe
Dr. Michael Grunert
Telefon: +49 341 9174-147
Telefax: +49 341 9174-189
E-Mail: Michael.Grunert@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

31.05.2011

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF unter
<http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer
verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.
Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von
sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.
Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Infor-
mationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben
parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe
an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer
bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden,
dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer
Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon,
welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger
zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur
Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.