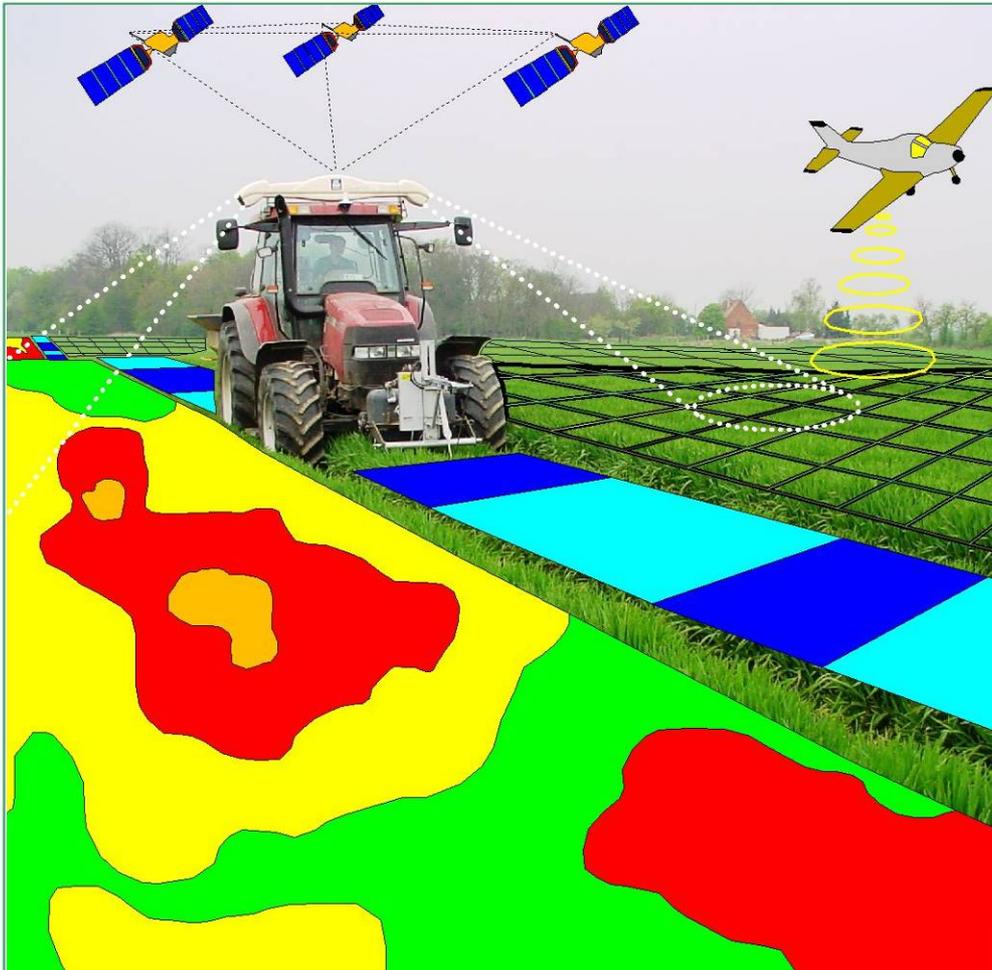




Das Lebensministerium



Precision Farming-Anwendungen

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 6/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Entwicklung und Erprobung von Algorithmen zur teilschlagspezifischen Düngung (NPK)
und des Einsatzes von Fungiziden und Wachstumsreglern**

Jens Ponitka, Dr. Jörg Pößneck

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ziele	1
1.2	Begriffe	1
2	Material und Methoden	3
2.1	Untersuchungsgebiet	3
2.2	Heterogenität	3
2.2.1	Boden	3
2.2.2	Geländemodell	5
2.2.3	Pflanzenbestand	6
2.3	Maschinenausstattung	8
2.4	Wetter	12
2.5	Versuchsdurchführung	13
2.5.1	Anlage der Versuche	13
2.5.2	Datenerhebung	14
2.5.3	Datenaufbereitung und Statistik	15
3	Ergebnisse	18
3.1	Teilschlagspezifische Grunddüngung	18
3.2	Nährstoffbilanzierung	20
3.3	N-Düngung 2007	22
3.3.1	Winterraps	22
3.3.1.1	Versuchsdurchführung 1. und 2. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“	22
3.3.1.2	Versuchsdurchführung 2. N-Gabe, Schlag „121.23“	27
3.3.2	Winterweizen	30
3.3.2.1	Versuchsdurchführung 2. und 3. N-Gabe, Schlag „Am Flugplatz“	30
3.3.2.2	Versuchsdurchführung 2. und 3. N-Gabe, Schlag „121.32“	40
3.3.2.3	Sensormessungen, Schlag „Monokultur“	42
3.3.3	Wintergerste	44
3.4	N-Düngung 2008	49
3.4.1	Winterraps	51
3.4.1.1	Schlag „Adelwitzer Park“	51
3.4.1.2	Schlag „121.22“	58
3.4.1.3	Schlag „121.33“	60
3.4.2	Winterweizen	62
3.4.2.1	Schlag „Rüstergehege“	62
3.4.2.2	Schlag „121.31“ und „121.32“	67
3.4.3	Wintergerste	71
3.5	Pflanzenschutz	77
3.5.1	Pflanzenschutz 2007	77

3.5.1.1	Wachstumsregler zu Winterweizen, Schlag „121.33“	77
3.5.1.2	Wachstumsregler zu Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“	78
3.5.1.3	Fungizide zu Winterweizen, Schlag „Monokultur“	80
3.5.2	Pflanzenschutz 2008	81
3.5.2.1	Fungizide zu Winterweizen, Schlag „Monokultur“	82
3.5.2.2	Wachstumsregler und Fungizid zu Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“	87
3.6	N_{min} , S_{min}	88
3.6.1	„Am Flugplatz“	88
3.6.2	„Rüstergehege“ Winterraps 2007 und weitere Flächen	93
3.7	Weitere Zusammenhänge von Standort und Bestand	95
3.7.1	Messung der Bodenfeuchte mittels Time-Domain-Reflectometry (TDR) „Am Flugplatz“ am 27.2.08	95
3.7.2	Mehrfährige Ertragsbetrachtung	97
3.7.3	Bildung von Managementzonen	101
3.7.4	Korrelation von Boden und Bestand zu Sensorwerten („Adelwitzer Park“).....	107
3.7.5	Geländehöhe	109
3.7.6	Qualität der Sensormessungen	113
4	Zusammenfassung.....	115
5	Empfehlungen zur weiteren Erprobung und Anwendung von Precision Farming-Anwendungen im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch.....	116
6	Literatur.....	117

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ansätze einer an den Standort und den Pflanzenbestand angepassten Bewirtschaftung.....	2
Abbildung 2:	Lage des Untersuchungsgebietes in Sachsen und Schläge des LVG Köllitsch mit hinterlegtem Luftbild (30.5.2008).....	3
Abbildung 3:	Bodenartengruppen des LVG (Bodenkonzeptkarte, Darstellung auf der Grundlage von Daten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden)	4
Abbildung 4:	Bodenheterogenität (Geophysik) einiger PF-Schläge des LVG Köllitsch, dunkelrot = toniger, hellrot = sandiger	5
Abbildung 5:	Digitales Geländemodell (Darstellung auf Grundlage der Daten des Landesvermessungsamtes Sachsen)	6
Abbildung 6:	Beispiel der Heterogenität in der Biomasse am 30.5.2008, ermittelt aus Fernerkundungsdaten	7
Abbildung 7:	Schlepperkonfiguration für den Feldeinsatz (Düngung)	8
Abbildung 8:	N-Sensoren in Deutschland (aus: http://www.agricon.de/sensor-technik , 29.9.08)	9
Abbildung 9:	Arbeitsprinzip der beiden Online-Sensoren.....	9
Abbildung 10:	Regelfunktionen der beiden „online“-Sensoren	10
Abbildung 11:	Sprizentechnik.....	10
Abbildung 12:	„online“-Sensoren im Feldeinsatz 2007: oben CROP-Meter (Wintergerste), unten YARA N-Sensor ALS (Winterweizen und Winterraps)	11
Abbildung 13:	Potenzialkarte aus Verrechnung mehrjähriger Satellitendaten (2005 - 2007)	11
Abbildung 14:	Niederschlag und Temperatur im Untersuchungszeitraum 9/2006 - 7/2008 in Köllitsch.....	12
Abbildung 15:	Bodenfeuchteentwicklung 2007 (DWD aus www.agrowetter.de)	13
Abbildung 16:	Testflächen 2007.....	14
Abbildung 17:	Testflächen 2008.....	14
Abbildung 18:	Probenahmepunkte 2007 und 2008, (Luftbild vom 30.5.2008)	15
Abbildung 19:	Ablaufschema der Aufbereitung und Auswertung landwirtschaftlicher Geodaten .	16
Abbildung 20:	Schema eines 27-Meter-Rasters („squares“) für die Datenauswertung	17
Abbildung 21:	Einfluss der Rastergröße bei der Interpolation (Ertrag Winterweizen 2007)	17
Abbildung 22:	Karte des Kaliumgehaltes (2003 und 2006) nach Gehaltsklassen (A bis E), Schlag 121.3 (WGS84)	18
Abbildung 23:	Applikationskarten für K, Schlag 121.3 (2007)	19
Abbildung 24:	Ertrag Winterweizen [dt/ha] und N-Bilanz 2007, Schlag „Am Flugplatz“	20
Abbildung 25:	Akkumulierte Phosphor- und Kalium-Abfuhr, Schlag „Am Flugplatz“ (2003 - 2007)	20
Abbildung 26:	Gehalte an P und K, Schlag „Am Flugplatz“ (7/2008)	21

Abbildung 27:	Kaliumgehalt [%] als Ergebnis einer Gamma-Spektrometermessung durch das UfZ Halle-Leipzig und verwendetes Gamma-Spektrometer, Schlag „Am Flugplatz“ (11/2007).....	21
Abbildung 28:	Übersicht der Tests in verschiedenen Fruchtarten.....	22
Abbildung 29:	Versuchsanlage für die N-Düngung zu Winterraps, Schlag „Rüstergehege“ (2007).....	23
Abbildung 30:	N-Sensormessungen (BI) und 2. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“ (2006 - 2007)	24
Abbildung 31:	Winterrapsenerträge in Abhängigkeit von der N-Düngungsvariante, Schlag „Rüstergehege“ (2007).....	25
Abbildung 32:	Winterrapsenerträge in Abhängigkeit von der N-Düngungsvariante und dem N-Düngungsniveau, Schlag „Rüstergehege“ (2007)	26
Abbildung 33:	N-Düngungsvarianten zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe zu Winterraps, Schlag „121.23“ (2007)	27
Abbildung 34:	EM38, Höhe, N-Sensorwert, N-Düngung und Winterrapsenertrag, Schlag „121.23“ (2007)	28
Abbildung 35:	Werte von EM38, N-Sensormessung und Winterrapsenertrag entlang einer Fahrspur (Nord-Süd), n = 170, Schlag „121.23“ (2007)	29
Abbildung 36:	N-Düngungsvarianten zur 2. und 3. N-Gabe zu Winterweizen, Schlag „Am Flugplatz“ (2007).....	30
Abbildung 37:	Bestandesdifferenzierung (Lage verdeutlicht durch EM38) des Winterweizens am 19.1.2007 im lehmigen (links) und sandigen (rechts) Schlagteil, Schlag „Am Flugplatz“	31
Abbildung 38:	Schlechte Bestandesentwicklung im tonigen Schlagteil, Winterweizen am 8.2.2007 (links) und 26.3.2007 (rechts), Schlag „Am Flugplatz“.....	31
Abbildung 39:	Bodenbedingte Bestandesunterschiede des Winterweizens zu drei Terminen, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)	32
Abbildung 40:	Trockenstress des Winterweizens am 10.5.2007, Schlag „Am Flugplatz“,.....	33
Abbildung 41:	Vergleich verschiedener Messungen zur Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Am Flugplatz“	34
Abbildung 42:	Winterweizenertrag 2007 in Abhängigkeit von EC _a und Stickstoffdüngungsvariante, Schlag „Am Flugplatz“	36
Abbildung 43:	N-Düngung und Winterweizenertrag in Abhängigkeit vom Boden (EM38-Klasse), Schlag „Am Flugplatz“ (2007).....	36
Abbildung 44:	Winterweizenertrag innerhalb ausgewählter EM38-Zonen, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)	37
Abbildung 45:	Winterweizenertrag nach EM38-Zonen und Varianten.....	38
Abbildung 46:	Effizienz des eingesetzten Stickstoffdüngers nach EM38-Klasse und N-Applikationsvariante, Schlag „Am Flugplatz“ (2007).....	39

Abbildung 47:	Zusammenhang zwischen EM38 bzw. Winterweizenertrag und Fallzahl sowie zwischen EM38 und Winterweizenertrag bzw. Sedimentationswert, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)	39
Abbildung 48:	Fallzahl, Sedimentationswert, EM38 und Winterweizenertrag der N-Applikations-varianten, Schlag „Am Flugplatz“ (2007).....	40
Abbildung 49:	Winterweizenertrag (mit Standardabweichung) der N-Applikationsvarianten (v. l. n. r., Schlag „121.32“ (2007).....	41
Abbildung 50:	Zusammenhang zwischen N-Tester-Messwerten und YARA N-Sensor-messwerten auf zwei Schlägen in Winterweizen, 2007.....	42
Abbildung 51:	Standort und Bestand, Schlag „Monokultur“	43
Abbildung 52:	Heterogene Bestandesentwicklung der Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007).....	45
Abbildung 53:	Bestandesunterschiede der Wintergerste am 22.6.2007 in lehmigen und sandigen Teilflächen, Schlag „Adelwitzer Park“	45
Abbildung 54:	EM38, Höhe (DGPS) und Ertrag im Vergleich zu N-Sensorwerten und Pendelwinkeln (Wertebereich und Datum) zu Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“	46
Abbildung 55:	EM38-Messwerte und Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	48
Abbildung 56:	Biomasseindex (YARA N-Sensor ALS) zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe, Köllitsch 2008 (blau = wenig Biomasse/Chlorophyll, rot = viel Biomasse/Chlorophyll), 2008	49
Abbildung 57:	Übersicht der Tests zur 2. und 3. N-Gabe in verschiedenen Fruchtarten, 2008 ...	50
Abbildung 58:	Bestandesunterschiede zu Winterraps am 10.3.2008, Schlag „Adelwitzer Park“ ..	51
Abbildung 59:	Unterschiede im Blühbeginn zu Winterraps am 17.4.2008, Schlag „Adelwitzer Park“	51
Abbildung 60:	Winterrapsbestand am 13.5.2008, Schlag „Adelwitzer Park“	52
Abbildung 61:	Luftbild vom 3.6.2008, Schlag „Adelwitzer Park“ (roter Umriss).....	52
Abbildung 62:	Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	53
Abbildung 63:	N-Düngung zu Winterraps (1. + 2. N-Gabe in kg N/ha), Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	53
Abbildung 64:	Beziehung zwischen N-Sensorwert und Höhe der 2. N-Gabe bzw. Ertrag, Winterraps 2008, Schlag „Adelwitzer Park“ (n = 2 125)	54
Abbildung 65:	Beziehung zwischen EM38 und Relativertrag, Winterraps 2008, Schlag „Adelwitzer Park“ (n = 2472)	55
Abbildung 66:	N-Düngung und Winterrapsenertrag der Varianten „PDA-Zonen“ und „YARA N-Sensor ALS“, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	55
Abbildung 67:	N-Düngung und Ertrag vergleichbarer Spuren mit Standardabweichung, Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	56
Abbildung 68:	Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „121.22“ (2008)	58

Abbildung 69:	Zusammenhang zwischen N-Düngung zu Winterraps und Winterrapsenertrag in den zwei Sensorspuren, Schlag „121.22“ (2008)	59
Abbildung 70:	Zusammenhang zwischen Luftbildinformation und N-Sensorwert zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe, Schlag „121.22“ (2008)	59
Abbildung 71:	Zusammenhang Boden (EM38) und Ertrag der zwei Sensorspuren, Schlag „121.22“ (2008)	60
Abbildung 72:	EM38, Höhe, Biomasse und Winterrapsenertrag 2008, Schlag „121.33“	61
Abbildung 73:	N-Düngung und Ertrag zu Winterraps der drei Applikationsvarianten, Schlag „121.33“	61
Abbildung 74:	Lager am 1.7.2008 im Winterweizen, Schlag „Rüstergehege“	62
Abbildung 75:	Standort- und Bestandesdifferenzierung 2008, Schlag „Rüstergehege“	64
Abbildung 76:	Zusammenhang von N-Sensormessung (links) und Luftbilddauswertung (rechts) zum Winterweizenertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008)	65
Abbildung 77:	Karte der N-Düngung und Zusammenhang von N-Düngung und Winterweizenertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008)	65
Abbildung 78:	Zusammenhang zwischen N-Düngung und Ertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008).....	66
Abbildung 79:	Zusammenhang zwischen Höhe der 2. N-Gabe zu Winterweizen und N-Sensormesswert zur 3. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“ (2008).....	66
Abbildung 80:	Versuchsanlage für die 2. und 3. N-Gabe zu Winterweizen der Schläge „121.31“ und „121.32“, 2008	67
Abbildung 81:	N-Sensormessungen und Ertrag, Schläge „121.31“ (rechts) und „121.32“ (links), 2008	68
Abbildung 82:	Luftbild vom 30.5.2008 und Karte der Auswertung der Luftbildinformation, Schläge „121.31“ (rechts) und „121.32“ (links)	68
Abbildung 83:	Ertrag und Spanne der gestreuten N-Menge der Varianten, Schlag „121.31“	69
Abbildung 84:	Zusammenhang von gestreuter N-Menge und N-Effizienz (in kg Weizen je kg Dünger-N) der Varianten „N-Sensor“ und „PDA-Zonen“, Schlag „121.31“ (2008)	70
Abbildung 85:	Ertrag und Spanne der gestreuten N-Menge der Varianten, Schlag „121.32“ (2008)	71
Abbildung 86:	Beginnende Differenzierung des Wintergerstenbestandes zwischen „Sand“ und „Lehm“ am 10.3.2008, Schlag „Am Flugplatz“	72
Abbildung 87:	Wintergerstenbestand am 13.5.2008, Schlag „Am Flugplatz“	72
Abbildung 88:	Wintergerstenlagerstelle (ca. 0,5 ha) am 22.5.2008, Schlag „Am Flugplatz“	72
Abbildung 89:	Luftbilder (30.5.2008 und 3.6.2008), Schlag „Am Flugplatz“	73
Abbildung 90:	Bodenbedingte Unterschiede in Abreife und Lageranteil, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)	73
Abbildung 91:	Karten zur Standort- und Bestandesdifferenzierung und Ertrag von Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)	74

Abbildung 92:	Zusammenhang zwischen EM38 bzw. Luftbildinformation und Ertrag, Schlag „Am Flugplatz“ (2008), n = 4 339.....	75
Abbildung 93:	Zusammenhang zwischen Wintergerstenertrag bzw. EM38 und den N-, P- und K-Gehalten im Korn, Schlag „Am Flugplatz“ (2008).....	76
Abbildung 94:	Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz 2007 (Winterweizen, Wintergerste → Wachstumsregler; Winterweizen → Fungizide).....	77
Abbildung 95:	Wachstumsregleraufwandmenge und Weizenertrag, Schlag „121.33“ (2007)	78
Abbildung 96:	Varianten der Wachstumsreglerausbringung, Schlag „Adelwitzer Park (2007).....	78
Abbildung 97:	Wachstumsregleraufwandmenge und Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	79
Abbildung 98:	Übersicht über die Pflanzenschutzmaßnahmen 2008.....	82
Abbildung 99:	Bestandesdifferenzierung im Winterweizen am 26.5.2008, Schlag „Monokultur“ .	83
Abbildung 100:	Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Monokultur“ (12,8 ha).....	84
Abbildung 101:	Beziehung von Bestandesinformationen (YARA N-Sensor ALS, CROP.Meter, Luftbild) zum Winterweizenertrag 2008, Schlag „Monokultur“ (n = 1587)	85
Abbildung 102:	Spritzkarte und Zusammenhang von Spritzmenge und Ertrag der Varianten ^ „konstant“, „Sensor“ und „PDA“ zu Winterweizen (Schlag „Monokultur“, 12,8 ha).....	86
Abbildung 103:	Zusammenhang von Spritzmenge und Ertrag, Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“ 2008.....	87
Abbildung 104:	Bohrgerät zur GPS-gestützten Bodenprobenahme.....	88
Abbildung 105:	Entwicklung des N_{min} in 0 - 60 cm von Februar 2007 bis Juli 2008, Schlag „Am Flugplatz“	89
Abbildung 106:	Entwicklung des volumetrischen Wassergehaltes in 0 – 60 cm von Februar 2007 bis Juli 2008, Schlag „Am Flugplatz“	89
Abbildung 107:	Zusammenhang von EM38 und S_{min} (0 - 60 cm, Frühjahr 2007 und 2008), Schlag „Am Flugplatz“	90
Abbildung 108:	N_{min} am 10.3.2008, Schlag „Am Flugplatz“.....	92
Abbildung 109:	N_{min} , Wassergehalt, EM38 und S_{min} , Schlag „Am Flugplatz“ 2008	92
Abbildung 110:	N_{min} und Wassergehalt zu drei Terminen (je n = 16), Schlag „Rüstergehege“ 2007	93
Abbildung 111:	Zusammenhang zwischen EM38 und S_{min} bzw. Ertrag und N_{min} , Schlag „Rüstergehege“	93
Abbildung 112:	N-Düngung (Gesamtschlag) und N_{min} (Probenahme 19.12.2007, N-Steigerung), Schlag „Rüstergehege“	94
Abbildung 113:	TRIME-Bodenfeuchte/-TDR-Level (27.2.2008) und Bodenfeuchte (N_{min} -Probenahme vom 10.3.2008) im Vergleich zu EM38 und Winterweizenertrag (2007), jeweils Interpolation aus n = 33	96
Abbildung 114:	Ertragskarten der Jahre 2003 bis 2008, Schlag „Am Flugplatz“ (38,5 ha).....	97

Abbildung 115: Trendlinien der Erträge 2003 - 2008 in Abhängigkeit von Bodenunterschieden (EM38), Schlag „Am Flugplatz“	98
Abbildung 116: Mittlerer Relativertrag der Jahre 2003 bis 2007	98
Abbildung 117: EM38 und Relativertrag (2006 - 2007), Schlag „Adelwitzer Park“	99
Abbildung 118: Zusammenhang zwischen Relativertrag (2006 - 2007) und EM38, Schlag „Adelwitzer Park“	100
Abbildung 119: Relativertrag (2006 - 2007) in Beziehung zu EM38-Klassen.....	100
Abbildung 120: Zonenkarten als Ergebnis unterschiedlicher Ansätze der Erstellung bzw. Datengrundlage und Ertragskarte 2007, Schlag „Am Flugplatz“	102
Abbildung 121: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter innerhalb der Potenzialzonen, Schlag „Am Flugplatz“ 2007	103
Abbildung 122: Ertragshöhe und Ertragsstabilität 2003 - 2006 bei $\bar{\sigma} = 25\%$, Schlag „Am Flugplatz“	103
Abbildung 123: Ertragshöhe und Ertragsstabilität 2003 - 2007 $\bar{\sigma} = 15\%$, Schlag „Am Flugplatz“	104
Abbildung 124: Managementzonenkarten (roter Umriss) als Ergebnis unterschiedlicher Ansätze der Erstellung bzw. Datengrundlage und Vergleich zur Ertragskarte 2007, Schlag „Adelwitzer Park“	105
Abbildung 125: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter (N-Sensor, Pendelsensor) innerhalb der Potenzialzonen 2007, Schlag „Adelwitzer Park“	106
Abbildung 126: Bestandesunterschiede am 14.5.2007, Wintergerste „Adelwitzer Park“	107
Abbildung 127: N-Sensorwerte (blau), EM38 (braun) und Wuchshöhen (grün) zu Wintergerste, östlicher Schlagteil „Adelwitzer Park“ (WGS84)	107
Abbildung 128: Korrelation EM38, Wuchshöhe, N-Sensorwert und Pendelwinkel ($n = 48$), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007).....	108
Abbildung 129: EM38, Wuchshöhe und Ertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (östlicher Schlagteil, $n = 48$).....	109
Abbildung 130: Höhe aus DGM (Quelle: Freistaat Sachsen), Schlag „Am Flugplatz“	109
Abbildung 131: Höhenmodell aus mehrfacher DGPS-Messung, Schlag „Am Flugplatz“	110
Abbildung 132: Vergleich von geglätteten (Interpolation bzw. Filter) Höhenmodellen aus mehrfacher DGPS-Messung und EM38 und Ertrag 2007, Schlag „Am Flugplatz“	110
Abbildung 133: Vergleich von Höhenmodellen (DGM bzw. mehrfacher DGPS-Messung) und EM38 und Ertrag 2007, Schlag „Adelwitzer Park“	111
Abbildung 134: Vergleich von Höhenmodellen (DGM bzw. mehrfacher DGPS-Messung), Wassergehalt und N-Sensormessungen 2007, Schlag „121.32/33“	112
Abbildung 135: Mittelwerte und Streuung von 6 N-Sensormessungen auf einem Schlag mit konstanter N-Düngung, Schlag „121.5“ (2007)	113
Abbildung 136: Mittelwerte und Streuung von 6 N-Sensormessungen auf einem Schlag mit konstanter N-Düngung, Schlag „121.5“ (2007)	114

Abbildung 137: Zusammenhang zwischen Tag- und Nachtmessung mittels N-Sensor „ALS“, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)	114
Abbildung 138: Zusammenhang zweier N-Sensormessungen („Tag“, „Nacht“) zur elektrischen Leitfähigkeit, Schlag „Am Flugplatz“	115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausstattung des Schleppers „CASE MXM 1-30“ für die Versuchsdurchführung	8
Tabelle 2: Korrelationsmatrix (Mittelwerte der Parzellen) zu Winterraps, Schlag „Rüstergehege“ (2007)	24
Tabelle 3: N-Düngung, Winterrapsenertrag und Inhaltsstoffe, Schlag „Rüstergehege“ (2007)	26
Tabelle 4: N-Düngung und Ertrag der Varianten zu Winterraps, Schlag „121.23“ (ohne Vorgewende), (kriging Raster 9 x 9 m)	28
Tabelle 5: Korrelationen zu Winterraps, Schlag „121.23“ (2007), ohne Vorgewende	29
Tabelle 6: Korrelationen „Am Flugplatz“ (Winterweizen 2007) aus square-Auswertung (n = 544)	35
Tabelle 7: N-Düngung und Winterweizenertrag 2007, Schlag „Am Flugplatz“	35
Tabelle 8: Einfluss (r^2) von EM38 auf verschiedene Parameter in den N-Applikationsvarianten „Am Flugplatz“ (2007)	38
Tabelle 9: Zusammenhang von EM38, Höhe, N-Sensorwert, Pendelwinkel und Winterweizenertrag, Schlag „121.32“ (2007)	41
Tabelle 10: Korrelationsmatrix „Monokultur“ Winterweizen, 2007	44
Tabelle 11: Korrelationsmatrix, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	47
Tabelle 12: Vergleich der Handernten Wintergerste Pflanze und Korn bei unterschiedlichen EM38-Werten, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	47
Tabelle 13: Parameter der Wintergerste (Korn) aus Mäh- und Handdrusch, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	48
Tabelle 14: N-Düngung und Ertrag der Varianten, Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008) ..	56
Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse Winterrapsamen, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	57
Tabelle 16: Korrelationsmatrix (nur $r^2 > 0,5$) Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)	57
Tabelle 17: Korrelationen (nur Sensorspuren) von Winterraps, Schlag „121.22“ (2008)	58
Tabelle 18: Vergleich der Varianten „konstant“ und „YARA N.Sensor ALS“ (je zwei Fahrspuren) hinsichtlich Ertrag und N-Düngeraufwand, Schlag „121.22“ (2008)	60
Tabelle 19: Ertrag und N-Düngung der Applikationsvarianten zu Winterraps, Schlag „121.33“ (2008)	62
Tabelle 20: Korrelationsmatrix Winterweizen, Schlag „121.31“ (2008)	69
Tabelle 21: Korrelationsmatrix Winterweizen, Schlag „121.32“ (2008)	70
Tabelle 22: Wintergerstenerträge der Varianten zur konstanten und variablen N-Düngung, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)	75
Tabelle 24: Entzüge der Wintergerste am 16.6.2008 nach drei EM38-Klassen, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)	76
Tabelle 25: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)	79

Tabelle 26: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wintergerstenertrag bei unterschiedlichen Potenzialen (niedrig/hoch), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007).....	80
Tabelle 27: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wuchshöhe der Wintergerste bei unterschiedlichen Potenzialen (niedrig/hoch), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007).....	80
Tabelle 28: DON-Gehalte „Monokultur“ in Abhängigkeit von der Applikationsvariante und der Fungizidaufwandmenge, Schlag „Monokultur“ (2007).....	81
Tabelle 29: Ertrag der Varianten zur variablen Fungizidapplikation, „Monokultur“ (12,8 ha).....	86
Tabelle 30: Erträge der Varianten zum konstanten und variablen Wachstumsregler-/Fungizideinsatz	87
Tabelle 31: Korrelationsmatrix (ohne $r > 0,5$ bzw $< - 0,5$) für 2007 und 2008, Schlag „Am Flugplatz“	91
Tabelle 32: Korrelationen (r) zu EM38 2007	95
Tabelle 33: Korrelationen „Am Flugplatz“.....	96

1 Einleitung

1.1 Ziele

In Sachsen weisen zahlreiche landwirtschaftliche Nutzflächen starke Heterogenitäten hinsichtlich ihrer Bodengüte und folglich im Pflanzenbestand auf. Es steht die Frage, wie unter solchen Voraussetzungen Betriebsmittel im Pflanzenbau situationsangepasst eingesetzt werden können. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten wurden Verfahren der teilschlagspezifischen Düngung sowie des teilschlagspezifischen Einsatzes von Fungiziden und Wachstumsreglern untersucht. Ziele dieser an den Standort und den Pflanzenbestand angepassten Bewirtschaftung sind

- ein effizienterer Einsatz bzw. die Einsparung von Betriebsmitteln,
- das Erreichen einer höheren Ertragsleistung pro Flächeneinheit,
- die Qualitätssicherung der Ernteprodukte und
- die Gewährleistung von Umweltstandards.

Weitere wesentliche Zielkriterien sind u. a.

- die Entlastung des maschinenführenden Personals und
- die Dokumentation der Arbeitsgänge.

1.2 Begriffe

Das Konzept der an den Standort und den Pflanzenbestand angepassten Bewirtschaftung strebt die Abstimmung der Bewirtschaftungsmaßnahmen auf differenzierte Boden- und Pflanzenbestände an. Zu diesem Zweck werden Informationen vom Boden sowie den Pflanzen gewonnen und verarbeitet. Deshalb wird auch von informationsgeleiteter Landwirtschaft (vgl. WERNER 2008) gesprochen. Verwendung dafür finden verschiedenste Werkzeuge, wie z. B.

- GPS- und Koordinatensysteme,
- Bilderstellungen,
- Sensoren sowie
- Soft- und Hardware.

Im deutschsprachigen Raum hat sich in der Vergangenheit der Begriff „Precision Farming“ durchgesetzt. Dessen Übersetzung hieße „Präzisionslandwirtschaft“. Die gemeinte Präzision kann sich gegenwärtig nur auf die Genauigkeit des GPS-Signals beziehen. Die Treffsicherheit der Positionsbestimmung reicht je nach gewähltem GPS-Empfänger vom Zentimeterbereich (real time kinematic – RTK), über den Submeterbereich (DGPS) bis zum Meterbereich. Auch wenn mit Hilfe des GPS-Signals zentimetergenau gefahren werden kann, bedeutet dies nicht zwangsläufig die zentimetergenaue Platzierung von Betriebsmitteln auf dem Feld. Hier setzt die gegenwärtig am Markt verfügbare Applikationstechnik Grenzen. Es folgt ein erläuterndes Beispiel. Auch wenn bei der Feldüberfahrt mitgeführte Sensoren zentimetergenaue Messdaten über den Pflanzenbestand zur nachfolgenden Steuerung der Düngung liefern könnten, hat ein Scheiben-Düngerstreuer ein auf seine Arbeitsbreite abgestimmtes Streubild nur im Meterbereich. Innerhalb dieser Arbeitsbreite sind keine weiteren Variationen der Applikationsmenge möglich. Das bedeutet, dass mit der Anwendung von PF-Methoden nicht zwangsläufig eine zentimetergenaue Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzflächen unterstellt werden kann.

In der folgenden Abbildung werden zwei prinzipiell unterschiedliche Herangehensweisen verdeutlicht. Beim sogenannten Sensor-Ansatz, auch „online-Ansatz“, wird über Sensoren die aktuelle Situation der Pflanzenbestände erfasst. Unmittelbar darauf wird in Echtzeit die auf das Messergebnis abgestimmte Betriebsmittelapplikation umgesetzt. Beim sogenannten Kartier-Ansatz, dem „offline-Ansatz“, werden unter Nutzung von vorhandener Standort- und Bestandesinformationen Applikationskarten erstellt, deren Inhalte von Bordcomputern abgearbeitet werden. Ein weiterer Kartier-Ansatz ist die Bildung von Teilschlägen (= Managementzonen, Bewirtschaftungszonen, Potenzialzonen, ...), welche als Flächenregionalisierung homogener(er) Eigenschaften verstanden werden. Eine Kombination beider Ansätze ist möglich.

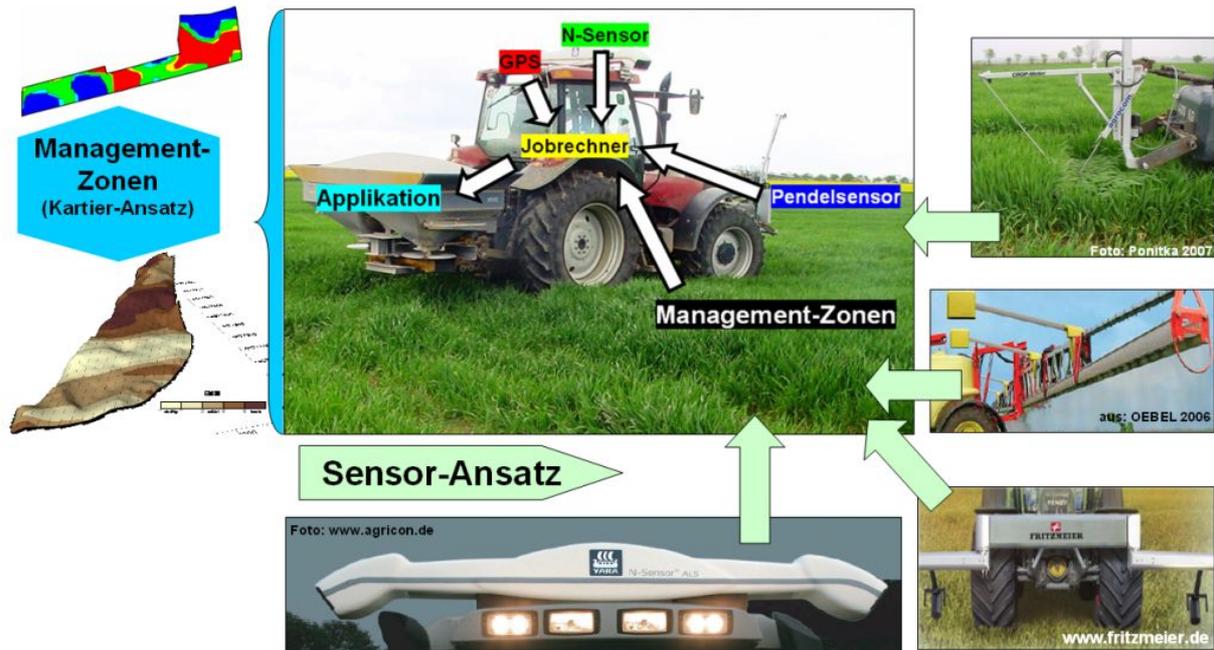


Abbildung 1: Ansätze einer an den Standort und den Pflanzenbestand angepassten Bewirtschaftung

Zur Vereinfachung der Begrifflichkeit eines Konzeptes der an den Standort und den Pflanzenbestand angepassten Bewirtschaftung wird folgend von Precision Farming (PF) gesprochen.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Das projektbezogene Untersuchungsgebiet liegt im Norden des Freistaat Sachsen (Bundesrepublik Deutschland), etwa 10 km südöstlich der Stadt Torgau und 2 km nördlich der Stadt Belgern in der Aue der Elbe bei Köllitsch (siehe Abb. 2). Die Untersuchungen wurden auf Ackerflächen des Lehr- und Versuchsgutes Köllitsch (LVG) durchgeführt. Die Grenzen der vom LVG bewirtschafteten Schläge sind umrandet dargestellt.



Abbildung 2: Lage des Untersuchungsgebietes in Sachsen und Schläge des LVG Köllitsch mit hinterlegtem Luftbild (30.5.2008)

Insgesamt werden durch das LVG 655 ha Ackerland und 270 ha Grünland bewirtschaftet. Hinsichtlich der Umsetzbarkeit von PF-Anwendungen in die landwirtschaftliche Praxis bestehen im LVG mehrjährige Erfahrungen (vgl. LfL 2006)

2.2 Heterogenität

2.2.1 Boden

Nach Bodenkzeptkarte des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (BKkonz, LfUG), siehe Abb. 3, wechseln die Bodenarten von lehmigen Sanden (z. T. über reinem Sand) über reine Lehme bis hin zu lehmigen/schluffigen Tonen.

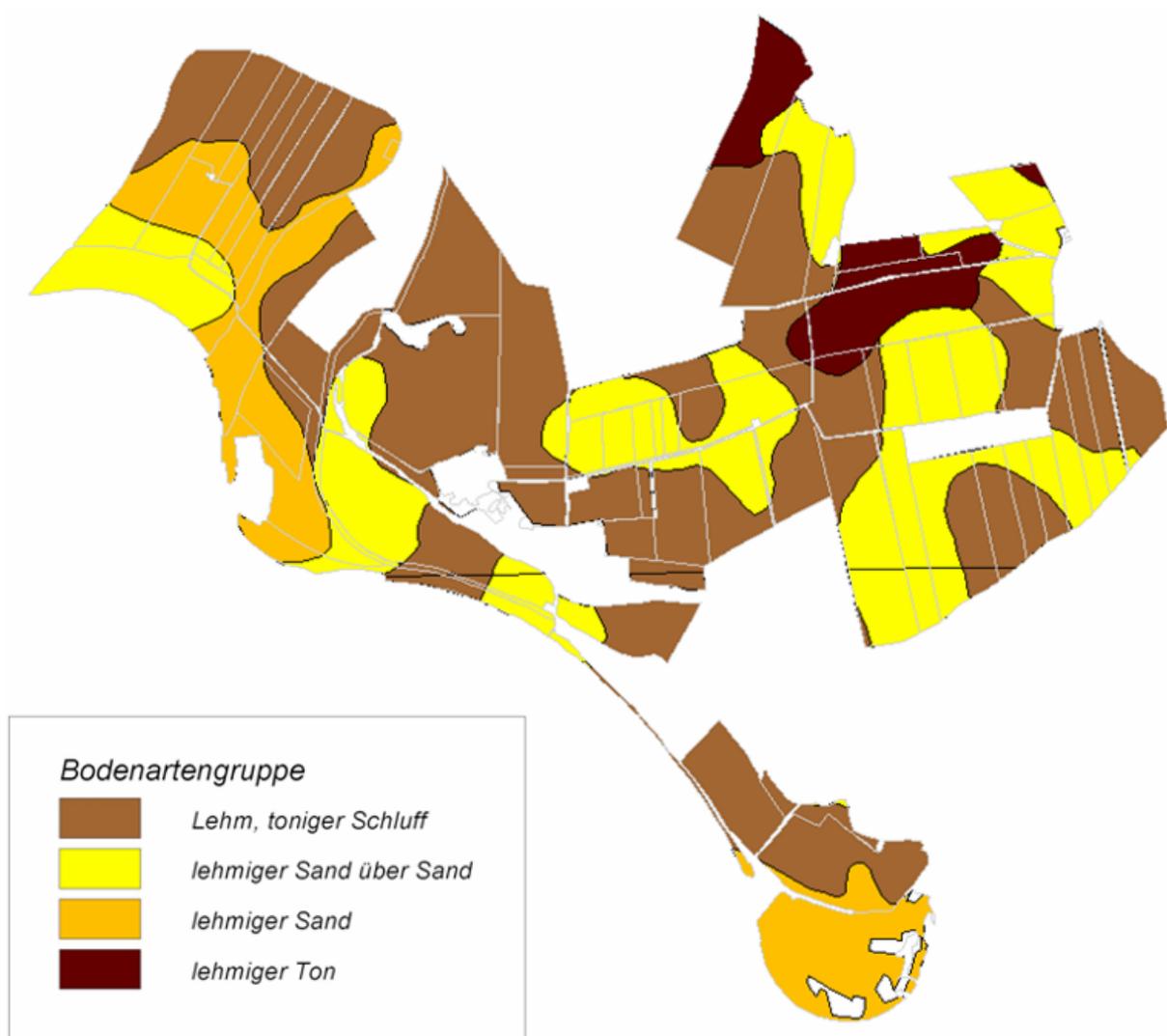


Abbildung 3: Bodenartengruppen des LVG (Bodenkonzeptkarte, Darstellung auf der Grundlage von Daten des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Dresden)

Geophysikalische Messungen

Tiefere Einblicke zur Bodenheterogenität (siehe Abb. 4) gewinnt man mit geophysikalischen Messungen (Messgeräte u. a. EM38, VERIS 3100) und nachfolgenden Kartierungen. Die geophysikalischen Messdaten liegen koordinatenbezogen (geocodiert) vor und zeigen hoch aufgelöst die auf dem Schlag vorhandenen Bodenunterschiede nach Bodenkonzeptkarte an. Die Karten können zur gezielten Probennahme, zur Bildung von pflanzenbaulich relevanten Managementzonen oder als Grundlage für die Verrechnung und Auswertung weiterer geocodierter Daten (Sensorwerte, Boden- und Pflanzenanalysen, Erträge) verwendet werden. Der Vorteil von geophysikalischen Methoden liegt im relativ geringen Kosten- und Zeitaufwand zur Erstellung einer flächenhaften Kartierung langfristiger konstanter räumlicher Strukturen eines Standortes.



a) EM38 (elektromagnetisches Messverfahren)

b) VERIS 3100 (geoelektrisches Messverfahren)

Abbildung 4: Bodenheterogenität (Geophysik) einiger PF-Schläge des LVG Köllitsch, dunkelrot = toniger, hellrot = sandiger

Die Zusammenhänge geophysikalischer und pflanzenbaulicher Messwerte werden im Kapitel zur Düngung für die jeweiligen Schläge näher dargestellt.

2.2.2 Geländemodell

Die Schläge liegen in einer Höhe von 82 m bis 89 m, wobei die Höhenunterschiede innerhalb der Schläge gering sind und bis zu 2 m betragen können. Die Auswertung verfügbarer digitaler Daten zur Geländemodellierung (DGM 20 x 20 m, Landesvermessungsamt Sachsen), dargestellt in Abbildung 5, verdeutlicht geringe Unterschiede in den Geländehöhen im Untersuchungsgebiet. Einige Reliefstrukturen, die durch natürliche Laufveränderungen der Elbe entstanden, lassen sich sowohl im Geländemodell als auch in den Bodenunterschieden wiederfinden.

Zum Beispiel wurde durch das „Steinbeis-Transferzentrum Rostock“ aus den Daten eines Luftbildfluges (30.5.2008, vgl. Abb. 6) über die Spektralbereiche des sichtbaren Lichts (Grün, Rot, Blau) der Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) berechnet:

$$\text{VARI} = \frac{\text{Grün} - \text{Rot}}{\text{Grün} + \text{Rot} - \text{Blau}}$$

Dieser korreliert linear mit der Bestandesdichte. Für die untersuchten Flächen konnten für das Jahr 2008 gute Zusammenhänge zu Sensormessungen und der Ertragshöhe ermittelt werden.



Abbildung 6: Beispiel der Heterogenität in der Biomasse am 30.5.2008, ermittelt aus Fernerkundungsdaten

Eine hohe räumliche Auflösung von Daten wird auch mit bodengebundenen Sensoren erreicht (z. B. Traktor mit aufgebautem Sensor für geocodierte Reflexionsmessungen). Die Messdaten zur jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahme (Düngung, Pflanzenschutz) werden auf Datenträgern gespeichert und stehen im Regelfall für weitere Auswertungen zur Verfügung.

2.3 Maschinenausstattung

Für die Versuchsdurchführung wurden zwei unabhängig voneinander arbeitende Sensorsysteme („online-Ansatz“) auf einem Schlepper, wie in Abbildung 7 und Tabelle 1 dargestellt, montiert. Zudem ist es über die Jobrechner oder einfache Pocket-PC-Lösungen möglich, Applikationskarten („offline-Ansatz“) abzuarbeiten.

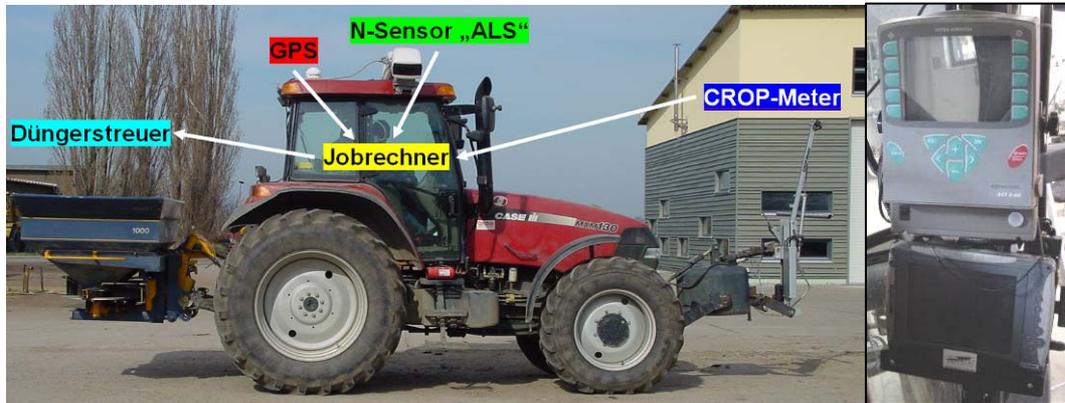


Abbildung 7: Schlepperkonfiguration für den Feldeinsatz (Düngung)

Zur „online“-Applikation sind ansteuerbare Düngestreuer und Pflanzenschutzspritzen nötig. Die Aufzeichnung der Daten ist mittels Terminal und GPS möglich und für die Dokumentation sinnvoll, jedoch für die eigentliche Applikation nicht nötig.

Tabelle 1: Ausstattung des Schleppers „CASE MXM 1-30“ für die Versuchsdurchführung

Gerät	Ausstattung	Einsatz	Ca. Preis
YARA N-Sensor ALS	aktiver Sensor, Trimble „AgGPS 332“, Windows-Terminal	N-Düngung, Wachstumsregler (Fungizide)	40.000 €
CROP-Meter	Pendelsensor, DGPS, ACT-Terminal	N-Düngung, Wachstumsregler, Fungizide	13.000 €
Pocket-PC (PDA)	GPS, Bluetooth-Schnittstelle zum Streuer-/Spritzen-Terminal, Potenzialzonen		3.000 €
Düngestreuer „Bogballe EXW“	Schleuderscheibenstreuer, Steuerterminal „CALIBRATOR 2003“	-	-
Pflanzenschutzspritze Rau	nicht ansteuerbar	-	-
Hardi Commander Delta	ISOBUS, autom. Teilbreitenschaltung, Autopilot		

Auf dem Schlepperdach wurde der YARA N-Sensor ALS montiert, ein mit aktiver eigener Lichtquelle und Spektrometern ausgestatteter Sensor zur Ableitung der N-Versorgung des Pflanzenbestandes, welche laut Hersteller durch den N-Gehalt und die Biomasse des Pflanzenbestandes beeinflusst wird. Der ermittelte Spektralindex (Biomasse-Index, BI, oder N-Sensorwert) wird nach internen Regelfunktionen in entsprechende Düngeaufwandmengen umgerechnet, die nachfolgend sofort appliziert werden können (vgl. Agri Con).

Die Haupteinsatzgebiete der YARA N-Sensoren in Deutschland (siehe Abb. 8) sind Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern.

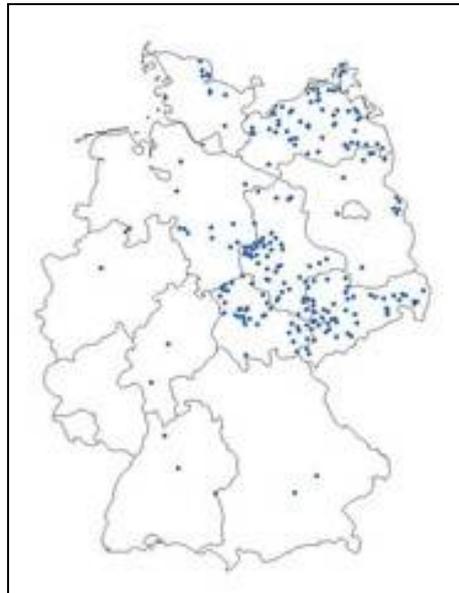
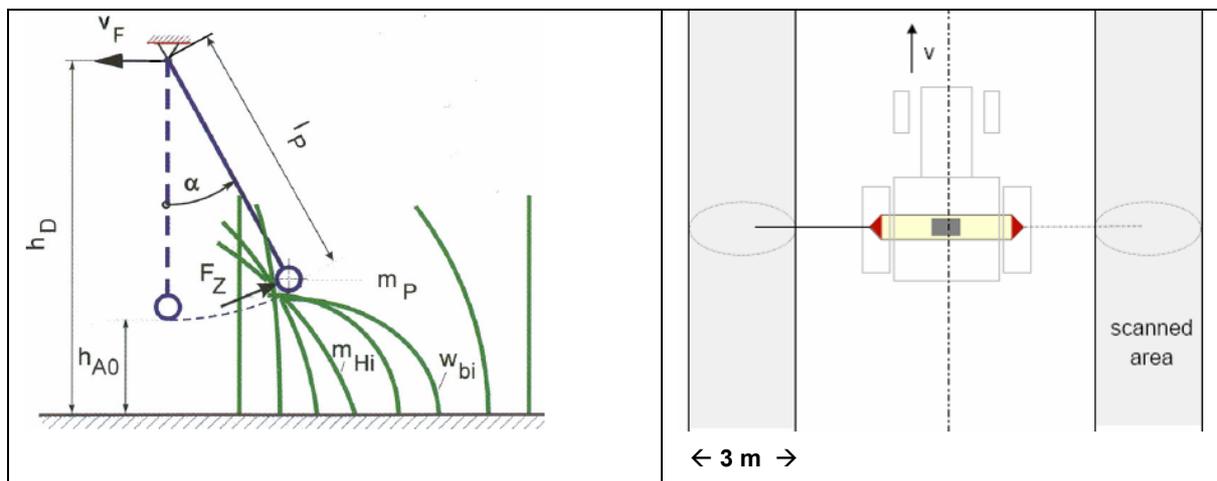


Abbildung 8: N-Sensoren in Deutschland (aus: <http://www.agricon.de/sensor-technik> , 29.9.08)

Im Frontanbau kam der Pendelsensor (CROP-Meter, Agrocom) zum Einsatz. Das mechanische Funktionsprinzip basiert auf der unterschiedlichen Auslenkung eines Pendels durch den Pflanzenbestand in der Fahrgasse (siehe Abb. 9, linke Spalte). Der Pendelwinkel wird während der Überfahrt fortlaufend gemessen und diese Information über den Widerstand der Pflanzen bzw. die Biomasse während der Überfahrt in entsprechende Aufwandmengen umgesetzt.

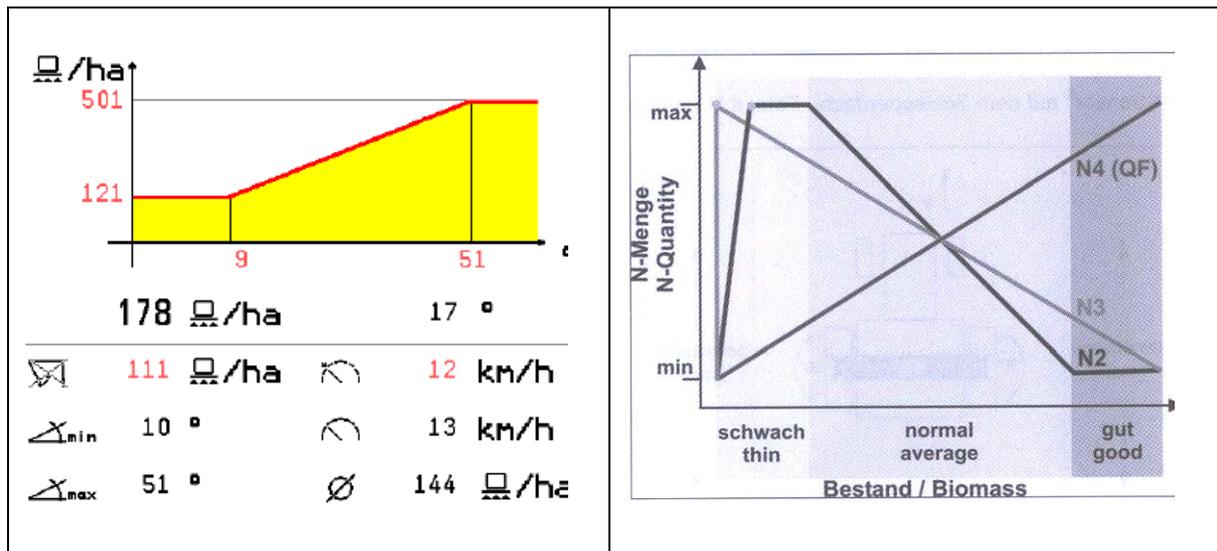


a) CROP-Meter (nach EHLERT 2004, aus HENRICHMANN 2005)

b) YARA N-Sensor ALS (LINK/REUSCH 2006)

Abbildung 9: Arbeitsprinzip der beiden Online-Sensoren

Beide Systeme müssen vor der Applikation kalibriert werden. Gerade hier hat der Landwirt entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis seiner Bewirtschaftungsmaßnahme. Es sind einige Parameter, wie Minimal- und Maximaldosierung und gewünschte Funktion (hoher Winkel/N-Sensorwert, gleich hohe oder niedrige N-Menge) einzugeben. Weiterhin ist es nötig, die Funktion bzw. die bei einer Kalibrierfahrt gemessenen Winkel oder N-Sensorwerte durch extern gewonnene Messwerte (z. B. N-Tester) anzupassen bzw. N-Düngeempfehlungen zuzuordnen. Dabei lässt sich die Regelfunktion des Pendelsensors sehr individuell gestalten. Der Kurvenverlauf der Regelfunktionen des N-Sensors ist durch Wahl des Entwicklungsstadiums einer Kultur für die jeweilige Maßnahme festgelegt (siehe Abb. 10).



a) *Einstellbildschirm des CROP-Meters*
(www.agrocom.com, 29.9.2008)

b) *Regelfunktionen des YARA N-Sensors ALS* (nach RECKLEBEN 2005, aus HENRICHMANN 2005)

Abbildung 10: Regelfunktionen der beiden „online“-Sensoren

Für den variablen Pflanzenschutz stand 2007 noch keine ansteuerbare Pflanzenschutzspritze zur Verfügung. Die Aufwandmengen wurden manuell geregelt. Im Jahr 2008 konnten die Pflanzenschutzmittelapplikationen mit einer ansteuerbaren Pflanzenschutzspritze durchgeführt werden (siehe Abb. 11, rechte Seite).



Abbildung 11: Spritzentechnik

Die Abbildung 12 dokumentiert den Feldeinsatz der beschriebenen „online“-Sensoren.



Abbildung 12: „online“-Sensoren im Feldeinsatz 2007: oben CROP-Meter (Wintergerste), unten YARA N-Sensor ALS (Winterweizen und Winterraps)

Eine Alternative zu eigenhändig erstellten Teilschlägen auf Grundlage der Ertragskartierung oder zu Sensor-Verfahren kann die als Dienstleistung (AGRO-SAT Consulting GmbH) angebotene Erstellung von Potenzialkarten (siehe Abb. 13) aus der Verrechnung mehrjähriger Satellitendaten sein. Die Kosten belaufen sich hierfür auf etwa 1,80 €/ha. Die Karten sind mehrere Jahre nutzbar und können Grundlage für die automatische Applikation von Betriebsmitteln sein. Der Landwirt muss bei jeder Maßnahme festlegen, was und wie viel in einer Potenzialzone (Teilschlag, Managementzone, ...) appliziert wird. Das Paket für die Applikation besteht aus Pocket PC ((R)PDA: (rugged) personal digital assistant), Software, erstellten Potenzialzonen und Bluetooth-Schnittstelle zum Terminal.

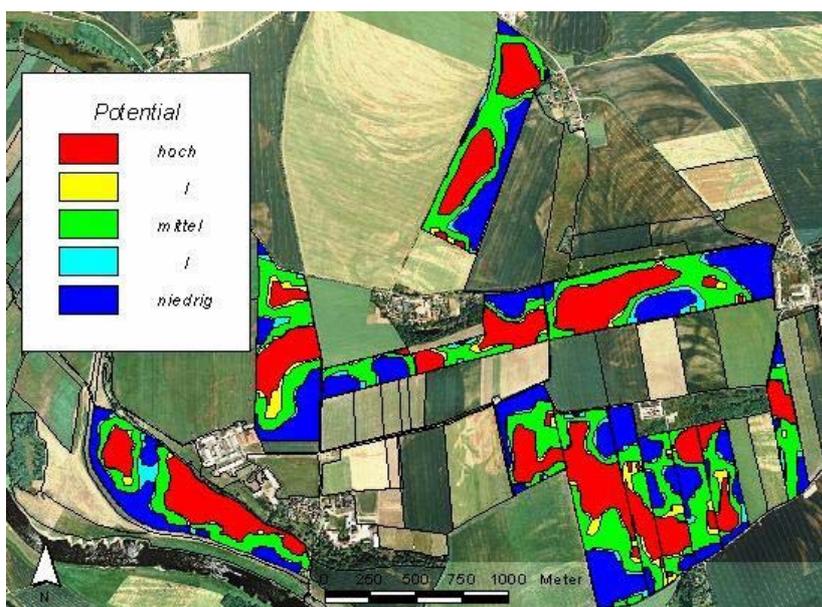


Abbildung 13: Potenzialkarte aus Verrechnung mehrjähriger Satellitendaten (2005 - 2007)

Die Druschfruchternte erfolgte mit zwei Mähdreschern (CLAAS Lexion 450; New Holland CX 820), welche mit automatischer Ertragskartierung ausgerüstet sind.

2.4 Wetter

Die Winter 2006/2007 und 2007/2008 waren relativ mild. Die Vegetationsruhe fehlte weitestgehend. Die phänologische Meldestatistik des DWD (vgl. www.agrowetter.de) dokumentierte für das erste Halbjahr 2007 ein deutlich früheres Eintreten, bis zu drei Wochen, der phänologischen Entwicklungsstadien im Vergleich zu den Vorjahren. Eine Trockenperiode prägte das Frühjahr 2007. Im April 2007 fielen keine pflanzenbaulich relevanten Regenmengen (siehe Abb. 14). Mitte Mai begann 2007 ein feuchterer Witterungsabschnitt.

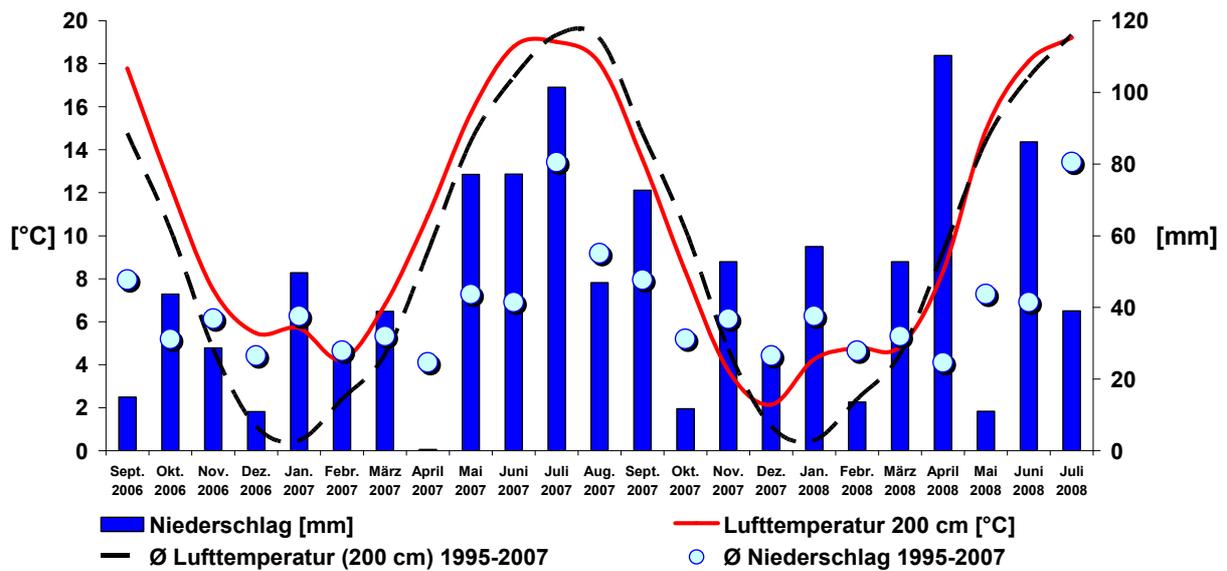


Abbildung 14: Niederschlag und Temperatur im Untersuchungszeitraum 9/2006 - 7/2008 in Köllitsch

Das Fehlen von Niederschlägen im April 2007 wirkte sich stark auf die Entwicklung der Bodenwassergehalte aus. Die Abbildung 15 dokumentiert das Sinken der Bodenfeuchtwerte für den Zeitraum 19.4.2007 - 19.6.2007.

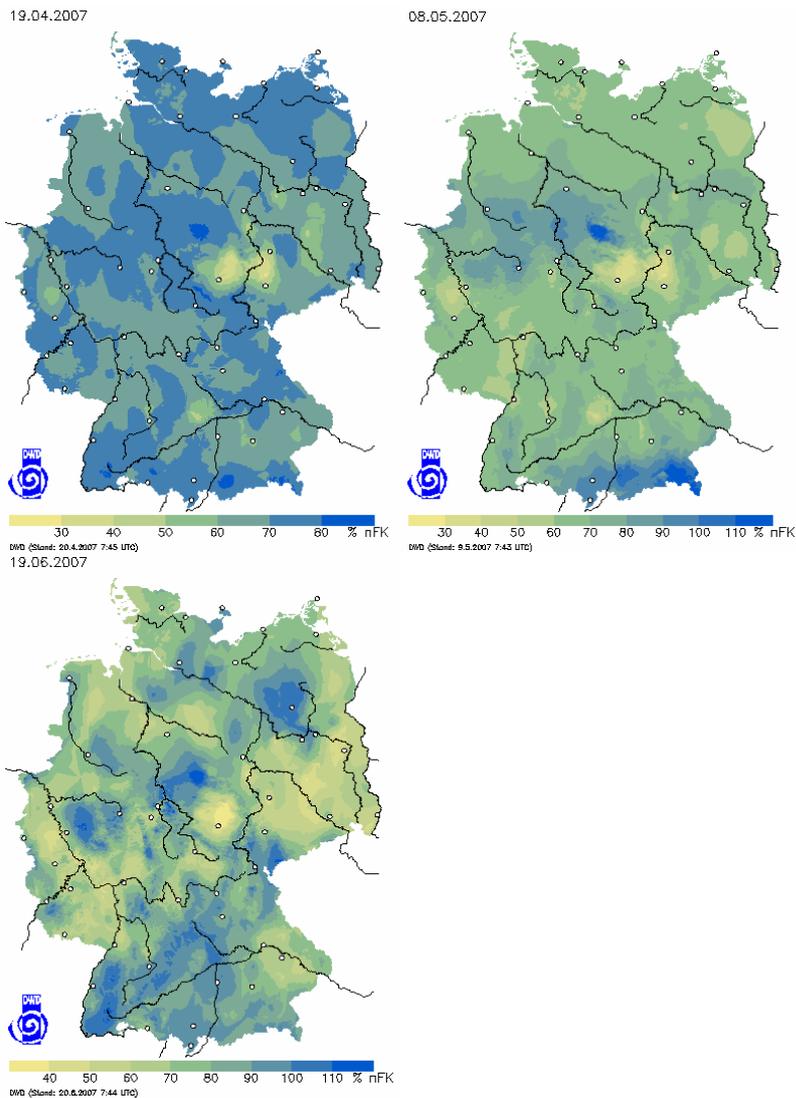


Abbildung 15: Bodenfeuchteentwicklung 2007 (DWD aus www.agrowetter.de)

Nach einem sehr feuchten April im Jahr 2008 mit mehr als 110 mm Niederschlag fielen im Mai 2008 weniger als 10 mm Niederschlag. Das Ertragsniveau bei den Winterungen lag witterungsbedingt trotz Lager in den ertragreichen Beständen in 2008 höher als im von Trockenstress bestimmten Vorjahr 2007.

2.5 Versuchsdurchführung

2.5.1 Anlage der Versuche

Die im Rahmen dieser Arbeit realisierten Versuchsanstellungen entsprechen nicht Versuchsanstellungen des klassischen Freilandfeldversuchswesens wie z. B. aus den Sortenwertprüfungen bekannt. Zur Anlage kamen fahrspur- und schlaglängengebundene auf die Arbeitsbreite der mitgeführten Applikationstechnik abgestimmte Teilstücke. Hierbei sind treffgenaue und präzise Schätzungen der Effekte geprüfter Varianten beeinträchtigt, da keine randomisierten Wiederholungen vorliegen. Es wird nicht ausgeschlossen, dass lokale abiotische und/oder biotische Störgrößen die Ergebnisse beeinflusst haben könnten. Eine Auswertung nach biometrischen Verfahren des Feldversuchswesens empfiehlt sich deshalb nicht. Die Anlagemethode entspricht mehr Praxisversuchen wie z. B. zur vergleichenden Demonstration technischer Verfahren.

Die Abbildungen 16 und 17 dokumentieren für die Jahre 2007 und 2008 den jährlich für die Themenbearbeitung in Anspruch genommenen Flächenumfang.

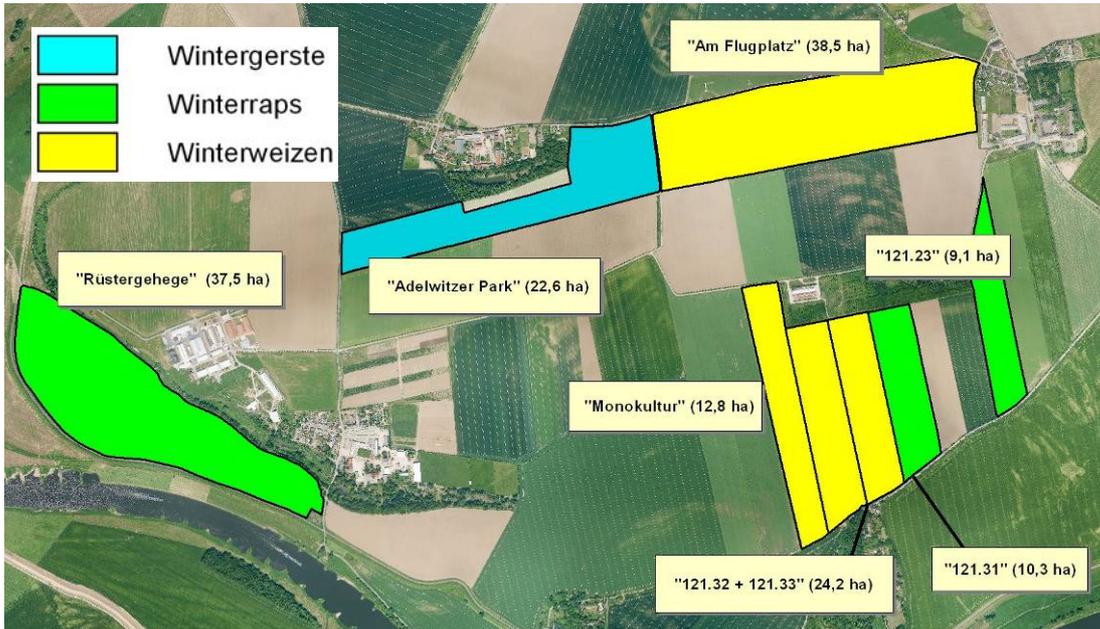


Abbildung 16: Testflächen 2007

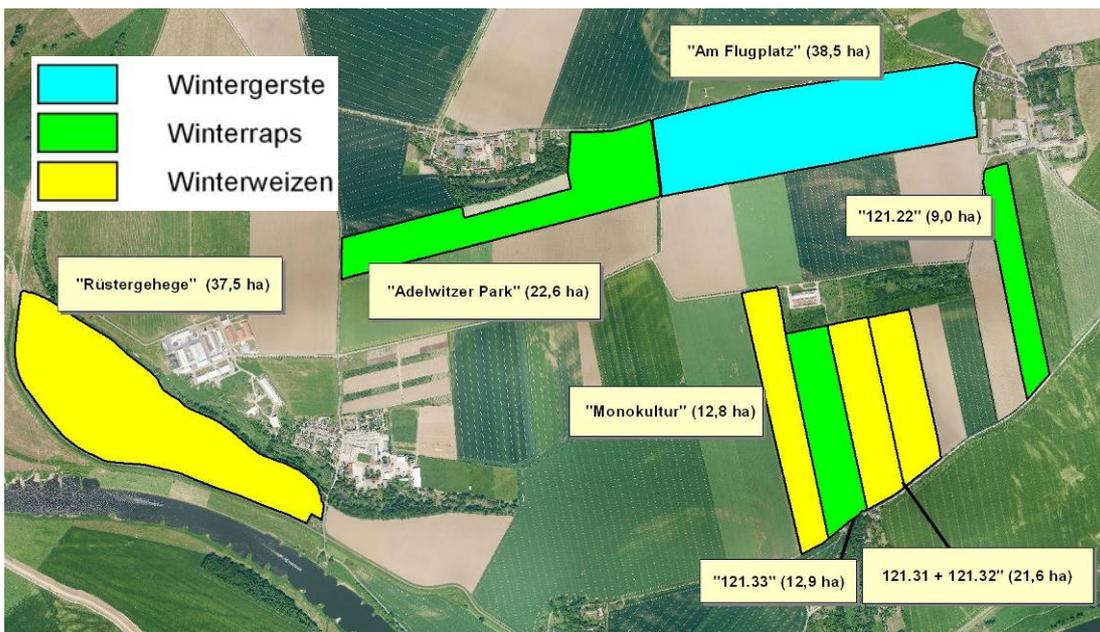


Abbildung 17: Testflächen 2008

2.5.2 Datenerhebung

Mit dem bereits vorhandenen Wissen über die Flächen wurden die Probenahmepunkte (siehe Abb. 18) so verteilt, dass ein möglichst breites Spektrum der zu erwartenden Messwertvariabilität abgedeckt wird.



Abbildung 18: Probenahmepunkte 2007 und 2008, (Luftbild vom 30.5.2008)

Gegenstand der Untersuchungen bzw. Messungen waren:

- | | |
|----------|---|
| Boden: | pH-Wert, P-, K und Mg-Gehalt, N_{min} , S_{min} , Wassergehalt, |
| Pflanze: | Wuchshöhe, N-Testerwerte, Feuchte, N-, P- und K-Gehalt |
| Korn: | Feuchte, N-, P- und K-Gehalt, Qualitätsmerkmale |

2.5.3 Datenaufbereitung und Statistik

Ein Problem für PF ist, dass keine einheitlichen Standards für die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung und -auswertung vorliegen. In Abbildung 19 wird ein Ablaufschema für die Aufbereitung und Auswertung der angefallenen landwirtschaftlichen Geodaten vorgestellt. Aus dem Ablaufschema wird ersichtlich, dass nicht auf programmierte Datenauswertungsroutinen zurückgegriffen wurde, sondern sowohl die Datenbankerstellung als auch die Anwendung von Verfahren des Programms „ArcView GIS 3.2“ in eigener Verantwortung erfolgte. Das Datenmaterial ist unterschiedlicher Herkunft, Qualität und räumlicher Auflösung. Zum Beispiel ist die Anzahl geocodierter Sensormesswerte entschieden höher als die praktisch realisierbare Anzahl georeferenzierter Bodenuntersuchungen. Diese unterschiedlichen Datenmengen erhalten durch Interpolationsverfahren den gleichen räumlichen Bezug. Hierbei gibt es für verschiedene Arbeitsschritte, je nach Datensatz oder verwendeter Software, mehrere Optionen (Ausreißerproblematik, Rastergröße, Klassifizierung). Nach der Interpolation wurden die Daten miteinander verknüpft und ausgewertet.

Als praktisch vorteilhafte Möglichkeit erwies sich die Zuordnung von Daten an ein Fahrgassen orientiertes 27-Meter Raster (siehe Abb. 20). In der Mehrzahl der Fälle lehnt sich die Mitte des jeweiligen Rasters dabei an das praktisch vorhandene Fahrgassensystem auf dem Schlag an.



Abbildung 20: Schema eines 27-Meter-Rasters („squares“) für die Datenauswertung

In Abhängigkeit von der Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung erhält man unterschiedliche Ergebnisse. Als visualisiertes Beispiel für den Arbeitsschritt der Interpolation sind in Abbildung 21 die Ergebnisse verschiedener Rastergrößen bei der Ertragsinterpolation dargestellt.

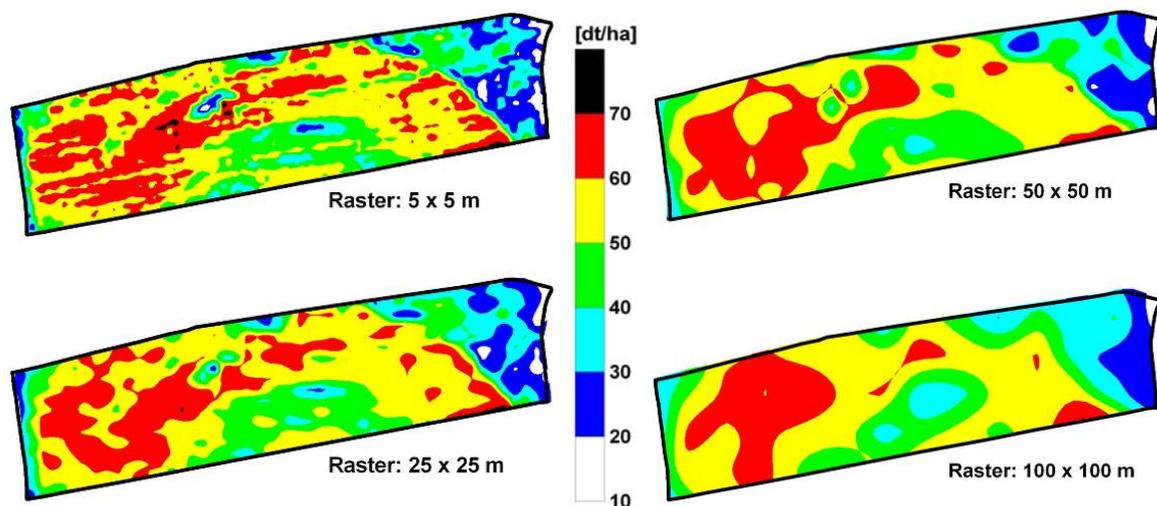


Abbildung 21: Einfluss der Rastergröße bei der Interpolation (Ertrag Winterweizen 2007)

Die räumlich höher aufgelösten Datensätze (Sensoren, Erträge) wurden mittels Interpolation je nach Fragestellung auf unterschiedliche Rastergrößen (9 x 9 m bzw. 27 x 27 m) interpoliert.

Für die Vergleiche der verschiedenen PF-Varianten und die Beschreibung von flächenbezogenen Heterogenitäten wurden statistische Standardverfahren (Mittelwerte, Standardabweichung, Korrelationen, Regression, ...) verwendet. Es gibt jedoch Prüfmerkmale (z. B. N_{\min} , Korntrug) mit einer sehr hohen Variabilität. Hier bieten Grenzdifferenzen von 10 % oder 15 % noch eine gewisse Aussagekraft. Dies ist insofern zu rechtfertigen, da aus einem Einzelversuch kaum Entscheidungen über die Eignung neuer Mittel und Verfahren für die praktische Landwirtschaft getroffen werden. (vgl. THOMAS 2006, S. 61 ff).

3 Ergebnisse

3.1 Teilschlagspezifische Grunddüngung

Die Bodenbeprobung auf die Grundnährstoffe erfolgte 2003 und 2006 ($n = 136$ bzw. $n = 97$) für den Schlag „121.3“. Eine Kalkung oder Phosphordüngung erwies sich aufgrund der Bodenuntersuchungsergebnisse als nicht erforderlich. 2006 wurde aber gegenüber 2003 ein „Abrutschen“ von Flächenanteilen mit Kaliumgehaltklasse C in die Gehaltsklasse B und von der Gehaltsklasse D nach C festgestellt. Das Ergebnis der Interpolationen der Bodenuntersuchungswerte für Kalium ist in der Abbildung 22 dargestellt.

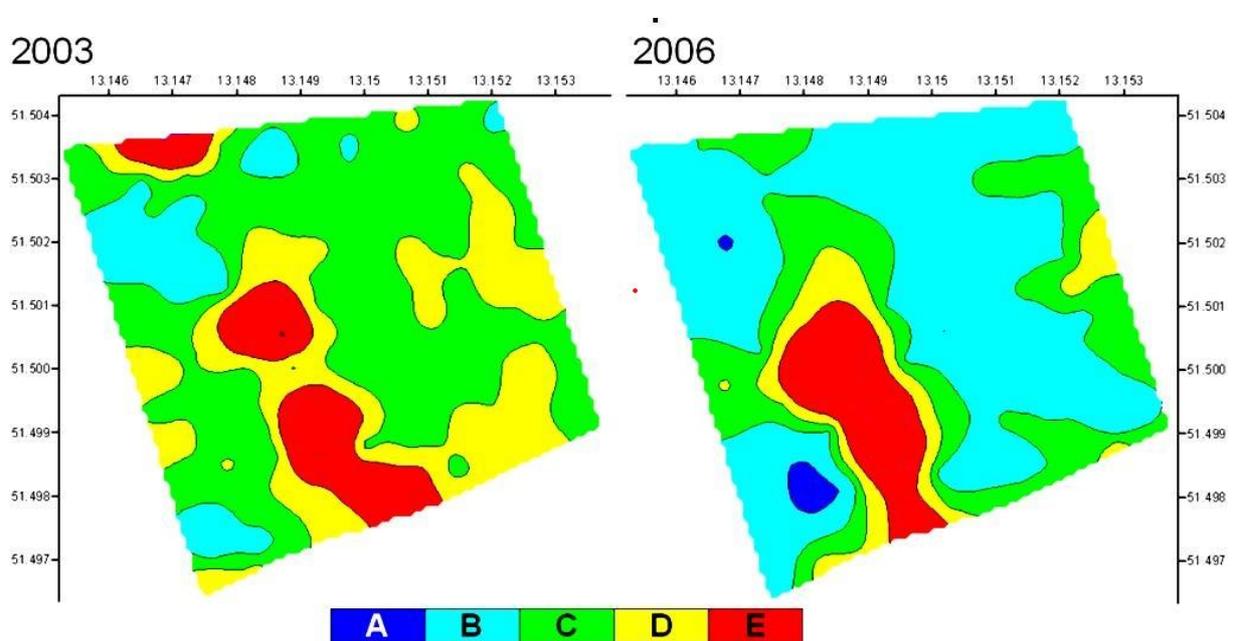
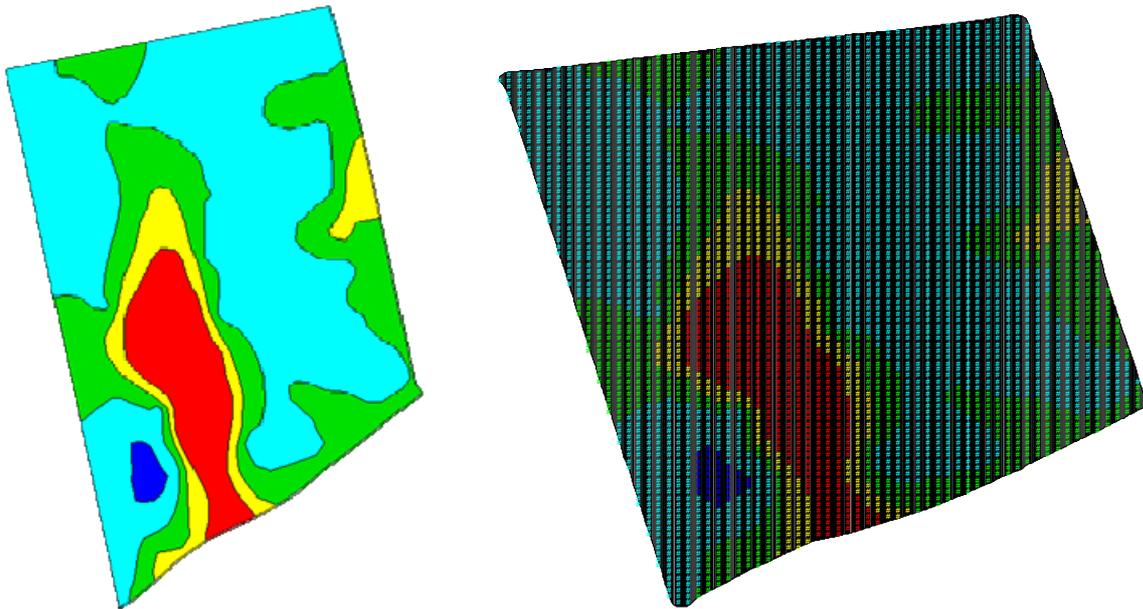


Abbildung 22: Karte des Kaliumgehaltes (2003 und 2006) nach Gehaltsklassen (A bis E), Schlag 121.3 (WGS84)

Aus pflanzenbaulicher Sicht ist die Gehaltsklasse C anzustreben. Um den Kaliumgehalt der zu hoch versorgten Schlagteile zu minimieren und gleichzeitig die schlechter versorgten Teilflächen aufzudüngen, wurden für die Kaliumdüngung der Teilschlagspezifisch gerecht werdende Applikationskarten erstellt (siehe Abb. 23). Im Rahmen einer Vorratsdüngung wurde für die Teilflächen mit der Kaliumgehaltssklasse C eine Aufwandmenge von 70 kg K/ha, für B 120 kg K/ha und für A 170 kg K/ha berechnet. In die Berechnung flossen die zu erwartende Kaliumabfuhr vom Feld durch die Ernteprodukte und die Kaliumzufuhr durch die geplante organische Düngung ein. Die Flächenanteile mit der Gehaltsklasse D und höher werden bei der Kaliumdüngung gespart. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten der teilschlagspezifischen Düngung von Grundnährstoffen:

- die Erstellung einer Applikationskarte für einen PDA mit integriertem GPS (Möglichkeit der Datenübertragung von Steuerbefehlen an den Düngerstreuer zur automatischen Variierung der Ausbringungsmenge bzw. manuelle Steuerung der Aufwandmenge) oder
- die Erstellung einer Applikationskarte für das Terminal (Windows / WTK) des YARA N-Sensors mit automatischer Regelung der Aufwandmenge über Bordrechner und GPS.

In diesem Fall erfolgte die Kaliumdüngung am 27.7.2007 auf die Stoppel. Zur Anwendung kam die Applikationskarte des PDA, wie aus Abbildung 23 a ersichtlich, mit der automatischen Steuerung der Aufwandmenge mittels Bluetooth.



a) Zonenkarte für PDA-Variante (Gauß-Krüger) b) Punktraster für Windows-Terminal (WGS84)

Abbildung 23: Applikationskarten für K, Schlag 121.3 (2007)

Für die jeweiligen Flächenanteile erfolgte die Verteilung der Kaliummengen wie folgt:

- | | | | |
|---|---------|------------------|---------------------|
| ▪ | 6,3 ha | keine K-Düngung, | Gehaltsklasse > C, |
| ▪ | 8,9 ha | 70 kg K/ha, | Gehaltsklasse C |
| ▪ | 19,1 ha | 120 kg K/ha, | Gehaltsklasse B und |
| ▪ | 0,4 ha | 170 kg K/ha, | Gehaltsklasse A. |

Im Ergebnis wurden insgesamt nur rund drei Tonnen Kalium gedüngt. Ohne Berücksichtigung von Teilflächen und einer angenommenen schlageinheitlichen Düngung von 120 kg K/ha wären rund vier Tonnen Kalium (exakt 4.164 kg K) erforderlich gewesen. Bei einer angenommenen konstanten Düngung von 70 kg K/ha hätten ca. 0,5 t K eingespart werden können, jedoch wären Teile des Schlages zu hoch bzw. zu niedrig versorgt worden.

3.2 Nährstoffbilanzierung

Für den Schlag „Am Flugplatz“ (38,5 ha) wurde für 2007 eine einfache N-Bilanz aus mittlerer mineralischer N-Düngung (\varnothing 170 kg N/ha) minus Entzug (Korn + Stroh) erstellt. In Abbildung 24 ist die Ertragskarte der N-Bilanzkarte gegenübergestellt.

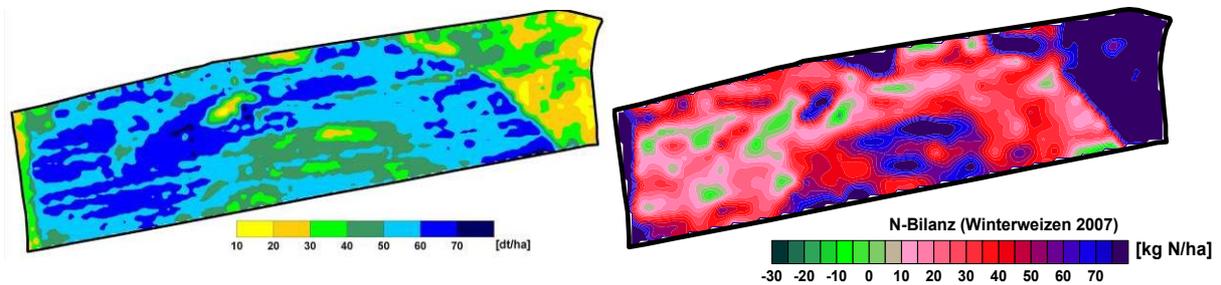


Abbildung 24: Ertrag Winterweizen [dt/ha] und N-Bilanz 2007, Schlag „Am Flugplatz“

Durch die lang anhaltende Trockenheit konnte der Bestand den Dünger auf großen Schlaganteilen nicht aufnehmen. Gerade die sandigen Teilflächen haben einen N-Überschuss von über 70 kg N/ha. Zu beachten ist, dass die N-Düngung auf 2/3 des Schlages teilflächenspezifisch erfolgte. Die Stickstoffdüngung hatte aber im Jahr 2007 aufgrund des Witterungsverlaufs einen relativ geringen Einfluss auf die Ertragsbildung. In den teilflächenspezifischen Varianten konnte durch die Reduzierung der N-Menge zur 2. und 3. N-Gabe in den sandigeren Schlagteilen der N-Überschuss um etwa 10 - 20 kg N/ha reduziert werden.

Ergebnisse der Ertragskartierung von Druschfrüchten können für die Berechnung der P- und K-Nährstoffabfuhr herangezogen werden, im folgend dargestellten Fall für die Jahre 2003 bis 2007. Die Fruchtfolgeglieder des hier beispielgebenden Schlages „Am Flugplatz“ waren in diesem Zeitraum Winterraps und Wintergetreidearten. Zur Vereinfachung der Berechnungen wurde, trotz anzunehmender Differenzierungen, mit gleichen Nährstoffgehalten der Ernteprodukte (nach LfL Düngebroschüre 2007) gerechnet. Deutlich wird die etwa um den Faktor 5 differierende Abfuhr an Nährstoffen mit den Ernteprodukten zwischen sandigen (blau) und lehmig/tonigen Schlagteilen (gelb bis rot) (s. Abbildung 25).

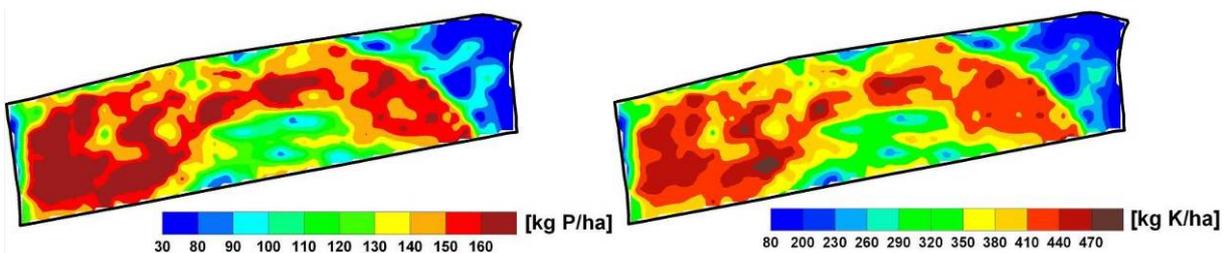


Abbildung 25: Akkumulierte Phosphor- und Kalium-Abfuhr, Schlag „Am Flugplatz“ (2003 - 2007)

Bei schlageinheitlicher Grundnährstoffdüngung oder organischer Düngung wäre zu erwarten, dass die Nährstoffgehalte im Boden entsprechend variieren. Die nach der Druschfruchternte 2008 durchgeführte Bodenbeprobung mit nachfolgender Bodenuntersuchung ergab für P und K folgendes Bild (siehe Abb. 26).

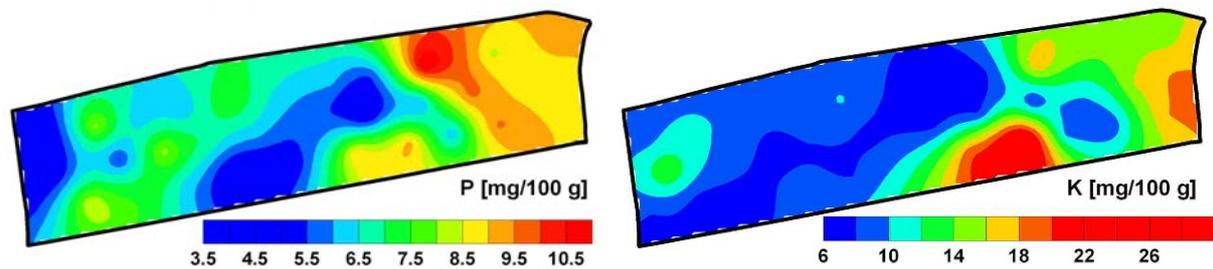


Abbildung 26: Gehalte an P und K, Schlag „Am Flugplatz“ (7/2008)

Wie aus Abbildung 26 ersichtlich, zeigte der sandige rechte Schlagteil hohe P- und K-Nährstoffgehalte im Boden. Die Hauptursache ist der fast alljährlich zu beobachtende rapide Rückgang der Bodenfeuchte ab Mai. Die Pflanzen neigen auf diesem Schlagteil zur Frühreife und können das Nährstoffangebot sowie ihr Ertragspotenzial nicht ausschöpfen. Folglich kommt es bei langjährig schlageinheitlicher organischer Düngung (möglicherweise ergänzt durch eine schlageinheitliche Grunddüngung, was hier nicht der Fall war) zu Nährstoffakkumulationen. Im Jahr 2008 korrelieren P mit $r^2 = 0,08$ und K mit $r^2 = 0,42$ zum Winterweizenertrag. Im Vorjahr wurden keine Beziehungen, aufgrund der Witterungsbesonderheiten, festgestellt.

Eine weitere Chance, den Kaliumgehalt im Boden hoch aufgelöst zu bestimmen, ist die Kartierung mittels Gamma-Spektrometer. Die Abbildung 27, linke Seite, zeigt das Messergebnis vom November 2007. Gegenwärtig ist die Diskussion zur Interpretation der absoluten Messwerte in Fachkreisen noch nicht abgeschlossen, die Muster sind jedoch im Vergleich zum Ergebnis der Bodenbeprobung sehr ähnlich.

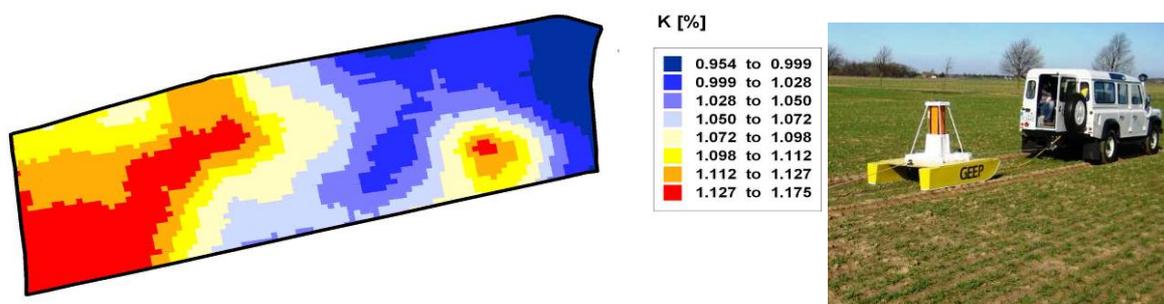


Abbildung 27: Kaliumgehalt [%] als Ergebnis einer Gamma-Spektrometermessung durch das UfZ Halle-Leipzig und verwendetes Gamma-Spektrometer, Schlag „Am Flugplatz“ (11/2007)

3.3 N-Düngung 2007

Bei Winterraps, Winterweizen und Wintergerste wurde im Rahmen der Stickstoffdüngung der „online“-Ansatz im Vergleich zur konstanten Düngung getestet (siehe Abb. 28).

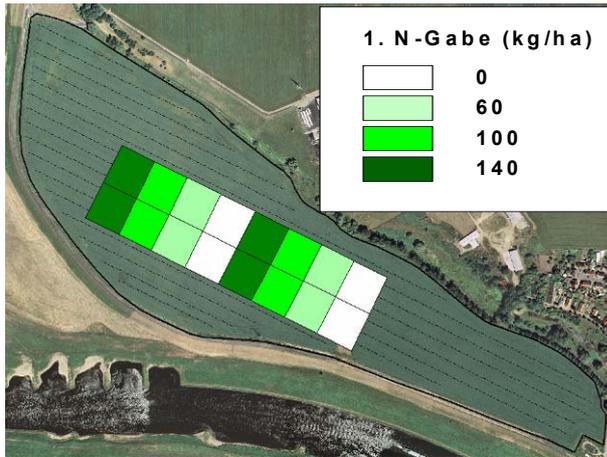


Abbildung 28: Übersicht der Tests in verschiedenen Fruchtarten

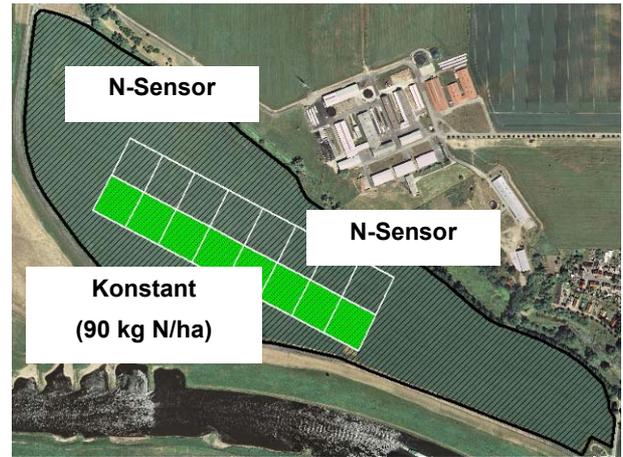
3.3.1 Winterraps

3.3.1.1 Versuchsdurchführung 1. und 2. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“

Auf dem Schlag „Rüstergehege“ (38,3 ha) wurde im Frühjahr 2007 der Winterraps, Sorte „Express“, im Rahmen der ersten N-Gabe gezielt unterschiedlich gedüngt, um zur zweiten Stickstoffgabe die Reaktion des YARA N-Sensors ALS auf unterschiedliche Stickstoffernährungszustände der Rapspflanzen festzustellen. Die Heterogenität des Schlages berücksichtigend wurden zum Zeitpunkt der ersten N-Gabe innerhalb des Schlages vier N-Stufen (0, 60, 100, 140 kg N/ha) mit je zwei Wiederholungen angelegt (siehe Abb. 29 a). Die Breite des Versuches betrug sechs Fahrspuren (6 x 27 m = 162 m), die Länge etwa 600 m (zwei Wiederholungen x 4 N-Stufen x 75 m Länge des Teilstücks). Die übrige Fläche wurde zur ersten N-Gabe mit 70 kg N/ha konstant gedüngt. Die zweite N-Gabe erfolgte teilschlagspezifisch mit dem YARA N-Sensor ALS. Ausgenommen davon wurden die südlichen drei Fahrspuren der Versuchspartikeln, die konstant mit 90 kg N/ha gedüngt wurden. Die Höhe der N-Düngung variierte auf dem Schlag somit zwischen 80 kg N/ha und 240 kg N/ha (siehe Abb. 29 b).



a) 1. N-Gabe (0, 60, 100, 140 kg N/ha)



b) 2. N-Gabe

Abbildung 29: Versuchsanlage für die N-Düngung zu Winterraps, Schlag „Rüstergehege“ (2007)

Die N-Sensorwerte vom Herbst 2006 (siehe Abb. 30 a) und zur Messung im März 2007 (siehe Abb. 30 b) korrelieren gut mit den Werten des EM38. Die erste N-Gabe wurde nun in vier Stufen appliziert. Die Sensorwerte zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe im Jahr 2007 (siehe Abb. 30 c) hatten einen engen Zusammenhang zur Höhe der ersten N-Gabe. Der YARA N-Sensor ALS erkannte die unterschiedliche Bestandessituation. Gerade die Stellen ohne erste N-Gabe ließen sich durch niedrige N-Sensorwerte erkennen. Die Funktion des Sensors reagierte darauf mit Erhöhung der Düngermenge von im Durchschnitt 80 kg N/ha auf 110 kg N/ha (siehe Abb. 30 d). Die zwei Wiederholungen auf sandigem und lehmigerem Boden zeigten im Trend höhere N-Sensorwerte als auf besserem Boden. Bei den N-Sensorwerten und N-Mengen war eine recht hohe Streuung der Werte in den Parzellen zu erkennen.

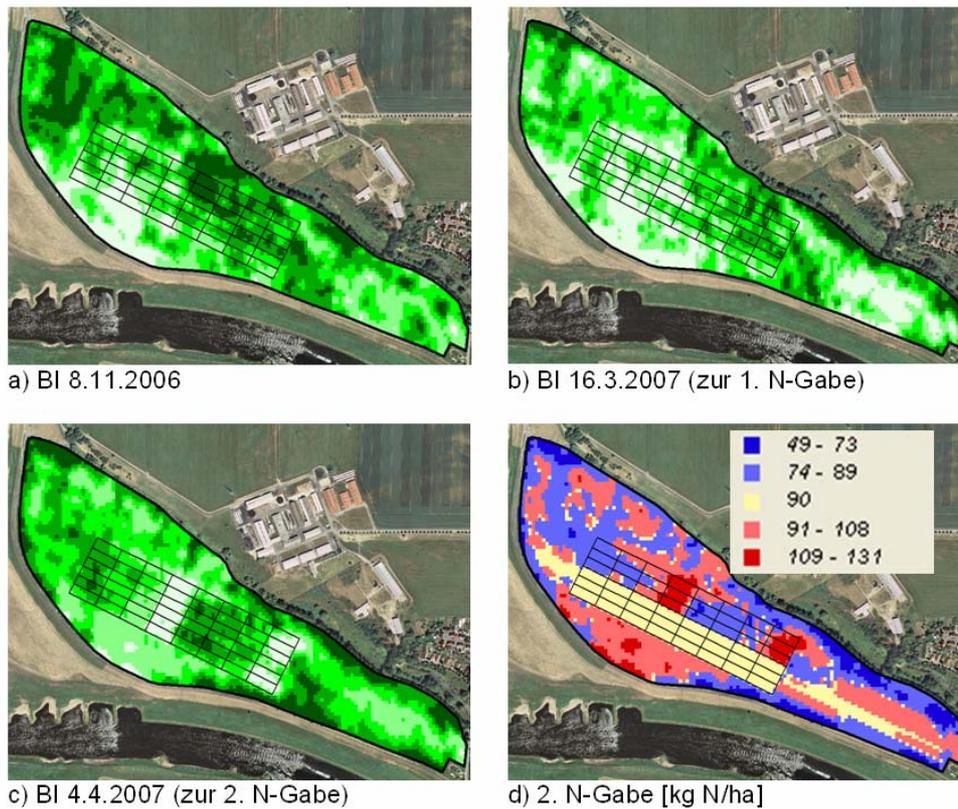


Abbildung 30: N-Sensormessungen (BI) und 2. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“ (2006 - 2007)

Der Zustand des Winterrapsbestandes erhielt sich über den Winter. Deshalb korrelieren die BI-Messungen im Spätherbst 2006 mit denen der ersten BI-Messung im Frühjahr 2007. Auffällig ist die enge Korrelation der EM38-Messwerte zur BI-Messung im November 2006 und im März 2007 (siehe Tab. 2). Diese Beziehung gründet auf dem Bodenwassergehalt. Der Rapsenertrag stand mit der ersten N-Gabe in enger Beziehung. Die zweite N-Gabe hatte 2007 keinen Einfluss auf den Rapsenertrag, auch wenn der gemessene BI-Wert zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe eine enge Beziehung zum Ertrag aufwies.

Tabelle 2: Korrelationsmatrix (Mittelwerte der Parzellen) zu Winterraps, Schlag „Rüstergehege“ (2007)

r (n = 49)	BI 16.3.2007	BI 4.4.2007	Ertrag	EM38	1. N-Gabe 16.3.2007	2. N-Gabe 4.4.2007	1.+2. N-Gabe
BI 8.11.2006	0,82	0,24	0,52	0,69	0,02	-0,13	-0,01
BI 16.3.2007		0,32	0,48	0,79	-0,03	-0,19	-0,07
BI 4.4.2007			0,75	0,11	0,88	-0,73	0,83
Ertrag				0,42	0,67	-0,50	0,64
EM38					-0,11	0,00	-0,13
1. N-Gabe						-0,62	0,99
2. N-Gabe							-0,49

Die erzielten Erträge von im Schnitt 21,4 dt/ha, mit einer Schwankungsbreite von 10 dt/ha bis 35 dt/ha, lassen sich durch die Witterungsverhältnisse im Jahr 2007 erklären. Mit der variablen Stickstoffdüngung per N-Sensor wurden 23,1 dt/ha erzielt, gefolgt von der „konstant-Sensor“-Variante mit 21,4 dt/ha und der konstanten N-Düngungsvariante mit 20,7 dt/ha (siehe Abb. 31). Durch das niedrige Ertragsniveau und die hohe Streuung können für dieses Jahr keine sicheren Aussagen getroffen werden.

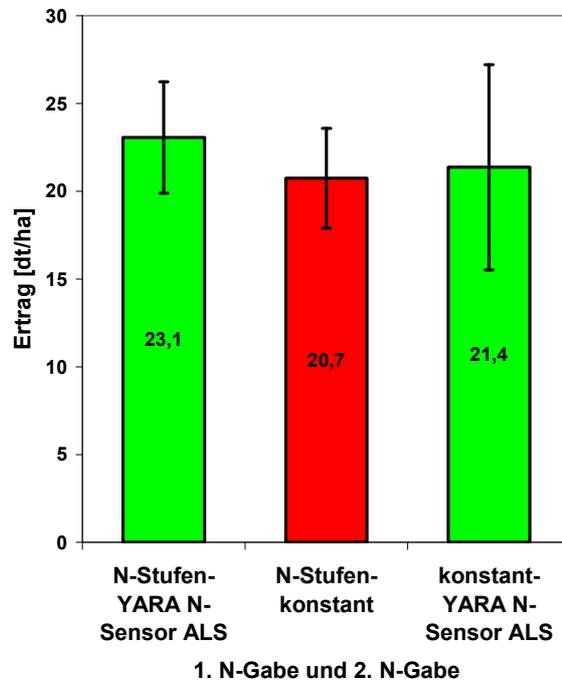


Abbildung 31: Winterrapsenerträge in Abhängigkeit von der N-Düngungsvariante, Schlag „Rüstergehege“ (2007)

Geringe Ertragsvorteile wiesen alle mit N-Sensor gedüngten Varianten, unabhängig vom Niveau der ersten N-Gabe auf (siehe Abb. 32).

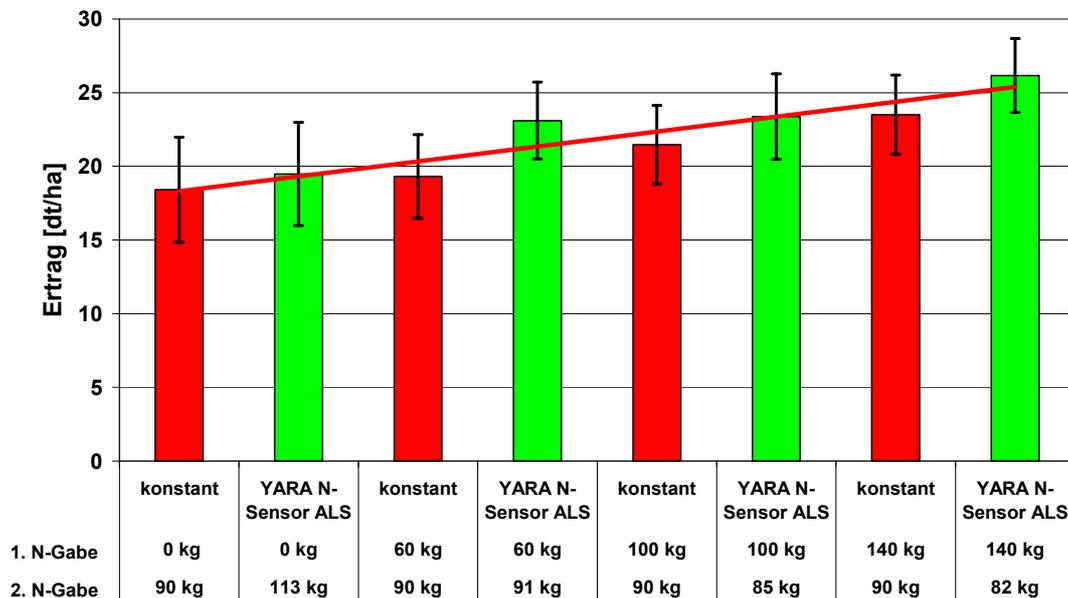


Abbildung 32: Winterrapsenerträge in Abhängigkeit von der N-Düngungsvariante und dem N-Düngungsniveau, Schlag „Rüstergehege“ (2007)

Eine vergleichbare Beziehung wurde auch hinsichtlich der Bodenart festgestellt. Auch hier fielen die Erträge der mit N-Sensor gedüngten Varianten tendenziell höher im Vergleich zur konstanten Düngung aus.

Der Rest des Schlages (erste N-Gabe 70 kg N/ha, konstant) zeigte eine nur geringe Abhängigkeit des Ertrages von der gedüngten N-Menge ($r^2 = 0,21$, N-Düngung 119 – 192 kg/ha, $\mu = 158$, $s = 11$).

Prägnante Unterschiede zwischen konstanter und variabler N-Düngung hinsichtlich der Ausprägung von Inhaltsstoffen des Erntegutes bestanden 2007 auf diesem Schlag nicht (siehe Tab. 3).

Tabelle 3: N-Düngung, Winterrapsenertrag und Inhaltsstoffe, Schlag „Rüstergehege“ (2007)

Variante	EM38	N-Düngung	Ertrag	Inhaltsstoffe							
				TS	N	P	K	Mg	S	Roh-fett	
				[% i. d. TS]							
konstant	μ	13,4	165,0	19,4	94,2	4,17	0,92	1,09	0,36	0,44	42,9
n = 8	s	5,9	55,3	4,2	0,1	0,10	0,03	0,08	0,01	0,03	0,6
variabel	μ	15,8	165,4	23,3	94,3	4,19	0,93	0,99	0,35	0,44	42,9
n = 8	s	6,9	39,0	4,3	0,1	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,4

3.3.1.2 Versuchsdurchführung 2. N-Gabe, Schlag „121.23“

Auf einem zweiten Schlag (ca. 9,1 ha), mit auf fünf Fahrspuren begrenzter Breite, wurde 2007 die konstante N-Düngung zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe gegenüber der variablen N-Düngung mit dem YARA N-Sensor getestet. Die erste N-Gabe zur Sorte „Smart“ erfolgte mit 80 kg N/ha konstant über die gesamte Fläche. Zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe erhielt der linke Schlagteil, mit zwei Fahrspuren, eine Stickstoffgabe von 90 kg N/ha. Der rechte Schlagteil, mit drei Fahrspuren, wurde variabel gedüngt (siehe Abb. 33).

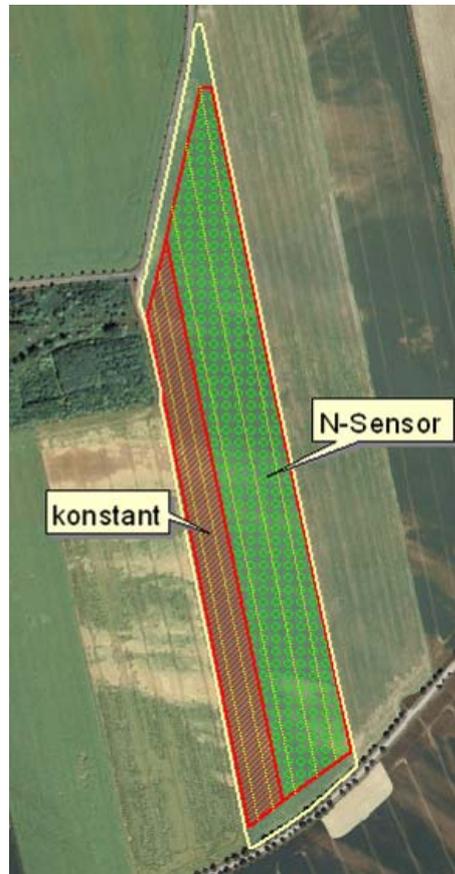


Abbildung 33: N-Düngungsvarianten zum Zeitpunkt der zweiten N-Gabe zu Winterraps, Schlag „121.23“ (2007)

Der etwas höher gelegene, spitz zulaufende Schlagkopf ist mehr durch schweren Boden gekennzeichnet. Der restliche, etwas tiefer gelegene Schlagteil führt leichtere Bodenarten, wie aus den Abbildungen 4 und 34 anhand der EM38-Messwerte ersichtlich. Der Höhenunterschied auf dem Schlag beträgt ca. 2 m.

Mit Ausnahme der Werte für die verabreichte Stickstoffdüngung ist augenscheinlich, dass alle Messwerte (EM38, Höhe, N-Sensormesswert, Ertrag, N_{\min} nach Ernte) einem Grundmuster folgten. Hohe Messwerte erschienen in einem von links nach rechts quer laufenden Band unterhalb des spitz zulaufenden Schlagkopfes.

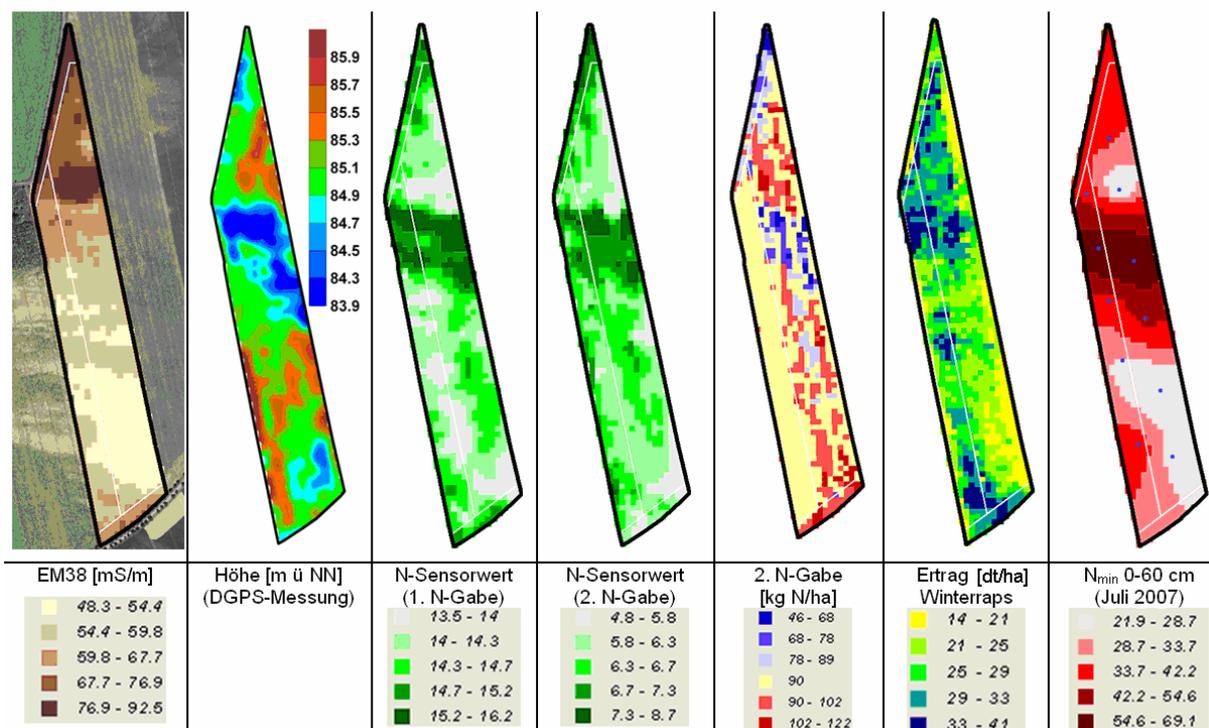


Abbildung 34: EM38, Höhe, N-Sensorwert, N-Düngung und Winterrapsenertrag, Schlag „121.23“ (2007)

Auf diesem Schlag wurde 2007 kein Ertragsvorteil durch die variable N-Düngung erzielt. Die variable N-Düngung bewirkte auch keine Einsparung oder einen Mehraufwand an Stickstoffdünger gegenüber der konstant verabreichten zweiten N-Gabe von 90 kg/ha. Im Gegensatz zum Schlag „Rüstergehege“ schloss dieser Schlag ertragsseitig bei der N-Sensorvariante etwas schwächer ab (siehe Tab. 4).

Tabelle 4: N-Düngung und Ertrag der Varianten zu Winterraps, Schlag „121.23“ (ohne Vorgewende), (kriging Raster 9 x 9 m)

		konstant (n = 281)		YARA N-Sensor ALS (n = 628)	
		μ	s	μ	s
EM38	[mS/m]	57,6	4,9	60,4	10,1
1. N-Gabe	[kg N/ha]	80,0			
2. N-Gabe	[kg N/ha]	90,0		90,8	8,0
Ertrag	[dt/ha]	28,8	0,5	26,7	0,5

Wie Tabelle 5 zeigt, waren auf diesem Schlag die Beziehungen zwischen Rapsenertrag und gemessenen N-Sensorwerten als auch zwischen Rapsenertrag und Stickstoffdüngung schwach ausgeprägt. Deutlich ausgeprägt waren die Zusammenhänge von gemessenem Biomasseindexwert mit dem N_{min}-Wert nach der Ernte (Bodenschicht 0 – 60 cm) und dem EM38-Wert mit der Höhe.

Tabelle 5: Korrelationen zu Winterraps, Schlag „121.23“ (2007), ohne Vorgewende

r (n = 909)	EM38	BI 20.3.2007	BI 4.4.2007	2. N-Gabe	N _{min} (0 - 60 cm)	Höhe
Ertrag 2007	0,40	0,27	0,28	-0,20	0,26	0,00
EM38		0,08	0,02	0,00	0,05	0,55
BI 20.3.2007			0,81	-0,51	0,69	-0,36
BI 4.4.2007				-0,59	0,61	-0,36
2. N-Gabe					0,37	0,19
N _{min} (0 - 60 cm)						-0,46

In der Abbildung 35 wurden entlang einer Fahrspur in der variabel gedüngten Variante die EM38-Werte, die N-Sensorwerte und der Ertrag in einem Diagramm zusammengestellt. Die Variation des Ertrags kann für diese ausgewählten Werte zu 56 % durch die Variation der EM38-Werte und damit durch Bodenunterschiede erklärt werden. Die Beziehung von Boden zu den N-Sensormessungen sind mit $r^2 = 0,24$ (20.3.2007) bzw. $r^2 = 0,28$ (4.4.2007) geringer. Für die Qualität der N-Sensormessung spricht der gute Zusammenhang ($r^2 = 0,76$) zwischen den Messungen am 20.3.2007 und am 4.4.2007. Zu diesem frühen Zeitpunkt spiegelten die Werte optisch gut den Bestandeszustand wider. Ab der 2. N-Gabe am 4.4.2007 bis zur Ernte am 14.7.2007 entwickelte sich der Bestand witterungsbedingt anders, als die Sensormessung es vermuten lassen hat. Die Beziehung zwischen N-Sensormessung (4.4.2007) und Ertrag betrug für diese Fahrspur noch $r^2 = 0,23$.

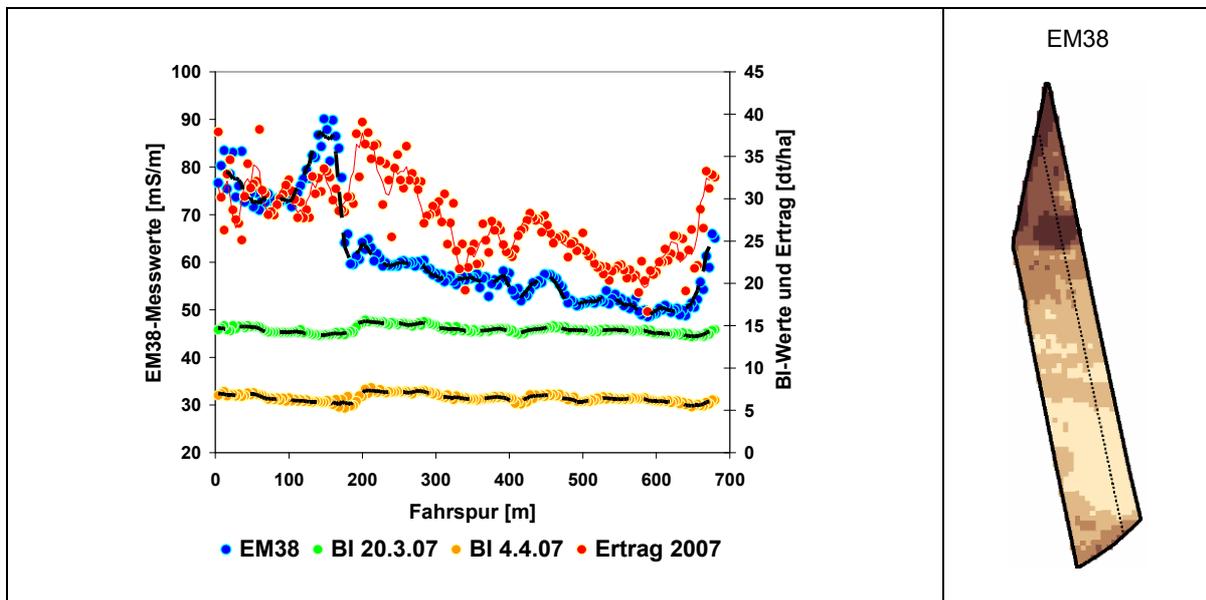


Abbildung 35: Werte von EM38, N-Sensormessung und Winterraps-ertrag entlang einer Fahrspur (Nord-Süd), n = 170, Schlag „121.23“ (2007)

Fazit Winterraps 2007

Die Höhe des Winterrapsenertrages korrelierte im Jahr 2007 mit den EM38-Messwerten. Auf dem Schlag „Rüstergehege“ bestand eine gute Beziehung zwischen 1. N-Gabe und dem Winterrapsenertrag. N-Düngerersparungen oder Mehrerträge, basierend auf der sensorgestützten zweiten N-Gabe zu Winterraps, waren nicht nachweisbar. Im Gegensatz zum Schlag „Rüstergehege“ schloss der Schlag „121.23“ ertragsseitig bei der N-Sensorvariante etwas schwächer ab.

3.3.2 Winterweizen

3.3.2.1 Versuchsdurchführung 2. und 3. N-Gabe, Schlag „Am Flugplatz“

Im Jahr 2007 wurden in Winterweizen auf dem Schlag „Am Flugplatz“ drei Applikationsvarianten

- konstant
- variabel mit dem CROP-Meter
- variabel mit dem YARA N-Sensor ALS

zu den Zeitpunkten der zweiten und dritten Stickstoffgabe durchgeführt (siehe Abb. 36).

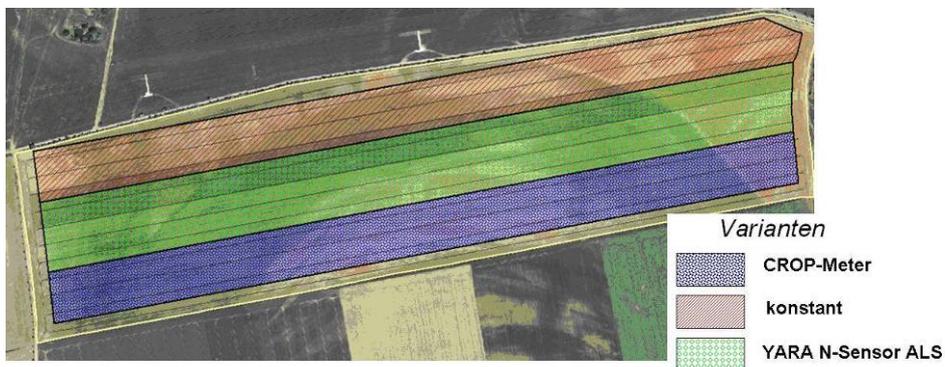


Abbildung 36: N-Düngungsvarianten zur 2. und 3. N-Gabe zu Winterweizen, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Einführend ist auf die Folgen der witterungsbedingten Besonderheiten des Jahres 2007 hinzuweisen. Der Winterweizenbestand der Sorte „Tommi“ war nach dem milden Winter 2006/2007 im sandigen Schlagteil sehr wüchsig, im lehmigen Schlagteil blieb die Pflanzenentwicklung dahinter zurück (siehe Abb. 37).

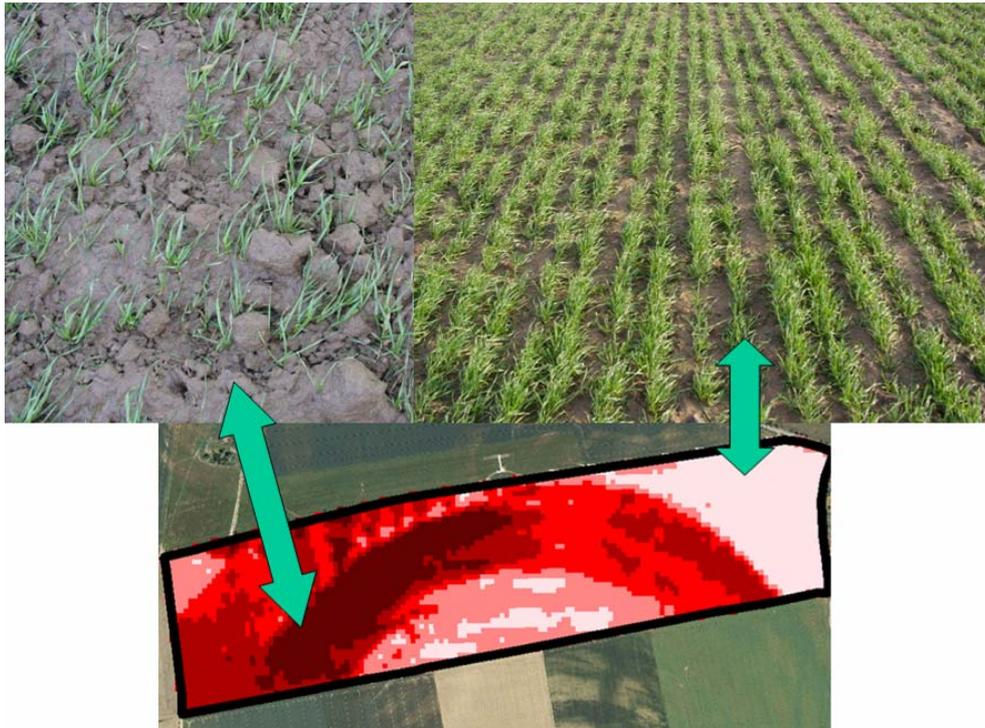


Abbildung 37: Bestandesdifferenzierung (Lage verdeutlicht durch EM38) des Winterweizens am 19.1.2007 im lehmigen (links) und sandigen (rechts) Schlagteil, Schlag „Am Flugplatz“

In einer tonigen Teilfläche entwickelte sich aufgrund von Nässe und Frost eine größere Fehlstelle (siehe Abb. 38). Diese wurde von den eingesetzten Sensoren im Laufe der Vegetationsperiode gut erkannt.



Abbildung 38: Schlechte Bestandesentwicklung im tonigen Schlagteil, Winterweizen am 8.2.2007 (links) und 26.3.2007 (rechts), Schlag „Am Flugplatz“

Der fast vollständige Niederschlagsausfall im April 2007 führte zu einer ausgeprägten Bestandesdifferenzierung, unterlegt durch die große Bodenheterogenität auf diesem Schlag. In Abbildung 39 ist für drei Zeitpunkte exemplarisch die Bestandessituation des Winterweizens im sandigen und im lehmigen Schlagteil gegenübergestellt.



Abbildung 39: Bodenbedingte Bestandesunterschiede des Winterweizens zu drei Terminen, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Auf den sandigen Schlagteilen reagierte bereits Anfang Mai 2007 der Weizenbestand mit Trockenschäden. Dies zeigt die Abbildung 40 mit einem Luftbild sehr deutlich.



Abbildung 40: Trockenstress des Winterweizens am 10.5.2007, Schlag „Am Flugplatz“,
Foto: Haferkorn

Die vergleichsweise frühe Ernte erfolgte am 17.7.2007 mit einem Durchschnittsertrag von 52 dt/ha.

Die durchgeführten Sensormessungen dokumentierten die beschriebene Bestandesentwicklung. In Abbildung 41 sind verschiedene Messungen gegenübergestellt. Die zeitige N-Sensormessung zeigte die höhere Biomasse im sandigen Schlagteil und die oben beschriebene Fehlstelle im Weizenbestand. Die Umkehr der Biomasseverteilung zu Gunsten der lehmigen Schlagteile wurde durch die Sensor- und Pendelmessungen erfasst und dies schlug sich im Winterweizenertrag 2007 nieder. Zur Beschreibung dieser Heterogenitäten dienen auf diesem Schlag vor allem die EM38-Messung und eine Karte der Geländehöhen.

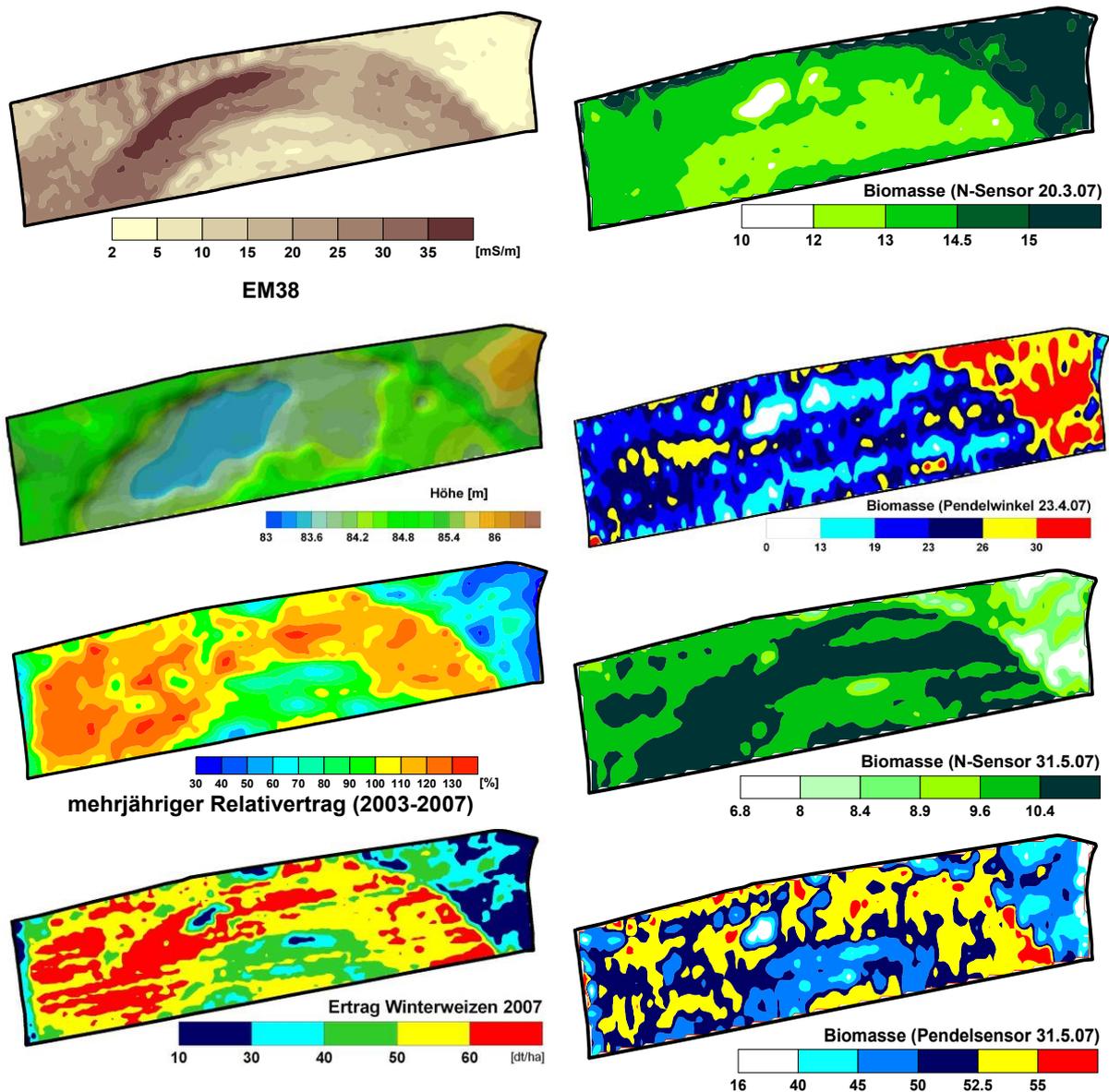


Abbildung 41: Vergleich verschiedener Messungen zur Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Am Flugplatz“

Die Beobachtungen und Messungen wurden durch die Korrelationen in Tabelle 6 bestätigt. Hervorzuheben sind die Zusammenhänge ($r > 0,75$) von EM38 und späten Sensormessungen zum Ertrag. Gegenüber der Auswertung aller Daten eines „9 m x 9 m – Rasters“ ($n = 4695$) verbesserten sich, wenn auch meist nur gering, die Korrelationskoeffizienten mit der Auswertung von fahrspurorientierten (27 m) Rasterzellen (squares). Die Vereinfachung durch Mittelwertbildung verringert bzw. glättet den Einfluss kleinräumiger Unterschiede.

Tabelle 6: Korrelationen „Am Flugplatz“ (Winterweizen 2007) aus square-Auswertung (n = 544)

r (n = 544)	EM38	BI 20.3.2007	BI 14.7.2007	BI 3.5.2007	BI 31.5.2007	Winkel 23.4.2007	Winkel 3.5.2007	Winkel 31.5.2007
BI 20.3.2007	-0,50							
BI 14.7.2007	-0,01	0,27						
BI 3.5.2007	0,52	-0,41	0,56					
BI 31.5.2007	0,71	-0,65	0,22	0,81				
Winkel 23.4.2007	-0,47	0,70	0,32	-0,28	-0,57			
Winkel 3.5.2007	-0,29	0,73	0,42	-0,04	-0,29	0,72		
Winkel 31.5.2007	0,51	-0,16	0,47	0,70	0,66	-0,11	0,24	
Ertrag	0,77	-0,48	0,33	0,79	0,84	-0,40	-0,15	0,75

Je größer das gewählte Raster bzw. die abgegrenzte Zone (Zusammenfassung von Werten), desto größer wird auch die Streuung der Werte innerhalb der Zone und damit erhöht sich die Nichtbeachtung kleinräumiger Unterschiede. Auf sehr kleinräumige Unterschiede kann jedoch (zurzeit) mit der vorhandenen Applikationstechnik (mit großen Arbeitsbreiten) nicht eingegangen werden.

Trotz großer gemessener Heterogenität ergab der Mittelwertvergleich bei Berücksichtigung der Streuung bei allen geprüften Stickstoffdüngungsvarianten den gleichen Ertrag (siehe Tab. 7).

Tabelle 7: N-Düngung und Winterweizenertrag 2007, Schlag „Am Flugplatz“

	Variante							
	konstant		CROP-Meter		YARA N-Sensor ALS		Versuch gesamt	
	μ	s %	μ	s %	μ	s %	μ	s %
N-Düngung [kg N/ha]	170		170	9,5	168	7,5	169	-
Ertrag [dt/ha]	48,7	25,9	49,5	20,2	50,6	24,1	49,7	23,3

Werden alle Ertragswerte in den drei Stickstoffdüngungsvarianten zur Bodenleitfähigkeit (siehe Abb. 42) abgetragen, liegen die konstante und die Pendelvariante bis zu mittleren Leitfähigkeiten im Vorteil. In Teilflächen mit EM38-Werten von über 25 mS/m wurde im Trend mit der N-Sensorvariante ein höherer Ertrag erzielt. Die Erträge ließen sich in allen drei Varianten bis zu 80 % durch die Variabilität der Bodenleitfähigkeit erklären.

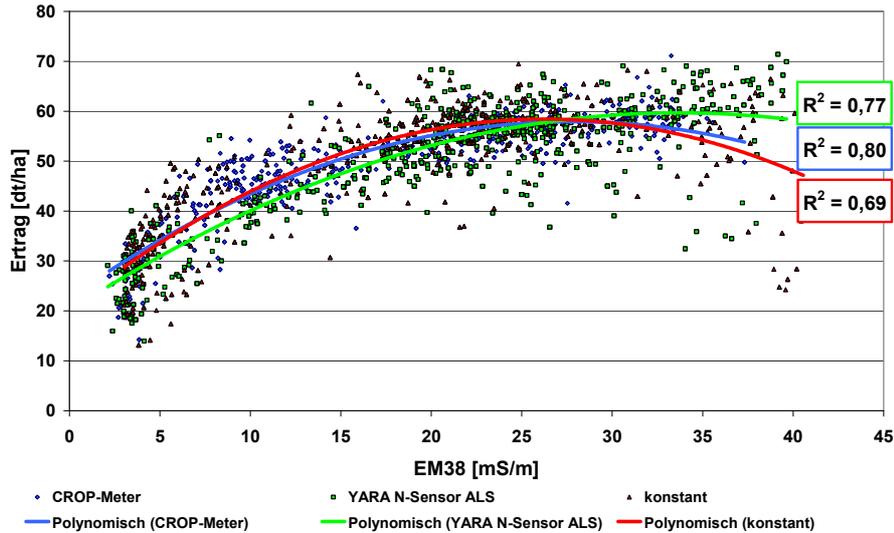


Abbildung 42: Winterweizenertrag 2007 in Abhängigkeit von EC_a und Stickstoffdüngungsvariante, Schlag „Am Flugplatz“

In Abbildung 43 sind die insgesamt eingesetzten N-Mengen und der Ertrag in den unterschiedlichen Leitfähigkeitsklassen dargestellt. Gegenüber einer konstanten N-Düngung konnte gerade in den Teilflächen mit niedrigen EM38-Werten mit den Sensorsystemen bis zu 24 kg N/ha eingespart werden. Mit höherer Leitfähigkeit liegen die konstante Variante und die Sensorvarianten auf ähnlichem Niveau. In den Sensorvarianten wurde sogar etwas mehr an Stickstoff appliziert und außer bei sehr hoher Leitfähigkeit wurde bei der N-Sensorvariante der gleiche Ertrag erzielt. Die Unterschiede im Ertrag waren weniger auf Düngereffekte zurückzuführen, sondern unterlagen in diesem Jahr den bodenbedingten Faktoren.

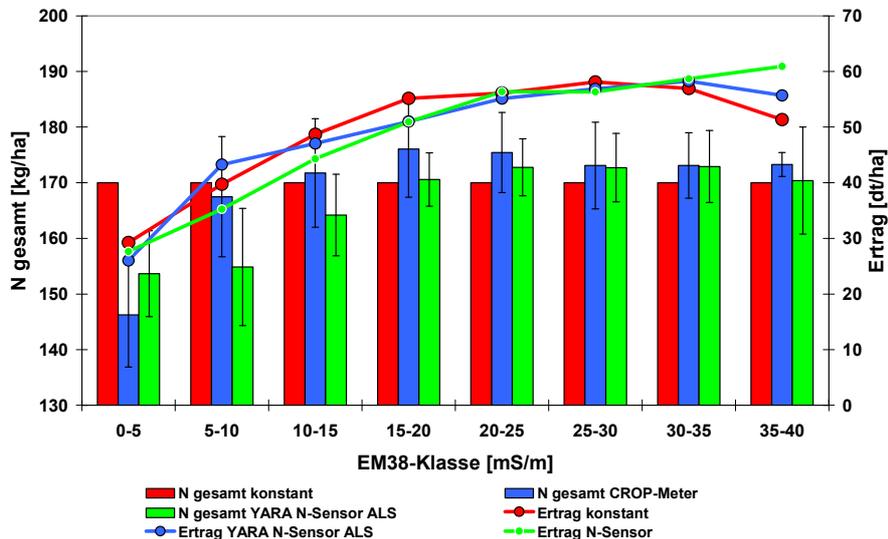


Abbildung 43: N-Düngung und Winterweizenertrag in Abhängigkeit vom Boden (EM38-Klasse), Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Eine enge Beziehung bestand zwischen Ertragshöhe und den EM38-Werten ($r = 0,67$). Für die folgende Auswertung wurden die EM38-Werte in vier Klassen eingeteilt und diesen die dazugehörigen Weizenerträge zugeordnet. Die Abbildung 44 zeigt den Komplex „Boden“ als limitierenden Wachstumsfaktor. In der Zone mit niedrigen EM38-Werten (sandig) wurde im Schnitt etwa nur die Hälfte des Ertrages der lehmigen Bereiche erzielt. Interessant in dieser Betrachtung ist die unterschiedliche Streuung der Werte um den Mittelwert. Diese ist in den sandigen und sehr tonigen Bereichen am größten. Die Ertragsdifferenzierung unterscheidet sich zwischen Bereichen unterschiedlicher Bodenart also nicht alleine in der Ertragshöhe, sondern auch in kleinräumigen Differenzierungen innerhalb einer scheinbar homogenen Teilfläche.

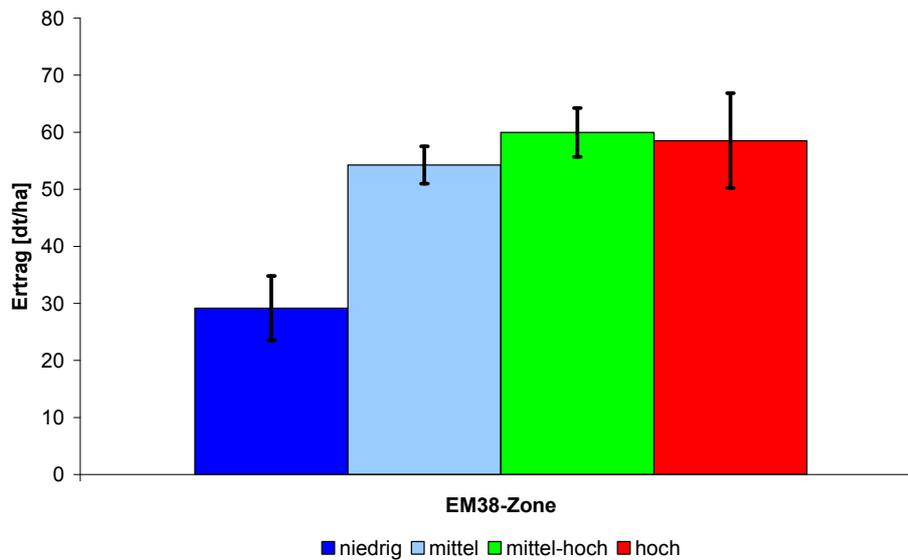


Abbildung 44: Winterweizenertrag innerhalb ausgewählter EM38-Zonen, Schlag, „Am Flugplatz“ (2007)

Der Weizenertrag lag in den tonigen Schlagteilen in der konstanten Variante, mit hoher Streuung, hinter den Erträgen der Sensorvarianten (siehe Abb. 45). Gerade in dieser Variante kam die Fehlstelle im tonigsten Schlagteil zum Tragen, dessen Anteil in den Sensorvarianten sehr gering war. Somit verliert rein rechnerisch die konstante Variante bei gegebener Anordnung der Varianten.

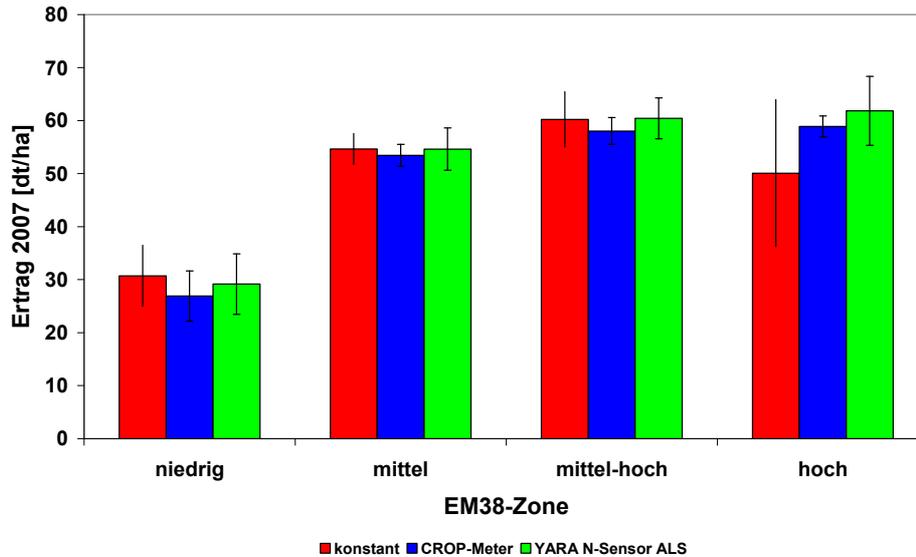


Abbildung 45: Winterweizenertrag nach EM38-Zonen und Varianten

In Tabelle 8 sind zum besseren Verständnis die Bestimmtheitsmaße (r^2) verschiedener Parameter zum EM38, unterschieden nach N-Düngungsvariante, aufgeführt. Deutlich wird, dass sich der Einfluss des Bodens in den Varianten sehr unterschiedlich auswirkte.

Tabelle 8: Einfluss (r^2) von EM38 auf verschiedene Parameter in den N-Applikationsvarianten „Am Flugplatz“ (2007)

r^2 zwischen EM38 und:	in der Variante			
	gesamter Schlag	CROP-Meter	YARA N-Sensor ALS	konstant
Höhe (DGPS)	0,36	0,17	0,37	0,61
YARA N-Sensor ALS, BI 20.3.2007	0,25	0,04	0,34	0,61
YARA N-Sensor ALS, BI 3.5.2007	0,25	0,44	0,32	0,11
YARA N-Sensor ALS, BI 31.5.2007	0,52	0,40	0,63	0,53
CROP-Meter, Winkel 23.4.2007	0,20	0,00	0,29	0,59
CROP-Meter, Winkel 31.5.2007	0,20	0,39	0,20	0,10
Winterweizenertrag	0,58	0,68	0,67	0,40

Die Effizienz des eingesetzten Düngerstickstoffs (als Quotient aus erzeugtem Kilogramm Weizen pro Kilogramm Düngerstickstoff) nahm mit höherer Bodenleitfähigkeit zu (siehe Abb. 46), relativ unabhängig vom Applikationsverfahren. Ein effizienterer Einsatz in den sandigen Teilflächen hätte nur über eine konsequente Reduzierung der N-Menge erreicht werden können.

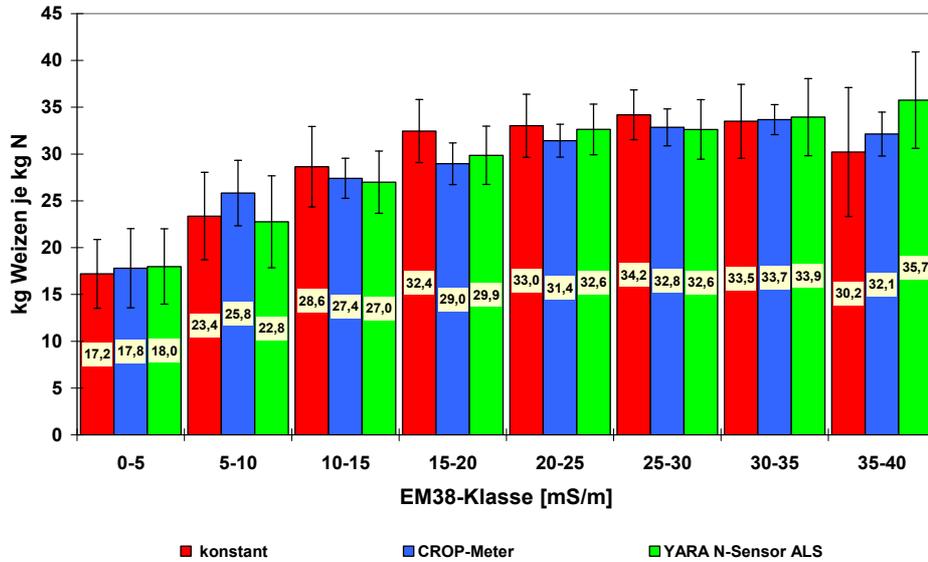
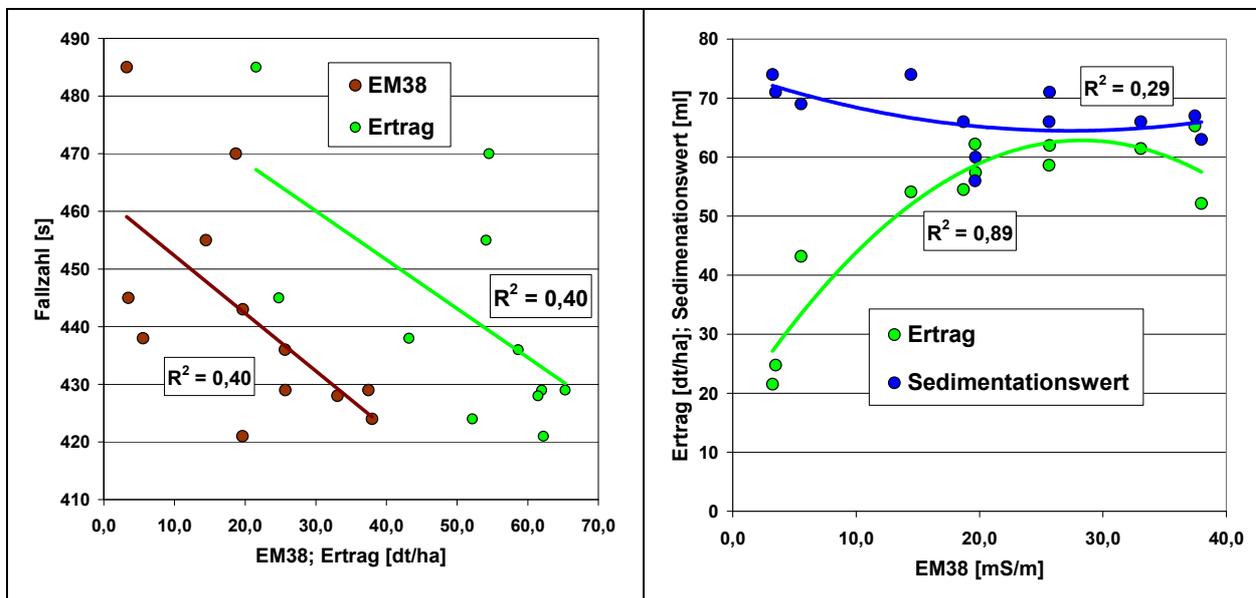


Abbildung 46: Effizienz des eingesetzten Stickstoffdüngers nach EM38-Klasse und N-Applikationsvariante, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Für die untersuchten Qualitätsmerkmale Fallzahl, Sedimentationswert sind die Ergebnisse in Abbildung 47 dargestellt. Es wird deutlich, dass mit steigender Weizenertragshöhe und auch steigenden EM38-Werten (hier im Trend höhere Erträge) sowohl die Fallzahl als auch der Sedimentationswert im Trend fielen und bis etwa 10 % niedriger lagen.



a) Zusammenhang zwischen EM38 bzw. Winterweizenertrag und Fallzahl (n = 12)

b) Zusammenhang zwischen EM38 und Winterweizenertrag bzw. Sedimentationswert (n = 12)

Abbildung 47: Zusammenhang zwischen EM38 bzw. Winterweizenertrag und Fallzahl sowie zwischen EM38 und Winterweizenertrag bzw. Sedimentationswert, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Zwischen den Applikationsvarianten konnten keine Vor- oder Nachteile hinsichtlich der Qualitätsparameter Fallzahl und Sedimentationswert festgestellt werden (siehe Abb. 48).

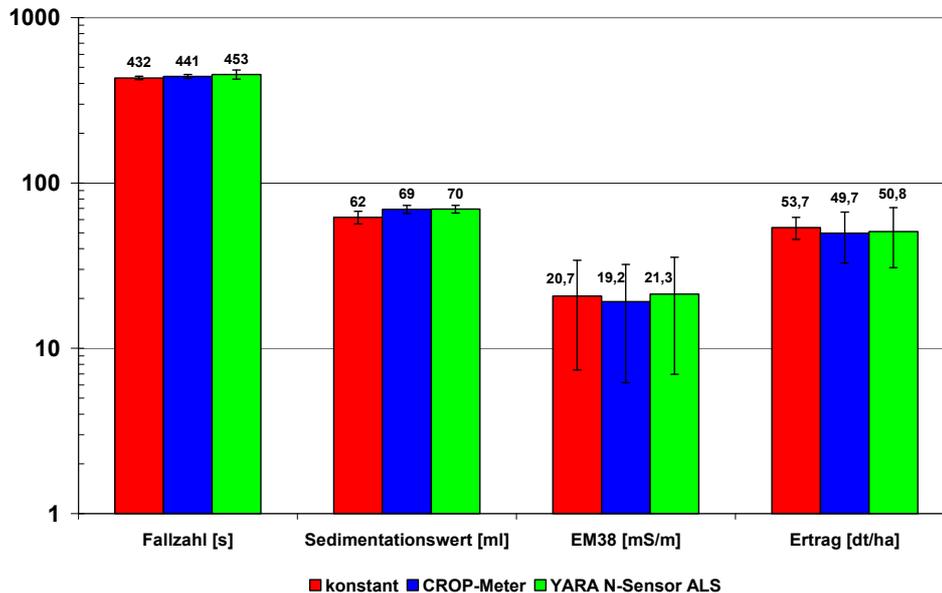


Abbildung 48: Fallzahl, Sedimentationswert, EM38 und Winterweizenertrag der N-Applikationsvarianten, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Die Ergebnisse aus diesem Jahr zeigen, dass die Bodenvariabilität einen großen Einfluss auf den Ertrag hat und somit eine Differenzierung der Ertragseffekte zwischen den Düngungsvarianten erschwert. Hier steckt auch ein Widerspruch in der geforderten Voraussetzung von großer Heterogenität für Precision Farming-Anwendungen und der damit verbundenen Schwierigkeit, verlässliche Aussagen zur Vorteilhaftigkeit von Precision Farming-Verfahren zu treffen. Auf der anderen Seite zeigten die verschiedenen Sensormessungen (YARA N-Sensor ALS, CROP-Meter) und Standortinformationen gute Zusammenhänge untereinander sowie zum Ertrag und ermöglichten die Quantifizierung der Bestandsheterogenität.

3.3.2.2 Versuchsdurchführung 2. und 3. N-Gabe, Schlag „121.32“

Der mittlere Weizenertrag der Varianten konstante N-Düngung und variable N-Düngung mit dem YARA N-Sensor sowie dem CROP-Meter lag sehr eng beieinander. Wie aus Abbildung 49 ersichtlich, lag der mittlere Weizenertrag der konstant gedüngten Varianten zwischen 47 und 51 dt/ha. Den höchsten Ertrag von 51,9 dt/ha erzielte die variabel gedüngte N-Sensorvariante. Unter Berücksichtigung der Streuung der Ertragswerte um den Mittelwert waren 2007 keine Unterschiede zwischen den Applikationsvarianten zu finden.

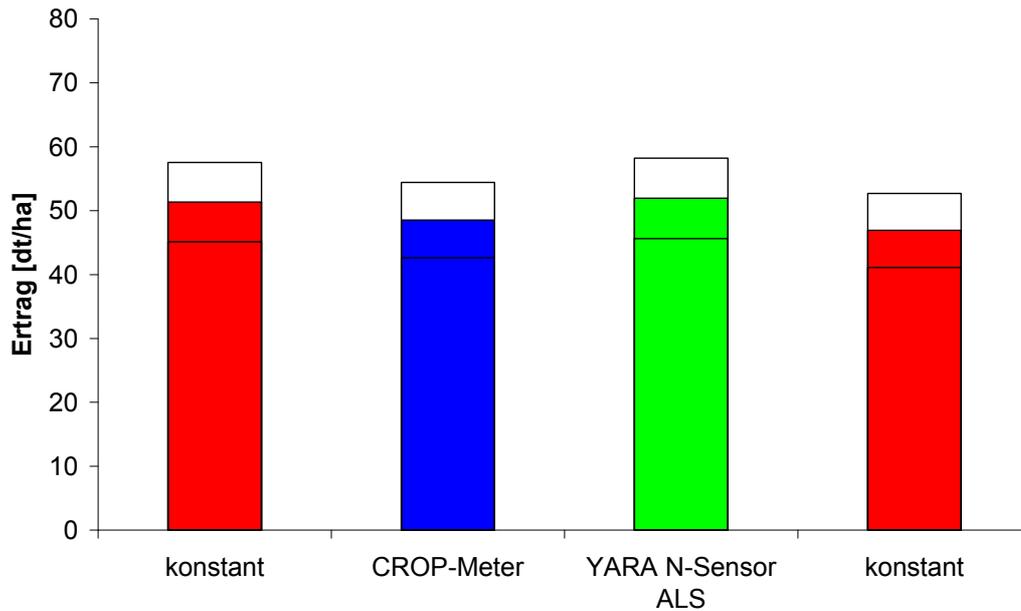


Abbildung 49: Winterweizenertrag (mit Standardabweichung) der N-Applikationsvarianten (v. l. n. r., Schlag „121.32“ (2007))

Der Weizenertrag zeigte auch keine Beziehung zu den Werten der EM38-Kartierung (siehe Tab. 9). Für diesen Schlag ist zu bemerken, dass ausschließlich die letzte Pendelmessung (4.6.2007) einen Zusammenhang ($r = 0,6$) zum Weizenertrag zeigte.

Tabelle 9: Zusammenhang von EM38, Höhe, N-Sensorwert, Pendelwinkel und Winterweizenertrag, Schlag „121.32“ (2007)

r	Höhe	Ertrag	BI 20.3.2007	BI 18.4.2007	Winkel 23.4.2007	BI 3.5.2007	Winkel 3.5.2007	BI 1.6.2007	Winkel 4.6.2007
EM38	0,07	0,16	-0,07	-0,06	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17
Höhe		-0,21	-0,17	0,02	-0,17	-0,12	-0,38	-0,03	-0,46
Ertrag			0,16	-0,02	0,22	0,02	0,44	-0,03	0,60
BI 20.3.2007				0,37	0,70	0,03	0,54	-0,21	0,18
BI 18.4.2007					0,39	0,59	0,45	0,32	-0,13
Winkel 23.4.2007						0,17	0,58	-0,09	0,33
BI 3.5.2007							0,45	0,78	0,27
Winkel 3.5.2007								0,26	0,56
BI 1.6.2007									0,22

Die Grundlage für die Kalibrierung (Aufwandmenge am Kalibrierpunkt) des YARA N-Sensors sind die Messwerte des N-Testers. Aus Abbildung 50 wird der gute Zusammenhang zwischen N-Testerwert und N-Sensorwert deutlich. Dieser Zusammenhang war für die Stichprobe auf diesem Schlag mit $r^2 = 0,55$ sogar höher als auf dem ausgeprägt heterogenen Schlag „Am Flugplatz“ mit $r^2 = 0,43$.

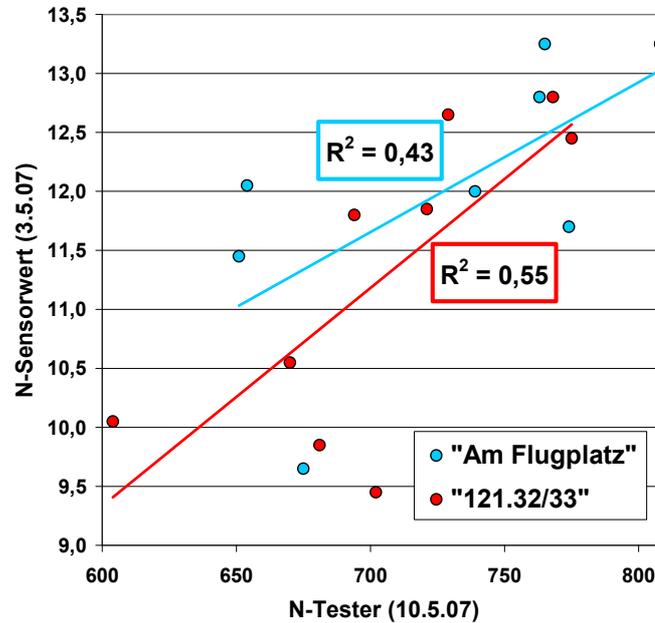


Abbildung 50: Zusammenhang zwischen N-Tester-Messwerten und YARA N-Sensormesswerten auf zwei Schlägen in Winterweizen, 2007

3.3.2.3 Sensormessungen, Schlag „Monokultur“

Die Betriebsmittel, außer Fungizide, wurden zum Monokulturwinterweizen mit konstanter Aufwandmenge ausgebracht. Die Fungizidapplikation erfolgte am 14.5.2007, die Ernte am 17.7.2007 mit einem Ertrag von 47,9 dt/ha.

Die Abbildung 51 unterstreicht dies mit einem bildhaften Eindruck der räumlichen Differenzierung der Messwerte.

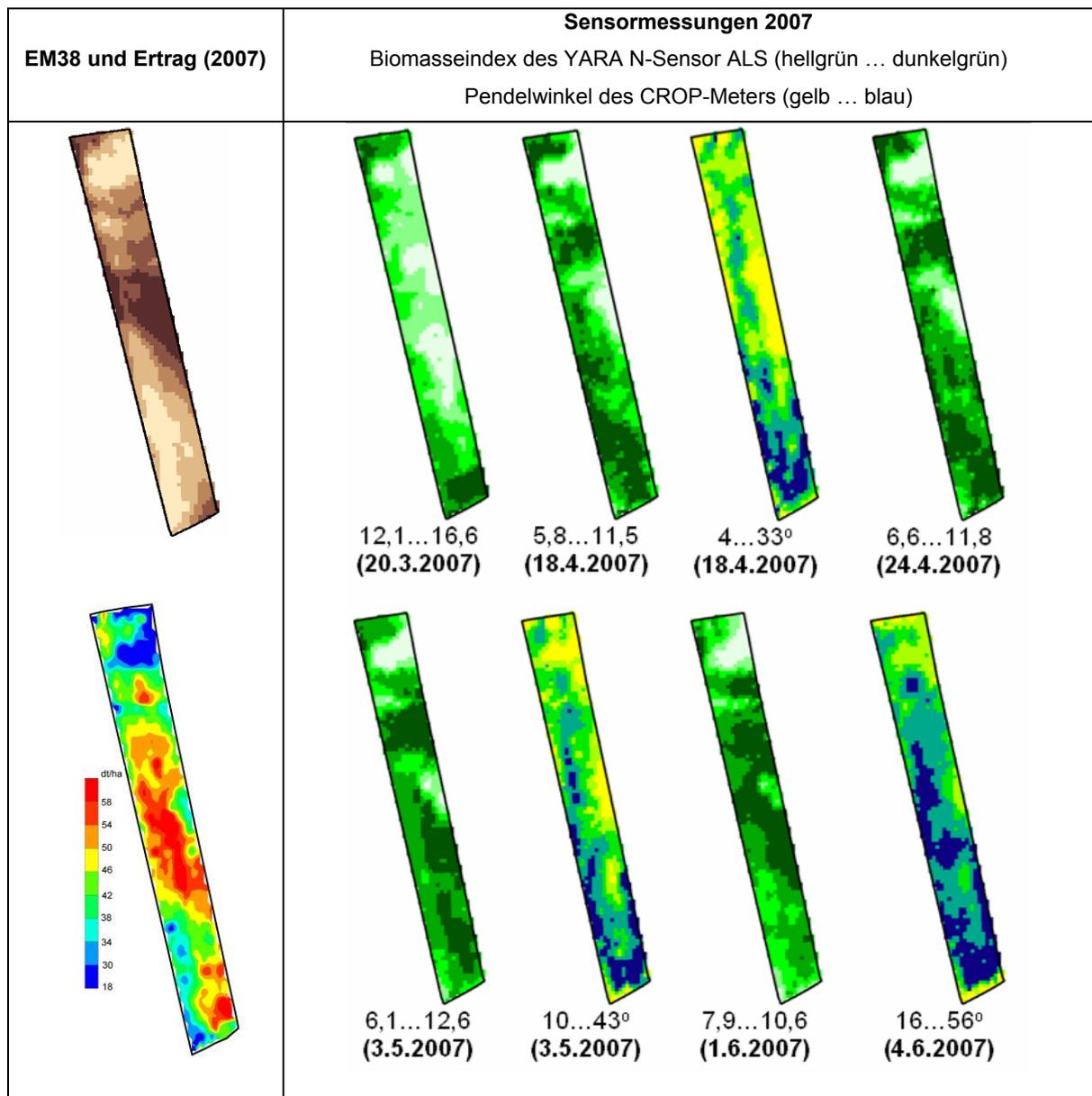


Abbildung 51: Standort und Bestand, Schlag „Monokultur“

Wie auch auf anderen Schlägen 2007 gemessen, korrelieren die späten Sensor- und Pendelmessungen mit dem Ertrag am besten (siehe Tab. 10). Zum EM38 bestanden Beziehungen nur zur späten Biomasseindexmessung mit dem YARA N-Sensor und zur zeitigen Winkelmessung mit dem CROP-Meter. Dieses Ergebnis stand mit dem Bodenwasservorrat zu Winterausgang und den Niederschlägen ab der zweiten Maihälfte 2007 in Verbindung.

Tabelle 10: Korrelationsmatrix „Monokultur“ Winterweizen, 2007

r (n = 1476)	Ertrag	EM38	BI					Winkel			
			20.3. 2007	18.4. 2007	24.4. 2007	3.5. 2007	1.6. 2007	18.4. 2007	24.4. 2007	3.5. 2007	
EM38	0,42										
BI	20.3.2007	-0,14	-0,22								
	18.4.2007	0,37	-0,11	0,48							
	24.4.2007	0,43	0,03	0,39	0,93						
	3.5.2007	0,60	0,21	0,12	0,83	0,93					
	1.6.2007	0,75	0,54	-0,12	0,52	0,65	0,82				
Winkel	18.4.2007	0,07	-0,51	0,45	0,45	0,37	0,20	-0,02			
	24.4.2007	0,28	-0,29	0,46	0,56	0,45	0,31	0,16	0,60		
	3.5.2007	0,37	-0,21	0,45	0,68	0,62	0,50	0,33	0,68	0,83	
	4.6.2007	0,59	-0,01	0,06	0,51	0,49	0,54	0,56	0,42	0,67	0,73

Fazit Winterweizen 2007

Gegenüber einer konstanten N-Düngung konnte in den sandigen Teilflächen mit den Sensorsystemen Düngestickstoff eingespart werden. Bei höherer Leitfähigkeit lagen die konstante Variante und die Sensorvarianten auf ähnlichem Niveau. Die Unterschiede im Ertrag waren weniger auf Düngereffekte zurückzuführen, sondern wurden 2007 vorwiegend durch die Witterung und Standortvariabilität bestimmt. Die Effizienz des eingesetzten Düngestickstoffs nahm mit höherer Bodenleitfähigkeit zu, relativ unabhängig vom Applikationsverfahren. Zwischen den Applikationsvarianten konnten keine Vor- oder Nachteile hinsichtlich der Weizenkornqualitätsparameter festgestellt werden.

3.3.3 Wintergerste

Die Wintergerste wurde, wie bei Winterweizen, mehrmals mit Messsensoren durchfahren. Die eigentliche Fragestellung für diesen Schlag zielte auf den variablen Wachstumsreglereinsatz ab. Es bestand die Frage, wie die Messsensoren den Zustand der Wintergerste erfassen. Auf dem Schlag „Adelwitzer Park“ bildete sich ein sehr heterogener Wintergerstenbestand aus. Bereits Mitte März waren die Pflanzen im sandigen Teil durch hellere Grünfärbung deutlich abzugrenzen. Die wochenlange Trockenheit bis Mitte Mai 2007 führte zu einem früheren Ährenschieben der Wintergerste auf diesen Teilflächen, was besonders auch im Luftbild vom 14.5.2007 der Abbildung 52 deutlich wird.



Abbildung 52: Heterogene Bestandesentwicklung der Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Die Differenzierung im Gerstenbestand setzte sich bis zum Erntetermin fort, wie Abbildung 53 zu entnehmen ist.



Abbildung 53: Bestandesunterschiede der Wintergerste am 22.6.2007 in lehmigen und sandigen Teilflächen, Schlag „Adelwitzer Park“

Zum Trockenstress, besonders in sandigen Schlagteilen, kam Ausfallgetreide durch Hagel am 12.6.2007. Die Ernte erfolgte am 1.7.2007 mit einem Durchschnittsertrag von 40 dt/ha.

Einen visuellen Eindruck der Messergebnisse liefert Abbildung 54. Deutlich werden Unterschiede gerade im Hinblick auf die Bodenunterschiede (EM38), die sich schließlich in den Ertragsmustern wieder fanden.

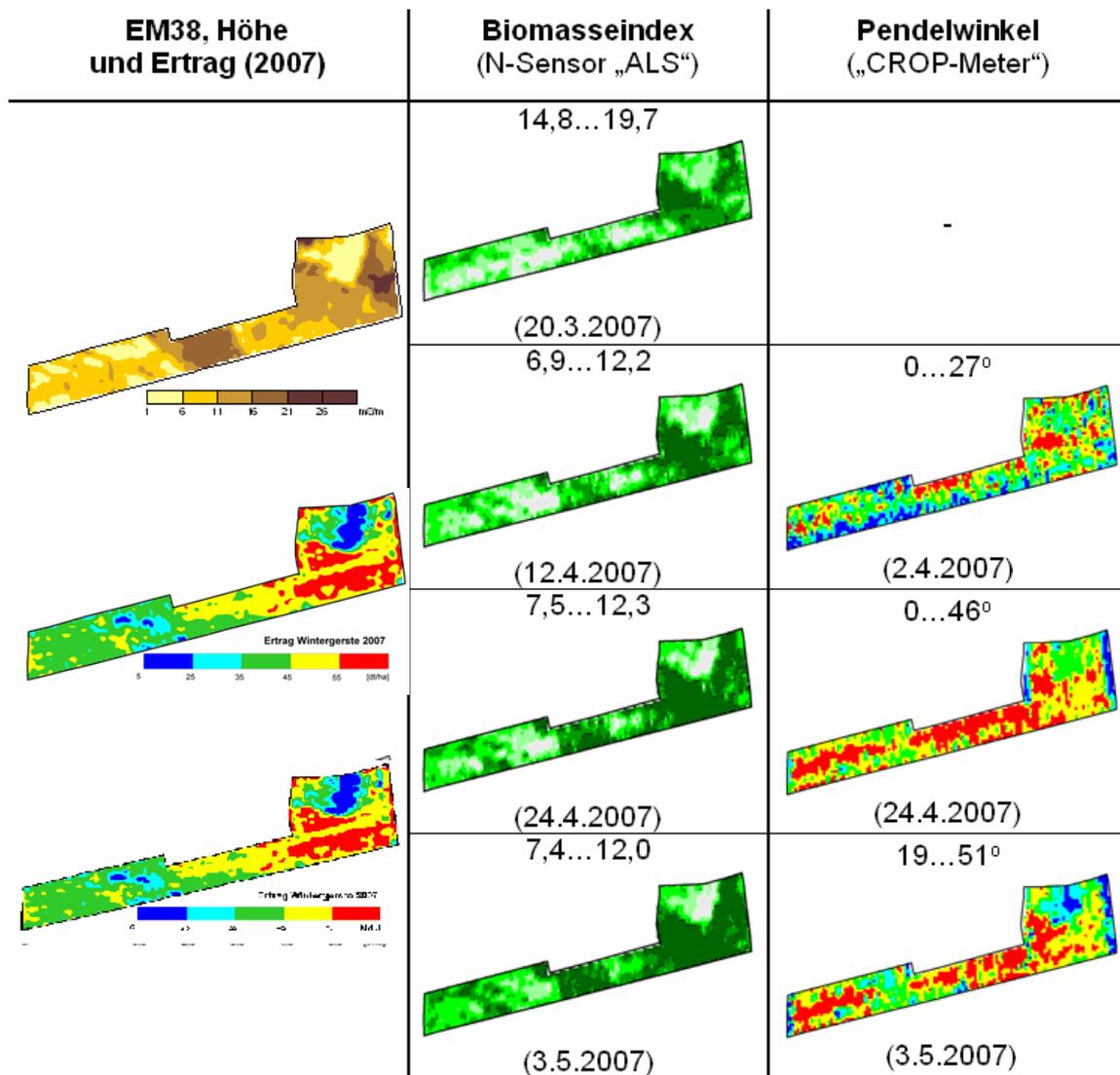


Abbildung 54: EM38, Höhe (DGPS) und Ertrag im Vergleich zu N-Sensordaten und Pendelwinkeln (Wertebereich und Datum) zu Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“

Die Auswertung der Boden- und Sensordaten zeigte eine hohe Übereinstimmung vom Zustand des Gerstenbestandes und der Karte der elektrischen Leitfähigkeit (EM38). Auch die Werte der N-Sensormessung vom 3.5.2007 gaben dieses Muster wieder ($r^2 = 0,66$). Die Variation der EM38-Werte erklärt demgegenüber nur etwa 30 % der Variation der Pendelwinkel. Die N-Sensordaten korrelierten mit den EM38-Werten. Auch wird der Ertrag gut durch die N-Sensordaten erklärt. Die Korrelationen zwischen BI und EM38 und BI und Ertrag nahmen im Vegetationsverlauf deutlich zu. Die Beziehungen zwischen Pendelwinkeln und Boden ($r = 0,16$) bzw. Pendelwinkel und Bestand/Ertrag ($r = 0,38$) bleiben hinter denen der N-Sensordaten zurück. Die durch die Pendelwinkel gemessene Biomasse schien in diesem Jahr den Ertrag nicht wiederzuspiegeln. Was für eine gewisse Wiederholbarkeit der Werte spricht, ist die gute Korrelation zwischen 2. und 3. Pendelmessung (siehe Tab. 11).

Tabelle 11: Korrelationsmatrix, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

r	BI 20.3.2007	BI 12.4.2007	BI 24.4.2007	BI 3.5.2007	Winkel 2.4.2007	Winkel 24.4.2007	Winkel 3.5.2007	Ertrag
EM38	0,46	0,55	0,59	0,65	0,15	-0,05	0,16	0,53
BI 20.3.2007		0,84	0,75	0,66	0,24	-0,01	0,15	0,41
BI 12.4.2007			0,92	0,84	0,17	0,02	0,24	0,53
BI 24.4.2007				0,94	0,11	0,05	0,27	0,61
BI 3.5.2007					0,10	0,10	0,35	0,70
Winkel 2.4.2007						0,16	0,21	0,20
Winkel 24.4.2007							0,68	0,08
Winkel 3.5.2007								0,38

Bei niedriger Leitfähigkeit (Sand) lagen im Mai 2007 die N/P/K-Gehalte in der Pflanze niedriger als bei hoher Leitfähigkeit (siehe Tab. 12). Im Korn glichen sich die Gehalte an, wie in der gleichen Tabelle gezeigt wird.

Tabelle 12: Vergleich der Handernten Wintergerste Pflanze und Korn bei unterschiedlichen EM38-Werten, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Ganzpflanzenernte im Mai			EM38	Korn				
N	P	K		Ertrag	TKM	N	P	K
[% i. d. TS]				[dt/ha]	[g]	[% i. d. TS]		
2,0	0,3	2,2	niedrig	24,6	34	3,1	0,4	0,6
3,1	0,3	1,6	mittel/ hoch	68,9	38	2,9	0,3	0,5

Den Zusammenhang von Wintergerstenertrag in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (EM38) unterstreicht die Auswertung in Abbildung 55.

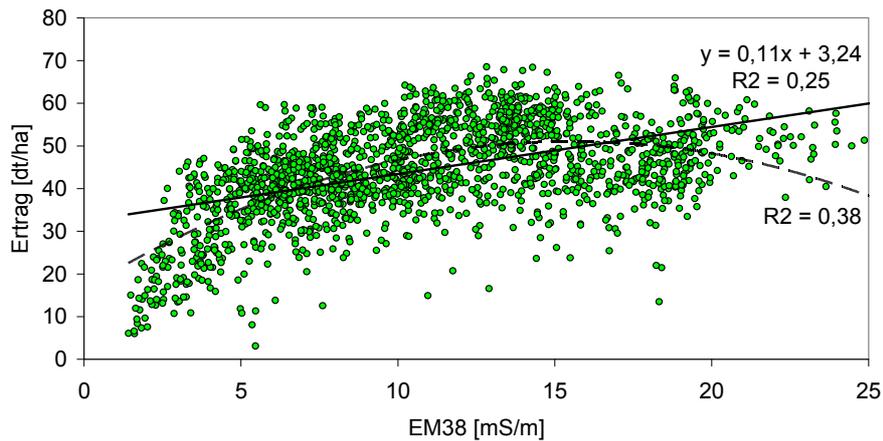


Abbildung 55: EM38-Messwerte und Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

In Abhängigkeit von der Bodenleitfähigkeit (EM38) stiegen der Gerstenertrag und die Tausendkornmasse (TKM), fielen aber die N/P/K-Gehalte (siehe Tab.13).

Tabelle 13: Parameter der Wintergerste (Korn) aus Mäh- und Handdrusch, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

EM38	Ertrag (Mähdrusch)	Ertrag (Handernte)	TKM	N	P	K
[mS/m]	[dt/ha]		[g]	[% i. d. TS]		
2,11	16,4	22,8	32,9	3,0	0,41	0,61
2,25	19,3	26,4	34,7	3,2	0,40	0,61
8,26	43,0	45,2	36,7	2,5	0,34	0,51
13,37	52,5	68,0	38,7	3,0	0,30	0,47
13,41	55,0	69,8	38,0	3,0	0,36	0,47

Fazit Wintergerste 2007

Die YARA N-Sensordaten und die Ertragsdaten zeigten eine hohe Beziehung zu den Werten der elektrischen Leitfähigkeit (EM38). Weitaus geringer fiel der Zusammenhang zwischen den mit dem CROP-Meter gemessenen Winkeln und den EM38-Werten aus.

3.4 N-Düngung 2008

Zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe waren die Bestände weitaus ausgeglichener als im Jahr 2007. Im März und April fielen insgesamt 162 mm Niederschlag, im Vorjahr gerade einmal 39 mm. Die Biomasseindexwerte des YARA N-Sensors ALS streuten nur gering um den Mittelwert des jeweiligen Schläges. Dies zeigte sich auch in der geringen Variation der Ausbringmengen in den Sensor-Varianten. Die Unterschiede innerhalb der Schläge ließen sich dennoch durch eine entsprechende Klassifizierung (siehe Abb. 56) herausarbeiten.

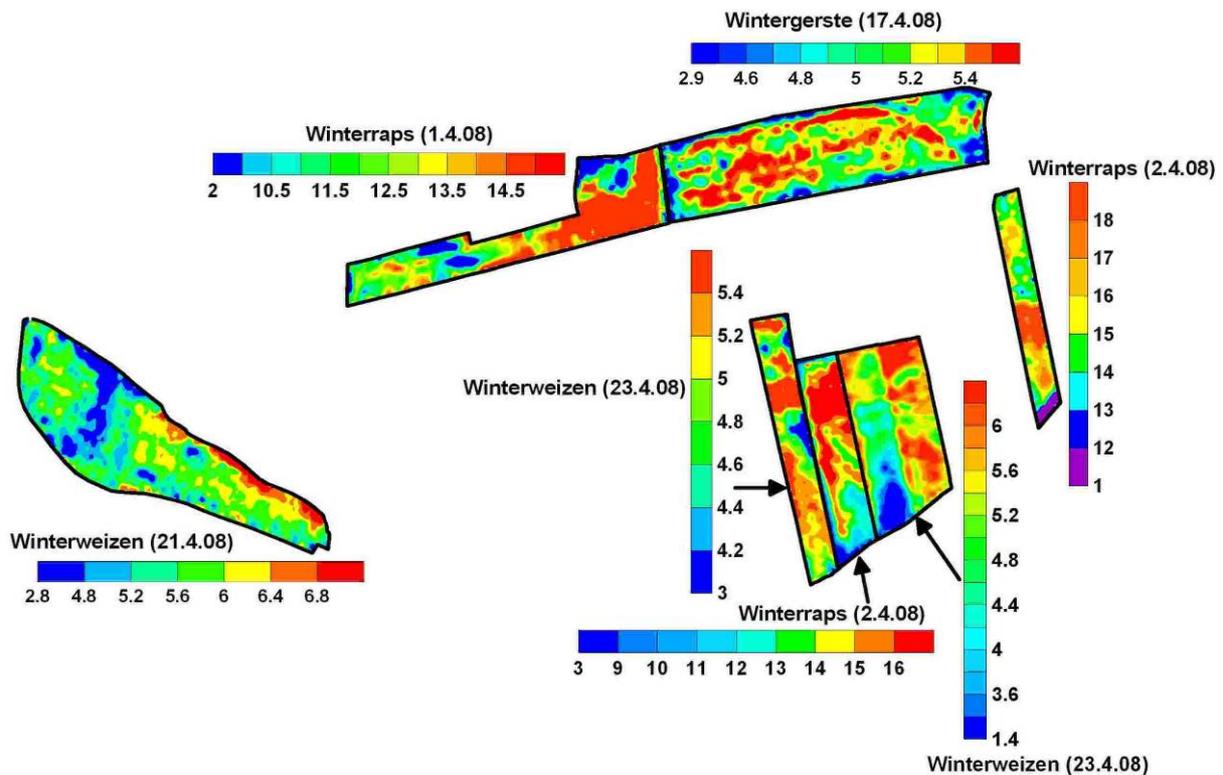


Abbildung 56: Biomasseindex (YARA N-Sensor ALS) zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe, Köllitsch 2008 (blau = wenig Biomasse/Chlorophyll, rot = viel Biomasse/Chlorophyll), 2008

Die im Jahr 2008 durchgeführten Tests zu Winterraps, Winterweizen und Wintergerste sind für die 2. und 3. N-Gabe in Abbildung 57 dargestellt. Ergänzend zum Jahr 2007 wurde das Verfahren „Karte“, die variable Applikation nach Potenzialzonen, auf verschiedenen Schlägen angewendet. Die Versuchspläne zur variablen Applikation von Fungiziden und Wachstumsreglern sind im Kapitel 3.5.2 (Pflanzenschutz 2008) dargestellt.

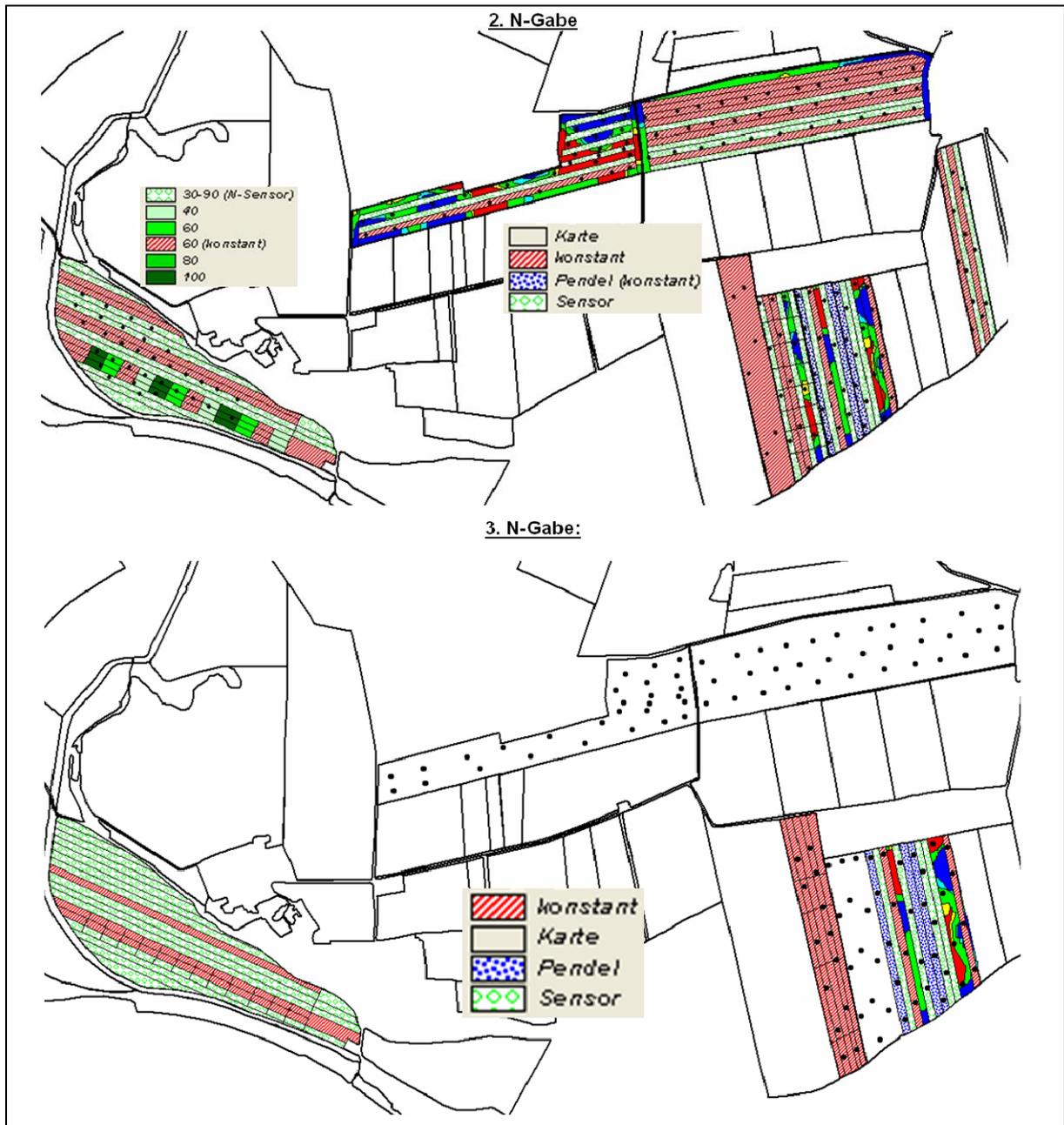


Abbildung 57: Übersicht der Tests zur 2. und 3. N-Gabe in verschiedenen Fruchtarten, 2008

3.4.1 Winterraps

3.4.1.1 Schlag „Adelwitzer Park“

Bereits im März zeichneten sich offensichtlich bodenbedingte Unterschiede im Bestand ab. Die Wuchshöhe und der Bedeckungsgrad (vgl. Abb. 58) im sandigen Schlagteil waren niedriger als im lehmigen Schlagteil.



Abbildung 58: Bestandesunterschiede zu Winterraps am 10.3.2008, Schlag „Adelwitzer Park“

Der Blühbeginn setzte in den sandigen Schlagteilen mehrere Tage eher ein, sehr deutlich in der Abbildung 59 dokumentiert.



Abbildung 59: Unterschiede im Blühbeginn zu Winterraps am 17.4.2008, Schlag „Adelwitzer Park“

Bis Mitte Mai entwickelte sich besonders in den lehmigen Schlagteilen (siehe Abb. 60) ein besonders hoher Bestand von z. T. 2 m Höhe.



Abbildung 60: Winterrapsbestand am 13.5.2008, Schlag „Adelwitzer Park“

Bodenbedingte Unterschiede ließen sich im Bestand auch nach der Blüte erkennen, außerordentlich gut (siehe Abb. 61) aus der Vogelperspektive.



Abbildung 61: Luftbild vom 3.6.2008, Schlag „Adelwitzer Park“ (roter Umriss)

Der Winterraps wurde am 9.7.2008 mit 37 dt/ha im Schlagmittel geerntet, bei schwankenden Druschfeuchten.

Wie zur Vorfrucht Wintergerste im Jahr 2007 wurden im Jahr 2008 (Winterraps) Zusammenhänge zwischen Boden- und Bestandesparametern gefunden. Die Muster der EM38-Werte und des mehrjährigen Relativtrages fanden sich sowohl in der Messung mit dem YARA N-Sensor ALS zur 2. N-Gabe als auch im Winterraps-ertrag wieder (siehe Abb. 62).

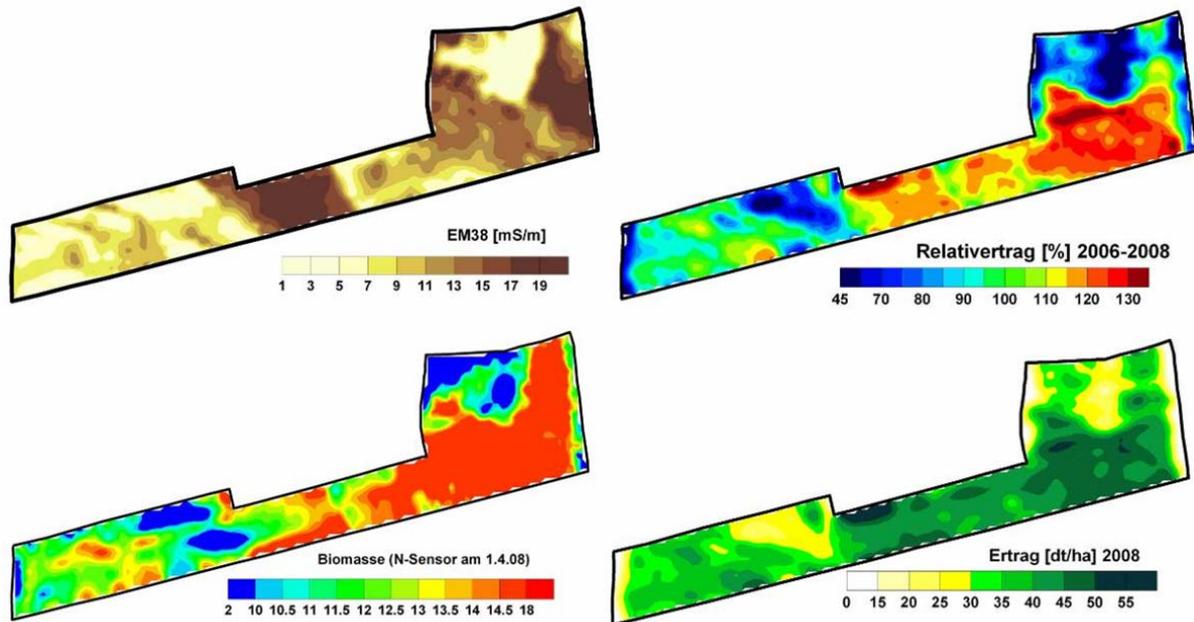


Abbildung 62: Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

Die N-Düngung erfolgte mit den Varianten „konstant“, „N-Sensor“ und „PDA-Zonen“. Die insgesamt gestreuten N-Mengen der 1. und 2. N-Gabe sind in Abbildung 63 dargestellt.

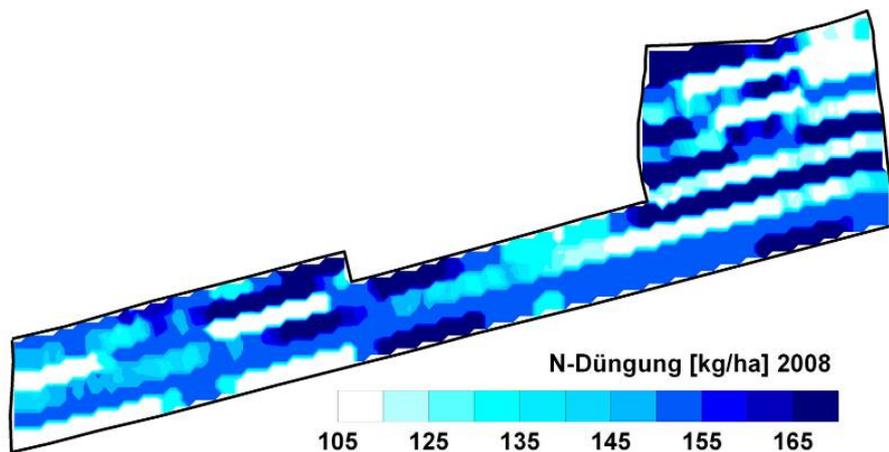


Abbildung 63: N-Düngung zu Winterraps (1. + 2. N-Gabe in kg N/ha), Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

Der Frischmasseertrag des Schlages lag bei 37 dt/ha, mit einer Spanne von 13,2 dt/ha bis 59,5 dt/ha und einer Standardabweichung von 7 dt/ha. Die Höhe der N-Düngung hatte bedingt Einfluss auf die Ertragshöhe, wie nachfolgend gezeigt wird. Deutlich wird dies durch Abbildung 64, in den N-Sensorspuren wurde mit höheren N-Mengen im Trend weniger Ertrag erzielt.

Die Ertragshöhe steht jedoch in Beziehung (vgl. Abb. 65) zu den EM38-Werten ($r^2 = 0,45$ Polynom zweiten Grades) und den beiden Vorjahreserträgen ($r^2 = 0,65$), was die wiederkehrenden Muster bestätigt.

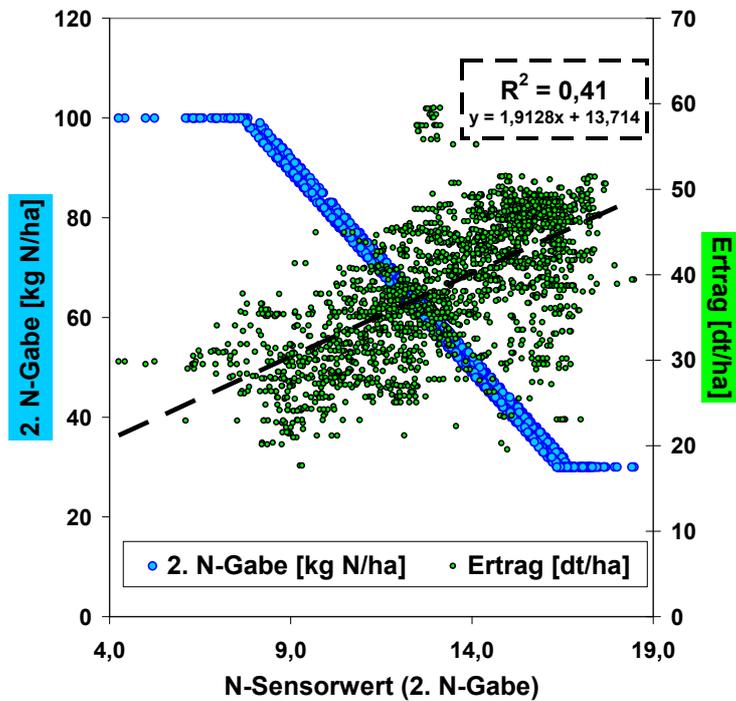


Abbildung 64: Beziehung zwischen N-Sensorwert und Höhe der 2. N-Gabe bzw. Ertrag, Winterraps 2008, Schlag „Adelwitzer Park“ (n = 2 125)

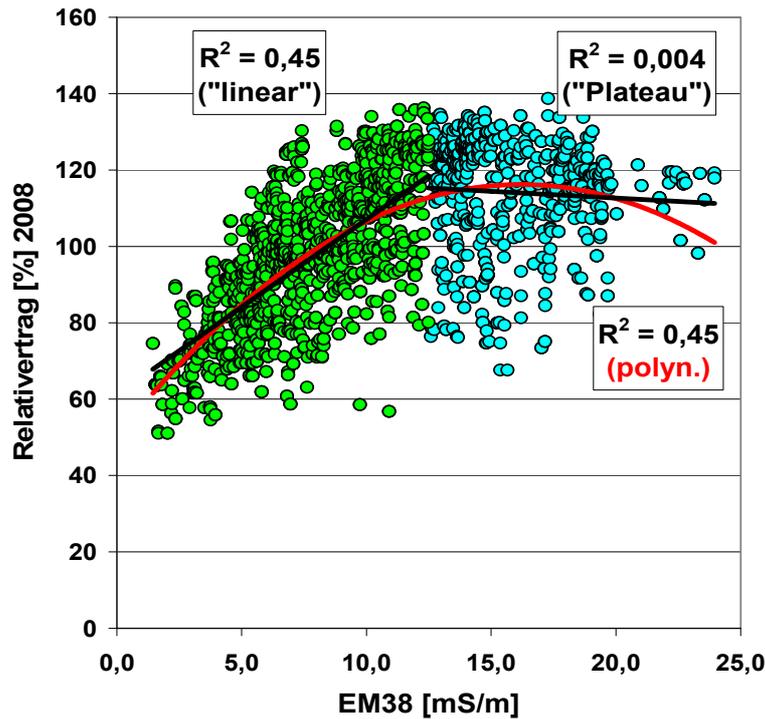


Abbildung 65: Beziehung zwischen EM38 und Relativertrag, Winterertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (n = 2472)

Für die beiden N-Düngungsvarianten „PDA-Zonen“ und „N-Sensor“ ist der Zusammenhang zwischen Höhe der N-Gabe und Ertrag in Abbildung 66 dargestellt. Zonen mit hohem Potenzial (Ausweisung durch die AGRO-SAT Consulting GmbH) erhielten eine hohe N-Düngung. Die N-Sensorvariante ging von einer Senkung der N-Düngermenge bei kräftigem Bestand zum Düngetermin aus. Trotz hoher Streuung wurden die Auswirkungen dieser unterschiedlichen agronomischen Ansätze (Potenzial bzw. Aufdüngung) deutlich.

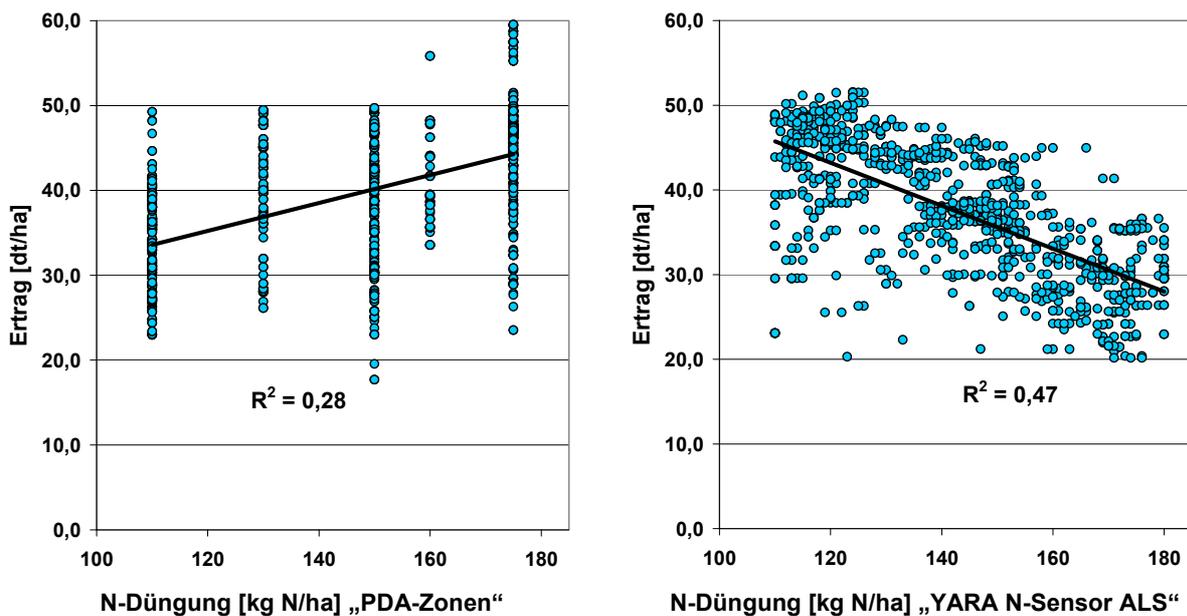


Abbildung 66: N-Düngung und Winterertrag der Varianten „PDA-Zonen“ und „YARA N-Sensor ALS“, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

Der höchste Ertrag (vgl. Tab. 14) wurde nach Betrachtung des gesamten Schlages in der konstanten Variante erzielt. Dies lag aber vorrangig an der unterschiedlichen Lage der Varianten mit unterschiedlichen Anteilen an sandigen bzw. tonigen Flächenanteilen.

Tabelle 14: N-Düngung und Ertrag der Varianten, Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

	Varianten					
	YARA N-Sensor ALS		PDA-Zonen		konstant	
	N-Düngung	Ertrag	N-Düngung	Ertrag	N-Düngung	Ertrag
	[kg N/ha]	[dt/ha]	[kg N/ha]	[dt/ha]	[kg N/ha]	[dt/ha]
μ	142	37,7	145	39,4	150	41,0
Min.	110	20,2	110	17,7		24,5
Max.	180	51,6	175	59,5		48,7
Stabw.	21	7,8	8	7,6		4,7

Für die Abbildung 67 wurden vier von den Bodenunterschieden her ähnliche Fahrspuren miteinander verglichen. Der Ertrag lag bei allen vier Fahrspuren über dem Schlagmittel, da der Anteil an sandigen Teilflächen insgesamt geringer ist. Das Ergebnis fiel nun zugunsten der PDA-Zonenvariante aus, die Variante „konstant“ erzielte gegenüber der Gesamtschlagbetrachtung den niedrigsten Ertrag. Zu berücksichtigen ist die hohe Streuung der Erträge in den Varianten. Es können auch hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

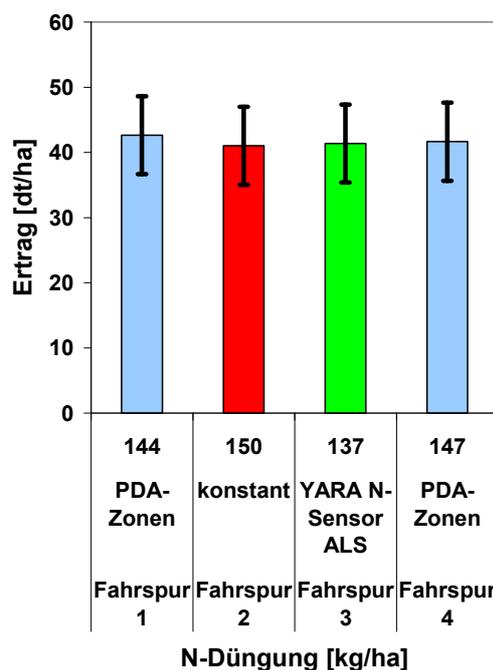


Abbildung 67: N-Düngung und Ertrag vergleichbarer Spuren mit Standardabweichung, Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

Je nach Auswertung (Gesamtschlag, Varianten, Fahrspuren) wurde ein anderes Ergebnis erreicht. Hier wird noch einmal das Problem großflächiger Praxisversuche deutlich. Die Vielfalt unterschiedlicher Standorteigenschaften innerhalb eines Schlages erschwert die Vergleichbarkeit. Ergebnisse zur Vorteilswirkung verschiedener PF-Applikationsvarianten auf heterogenen Standorten sind deshalb kritisch zu hinterfragen.

Zur Ermittlung von Qualitätsparametern des Druschgutes wurden variantenbezogene Stichproben analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Die Werte für Inhaltsstoffe lagen eng zusammen. Erklärbare Unterschiede zwischen den Varianten bzw. Bodenarten (EM38) oder gestreuter N-Menge waren nicht festzustellen.

Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse Winterrapsamen, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

Variante	Rohprotein	Rohfett	S	P	K	Mg
	[% i. d. TS]					
konstant	20,9	46,6	0,298	0,635	0,696	0,251
PDA-Zonen	22,6	43,2	0,330	0,657	0,705	0,259
YARA N-Sensor ALS	21,8	46,3	0,340	0,589	0,635	0,257

Für die Stichprobe gibt es keinen Zusammenhang zur Höhe der N-Gabe. Die Schwefel-, Phosphor- und Kaliumgehalte des Rapsamens konnten jedoch durch die Sensormessung (zur 2. N-Gabe) und den mehrjährigen errechneten Relativertrag erklärt werden. Der Rohfettgehalt sowie die P- und K-Gehalte korrelierten mit der Ertragshöhe (siehe Tab. 16).

Tabelle 16: Korrelationsmatrix (nur $r^2 > 0,5$) Winterraps, Schlag „Adelwitzer Park“ (2008)

r^2	Rohprotein	Rohfett	S	P	K	BI 1.4.2008	Ertrag	EM38	VERIS (UB)	Luftbildinfo
Rohfett										
S	0,64									
P			0,69							
K			0,74	0,93						
BI 1.4.2008			0,80	0,77	0,82					
Ertrag		0,53		0,53	0,61					
EM38					0,52	0,73				
VERIS (UB)						0,59		0,90		
Luftbildinfo		0,68		0,53	0,56	0,53	0,65			
Ertrag 06-08		0,50	0,50	0,74	0,85	0,76	0,84	0,65	0,63	0,79

UB: Unterboden

Luftbildinfo: Index aus den Spektralbereichen des sichtbaren Lichts

Ertrag 06-08: mehrjähriger (2006 - 2008) mittlerer Relativertrag

3.4.1.2 Schlag „121.22“

Auf dem Schlag „121.22“ (9 ha) wurde im Wintertraps zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe die variable N-Düngung mit dem YARA N-Sensor ALS und die konstante N-Düngungsvariante getestet. Der gute Zusammenhang ($r^2 = 0,41$, polyn.) zwischen Bodenunterschieden und Ertrag wurde für diesen Schlag 2008 sehr deutlich. Mit steigenden EM38-Werten wurde im Trend ein höherer Ertrag erzielt, mit einer Spannweite von 18 bis 44 dt/ha und einem Schlagmittel von 29 dt/ha. Die Messungen des YARA N-Sensor ALS gaben die Muster der Ertragshöhe gut wieder (siehe Abb. 68).

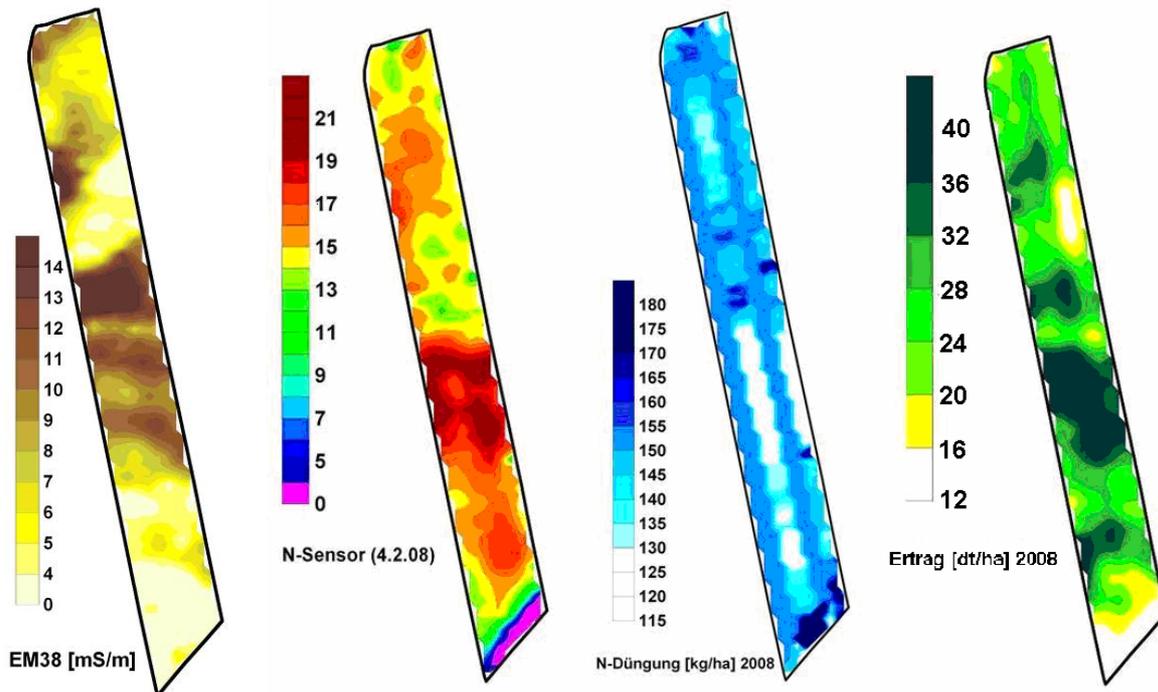


Abbildung 68: Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „121.22“ (2008)

Betrachtet für die zwei Sensorspuren, sind die Beziehungen zwischen N-Düngung und Ertrag (siehe Tab. 17 und Abb. 69) negativ. Die variable N-Applikation ergab fallende Erträge an Stellen mit höheren N-Gaben. Der Grund ist in der N-Sensordüngung hinterlegten Funktion zu suchen. Zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe erkennt der Sensor einen scheinbaren Stickstoffmangel und düngt auf. Das witterungsabhängige Ertragspotenzial kann mit diesem Ansatz nicht berücksichtigt werden.

Tabelle 17: Korrelationen (nur Sensorspuren) von Wintertraps, Schlag „121.22“ (2008)

r (n = 436)	2. N-Gabe	BI 2. N-Gabe	DGPS-Höhe	EM38	Luftbildinfo	N-Düngung
2. N-Gabe						
BI 2. N-Gabe	-0,92					
DGPS-Höhe	0,45	-0,37				
EM38	-0,25	0,31	-0,04			
Luftbildinfo	-0,50	0,68	0,10	0,57		
N-Düngung	1,00	-0,92	0,45	-0,25	-0,50	
Ertrag	-0,69	0,68	-0,51	0,60	0,52	-0,69

Luftbildinfo: Index aus den Spektralbereichen des sichtbaren Lichts

Die gemessenen N-Sensorwerte zum Zeitpunkt der 2. Stickstoffgabe zu Winterraps standen mit den Indexwerten aus den Spektralbereichen des sichtbaren Lichts der Luftbildanalyse im Zusammenhang (siehe Tab. 17 und Abb. 70).

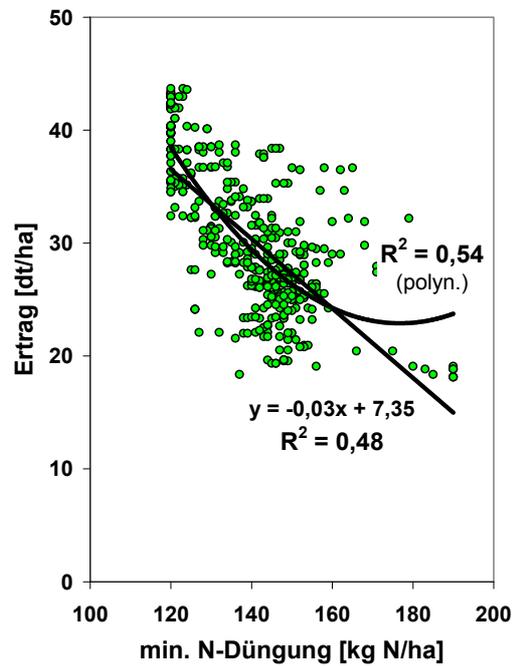


Abbildung 69: Zusammenhang zwischen N-Düngung zu Winterraps und Winterrapsertrag in den zwei Sensorspuren, Schlag „121.22“ (2008)

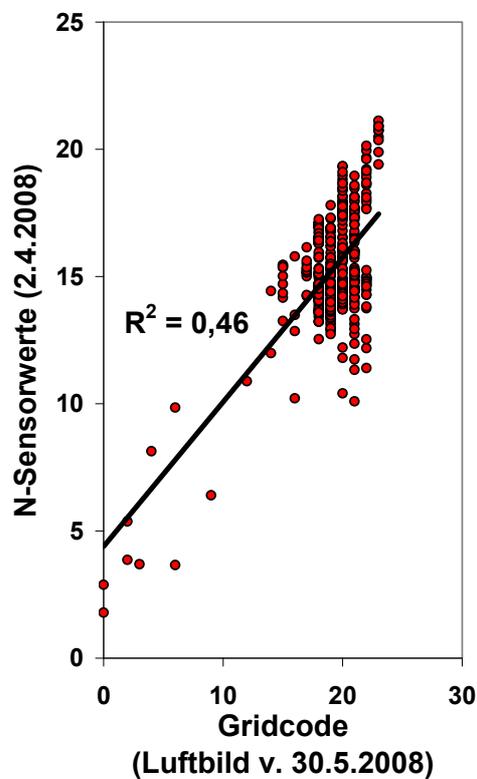


Abbildung 70: Zusammenhang zwischen Luftbildinformation und N-Sensorwert zum Zeitpunkt der 2. N-Gabe, Schlag „121.22“ (2008)

In Abbildung 71 ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen Bodenunterschieden und Ertrag zu sehen, der durch N-Düngungsmaßnahmen bei einem Witterungsverlauf wie im Frühjahr 2008 bis zur Ernte wahrscheinlich auf dem Standort Köllitsch nicht auszugleichen ist.

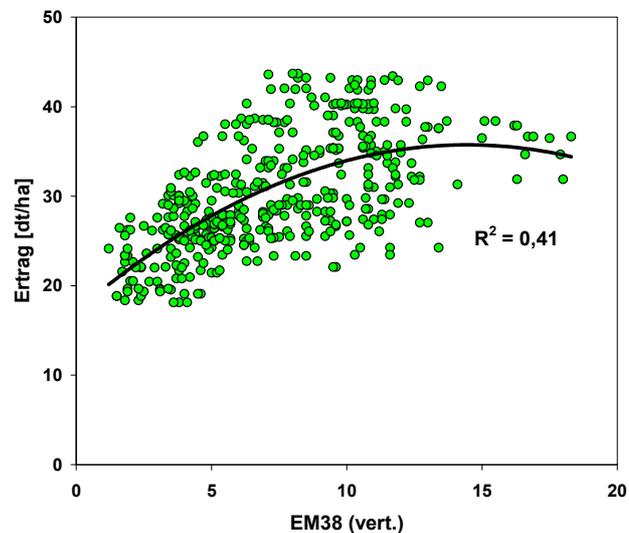


Abbildung 71: Zusammenhang Boden (EM38) und Ertrag der zwei Sensorspuren, Schlag „121.22“ (2008)

Im Vergleich der Varianten „YARA N-Sensor ALS“ und „konstant“ wurde der gleiche Ertrag erzielt und in der N-Sensorvariante etwa 10 kg N/ha Düngaufwand eingespart (siehe Tab. 18).

Tabelle 18: Vergleich der Varianten „konstant“ und „YARA N.Sensor ALS“ (je zwei Fahrspuren) hinsichtlich Ertrag und N-Dünger Aufwand, Schlag „121.22“ (2008)

		konstant	YARA N-Sensor ALS
Ertrag	[dt/ha]	29,34	29,36
s	[dt/ha]	6,56	6,32
N -Düngung	[kg N/ha]	150,0	140,3 (120 - 190)

3.4.1.3 Schlag „121.33“

Auf dem Winterrapsschlag 121.33 wurden 2008 zum Zeitpunkt der zweiten Stickstoffgabe die konstante N-Düngung, die variable N-Applikation mit dem YARA N-Sensor ALS und die variable N-Düngung nach PDA-Zonen angewendet. Für diesen Winterrapsschlag bestanden bei Betrachtung des gesamten Schlages keine nennenswerten Zusammenhänge zwischen zum Beispiel N-Düngermenge, Ertrag oder N-Sensordaten, dargestellt in Abbildung 72. Die im Vergleich zu anderen Schlägen geringe Differenzierung der Bodenunterschiede kann eine Ursache sein.

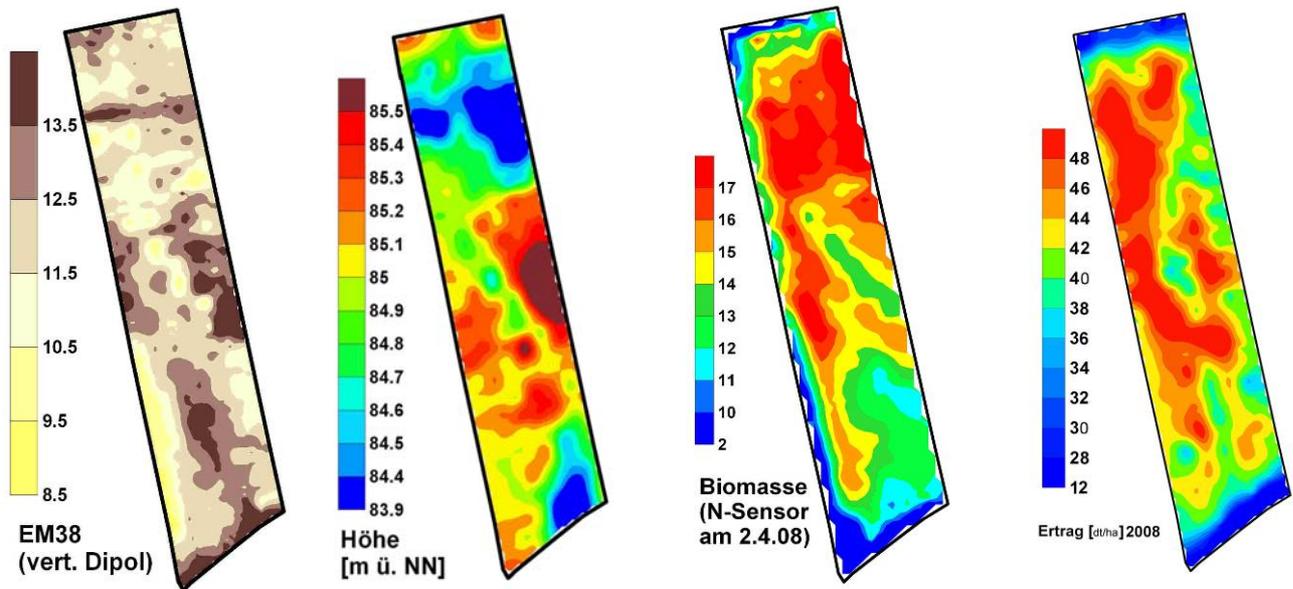


Abbildung 72: EM38, Höhe, Biomasse und Winterertrag 2008, Schlag „121.33“

2008 wurden 40,5 dt/ha Winterertrag geerntet. Die Ertragshöhe schwankte in den drei Varianten etwa zwischen 30 dt/ha und 55 dt/ha. Zwischen N-Düngung und erzieltm Ertrag (siehe Abb. 73) bestand in den variabel gedüngten Varianten nur ein geringer Zusammenhang.

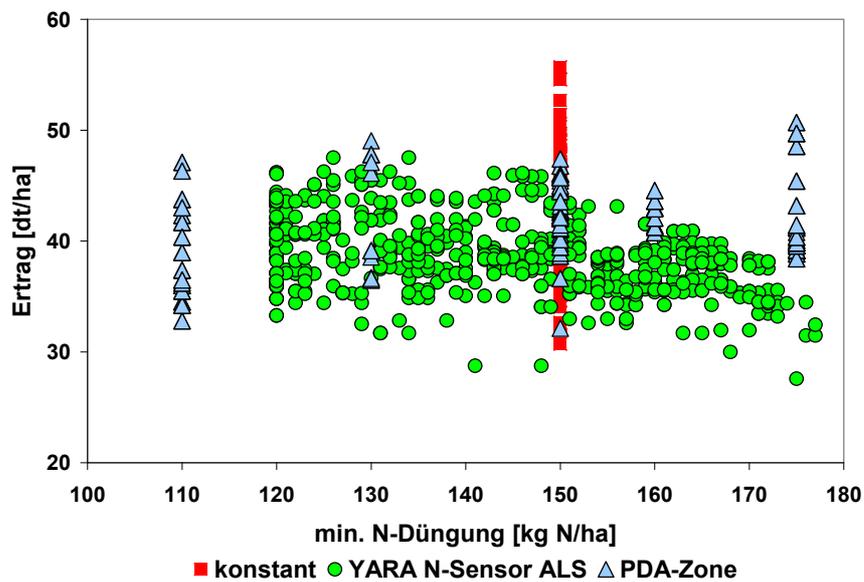


Abbildung 73: N-Düngung und Ertrag zu Winterertrag der drei Applikationsvarianten, Schlag „121.33“ (2008)

Ebenso waren beim einfachen Mittelwertvergleich der Varianten keine Unterschiede festzustellen (siehe Tab. 19). Die Unterschiede zwischen den Varianten waren kleiner 4 dt/ha, bei einer mittleren Streuung der Ertragswerte von etwa 4 dt/ha.

Tabelle 19: Ertrag und N-Düngung der Applikationsvarianten zu Winterraps, Schlag „121.33“ (2008)

	konstant		YARA N-Sensor ALS		PDA-Zone	
	N –Düngung [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]	N-Düngung [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]	N [kg N/ha]	Ertrag [dt/ha]
μ	150	42,4	144	38,6	149	41,5
s		4,4	17	3,9	23	3,6
EM38	10,1		10,7		11,6	

Fazit Winterraps 2008

Die Ertragshöhe stand in Beziehung zu den EM38-Werten. Eine hohe N-Düngung erhielten Schlagbereiche mit einem hohen Potenzial. Die N-Sensorvariante ging von einer Senkung der N-Düngermenge bei kräftigem Bestand zum Düngetermin aus. Trotz hoher Streuung wurden die Auswirkungen dieser unterschiedlichen agronomischen Ansätze deutlich. Nach der fahrspurorientierten Auswertung erreichte die Variante der N-Düngung nach Potenzialzonen das höchste Ertragsergebnis. Die Variante „konstant“ erzielte den niedrigsten oder einen Ertrag der mit der sensorgedüngten Stickstoffdüngungsvariante vergleichbar war.

3.4.2 Winterweizen

3.4.2.1 Schlag „Rüstergehege“

Auf dem Schlag „Rüstergehege“ (37,4 ha) wurde 2008 die N-Düngung, zusätzlich zu den in drei Fahrspuren angelegten N-Stufen, zu den Zeitpunkten der zweiten und dritten Stickstoffgabe mit konstanter und variabler Mengendosierung ausgebracht. Die variable Ausbringung erfolgte nach Messwerten des YARA N-Sensors ALS. Vergleichende Messwerte wurden mit dem CROP-Meter gewonnen. Der Winterweizenbestand begann Ende Juni/Anfang Juli 2008 auf begrenzten Schlagteilen zu lagern (siehe Abb. 74).



Abbildung 74: Lager am 1.7.2008 im Winterweizen, Schlag „Rüstergehege“

Die Ernte erfolgte am 29.7.2008 mit einem über dem betrieblichen Durchschnittsertrag (77,4 dt/ha, ohne Flächen für den Ökologischen Landbau) liegenden Frischmasseertrag von 89,9 dt/ha.

Wie schon optisch in den Karten der Abbildung 75 zu sehen ist, konnten 2008 zwischen verschiedenen Boden- und Bestandesinformationen Beziehungen zum Ertrag gefunden werden. Gerade die späten Messungen mittels optischer Verfahren korrelieren am besten mit der Ertragshöhe. Bis auf den sandigeren Schlagteil war der Bestand augenscheinlich sehr homogen und auch die Ertragsdifferenzierung gering, die Bestimmtheitsmaße lagen bei etwa $r^2 = 0,3$ ($r = 0,52 \dots 0,58$; polynomisch r^2 bis 0,49).

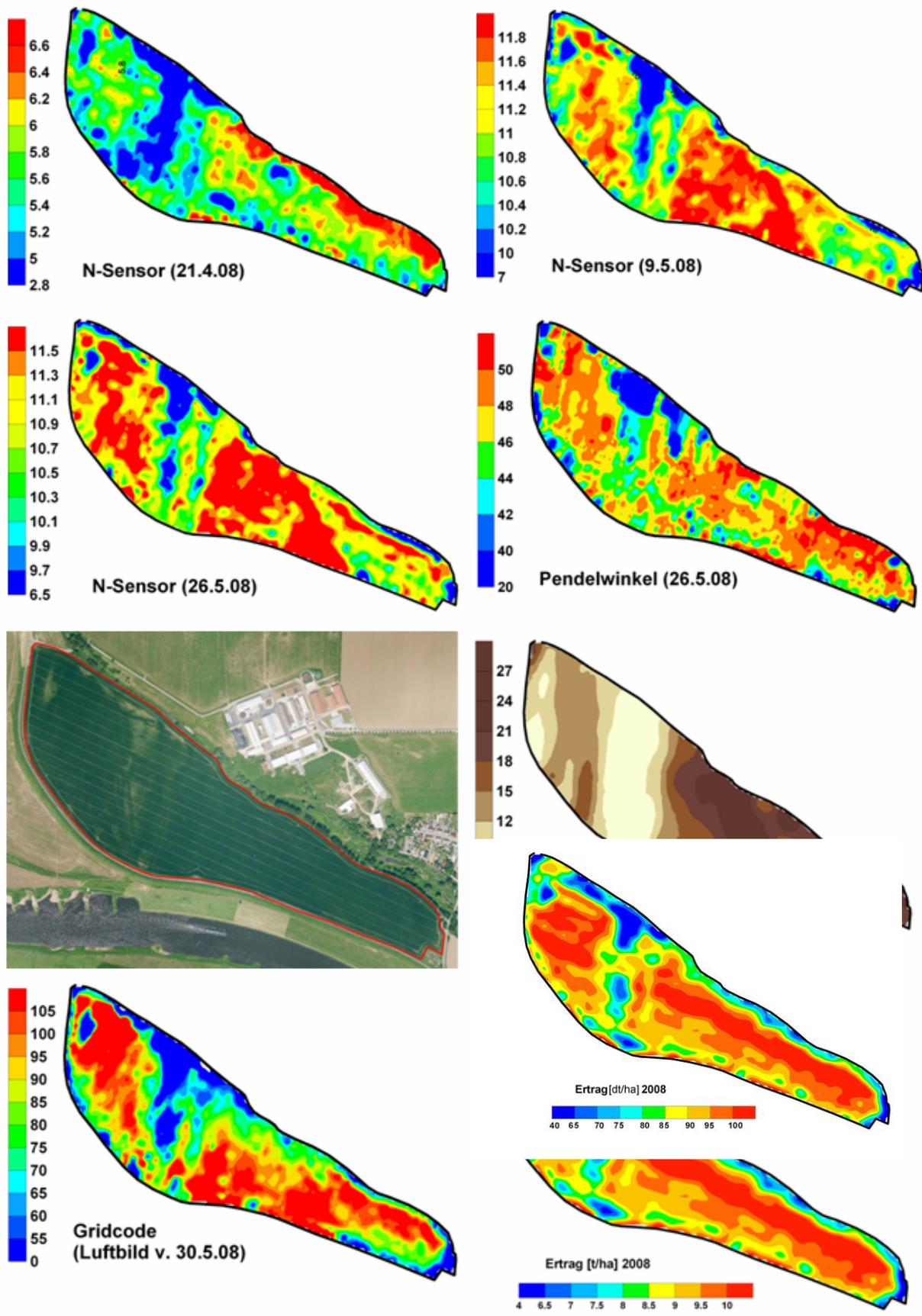


Abbildung 75: Standort- und Bestandesdifferenzierung 2008, Schlag „Rüstergehege“

Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge sind in Abbildung 76 N-Sensorwerte und Werte der Luftbilddauswertung dem Ertrag gegenübergestellt.

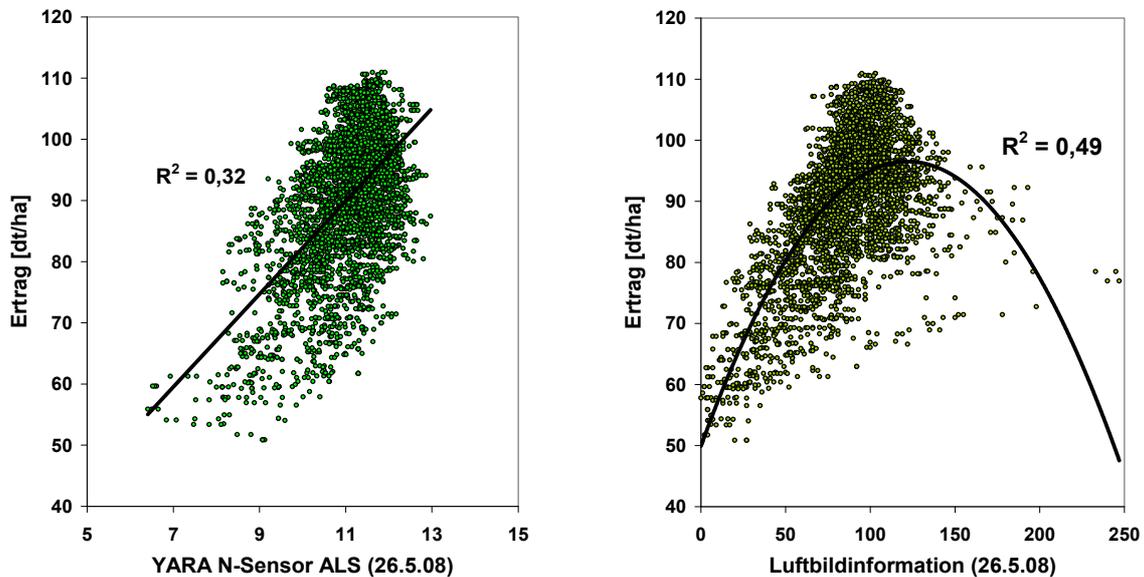


Abbildung 76: Zusammenhang von N-Sensormessung (links) und Luftbilddauswertung (rechts) zum Winterweizenertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008)

Die Variation der N-Düngung erfolgte zur 2. N-Gabe in drei Fahrspuren in den N-Stufen 40, 60, 80 sowie 100 kg N/ha und jeweils zur 2. und 3. N-Gabe wurden verschiedene Fahrspuren mit „N-Sensor“ oder „konstant“ gedüngt. Die insgesamt gestreute N-Menge ist Abbildung 77 zu entnehmen. Bei Betrachtung des gesamten Schlages bestand keine Beziehung zwischen der Höhe der N-Düngung und dem Ertrag.

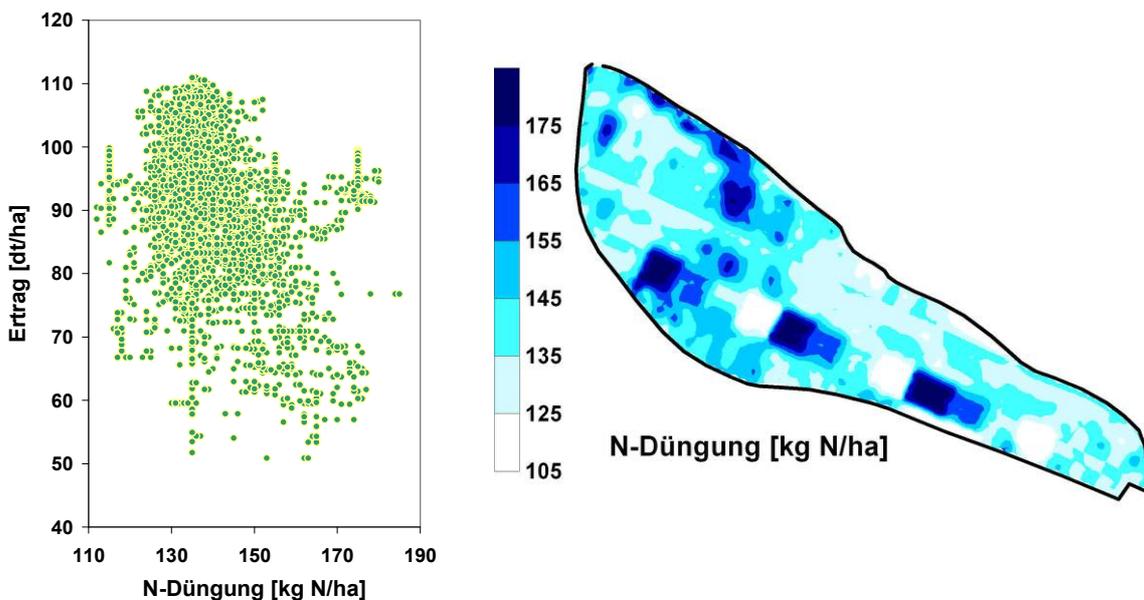


Abbildung 77: Karte der N-Düngung und Zusammenhang von N-Düngung und Winterweizenertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008)

Auch bei separater Betrachtung der drei Fahrspuren mit N-Düngestufen bestand kein Zusammenhang zwischen N-Düngung und Ertrag. In Abbildung 78 ist dieser Zusammenhang dargestellt, getrennt nach der Applikationsmethode zur 3. N-Gabe („konstant“ bzw. „YARA N-Sensor ALS“). Die Erträge lagen, mit bestimmter Streuung, ohne erkennbaren Trend durchweg auf hohem Niveau.

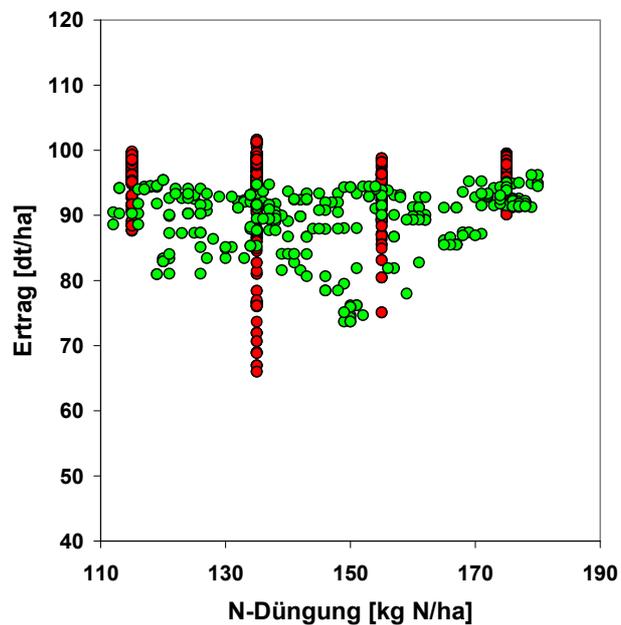


Abbildung 78: Zusammenhang zwischen N-Düngung und Ertrag, Schlag „Rüstergehege“ (2008)

(rot = konstant; grün = variabel mit N-Sensor)

Zu bemerken ist, dass in der Variante „N-Stufen-Sensor“ die 3. N-Gabe am 26.5.2008 zwischen 40 – 75 kg N/ha variiert wurde. Wie aus Abbildung 79 ersichtlich, lassen sich zu einem geringen Anteil (23 %) die N-Sensormesswerte am 26.5.2008 durch die Variation der Höhe der 2. N-Gabe (21.4.2008) erklären.

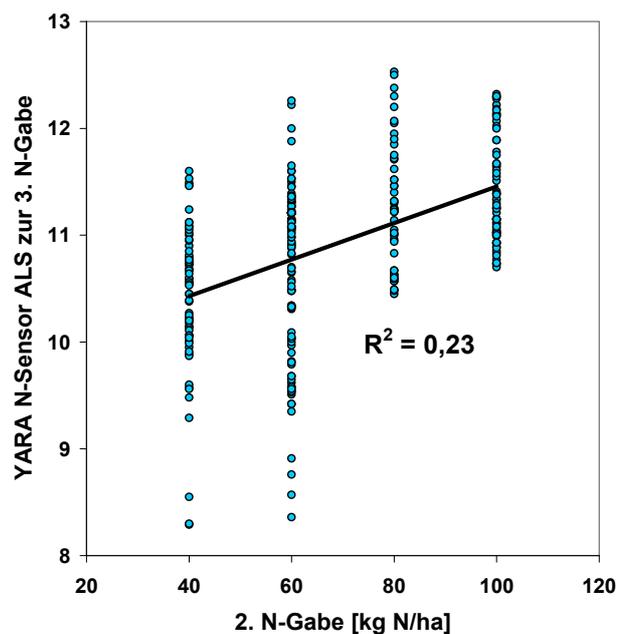


Abbildung 79: Zusammenhang zwischen Höhe der 2. N-Gabe zu Winterweizen und N-Sensormesswert zur 3. N-Gabe, Schlag „Rüstergehege“ (2008)

3.4.2.2 Schlag „121.31“ und „121.32“

2008 wurden auf den Schlägen „121.31“ und „121.32“ in Winterweizen die variablen N-Düngevarianten mit dem CROP-Meter, dem YARA N-Sensor ALS und nach PDA-Zonen sowie die konstante Ausbringungsvariante realisiert. Die Lage der Varianten für die beiden Schläge (je sechs Fahrspuren) ist in Abbildung 80 dargestellt.

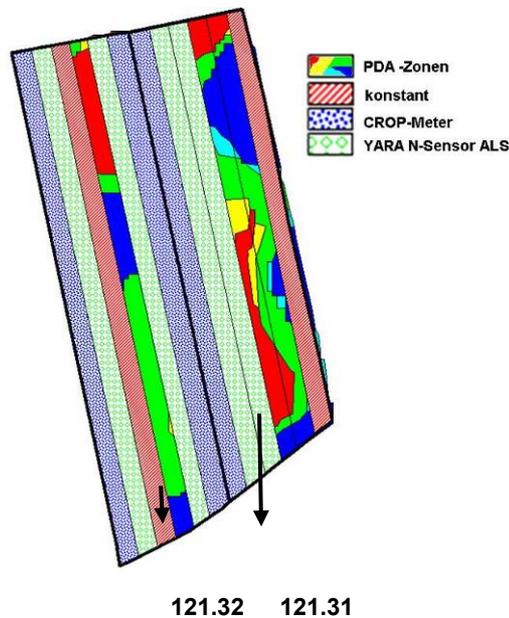


Abbildung 80: Versuchsanlage für die 2. und 3. N-Gabe zu Winterweizen der Schläge „121.31“ und „121.32“, 2008

Für die beiden nebeneinander liegenden Weizenschläge, beide mit der Weizensorte „Maxi“, sind die Differenzierung der Biomasse (Messung mit dem YARA N-Sensor ALS) zu zwei Terminen und der Winterweizenertrag in Abbildung 81 gegenübergestellt. Deutlich wird aus beiden N-Sensormessungen die Stickstoffnachwirkung der Vorfrucht Winterraps auf dem rechten Schlag („121.31“), der auch zur BI-Messung am 9.5.2008 den durchschnittlich höheren BI-Wert aufwies. Die um 2 dt/ha gering höheren Erträge wurden jedoch auf dem linken Schlag „121.32“ mit der Vorfrucht Winterweizen erzielt.

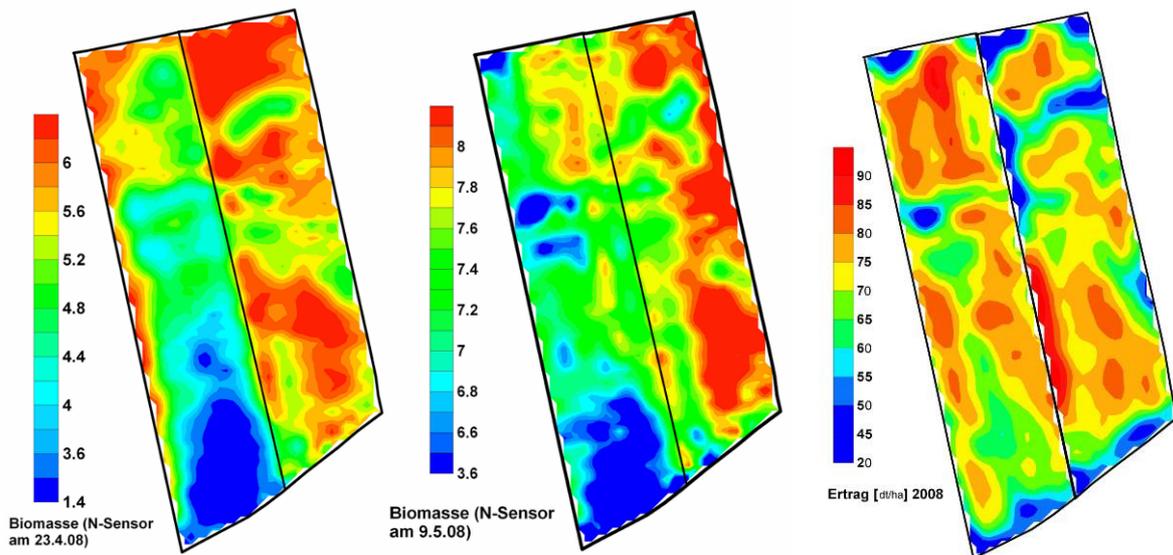


Abbildung 81: N-Sensormessungen und Ertrag, Schläge „121.31“ (rechts) und „121.32“ (links), 2008

Einige markante Muster, die sich im Bestand etablierten, stechen besonders im Luftbild (30.5.2008) bzw. in dessen Auswertung (siehe Abb. 82) hervor.

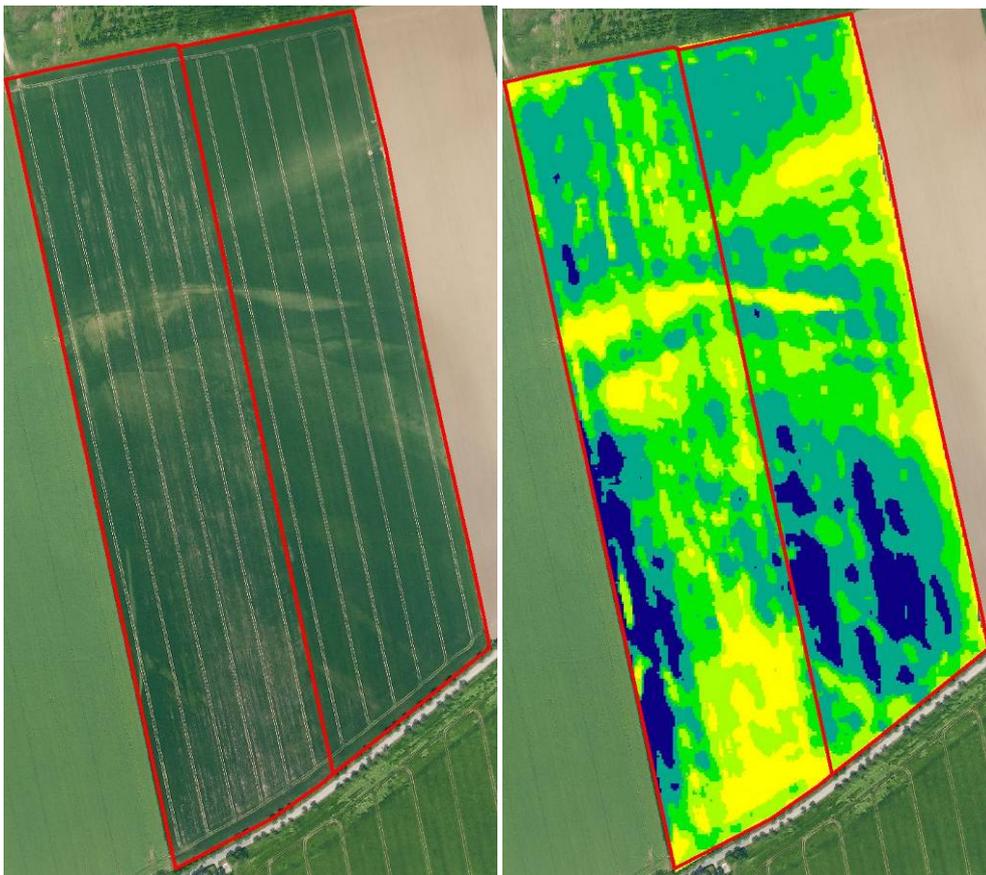


Abbildung 82: Luftbild vom 30.5.2008 und Karte der Auswertung der Luftbildinformation, Schläge „121.31“ (rechts) und „121.32“ (links)

Für den Schlag „121.31“ sind die Korrelationen von interpolierten Standort- und Bestandesinformationen bzw. dem Ertrag in Tabelle 20 aufgeführt. Zum Ertrag liegen die Korrelationskoeffizienten für alle Datensätze unter 0,5. Allenfalls für die EM38-Werte und die Luftbild- bzw. Sensorinformationen bestehen untereinander höhere Zusammenhänge.

Tabelle 20: Korrelationsmatrix Winterweizen, Schlag „121.31“ (2008)

r (n = 1150)	Höhe	2. N-Gabe	BI zur 2. Gabe	BI zur 3. Gabe	3. N-Gabe	Winkel 28.5.2008	N-Düngung	Ertrag	EM38
2. N-Gabe	0,25								
BI zur 2. Gabe	-0,31	0,07							
BI zur 3. Gabe	-0,10	0,28	0,76						
3. N-Gabe	0,03	0,58	0,46	0,51					
Winkel 28.5.2008	-0,04	-0,11	-0,05	-0,20	0,11				
N-Düngung gesamt	0,16	0,90	0,29	0,44	0,88	-0,01			
Ertrag	0,27	0,19	0,14	0,08	0,28	0,16	0,26		
EM38	0,34	0,15	0,23	0,42	0,06	-0,23	0,12	0,13	
Luftbildinformation	0,25	0,28	0,59	0,68	0,43	-0,09	0,39	0,46	0,63

Die Auswertung der Erträge der einzelnen Applikationsvarianten (siehe Abb. 83) ergab keine Unterschiede. Im Vergleich zu „konstant“ konnten mit der Sensorvariante und der PDA-Variante 8 kg N/ha bzw. 4 kg N/ha eingespart werden.

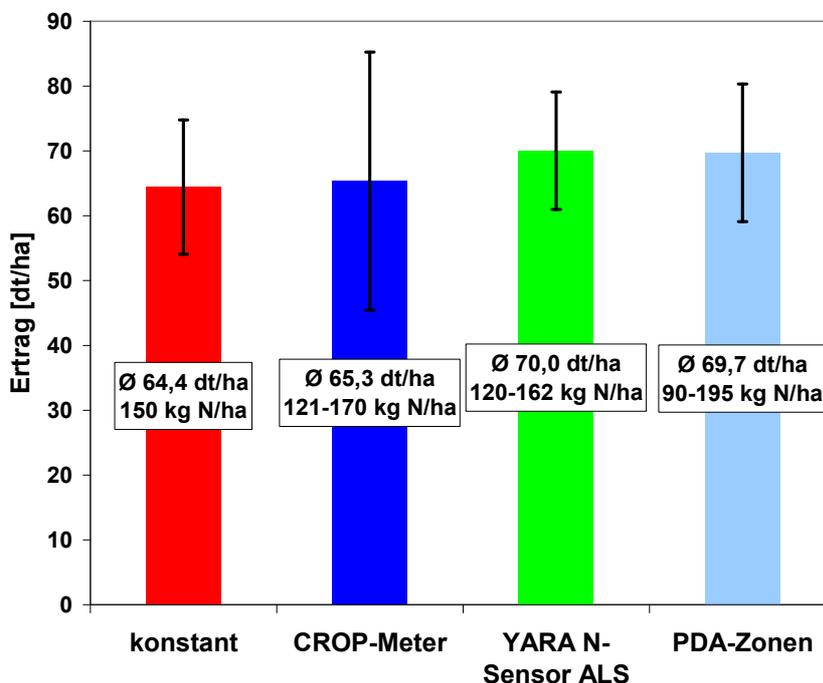


Abbildung 83: Ertrag und Spanne der gestreuten N-Menge der Varianten, Schlag „121.31“

Für die beiden variablen Varianten „YARA N-Sensor ALS“ und „PDA-Zonen“ zeigt Abbildung 84 eine im Trend sinkende N-Effizienz mit höherem Einsatz an Dünger-N. Die in diesem Jahr bezeichnende Ausgeglichenheit des Bestandes schlug sich in einer geringen Variation der N-Düngung in der Sensorvariante nieder. Dies bedingt die geringen Unterschiede in der N-Effizienz der N-Sensorvariante.

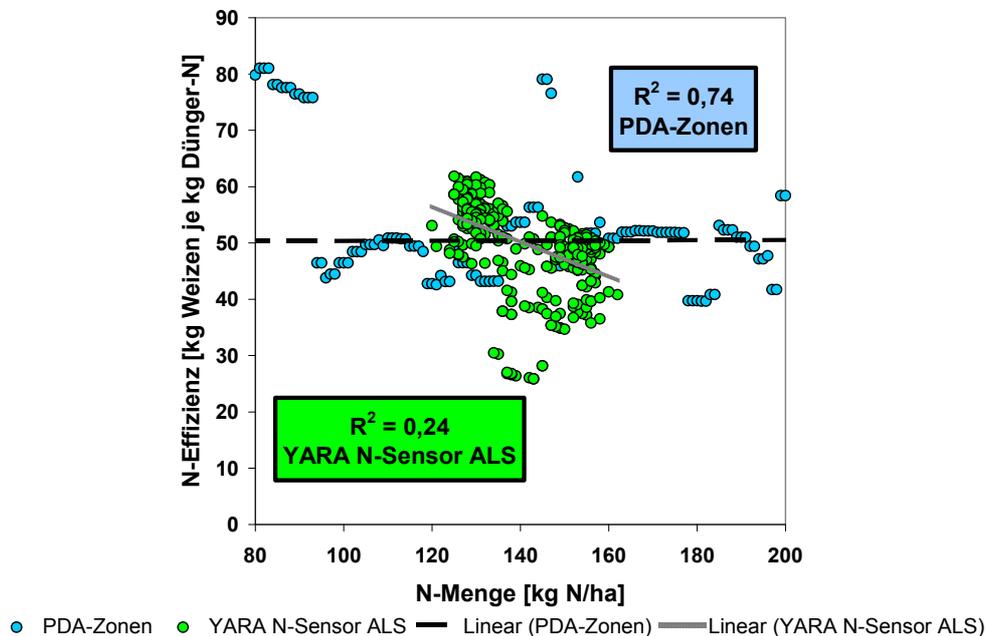


Abbildung 84: Zusammenhang von gestreuter N-Menge und N-Effizienz (in kg Weizen je kg Dünger-N) der Varianten „N-Sensor“ und „PDA-Zonen“, Schlag „121.31“ (2008)

Für den linken Schlag „121.32“ können bezüglich der Korrelationen ähnliche Aussagen wie für den Schlag „121.31“ getroffen werden. Im Unterschied gibt es jedoch hier Beziehungen von $r > 0,5$ von späten Sensormessungen (YARA N-Sensor ALS und CROP-Meter), der 3. N-Gabe und der „PDA-Zonen“ (Potenzial) zum Ertrag (Tab. 21).

Tabelle 21: Korrelationsmatrix Winterweizen, Schlag „121.32“ (2008)

r (n = 1392)	BI zur 2. Gabe	2. N-Gabe	BI zur 3. Gabe	3. N-Gabe	Winkel 28.5.2008	EM38	Luftbildinformation	PDA-Zonen
2. N-Gabe	0,17							
BI zur 3. Gabe	0,60	0,36						
3. N-Gabe	0,37	0,54	0,58					
Winkel 28.5.2008	0,53	0,15	0,34	0,47				
EM38	-0,41	-0,10	-0,12	-0,19	-0,33			
Luftbildinformation	0,63	0,22	0,69	0,39	0,40	-0,01		
PDA-Zonen	0,28	0,28	0,42	0,40	0,31	-0,30	0,18	
Ertrag 2008	0,47	0,34	0,53	0,59	0,58	-0,42	0,40	0,55

Der Vergleich der Varianten ergab ein ähnliches Bild wie beim Schlag „121.31“. Die Varianten „YARA N-Sensor ALS“ und „PDA-Zonen“ lagen bezüglich der Ertragshöhe unerheblich gering über der konstant gedüngten und der variabel mit dem CROP-Meter gedüngten Variante.

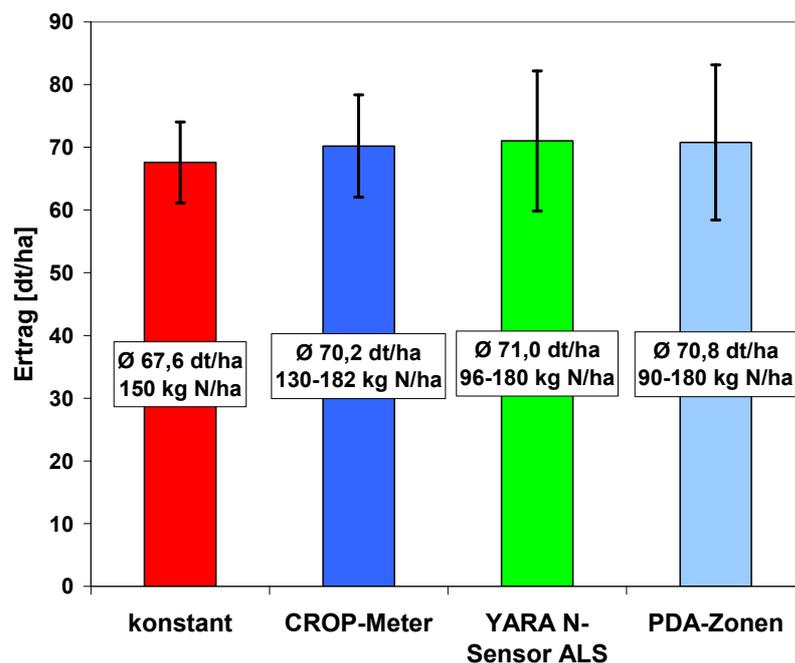


Abbildung 85: Ertrag und Spanne der gestreuten N-Menge der Varianten, Schlag „121.32“ (2008)

Fazit Winterweizen 2008

Mit den Varianten der variablen N-Düngung nach Potenzialzonen mit dem PDA und mit dem YARA N-Sensor ALS wurden 2008 vergleichbare Winterweizenerträge erzielt. Tendenziell fielen die Weizenerträge der mit CROP-Meter variabel gedüngten Variante geringer aus, gefolgt von der Variante mit konstanter N-Düngung. Im Vergleich zu „konstant“ konnten in der YARA N-Sensorvariante und in der PDA-Variante geringe N-Düngermengen eingespart werden.

3.4.3 Wintergerste

Im Jahr 2008 wurden variable Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen auf dem Schlag durchgeführt. Die Ausführungen zum Pflanzenschutz erfolgen in Kapitel 3.5.2.2.

Nach dem milden Winter konnten bereits im März 2008 optisch, wenn auch geringe, bodenbedingte Unterschiede (Grünfärbung) im Bestand (siehe Abb. 86) festgestellt werden.



Abbildung 86: Beginnende Differenzierung des Wintergerstenbestandes zwischen „Sand“ und „Lehm“ am 10.3.2008, Schlag „Am Flugplatz“

Die hohen Niederschläge von über 100 mm im April 2008 führten zu einem kräftigen Bestand (siehe Abb. 87).



Abbildung 87: Wintergerstenbestand am 13.5.2008, Schlag „Am Flugplatz“

Am 22.5.2008 traten erste Lagerstellen (vgl. Abb. 88) im mittleren lehmigen Senkenbereich des Schlages „Am Flugplatz“ auf.



Abbildung 88: Wintergerstenlagerstelle (ca. 0,5 ha) am 22.5.2008, Schlag „Am Flugplatz“

Im Luftbild vom 30.5.2008 sind die über den gesamten Schlag zunehmend auftretenden Lagerstellen (siehe Abb. 89 a, gelber Umriss ca. 2 ha) und besonders auch die bodenwasserbedingte, unterschiedliche Abreife der Wintergerste zu erkennen (siehe Abb. 89 b).



a) 30.5.2008 (Ortho-Luftbild)

b) 3.6.2008 (Schrägaufnahme)

Abbildung 89: Luftbilder (30.5.2008 und 3.6.2008), Schlag „Am Flugplatz“

Diese vor allem bodenbedingten Unterschiede verstärkten sich bis zur Ernte der Wintergerste. Dies wird mit den Bildern der Abbildung 90 für die sandigen und lehmigen Schlagteile unterstrichen.

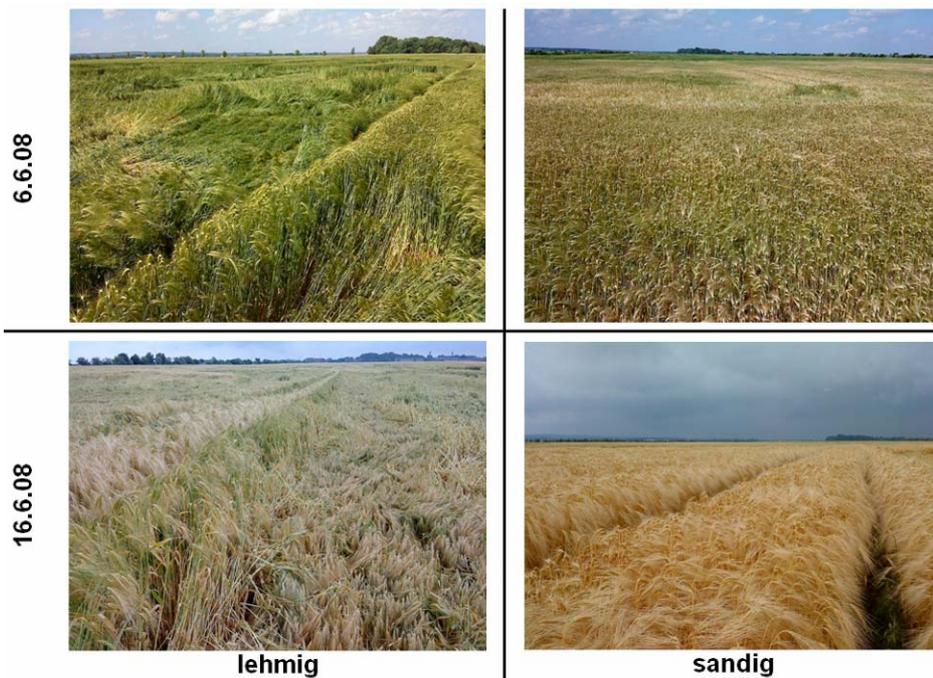


Abbildung 90: Bodenbedingte Unterschiede in Abreife und Lageranteil, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

Der Drusch der Wintergerste erfolgte unter günstigen Witterungsbedingungen am 1.7.2008, mit einem Frischmasseertrag von 70,19 dt/ha.

Die Entwicklung des Bestandes ließ sich sehr gut durch Messungen mit dem YARA N-Sensor ALS nachvollziehen (vgl. Abb. 91). Der relativ ausgeglichene Bestand wird durch die schmale Schwankungsbreite der N-Sensorwerte am 17.4.2008 angezeigt. Sehr niedrige BI-Werte der N-Sensormessung beschränken sich auf die Randbereiche. Die Variation der N-Mengen der zu diesem Zeitpunkt in einigen Fahrspuren durchgeführten N-Sensordüngung war daher mit 44 bis 69 kg N/ha und einer Standardabweichung von 4 kg N/ha sehr gering.

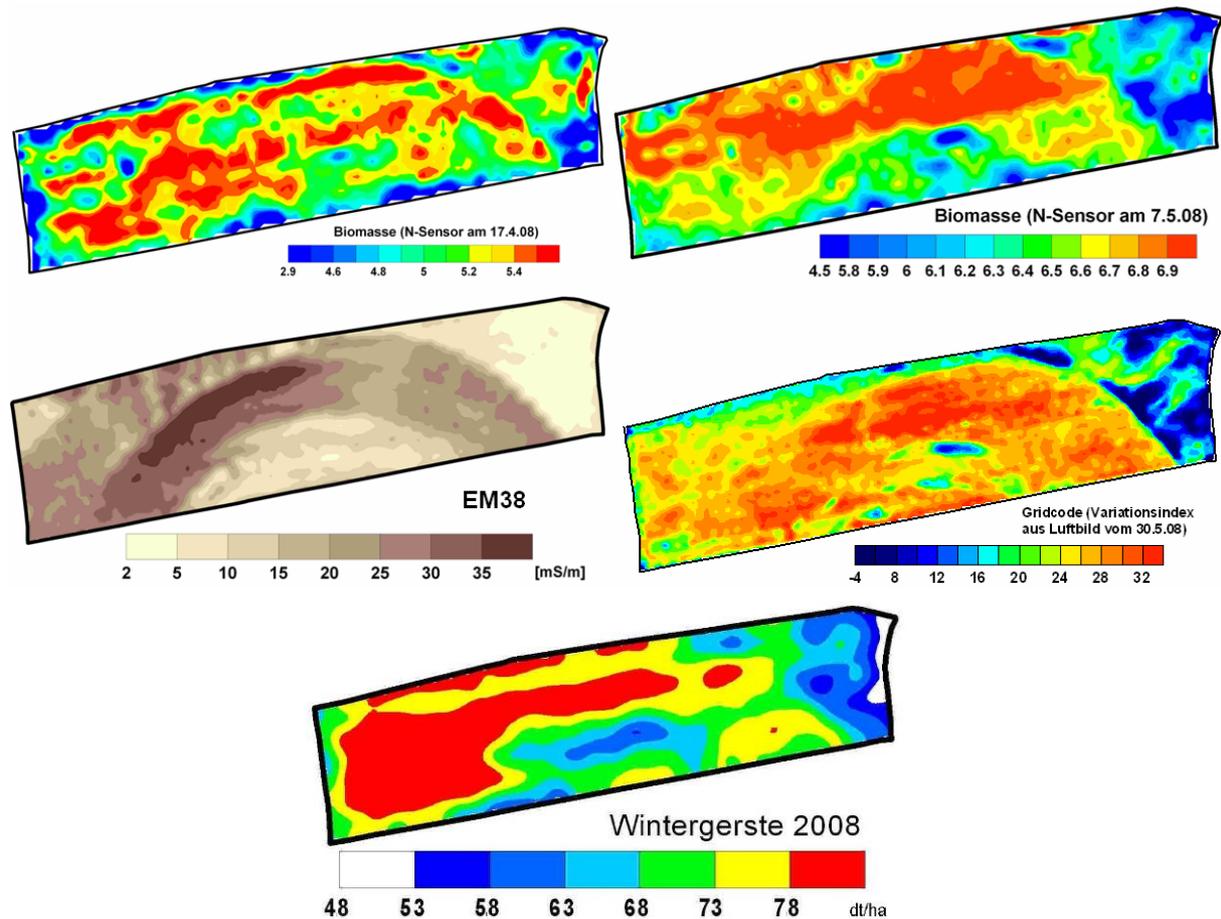


Abbildung 91: Karten zur Standort- und Bestandesdifferenzierung und Ertrag von Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

Bis zum 7.5.2008 bildeten sich dann die bekannten typischen bodenbedingten Muster aus, wenn auch nicht so deutlich wie in den Vorjahren. Zur Erklärung der Unterschiede gerade in der Ertragshöhe können ebenfalls die EM38-Daten ($r^2 = 0,64$ polyn.) oder die Luftbilddaten (Gridcode, $r^2 = 0,44$) dienen. Im Unterschied zur „Monokultur“ (Winterweizen) bestand bezüglich der EM38-Messungen ein polynomischer Trend, für den Gridcode kann ein linearer Kurvenverlauf angenommen werden (siehe Abb. 92).

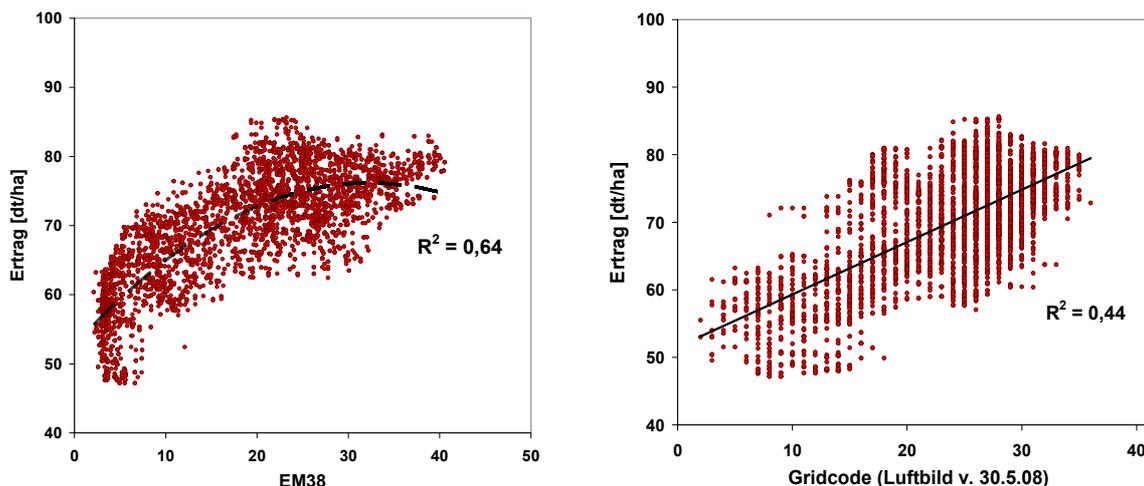


Abbildung 92: Zusammenhang zwischen EM38 bzw. Luftbildinformation und Ertrag, Schlag „Am Flugplatz“ (2008), n = 4 339

Es bestanden bei gegebener Streuung bezüglich der Ertragshöhe keine Unterschiede zwischen konstanter und variabler N-Düngung (siehe Tab. 22). Die variable N-Düngung beeinflusste die Ertragshöhe nicht. Die Ertragshöhe konnte jedoch zu 64 % durch die Variation des Bodens (EM38) erklärt werden.

Tabelle 22: Wintergerstenerträge der Varianten zur konstanten und variablen N-Düngung, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

Varianten	Ertrag ± Standardabweichung [dt/ha]
konstante N-Düngung	71,2 ± 7,2
variable N-Düngung	69,6 ± 7,2

Der schon bei anderen Schlägen festgestellte große Einfluss der Bodenart auf den Ertrag wird auch für diesen Schlag durch die Klassifizierung der EM38-Werte (siehe Tab. 23) sehr deutlich. Die Unterschiede zwischen Niedrig- und Hohertragszonen betragen im Durchschnitt etwa 13 dt/ha. Bei einer mittleren Streuung von etwa 5 dt/ha kann bezüglich der Bodenart von signifikanten Unterschieden ausgegangen werden.

Tabelle 23: Wintergerstenerträge nach drei EM38-Klassen, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

		EM38-Klasse			Schlag
		niedrig	mittel	hoch	
Ertrag μ	[dt/ha]	62,1	73,6	75,0	69,8
Ertrag Min.	[dt/ha]	47,2	59,2	62,5	47,2
Ertrag Max.	[dt/ha]	77,6	85,6	83,1	85,6
s	[dt/ha]	6,6	5,1	4,4	8,0

Neben der unterschiedlichen Ertragshöhe ist bei sehr heterogenem Bestand und Abreifeverhalten der Wintergerste auch der Unterschied der Kornfeuchte (Druschzeitpunkt) zu beachten, für diesen Schlag beispielsweise in sandigen Schlagteilen 12,8 % und lehmigen Schlagteilen 16,4 %.

Eine Ganzpflanzenprobenahme am 16.6.2008 ergab im Trend höhere Gehalte an Stickstoff mit steigenden EM38-Werten. Aufgrund der hier höheren Biomasse ergaben sich mit steigenden EM38-Werten (Tongehalt) höhere N-Entzüge. Die P- und K-Entzüge zeigen bei Teilflächen mit sehr hohem Tongehalt im Boden eher geringere Entzüge (Tab. 24).

Tabelle 24: Entzüge der Wintergerste am 16.6.2008 nach drei EM38-Klassen, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

EM38-Klasse	Entzug [kg/ha]		
	N	P	K
niedrig	77	15	105
mittel	83	15	134
hoch	97	11	72

Nach Untersuchung des gezielt genommenen Stichprobenmaterials (n = 12) aus dem Wintergerstendrusch wurden im Trend mit steigendem Ertrag niedrigere Gehalte an N, P, und K im Korn gefunden (siehe Abb. 93). Auch für steigende EM38-Werte (höherer Tongehalt im Boden) gilt dieser negative Trend.

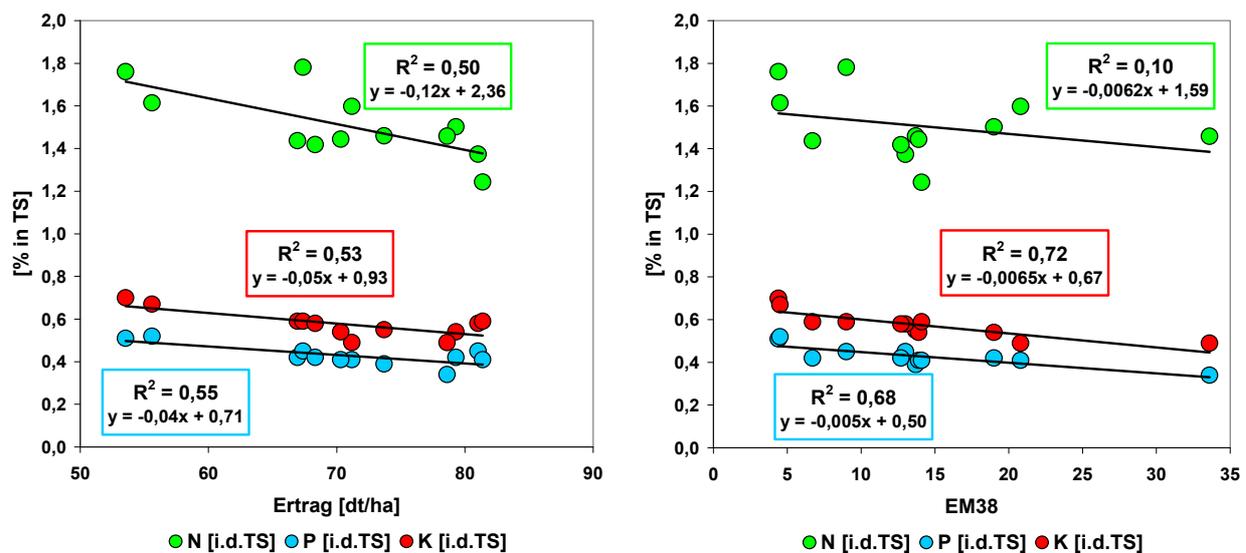


Abbildung 93: Zusammenhang zwischen Wintergerstenertrag bzw. EM38 und den N-, P- und K-Gehalten im Korn, Schlag „Am Flugplatz“ (2008)

Fazit Wintergerste 2008

Es bestanden bei gegebener Streuung bezüglich der Ertragshöhe keine Unterschiede zwischen konstanter und variabler N-Düngung. Die variable N-Düngung beeinflusste die Ertragshöhe nicht. Die Ertragshöhe konnte jedoch mit Sicherheit durch die Variation des Bodens erklärt werden.

3.5 Pflanzenschutz

3.5.1 Pflanzenschutz 2007

Die Versuche (siehe Abb. 94) im Jahr 2007 zur variablen Applikation von Pflanzenschutzmitteln wurden wegen Fehlens einer ansteuerbaren Pflanzenschutzspritze im „offline“-Verfahren durchgeführt. Die Ausweisung der Zonen unterschiedlicher Spritzmenge konnte zeitnah über die Auswertung von frühen N-Sensormessungen erfolgen. Die Aufwandmengenänderung wurde über unterschiedliche Tankmischungen realisiert, die eigentliche Steuerung auf dem Schlag erfolgte manuell (ortsgetreu über GPS).

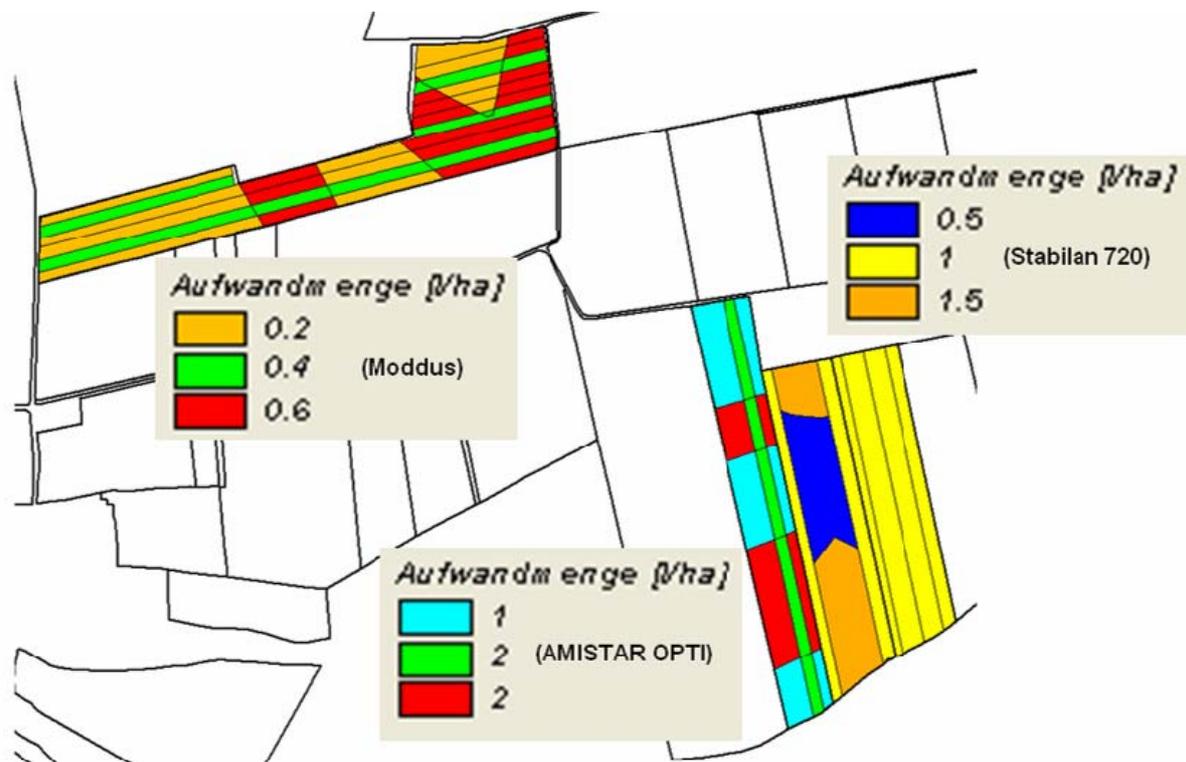


Abbildung 94: Teilflächenspezifischer Pflanzenschutz 2007 (Winterweizen, Wintergerste → Wachstumsregler; Winterweizen → Fungizide)

3.5.1.1 Wachstumsregler zu Winterweizen, Schlag „121.33“

2007 betrug die mittlere Wachstumsregleraufwandmenge (Stabilan) zu Winterweizen 1,0 l/ha. Diese Aufwandmenge wurde durch separate Tankmischungen jeweils um 50 % variiert (0,5 l/ha bzw. 1,5 l/ha) und in Anlehnung an die Muster der 1. N-Sensormessung (20.3.2007) auf dem Schlag „121.33“ appliziert. Wie bereits im Kapitel zur N-Düngung des Winterweizens im Jahr 2007 beschrieben, gab es zwischen den Applikationsvarianten keine Ertragsunterschiede (siehe Abb. 95).

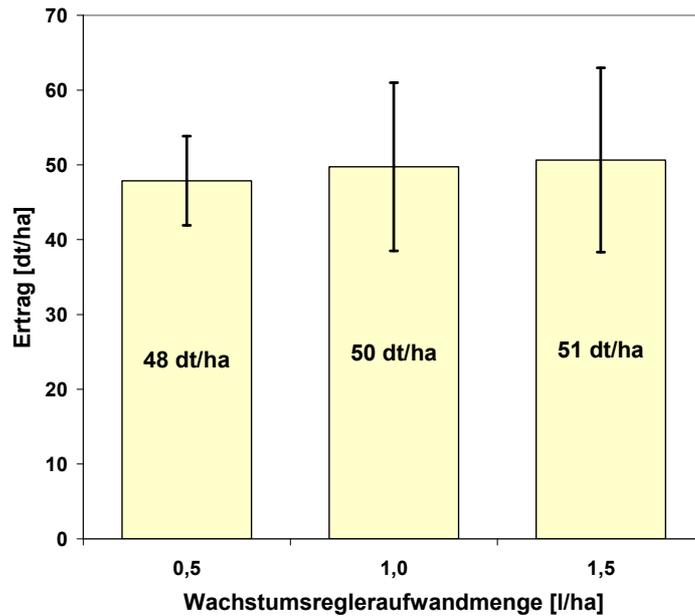


Abbildung 95: Wachstumsregleraufwandmenge und Weizenertrag, Schlag „121.33“ (2007)

Betrachtet man den erzielten Weizenertrag in den Zonen unterschiedlicher Aufwandmenge, wurde ein gering höherer Ertrag in der Teilfläche mit hoher Aufwandmenge erzielt. In diesen Teilflächen ist gleichzeitig die Streuung der Ertragswerte größer. Die Ertragsunterschiede von 1 bis 3 dt/ha stehen jedoch einer mittleren Streuung des Ertrages über den gesamten Schlag von 11 dt/ha gegenüber.

3.5.1.2 Wachstumsregler zu Wintergerste, Schlag „Adelwitzer Park“

Um Vorteile der variabel ausgebrachten Wachstumsreglermenge gegenüber einer konstant ausgebrachten Wachstumsreglermenge zu Wintergerste festzustellen, wurde eine Streifenanlage (siehe Abb. 96) geplant. Für die variable Wachstumsreglermengenregulierung im „online“-Verfahren wurden das CROP-Meter und der YARA N-Sensor ALS eingesetzt. Untersucht wurde auf dem Schlag „Adelwitzer Park“ (24,8 ha), der mit der Sorte „Mercedes“ bestellt war. Die Zonenbildung erfolgte empirisch nach N-Sensormesswerten (vom 20.3.2007) und EM38-Werten. Schon zu diesem Zeitpunkt benachteiligte Teilflächen („niedrig“) sollten weniger und Teilflächen mit üppigem Bestand („hoch“) mehr Wachstumsregler erhalten. Dieses Prinzip entspricht auch der Wachstumsreglerfunktion des YARA N-Sensors ALS.

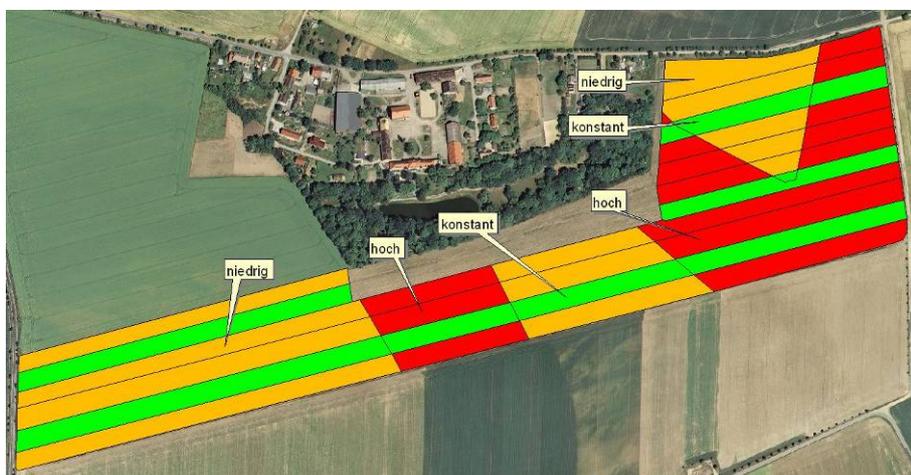


Abbildung 96: Varianten der Wachstumsreglerausbringung, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Im Unterschied zur „online“-Applikation mit Variation der Spritzmenge über Druckänderung, erfolgte die Applikation des Wachstumsreglers am 12.4.2007 zu EC32 mit unterschiedlicher Konzentration der Spritzbrühe (0,2 l, 0,4 l und 0,6 l Moddus) bei einem konstanten Wasseraufwand von 200 l/ha ($v = 8 \text{ km/h}$, $p = 3,9 \text{ bar}$). Die trockene Witterung im Frühjahr 2007 führte zu insgesamt niedrigen Erträgen. Es war in diesem Jahr im Wintergerstenertrag kein Unterschied zwischen konstanter und variabler Variante festzustellen (siehe Tab. 25). Die variable Variante führte zu einer geringen Einsparung des Spritzmittels von 0,03 l/ha, was für den gesamten Schlag (0,5 l Moddus) ca. 50 € ausgemacht hätte.

Tabelle 25: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

		Applikation	
		konstant	variabel
Wachstumsregleraufwandmenge	[l/ha]	0,40	0,37
Ertrag	[dt/ha]	44,67	44,21
Streuung	[dt/ha]	10,02	10,60

Trotz der Bildung von Teilflächen war die Spannweite der Erträge in allen Teilflächen sehr hoch. Die Höhe des Wintergerstenertrages hing stark von den Bodenverhältnissen ab ($r = 0,53$). Die Zonenbildung orientierte sich an den Bodenunterschieden. Dies ist auch der Grund, weshalb der Ertrag scheinbar (siehe Abb. 97) in den Zonen mit der höheren Aufwandmenge höher ist.

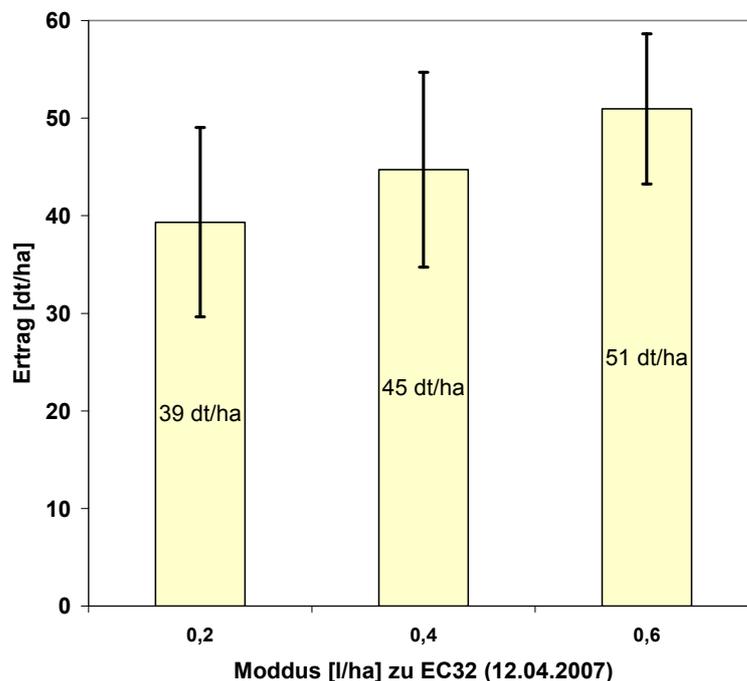


Abbildung 97: Wachstumsregleraufwandmenge und Wintergerstenertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Nach genauerer Betrachtung der Teilflächen zeigte sich, dass auch in der konstanten Variante bei hier gleicher Aufwandmenge eine vergleichbare Ertragshöhe in den Teilflächen mit niedrigem und hohem Potenzial erzielt wurde (siehe Tab. 26).

Tabelle 26: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wintergerstenertrag bei unterschiedlichen Potenzialen (niedrig/hoch), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

		konstant		variabel	
Wachstumsregleraufwandmenge	[l/ha]	0,4	0,4	0,2	0,6
Ertrag	[dt/ha]	41,1	50,3	39,3	51,0
Streuung	[dt/ha]	9,0	8,8	9,7	7,7
		niedrig	hoch	niedrig	hoch
Potenzial					

Es bestand ein Zusammenhang ($r^2 = 0,55$, polyn. $r^2 = 0,73$) zwischen EM38-Messwerten und Wuchshöhe von Wintergerste, was auch die Ergebnisse in Tab. 27 zeigen.

Tabelle 27: Wachstumsregleraufwandmenge bei konstantem und variablem Applikationsverfahren sowie Wuchshöhe der Wintergerste bei unterschiedlichen Potenzialen (niedrig/hoch), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Potenzial	Moddus	Wuchshöhe [cm]				μ EM38	Anzahl
		Min	μ	Max	σ		
niedrig	variabel (0,2 l/ha)	44	67	102	18	6,2	16
	konstant (0,4 l/ha)	41	62	92	23	7,8	4
hoch	variabel (0,6 l/ha)	61	90	111	13	14,8	17
	konstant (0,4 l/ha)	55	94	116	16	15,4	11

Fazit Wachstumsregler 2007

Die trockene Witterung im Frühjahr 2007 führte zu insgesamt niedrigen Erträgen. Die Höhe des Ertrages hing stark von den Bodenverhältnissen und der Wachstumsreglermenge ab. Hinsichtlich der Ertragshöhe war kein Unterschied zwischen konstanter und variabler Applikation von Wachstumsreglern bei vergleichbarer Wachstumsreglermenge und Bodengüte festzustellen. Durch die variable Applikation von Wachstumsreglern wurde eine geringfügige Mitteleinsparung erreicht.

3.5.1.3 Fungizide zu Winterweizen, Schlag „Monokultur“

Am 14.5.2007 wurde zu Winterweizen in Monokultur das Fungizid AMISTAR OPTI mit der Aufwandmenge von 1 l/ha und 2 l/ha appliziert. Die Variante „konstant“ (2,8 ha) wurde mit 2 l/ha, die variable Variante wurde nach Zonen ausgebracht. Nach dem Muster der N-Sensormessung erhielt die Zone mit wenig Biomasse (6,0 ha) 1 l/ha und die Zonen mit mehr Biomasse (4,0 ha) 2 l/ha.

Bezüglich der Ertragshöhe gab es zwischen den beiden Applikationsvarianten keine Ertragsunterschiede. In der „konstanten“ Variante wurden 49,2 dt/ha und in der „variablen“ 47,3 dt/ha geerntet, bei einer Standardabweichung von etwa 9 dt/ha. Es bestand keine Abhängigkeit der DON-Gehalte von der Fungizidaufwandmenge (siehe Tab. 28). Die DON-Gehalte lagen 2007 am Standort Köllitsch auf einem niedrigen Niveau.

Tabelle 28: DON-Gehalte „Monokultur“ in Abhängigkeit von der Applikationsvariante und der Fungizidaufwandmenge, Schlag „Monokultur“ (2007)

		Applikation		
		konstant	variabel	
			niedrige Aufwandmenge	hohe Aufwandmenge
DON [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	μ	94,3	92,0	89,8
	s	75,9	53,7	46,8

Die Reduzierung der Aufwandmenge hatte somit keinen negativen Effekt auf den Ertrag. Es konnten insgesamt für den Schlag 6 I (25 %) Spritzmittel eingespart werden.

Fazit Fungizide 2007

Bezüglich der Ertragshöhe gab es zwischen den Fungizidapplikationsvarianten keine Ertragsunterschiede. Die DON-Gehalte lagen 2007 am Standort Köllitsch auf einem niedrigen Niveau. Es bestand keine Abhängigkeit der DON-Gehalte von der Fungizidaufwandmenge. Die Reduzierung der Fungizidaufwandmenge hatte keinen negativen Ertragseffekt.

3.5.2 Pflanzenschutz 2008

Im Jahr 2008 stand für die Versuche zum variablen Pflanzenschutz (siehe Abb. 98) eine ansteuerbare Pflanzenschutzspritze zur Verfügung. Die Variation der Aufwandmenge wurde über Druckänderung und damit Spritzmengenänderung realisiert. Aufgrund technischer Gegebenheiten (Sensoren auf anderem Schlepper), insbesondere auch dem Kompatibilitätsproblem (Anschlussanforderungen der Spritze), konnte kein „online“-Ansatz durchgeführt werden. So erfolgte die Applikation von Pflanzenschutzmitteln auf dem Schlag „Am Flugplatz“ und „Monokultur“ über eine automatische Ansteuerung (Bluetooth) des PDA (Potenzialzonen). Zusätzlich konnte auf der „Monokultur“ eine mittels (Windows-) Terminal realisierte N-Sensorvariante über eine zeitnah erstellte Applikationskarte simuliert werden.

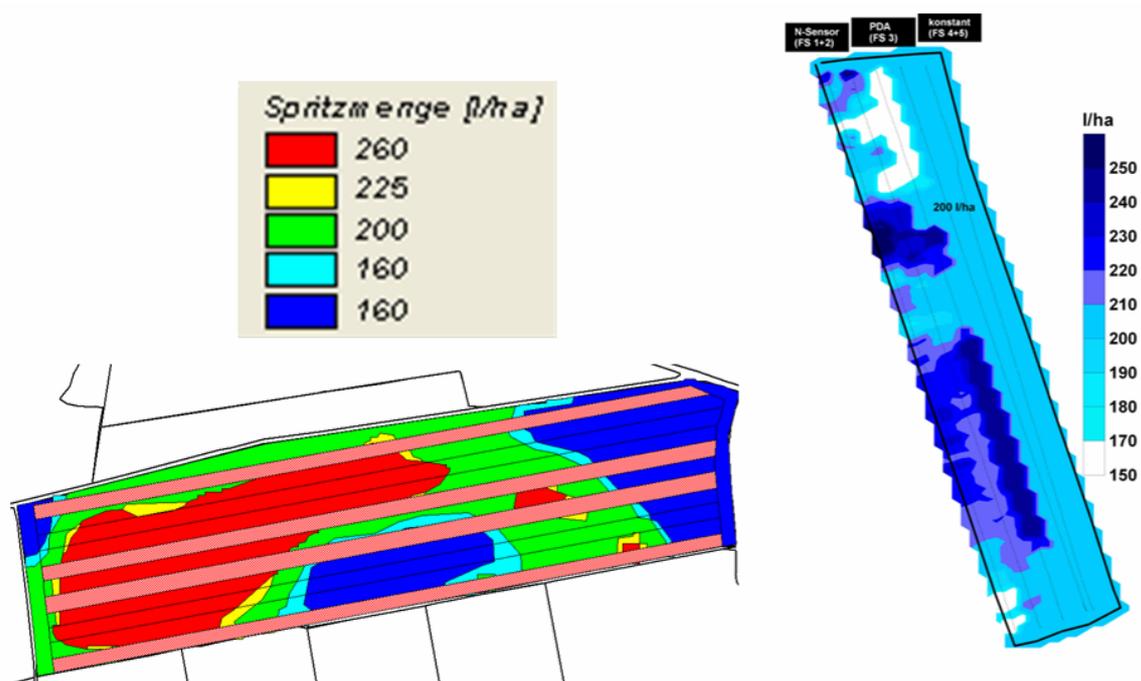


Abbildung 98: Übersicht über die Pflanzenschutzmaßnahmen 2008

3.5.2.1 Fungizide zu Winterweizen, Schlag „Monokultur“

Der Winterweizen „Monokultur“ (12,8 ha) wurde bis auf die Fungizidapplikation (0,6 l/ha Gladio) am 27.5.2008 konstant geführt. Der Bestand zeigte bereits zur 2. N-Gabe Unterschiede in der Bestandesdichte und Grünfärbung. Dieses Bild verstärkte sich bis zur 3. N-Gabe und über die Abreife (vgl. Abb. 99) deutlich.

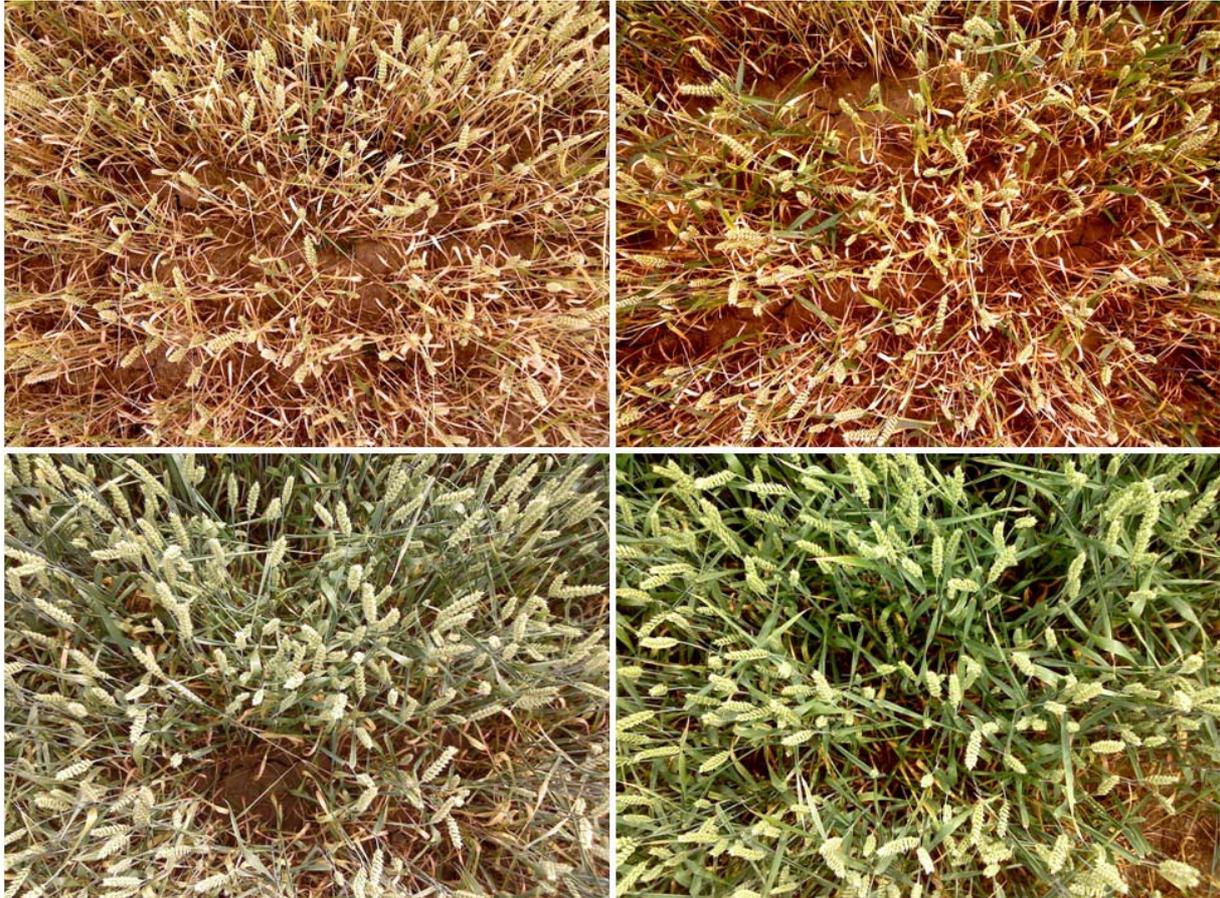


Abbildung 99: Bestandesdifferenzierung im Winterweizen am 26.5.2008, Schlag „Monokultur“

Die Ernte erfolgte am 27.7.2008 mit einem Ertrag von 60,52 dt/ha, etwa 10 dt/ha weniger als vergleichbare, benachbarte Schläge.

Die Karten der Abbildung 100 zeigen sehr deutlich die guten bis sehr guten Übereinstimmungen zwischen den hoch aufgelöst ermittelten Messwerten (YARA N-Sensor ALS, CROP-Meter, Luftbild) und Bodenunterschieden (EM38) bzw. dem Ertrag.

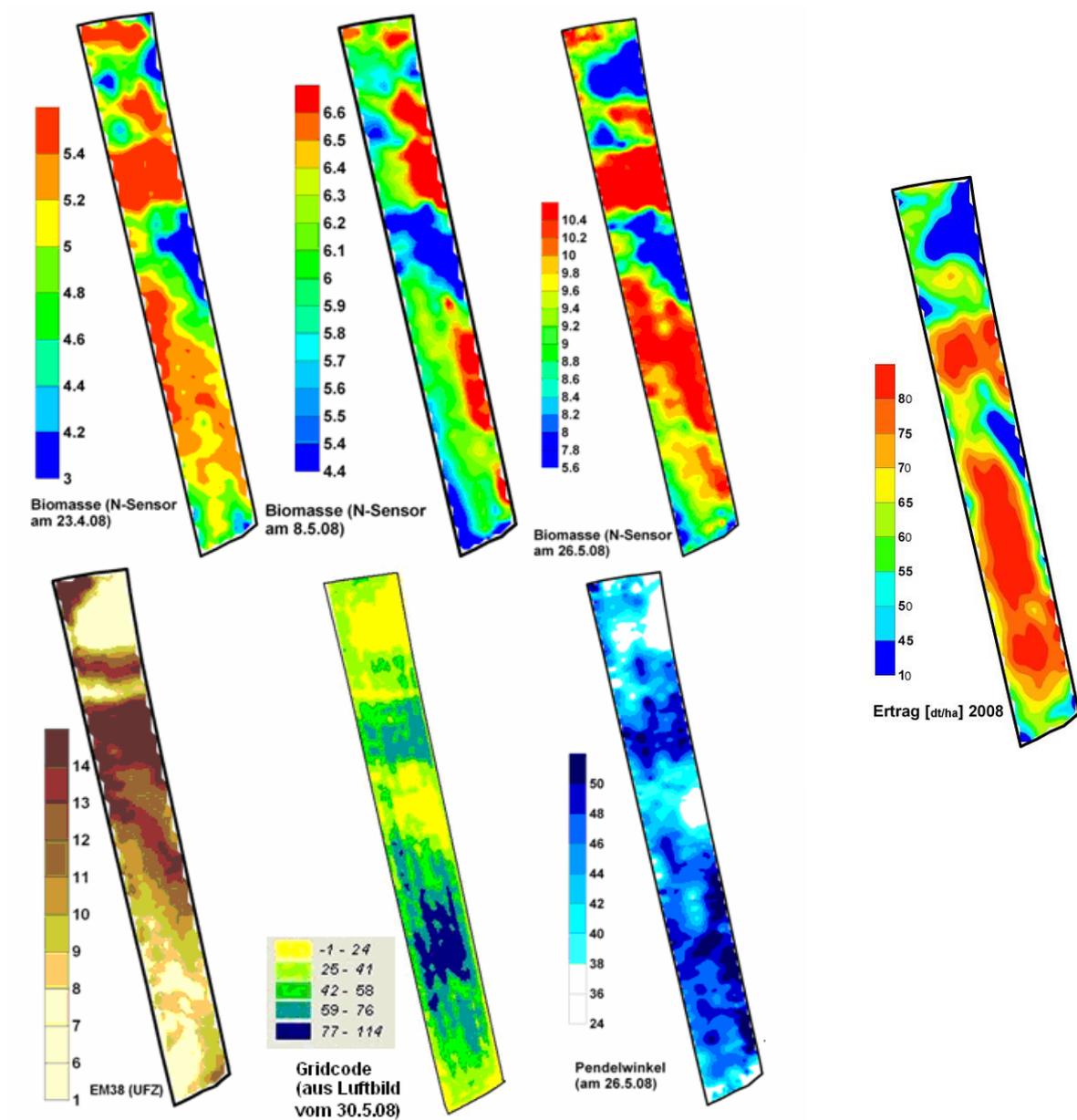


Abbildung 100: Standort- und Bestandesdifferenzierung, Schlag „Monokultur“ (12,8 ha)

Die Variabilität der Erträge lässt sich, verdeutlicht in Abbildung 101, gerade durch die späten Messungen (Messwert des YARA N-Sensors ALS $r^2 = 0,6$; Luftbildinformation $r^2 = 0,76$; Messwert des CROP-Meters $r^2 = 0,49$) gut erklären.

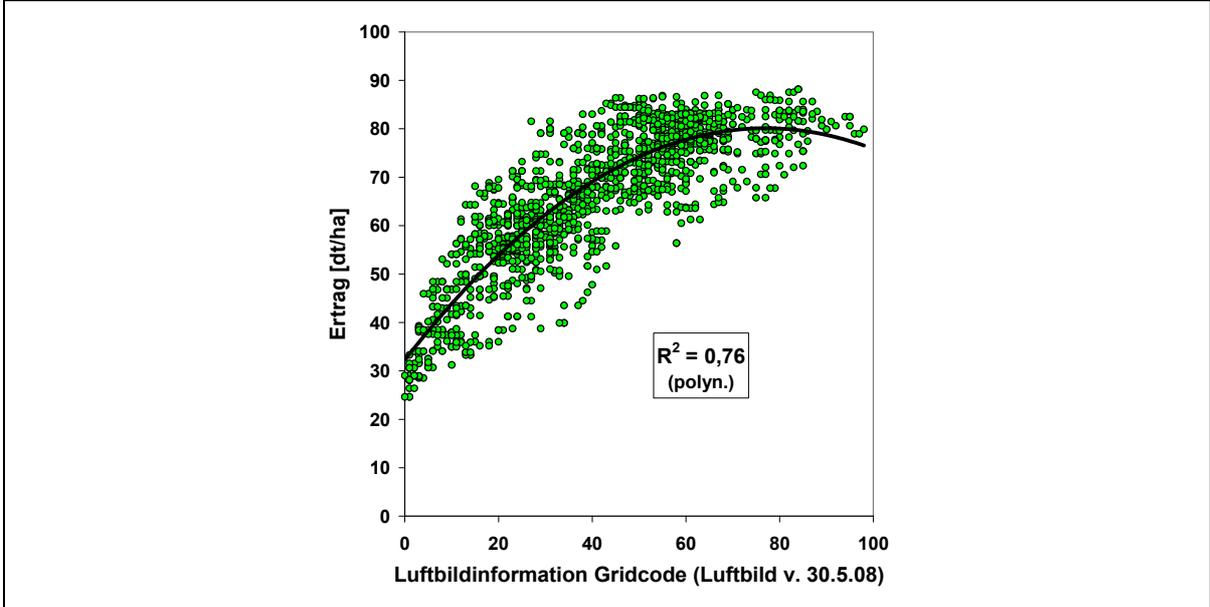
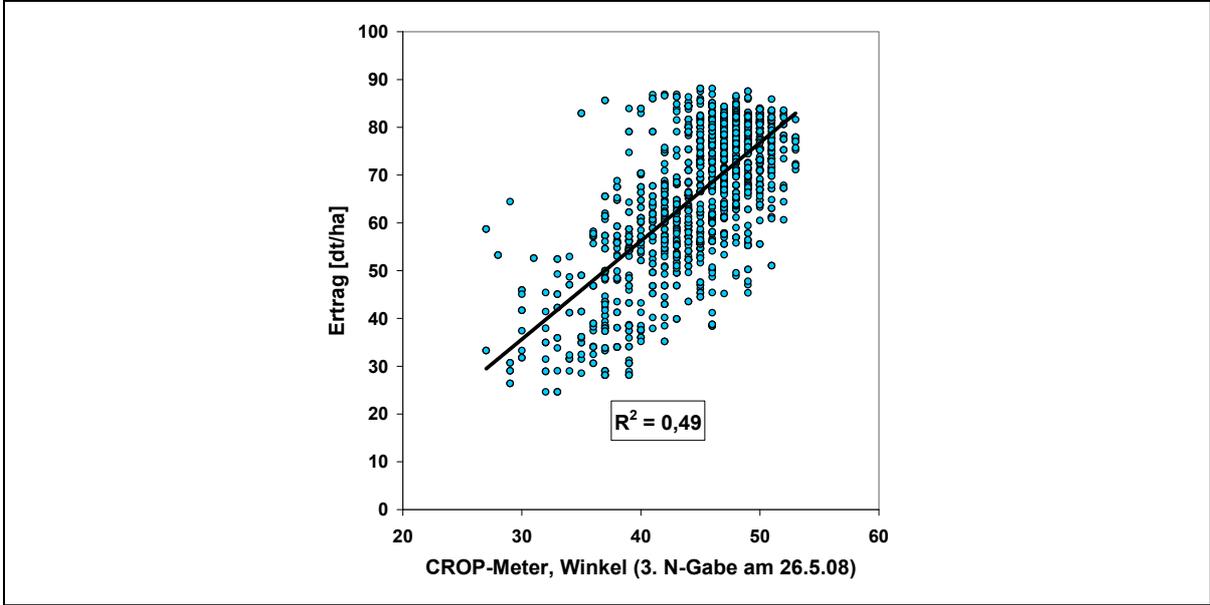
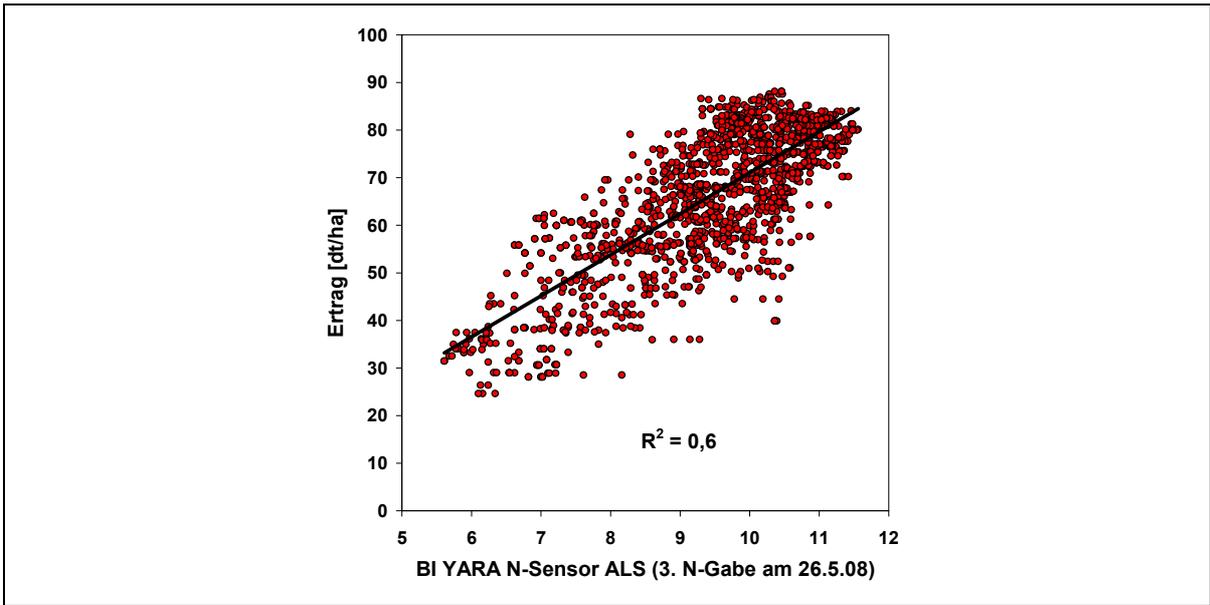


Abbildung 101: Beziehung von Bestandesinformationen (YARA N-Sensor ALS, CROP.Meter, Luftbild) zum Winterweizenenertrag 2008, Schlag „Monokultur“ (n = 1587)

Im Trend ist in Teilflächen mit erhöhter Spritzmenge ein höherer Ertrag (siehe Abb. 102) erzielt worden. Diese Trends entstehen primär durch die der Bestandessituation angepassten Applikation. Die konstante Variante verdeutlicht die hohe Spannweite (35 bis 130 %) der Erträge trotz gleicher Bestandesführung.

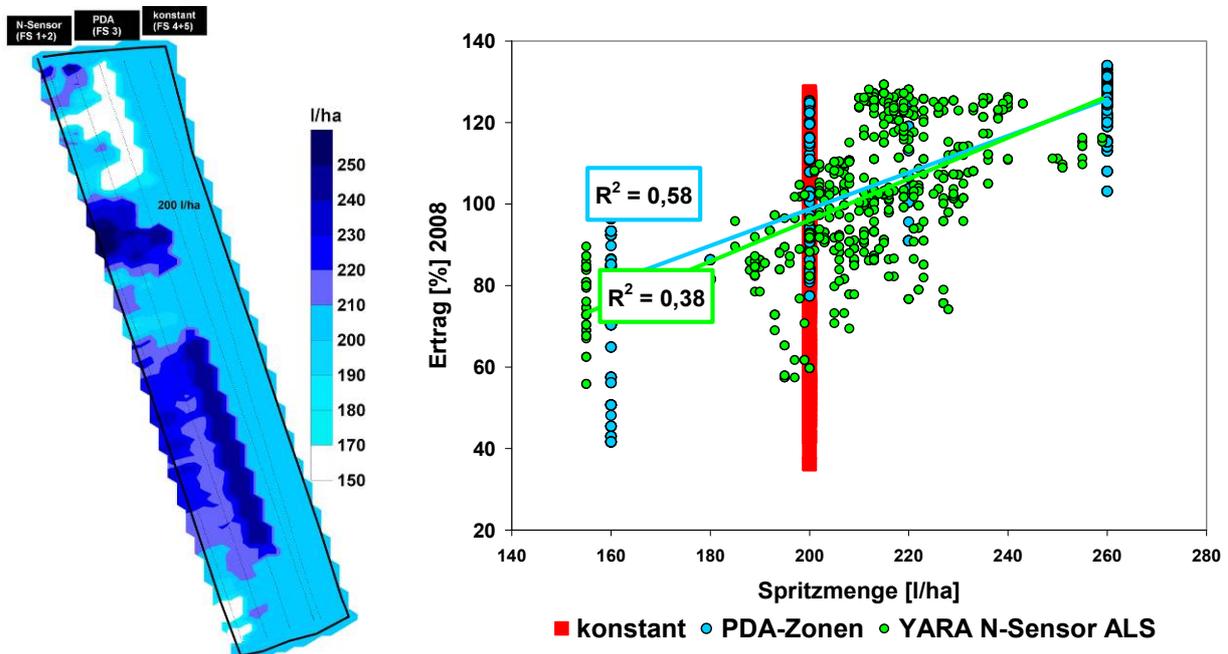


Abbildung 102: Spritzkarte und Zusammenhang von Spritzmenge und Ertrag der Varianten [^] „konstant“, „Sensor“ und „PDA“ zu Winterweizen (Schlag „Monokultur“, 12,8 ha)

In der Ertragshöhe ist zunächst ein leichter Vorteil von 1 % bis 4 % (vgl. Tab. 29) der variablen Varianten gegenüber „konstant“ zu erkennen. Zu beachten ist aber, dass zum Beispiel im nördlichen sandigen Schlagteil ein Ertrag von 33,7 dt/ha (60 % vom Schlagmittel), im lehmigen Mittelteil dagegen 73,8 dt/ha (120 % vom Schlagmittel) erzielt wurden. Bei gegebener Versuchsanstellung kann unter Berücksichtigung der hohen Streuung der Erträge von 14 dt/ha nicht von signifikanten Unterschieden gesprochen werden.

Wie bereits für andere Schläge erwähnt, ist es daher wahrscheinlich, dass schon gering unterschiedliche Bodenverhältnisse (Anteil an sandigen und lehmigen Teilflächen) der Varianten die Vorteilswirkung verursachen oder zumindest beeinflussen.

Tabelle 29: Ertrag der Varianten zur variablen Fungizidapplikation, „Monokultur“ (12,8 ha)

Variante	Spritzmenge	Ertrag	Relativertrag
	[l/ha]	[dt/ha]	[%]
konstant	200	56,4	96
PDA-Zonen	212	62,7	104
YARA –N-Sensor ALS	210	60,7	101
Gesamt	207	60,1	100

Die Laborwerte für die Mykotoxine **DON** (Deoxynivalenol) lagen für dieses Jahr bei allen Proben (n = 6) unter der Nachweisgrenze von 50 µg/kg (DON).

Fazit Fungizide 2008

Im Trend wurde auf Teilflächen mit erhöhter Fungizidmenge ein höherer Ertrag erzielt. Die Varianten mit variabler Fungizidapplikation waren (bei höherer Spritzmenge) hinsichtlich des Ertrages gegenüber der konstanten Applikationsvariante tendenziell im Vorteil.

3.5.2.2 Wachstumsregler und Fungizid zu Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“

Die variable Applikation (80 bis 130 % der mittleren Aufwandmenge) am 24.4.2008 von Wachstumsregler (Camposan extra) und Fungizid (Input) erbrachte im Durchschnitt der jeweiligen Variante unter Berücksichtigung der Streuung keine nennenswerten Vor- oder Nachteile. Hierbei ist zu bemerken, dass in den lehmigeren Schlagteilen ein nur gering erhöhter Krankheitsdruck gegeben war. Das Auftreten von Lager konnte nicht verhindert werden. Die zusätzliche variable N-Düngung beeinflusst die Ertragshöhe nicht (siehe Tab. 30).

Tabelle 30: Erträge der Varianten zum konstanten und variablen Wachstumsregler-/Fungizideinsatz

Varianten		Wachstumsregler + Fungizid	Wachstumsregler + Fungizid + N-Düngung
Ertrag ± Streuung [dt/ha]	konstant	69,5 ± 6,9	69,1 ± 7,3
	variabel	71,3 ± 7,4	69,0 ± 8,0

Betrachtet man die Ertragshöhe in Abhängigkeit der Spritzmenge, besteht ein Trend höherer Erträge bei steigender Spritzmenge. Der Grund kann in der dem Bestand angepassten Spritzmenge liegen oder in der Applikation in Anlehnung an die dem (Ertrags-) Potenzial orientierten PDA-Zonen.

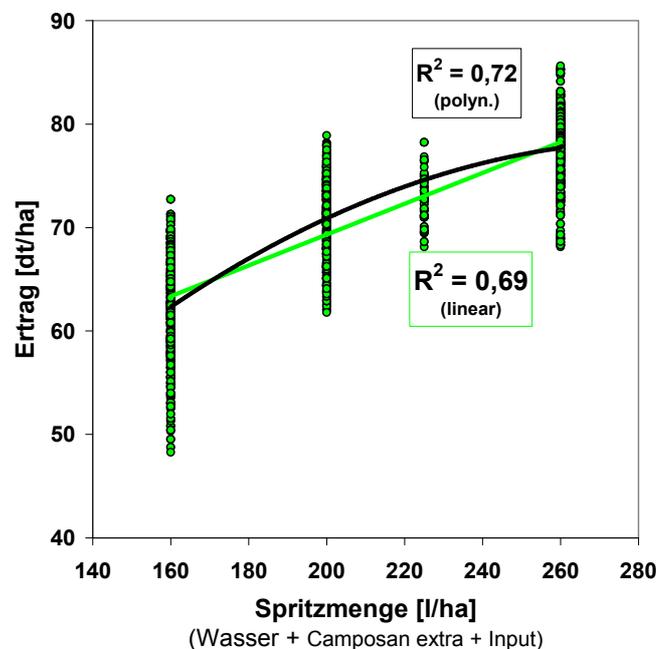


Abbildung 103: Zusammenhang von Spritzmenge und Ertrag, Wintergerste, Schlag „Am Flugplatz“ 2008

Fazit Wachstumsregler 2008

Wie im Vorjahr hing die Ertragshöhe von den Bodenverhältnissen und der Wachstumsreglermenge ab.

3.6 N_{\min} , S_{\min}

Die GPS-gestützten Probenahmen (siehe Abb. 104) erfolgten auf allen Testflächen im Jahr 2007 im Februar/März, Juli und November/Dezember und 2008 im Februar/März und Juli 2008. Die Proben der Bodenschichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm wurden auf N_{\min} und volumetrischen Wassergehalt, im Frühjahr zusätzlich auf S_{\min} untersucht.



Abbildung 104: Bohrgerät zur GPS-gestützten Bodenprobenahme

Die Auswertung der N_{\min} -Bodenproben zeigte in wenigen Fällen einen guten Zusammenhang zur Höhe der N-Düngung, zum Ertrag oder zur Bodenart (EM38). Zudem wiesen die N_{\min} -Werte innerhalb eines Schlates teilweise hohe Streuungen auf, mit Unterschieden bezüglich Fruchtart und Probenahmezeitpunkt. Die folgenden Kapitel stellen eine Auswahl der Datenauswertung dar.

3.6.1 „Am Flugplatz“

Die Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Boden wird beispielhaft für den Schlag „Am Flugplatz“ in Abbildung 105 dargestellt. Nach einem Anstieg des N_{\min} bis nach der Ernte 2007 (Mineralisation, Nichtausnutzung des N durch Trockenheit) sanken die Gehalte kontinuierlich über den Winter und die Vegetationsperiode bis nach der Ernte 2008. Deutlich werden die über dem im Vergleich zum Gesamtschlag liegenden Gehalte an N_{\min} in tonigen Schlagteilen. Die sandigen Schlagteile sind von einer potenziellen Auswaschung stärker betroffen. Die Aussagen sind als Trend zu verstehen, die Streuung der N_{\min} -Gehalte ist gerade in 2007 (vgl. 105 grüne Balken) hoch.

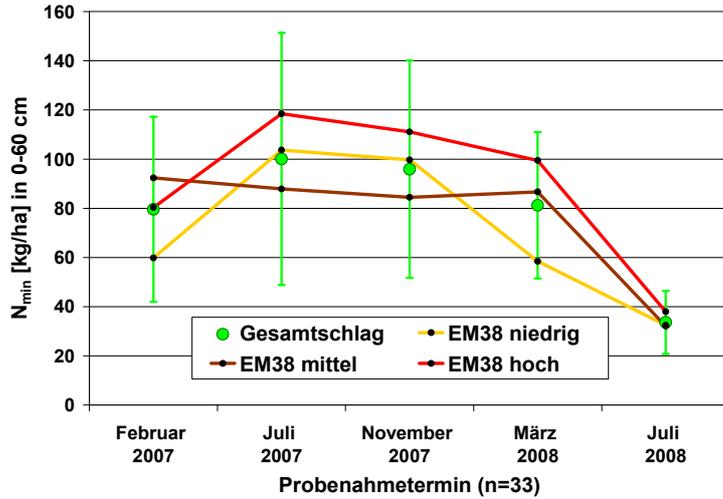


Abbildung 105: Entwicklung des N_{\min} in 0 - 60 cm von Februar 2007 bis Juli 2008, Schlag „Am Flugplatz“

In Abbildung 106 wird der Verlauf der Wassergehalte und der Unterschied zwischen 2007 (Winter und Frühjahr trockener) und 2008 deutlich. Die Wassergehalte im tonigen Schlagteil scheinen sich untypisch zu verhalten, sind aber durch zum einen die bessere Wasserspeicherkapazität und zum anderen durch bodenaufbau bedingte Staunässe (besonders Februar 2007) zu erklären.

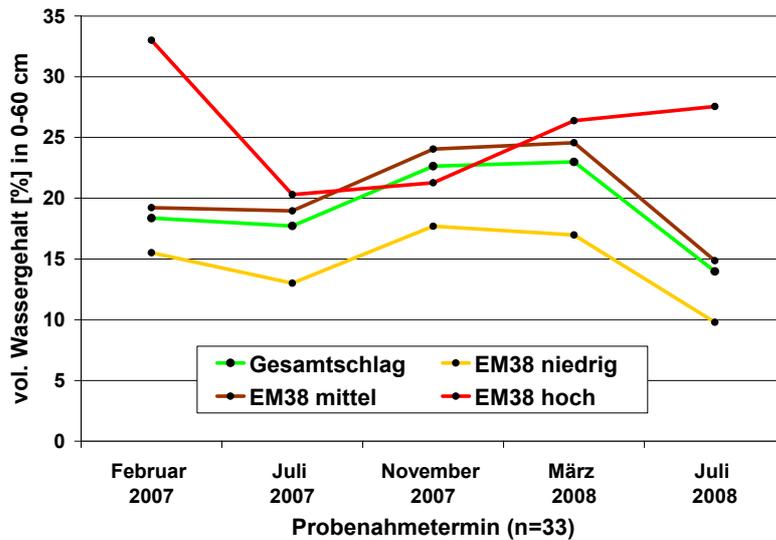


Abbildung 106: Entwicklung des volumetrischen Wassergehaltes in 0 – 60 cm von Februar 2007 bis Juli 2008, Schlag „Am Flugplatz“

Für die erhobenen Daten „Am Flugplatz“ sind die Zusammenhänge zum EM38 und Ertrag (2007 und 2008) in Tabelle 31 zusammengefasst. Deutlich werden die mit Abstand besten Beziehungen von Wassergehalt zum EM38. Im Vergleich zum N_{\min} konnten beim S_{\min} bessere Zusammenhänge zu den Bodenunterschieden hergestellt werden. Beide Messungen (siehe Abb. 107) ergaben ein nahe beieinander liegendes Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,4$. Für 2008 kann im Trend eine Abreicherung von etwa 20 kg/ha bis 40 kg/ha S_{\min} über den gesamten Schlag festgestellt werden.

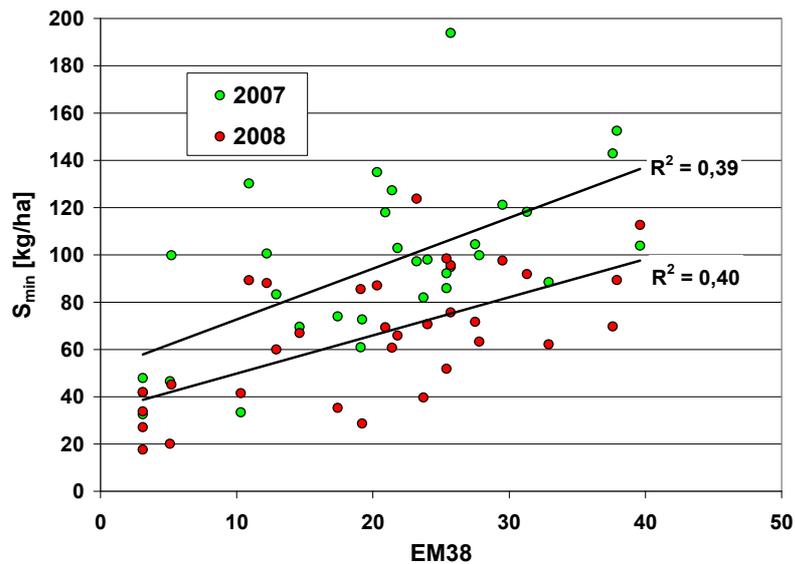


Abbildung 107: Zusammenhang von EM38 und S_{\min} (0 - 60 cm, Frühjahr 2007 und 2008), Schlag „Am Flugplatz“

Tabelle 31: Korrelationsmatrix (ohne $r > 0,5$ bzw $- 0,5$) für 2007 und 2008, Schlag „Am Flugplatz“

				Februar 2007			Juli 2007		November 2007		März 2008			Juli 2008
r (n=33)				N _{min}	H ₂ O	S _{min}	N _{min}	H ₂ O	N _{min}	H ₂ O	N _{min}	S _{min}	H ₂ O	N _{min}
Ertrag 2007														
Ertrag 2008														
Februar 2007	N _{min}													
	H ₂ O	0,68	0,72	0,57										
	S _{min}	0,65	0,61	0,58		0,74								
Juli 2007	N _{min}													
	H ₂ O	0,86	0,66	0,66		0,81	0,75							
November 2007	N _{min}													
	H ₂ O	0,85	0,65	0,67		0,78	0,70		0,97					
März 2008	N _{min}	0,61			0,55				0,64		0,61			
	S _{min}	0,63				0,53	0,60		0,75		0,75	0,52		
	H ₂ O	0,85	0,66	0,68		0,80	0,75		0,96		0,97	0,56	0,75	
Juli 2008	N _{min}							0,51						
	H ₂ O	0,86	0,61	0,65		0,76	0,66		0,94		0,96	0,56	0,73	0,95

Interessant ist, dass im November 2007 in der Bodenschicht 60 – 90 cm ein geringer, aber negativer Zusammenhang ($r = -0,22$) zum EM38 bestand. Das heißt, dass auf den sandigeren Schlagteilen im Trend höhere N_{min} -Gehalte im Unterboden waren. Dies zeigt die Wichtigkeit einer dem Standort angepassten Düngung mit zum Beispiel der Reduzierung der N-Düngermenge bzw. einer dem Bedarf angepassten N-Düngermenge auf Schlagteilen mit geringem Ertragspotenzial.

Für die Probenahme zum Zeitpunkt der 1. N-Gabe (Flugzeugapplikation) 2008 ist das Ergebnis in Abbildung 108 dargestellt. Es besteht für die interpolierten Daten ein Zusammenhang von $r^2 = 0,36$ zwischen N_{min} und Boden (EM38). Bereits im März macht sich das Zusammenspiel von geringerer Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit in den sandigen Schlagteilen im Gerstenbestand (siehe Abb. 86) bemerkbar.

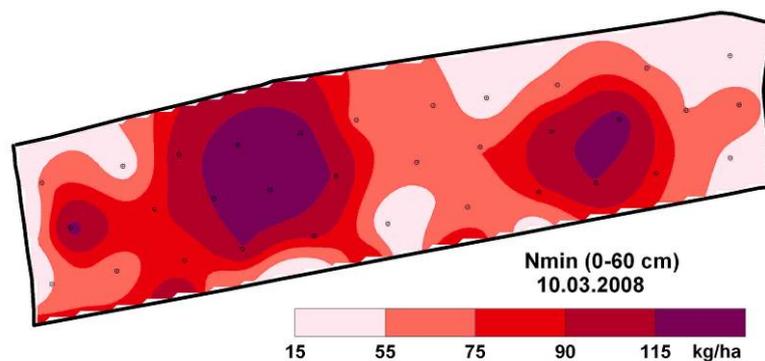


Abbildung 108: N_{min} am 10.3.2008, Schlag „Am Flugplatz“

Für eine variable 1. N-Gabe nach Bodenleitfähigkeit könnte je nach verfolgter Strategie (Potenzial oder Ausgleich) in sandigeren Schlagteilen die N-Menge reduziert oder erhöht werden. Für S_{min} können ähnliche Aussagen getroffen werden. Es bestehen jedoch keine Erfahrungen, ob die Güte dieser Zusammenhänge eine variable Stickstoffapplikation rechtfertigt.

Die Beziehungen zwischen S_{min} (Frühjahr 2008), Wassergehalt und N_{min} (nach Ernte 2008) und EM38 werden in Abbildung 109 verdeutlicht.

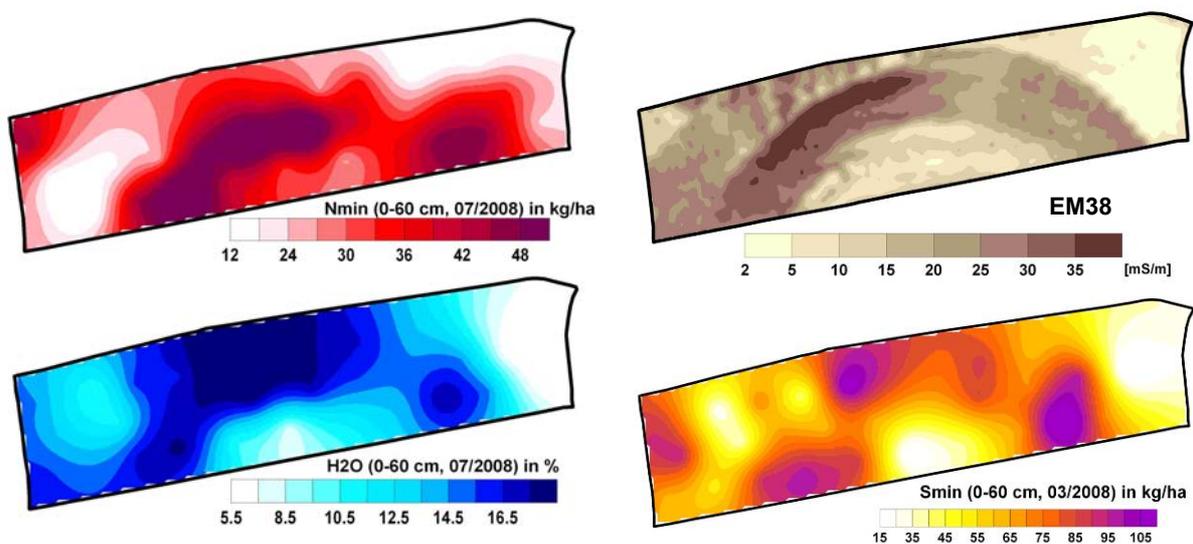


Abbildung 109: N_{min} , Wassergehalt, EM38 und S_{min} , Schlag „Am Flugplatz“ 2008

3.6.2 „Rüstergehege“ Winterraps 2007 und weitere Flächen

Deutlich aus Abbildung 110 werden die vergleichsweise niedrigen N_{\min} -Gehalte unter Winterraps im Februar. Die fehlende Winterruhe führte zu hohen N-Aufnahmen. Die N-Düngung und die folgende Trockenheit mit niedriger Ertragshöhe lässt besonders in 0 – 30 cm den N_{\min} -Gehalt bis zum Juli von 10 kg/ha auf 50 kg/ha ansteigen. Die Niederschläge nach der Ernte führen zum Anstieg von N_{\min} in 30 – 60 cm von Juli bis Dezember von 25 kg/ha auf 60 kg/ha.

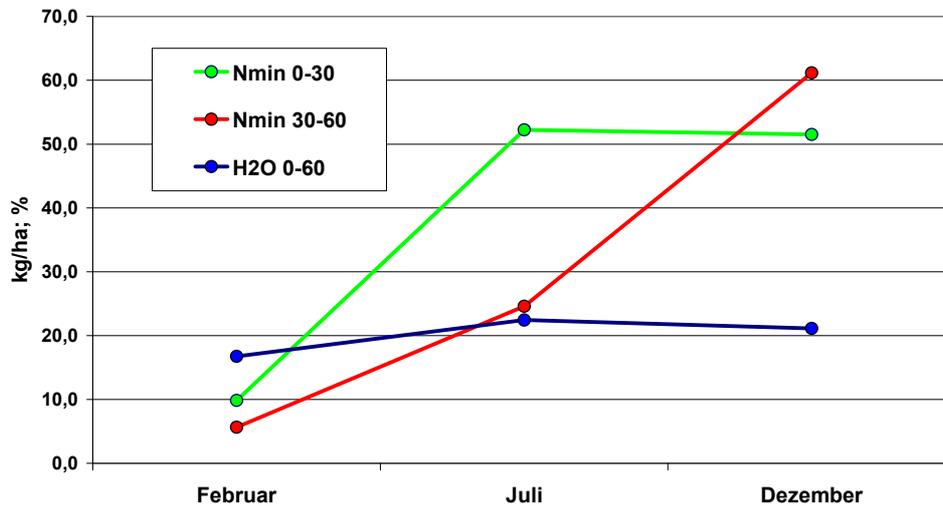


Abbildung 110: N_{\min} und Wassergehalt zu drei Terminen (je n = 16), Schlag „Rüstergehege“ 2007

Auch für diesen Schlag bestehen die besten ($r > 0,7$) Beziehungen zwischen EM38 und Wassergehalt. Ebenfalls gute Beziehungen (siehe Abb. 111) bestehen zwischen EM38 und S_{\min} im Frühjahr. Die im Trend höheren N_{\min} -Gehalte nach der Ernte bei höherem Ertrag beruhen auf der dort höheren N-Düngung ($r = 0,63$).

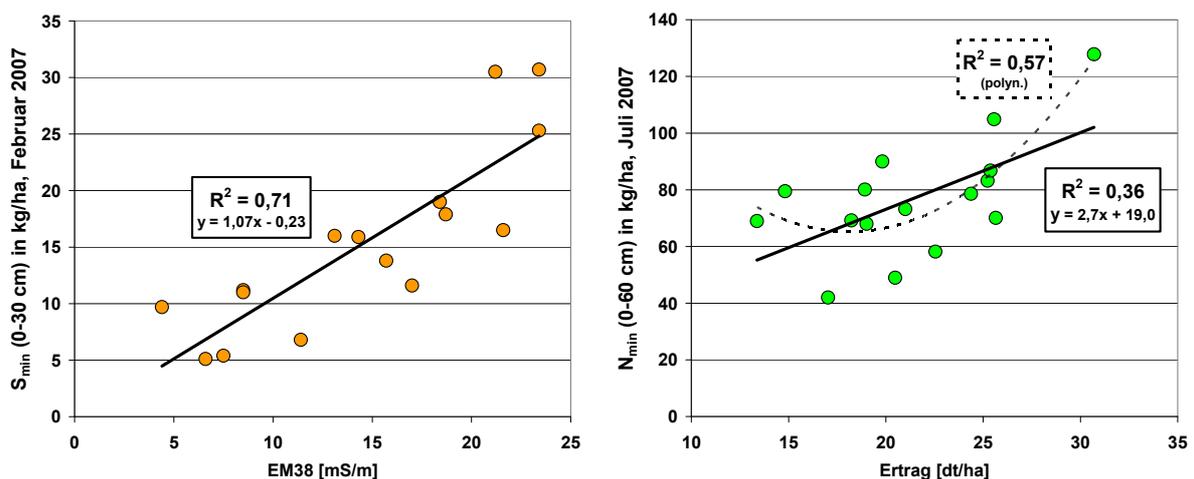


Abbildung 111: Zusammenhang zwischen EM38 und S_{\min} bzw. Ertrag und N_{\min} , Schlag „Rüstergehege“

Zur Visualisierung der Differenzierung des N_{\min} im Dezember 2007 (N-Steigerung) wurden die Daten interpoliert (siehe Abb. 112). Deutlich werden die Übereinstimmungen von N-Düngung und N_{\min} . Die N_{\min} -Gehalte im Oberboden lagen zu diesem Zeitpunkt höher als in der Schicht 30 – 60 cm und zudem insgesamt auf einem hohen Niveau.

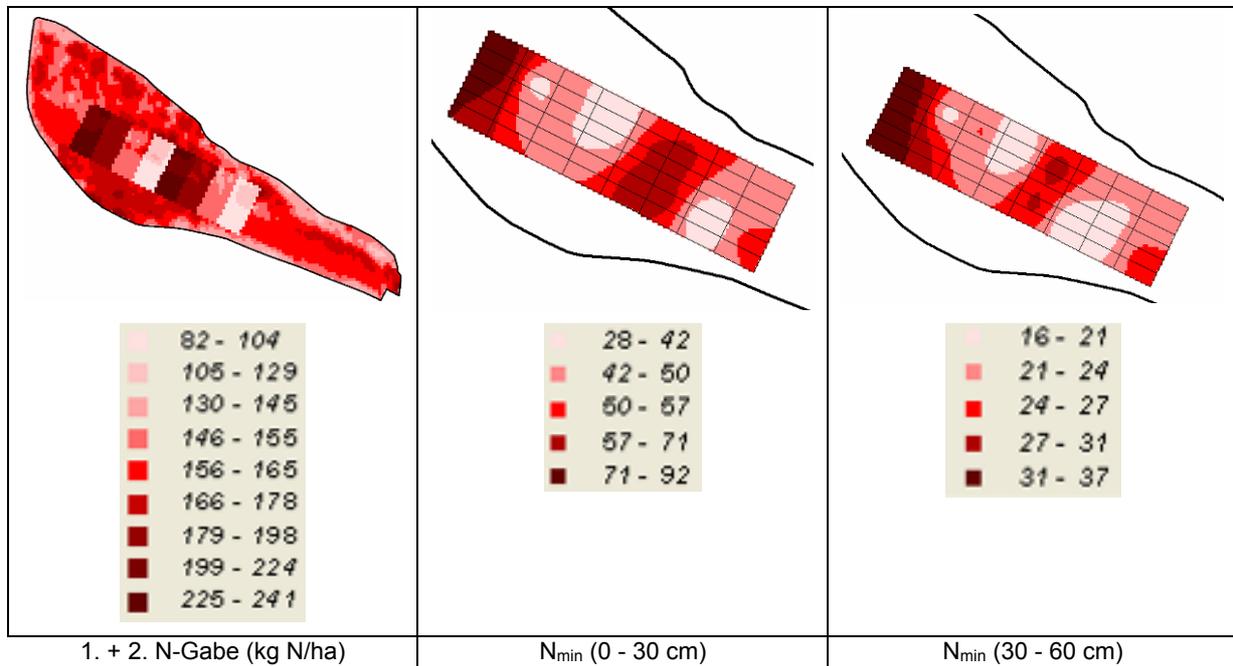


Abbildung 112: N-Düngung (Gesamtschlag) und N_{\min} (Probenahme 19.12.2007, N-Steigerung), Schlag „Rüstergehege“

Zwischen den Varianten zur 2. N-Gabe „konstant“ und „variabel“ bestehen bezüglich N_{\min} oder S_{\min} keine Unterschiede.

Für die anderen Schläge sind die Korrelationen zu EM38 in Tabelle 32 dargestellt. Es soll besonders auf die Verschiedenheit der Zusammenhänge zwischen den Schlägen aufmerksam gemacht werden. Gewisse Zusammenhänge beim N_{\min} gelten streng genommen nur für den betreffenden Schlag.

Tabelle 32: Korrelationen (r) zu EM38 2007

r	Bodenschicht [cm]	Schlag		
		Adelwitzer Park	121.23	Monokultur
N _{min} Februar	0 - 30	0,43	0,45	0,73
	30 - 60	0,50	-0,09	0,43
	0 - 60	0,53	0,05	0,52
S _{min} Februar	0 - 30	0,28	0,55	-0,67
	30 - 60	0,65	0,34	-0,71
	0 - 60	0,63	0,51	-0,70
H ₂ O Februar	0 - 30	0,69	0,73	-0,59
	30 - 60	0,70	0,78	-0,65
	0 - 60	0,71	0,78	-0,73
N _{min} Juli	0 - 30	0,26	-0,09	-0,50
	30 - 60	0,34	0,01	-0,26
	0 - 60	0,30	-0,07	-0,47
H ₂ O Juli	0 - 30	0,51	0,49	-0,74
	30 - 60	0,57	0,23	-0,62
	0 - 60	0,73	0,47	-0,74

Fazit N_{min}, S_{min}

Im Vergleich zum N_{min} konnten beim S_{min} bessere Zusammenhänge zu den Bodenunterschieden hergestellt werden. Die mit Abstand besten Beziehungen bestanden zwischen Wassergehalt und Messwerten des EM38. Für eine variable 1. N-Gabe nach Bodenleitfähigkeit könnte je nach verfolgter Strategie (Potenzial oder Ausgleich) in sandigeren Schlagteilen die N-Menge reduziert oder erhöht werden. Für S_{min} können ähnliche Aussagen getroffen werden. Es bestehen jedoch keine praktischen Erfahrungen, ob die Güte dieser Zusammenhänge eine variable Stickstoffapplikation rechtfertigt.

3.7 Weitere Zusammenhänge von Standort und Bestand

3.7.1 Messung der Bodenfeuchte mittels Time-Domain-Reflectometry (TDR) „Am Flugplatz“ am 27.2.08

Zur Bewertung der Zusammenhänge zwischen Bodenunterschieden und Wassergehalt wurden Messungen mittels Time-Domain-Reflectometry durchgeführt. Das verwendete Messgerät (TRIME-FM mit P2G-Sonde) dient der mobilen Erfassung der volumetrischen Bodenfeuchte und gibt zudem einen Wert (TDR-Level) aus, der in Beziehung zur elektrischen Leitfähigkeit steht.

Gemessen wurde am 27.2.2008 an 33 Punkten mit je drei Wiederholungen. Zwei punktgleiche Messungen unterschieden sich nicht. Der Bodenfeuchtemesswert kann jedoch bei verschiedenen Einstichen um einen Punkt auch stärker variieren. Deshalb wurden zwei aufeinander folgende Messungen entlang einer Fahrspur (n = 11) mit gleichen Punkten, jedoch nicht identischen Einstichstellen durchgeführt. Diese Messreihen korrelierten hoch mit r² = 0,80, was für eine gute Wiederholbarkeit und Repräsentativität der Messwerte spricht.

Aus den Karten in Abbildung 113 werden Zusammenhänge zwischen den Bodenfeuchtemessungen (Labor und TDR) und EM38 und auch dem Ertrag von Winterweizen deutlich.

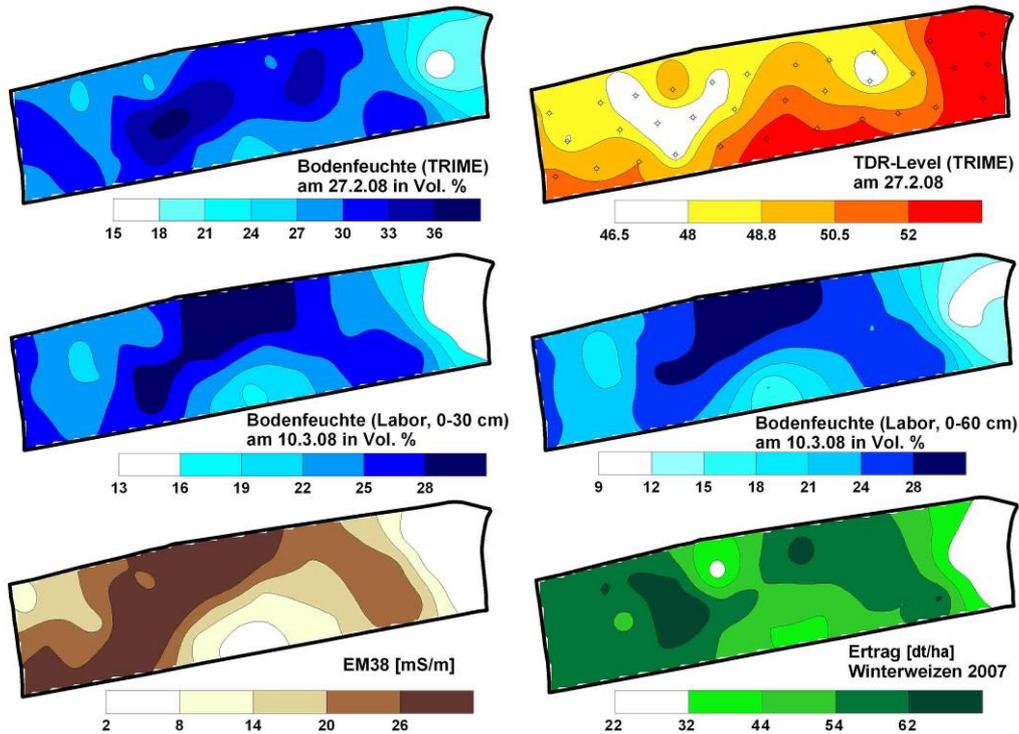


Abbildung 113: TRIME-Bodenfeuchte/-TDR-Level (27.2.2008) und Bodenfeuchte (N_{\min} -Probenahme vom 10.3.2008) im Vergleich zu EM38 und Winterweizenertrag (2007), jeweils Interpolation aus $n = 33$

Gestützt werden die optisch erkennbaren Zusammenhänge durch die Korrelationen in Tabelle 33. Etwa 50 % der Variation der TDR-Bodenfeuchte kann durch die EM38-Unterschiede erklärt werden.

Tabelle 33: Korrelationen „Am Flugplatz“

r ($n = 33$)	Bodenfeuchte	TDR-Level	EM38
TDR-Level	-0,72		
EM38	0,72	-0,78	
Ertrag 2007	0,70	-0,67	0,58

Für andere Schläge mit weniger ausgeprägten Bodenunterschieden fielen die Zusammenhänge von EM38 und Ertrag zur Bodenfeuchte etwas geringer aus.

Fazit Messung der Bodenfeuchte mittels Time-Domain-Reflectometry (TDR)

Der TDR-Level stand im Zusammenhang mit den Messwerten des EM38, der Bodenfeuchte und dem Ertrag.

3.7.2 Mehrjährige Ertragsbetrachtung

In Abbildung 114 sind für den Schlag „Am Flugplatz“ die Karten der Erträge der Jahre 2003 bis 2008 dargestellt. Auf die wiederkehrenden Muster wurde in vorangegangenen Kapiteln bereits hingewiesen.

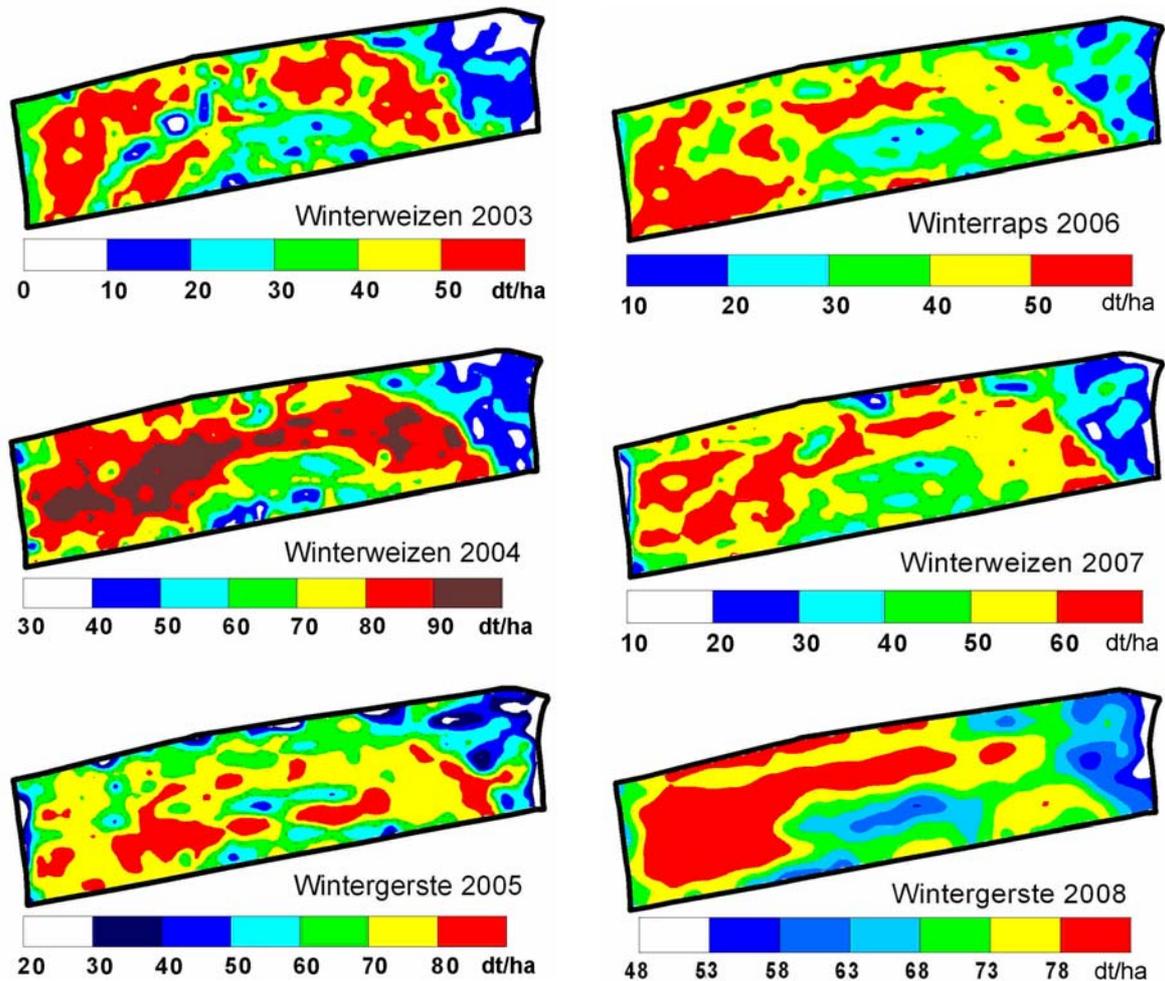


Abbildung 114: Ertragskarten der Jahre 2003 bis 2008, Schlag „Am Flugplatz“ (38,5 ha)

Für diese Erträge sind die Trendlinien in Abhängigkeit von den Bodenunterschieden (EM38) in Abbildung 115 zusammengefasst. Deutlich werden die jahres- bzw. witterungsbedingten Unterschiede der Ertragshöhe, beispielsweise bei Winterweizen das Trockenjahr 2003 und das Spitzenjahr 2004. In unterschiedlicher Ausprägung ist in allen Jahren und bei allen Fruchtarten ein ähnlicher Kurvenverlauf zu erkennen. Also auch in feuchten Jahren gibt es eine große Ertragsdifferenzierung mit steigenden Erträgen in lehmigeren Teilflächen und ein Absinken der Erträge bei sehr tonigen Bodenarten.

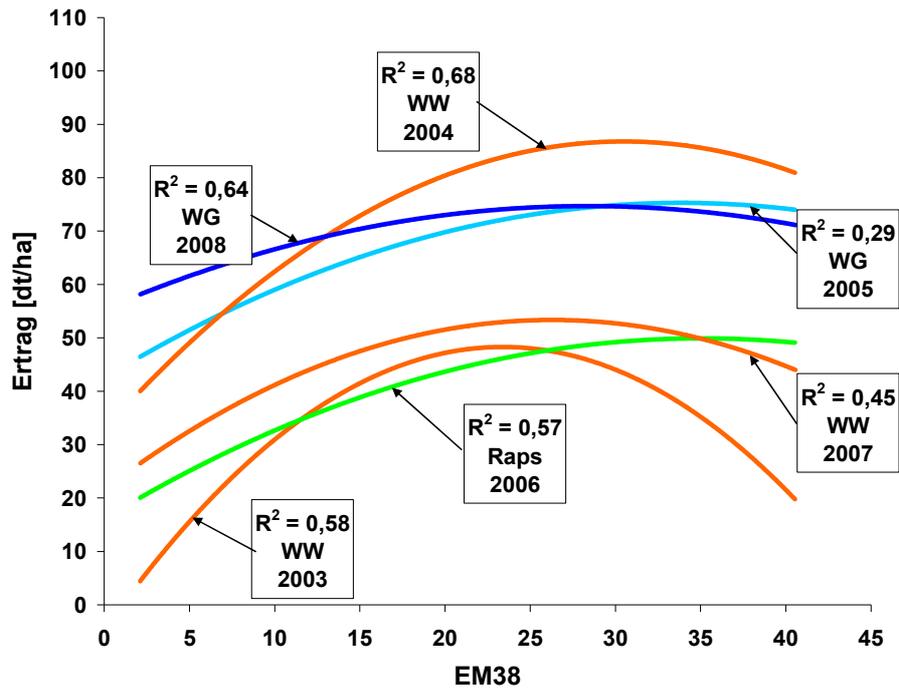


Abbildung 115: Trendlinien der Erträge 2003 - 2008 in Abhängigkeit von Bodenunterschieden (EM38), Schlag „Am Flugplatz“

Durch die Bildung von Relativerträgen, das Schlagmittel entspricht dabei 100 %, können Ertragsdaten mehrerer Jahre und verschiedener Fruchtarten verglichen werden.

Das Ergebnis für die Jahre 2003 bis 2007 ist beispielhaft in Abbildung 116 zu sehen. Im Mittel von fünf Jahren wurden auf dem sandigen Teil nur 25 % bis 65 % des Durchschnittsertrags geerntet. Besonders die tonigeren Schlagteile erbrachten zum Teil Mehrerträge von 15 % bis 40 %.

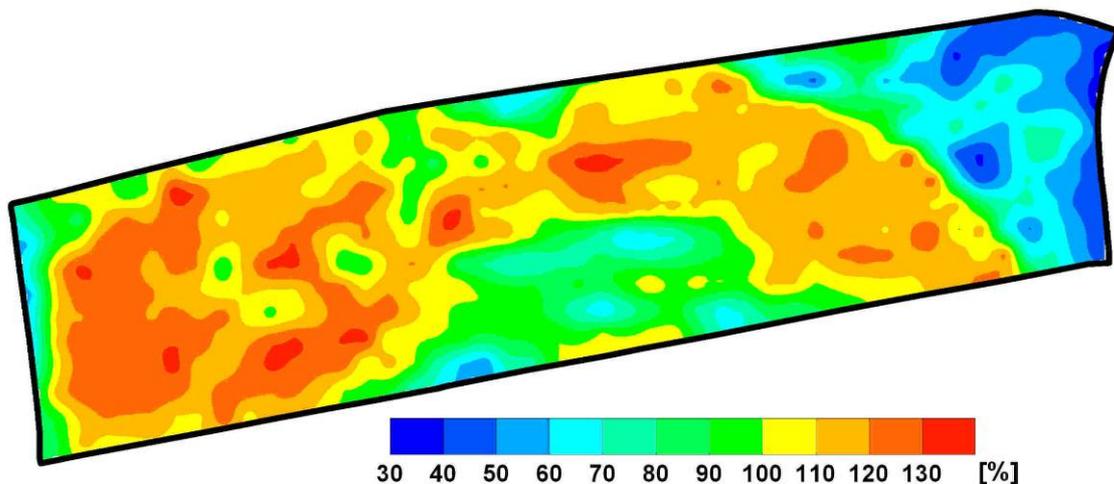


Abbildung 116: Mittlerer Relativertrag der Jahre 2003 bis 2007

Es zeigt sich ein guter Zusammenhang ($r^2 = 0,73$) zwischen Boden (EM38) und mehrjährigem mittlerem Ertrag. Dies spricht auch für die gute Eignung von geophysikalischen Kartierungen für die Ableitung pflanzenbaulicher Maßnahmen bzw. Management-Zonen bei großer Bodenheterogenität besonders unter trockenen Standortbedingungen.

Für den Schlag „123.4“ lagen die Ertragsdaten für 2006 (Winterweizen) und 2007 (Wintergerste) vor. Die Muster der Ertragshöhe waren in beiden Jahren ähnlich. Nach Bildung von Relativverträgen und Mittelwertbildung ergibt sich folgendes Bild einer mehrjährigen Ertragskarte (siehe Abb. 117).

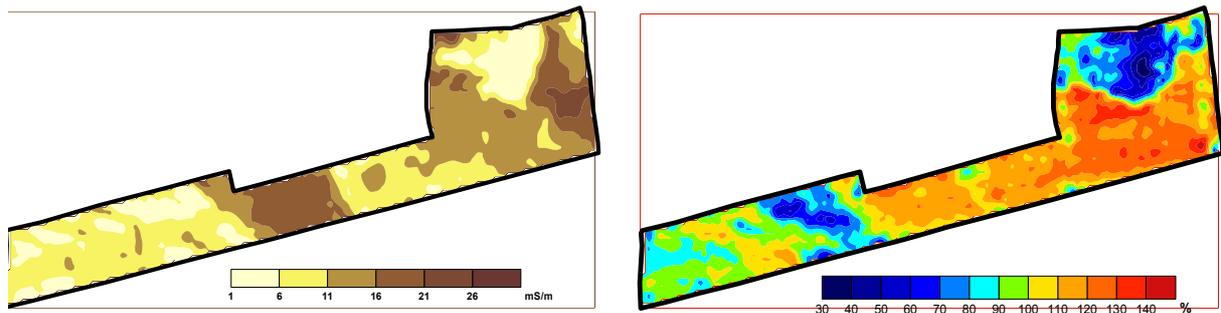


Abbildung 117: EM38 und Relativvertrag (2006 - 2007), Schlag „Adelwitzer Park“

Gerade in Zonen mit niedrigen EM38-Werten und gleichzeitig höherem Sandgehalt wurden in den zwei Jahren im Schnitt nur 30 – 70 % des Durchschnittsertrages (Schlagmittel) erzielt. Die lehmigeren Schlagteile erbrachten bis zu 140 % des Schlagmittels. Die große Spannweite der Werte und damit die Ertragsheterogenität werden sehr deutlich.

Die Korrelation zwischen EM38 und Relativvertrag der zwei Jahre beträgt $r^2 = 0,32$, bei einem nichtlinearen Kurvenverlauf können 46 % der Schwankungen des Ertrages durch die Bodenunterschiede (EM38) erklärt werden (siehe Abb. 118). Der geringere Zusammenhang im Vergleich zum Schlag „Am Flugplatz“ lässt sich zum einen durch weniger stark ausgeprägte Bodenunterschiede erklären, zum anderen wurden für den Schlag „Adelwitzer Park“ mehr Datenpaare durch ein engeres Interpolationsraster (9 x 9 m) erzeugt und zur Korrelation herangezogen, wodurch die Streuung zunimmt.

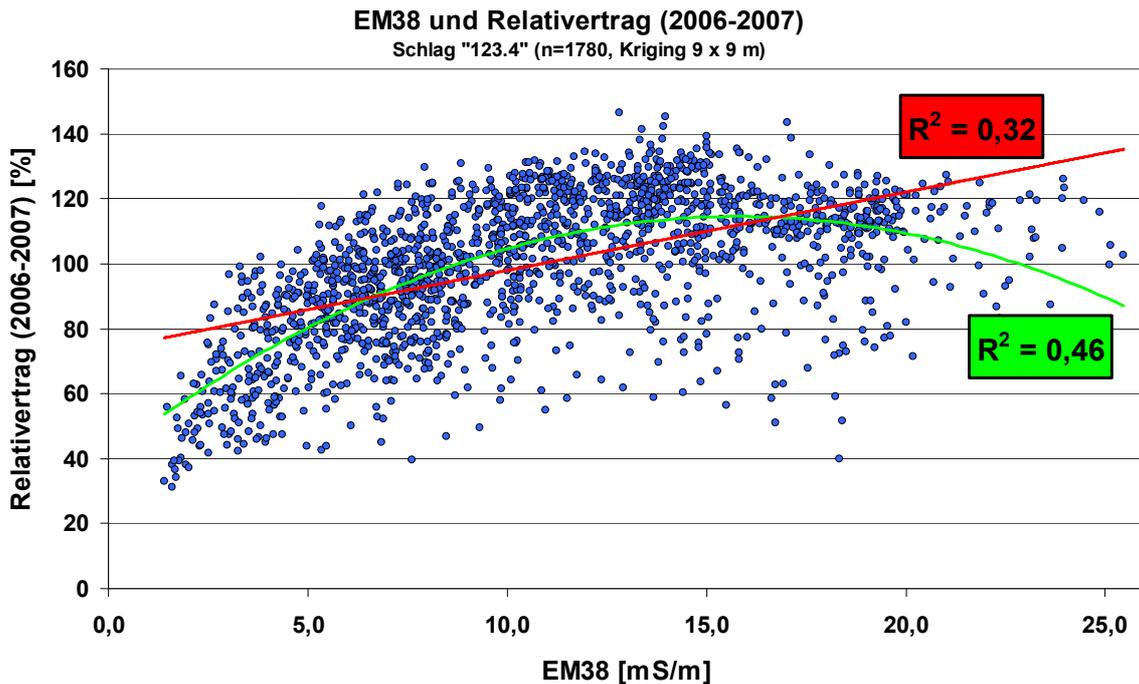


Abbildung 118: Zusammenhang zwischen Relativertrag (2006 - 2007) und EM38, Schlag „Adelwitzer Park“

Durch das Zusammenfassen der Ertragswerte in 25 EM38-Klassen (siehe Abb. 119) verbessert sich der Zusammenhang erheblich auf $r^2 = 0,94$, man beachte jedoch die Fehlerbalken. Diese verschiedenen Ergebnisse bei gleichem Datensatz jedoch unterschiedlicher Auswertung zeigen auch gewisse methodische Unklarheiten bei der Bearbeitung von Precision Farming-Daten auf, so zum Beispiel bei der Entscheidung für die

- Nutzung des gesamten Datensatzes
- Zusammenfassung zu bestimmten Klassen/Zonen/Rasterflächen
- gezielte Auswahl bestimmter Schlagteile oder Messpunkte.

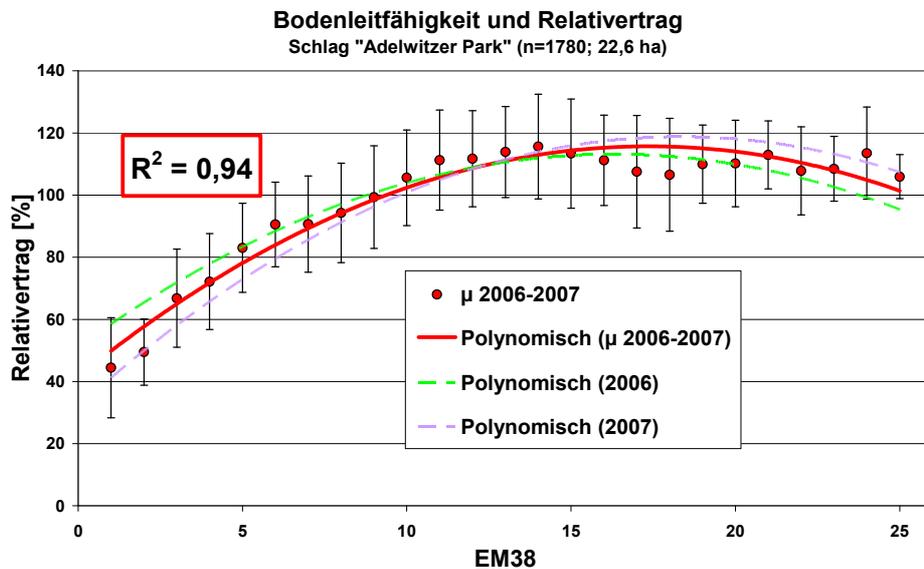


Abbildung 119: Relativertrag (2006 - 2007) in Beziehung zu EM38-Klassen

Zeigen sich in der Mehrzahl der Jahre gute Beziehungen zwischen Boden und Ertrag, kann es wirtschaftlich sinnvoll und auch umweltverträglicher sein, Management-Zonen einzurichten und diese dann möglichst im gesamten Arbeitsprozess mit der jeweils optimalen Strategie zu bewirtschaften. Hier besteht Forschungsbedarf.

Fazit Mehrjährige Ertragsbetrachtung

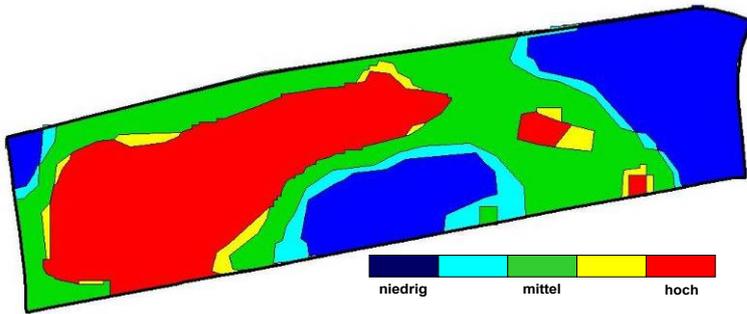
Für die Mehrzahl der Untersuchungsjahre bestanden ausgeprägt stabile Beziehungen zwischen Ertrag der Fruchtarten und Messwerten des EM38.

3.7.3 Bildung von Managementzonen

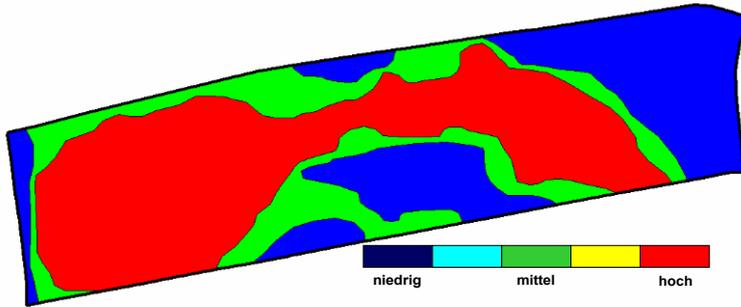
Die Bildung von Management-Zonen (Kartier-Ansatz) kann als Regionalisierung des Schlags in einzelne Teilflächen homogener Eigenschaften verstanden werden. (vgl. ERASMI 2002) Die Ausweisung kleinster Areale mit homogenen Standortbedingungen stößt in der Praxis jedoch aufgrund natürlicher Variabilität mit kleinräumlichen Unterschieden, vielfältigen Einflussfaktoren und unzureichender Technik an Grenzen. Kompromisse müssen in Bezug auf die angestrebte Genauigkeit eingegangen werden. Zudem gibt es keine verbindliche Methodik. Neben Grenzziehung nach Erfahrung existieren zahlreiche anwendbare mathematische Methoden. Die Schwierigkeit der Entscheidung, was getan bzw. wie viel in jeder Management-Zone zum jeweiligen Arbeitsgang appliziert wird, wurde bereits angesprochen.

Die Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren („online“ oder „offline“ nach Zonen) richtet sich neben den Standortbedingungen auch sehr nach den individuellen Möglichkeiten und den Ambitionen der Anwender. (vgl. ERASMI 2002)

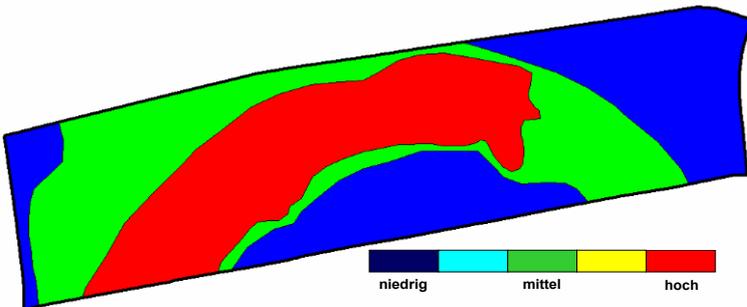
Für den Schlag „Am Flugplatz“ mit bekannter großer Bodenheterogenität sind in Abbildung 120 beispielhaft für den Schlag „Am Flugplatz“ die Ergebnisse verschiedener Managementzonenbildungen gegenübergestellt. In Abbildung 120 a) ist die aus Verrechnung von Satellitenbildern mehrerer Jahre erstellte Potenzialkarte zu sehen. Die beiden unteren Karten zeigen eigenhändig erstellte Zonenkarten (drei Zonen) aus der Verrechnung unterschiedlicher Datengrundlagen, so dem mehrjährigen Ertrag (siehe Kap. 3.7.2) bzw. dem Ergebnis einer Matrix (und anschließender Klassifizierung) aus EM38, Höhe und mehrjährigem Ertrag. Die Muster der oberen Karten sind sehr ähnlich und zeigen gute Übereinstimmungen mit dem Ertragsmuster 2007 (vgl. 120 d). Karten mit Einbeziehung der EM38-Werte könnten beispielsweise für weitere pflanzenbauliche Verfahrensschritte wie Bodenbearbeitung oder Aussaat verwendet werden.



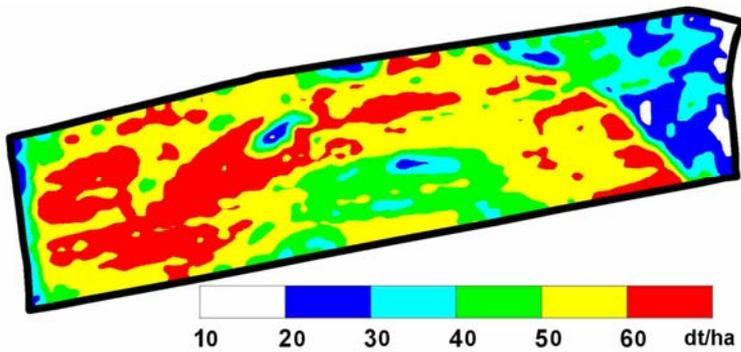
a) Potenzialkarte
(Satellitendaten, Agro-Sat GmbH)



b) Management-Zonen
(mehrfähriger Ertrag;
niedrig < 90 %, mittel 90-110 %, hoch > 110 %)



c) Management-Zonen
(EM38+Höhe+Erträge)



d) Ertragskarte Winterweizen 2007

Abbildung 120: Zonenkarten als Ergebnis unterschiedlicher Ansätze der Erstellung bzw. Datengrundlage und Ertragskarte 2007, Schlag „Am Flugplatz“

Das Ergebnis der Zuordnung der Sensor- und Ertragsdaten zu den Potenzialzonen erbrachte, dass bei gegebener Abgrenzung signifikante Unterschiede, gerade auch im Ertrag, zwischen den Potenzialzonen bestehen. Die Zone blau/hellblau erzielte 43 dt/ha Winterweizenertrag, die Zone gelb/rot dagegen 58 dt/ha. Mit dieser Zonierung im Vergleich zum Sensor-Ansatz hätten somit, zumindest rückblickend für das Jahr 2007 betrachtet, auch Boden- und Bestandesunterschiede berücksichtigt werden können (siehe Abb. 121).

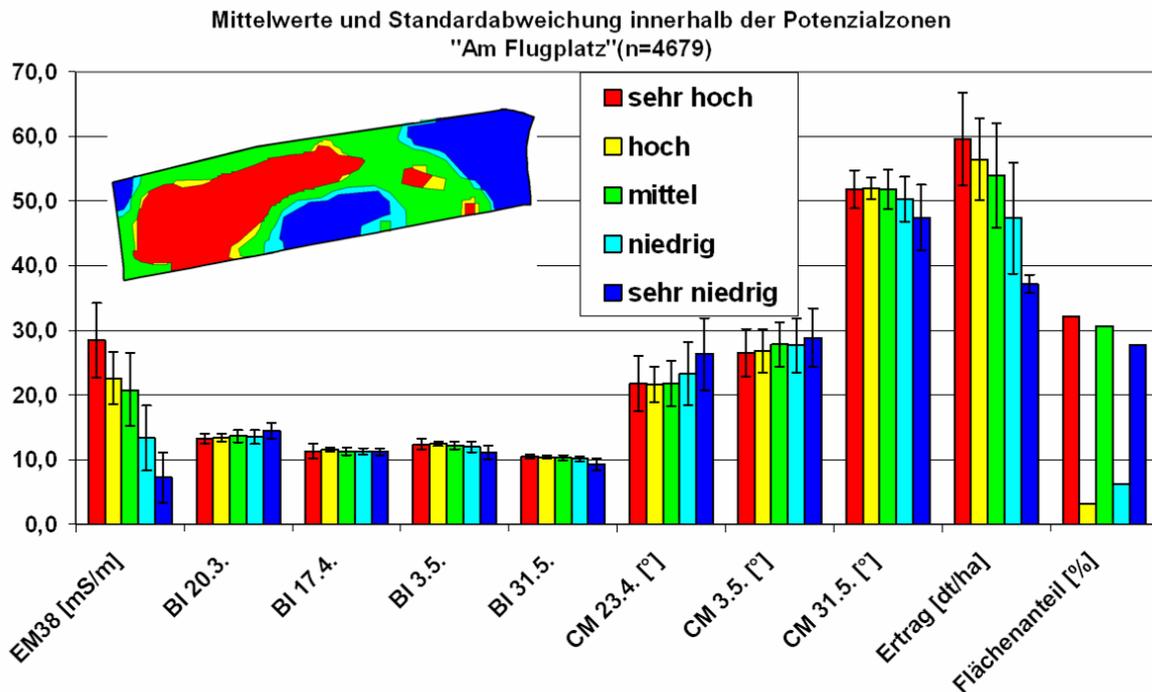


Abbildung 121: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter innerhalb der Potenzialzonen, Schlag „Am Flugplatz“ 2007

Ein wichtiger Aspekt bei der Bildung von Managementzonen (über mehrjährige Erträge) ist die Stabilität der Erträge. Als Stabilitätskriterium kann der Variationskoeffizient (δ %) dienen, wobei über den Zeitraum Werte kleiner als 15 % (bzw. 25 %) als stabile und größer als 15 % (bzw. 25 %) als instabile Erträge angesehen werden. Für die Ertragshöhe wurde bei der folgenden Abbildung lediglich zwischen niedrig (< 100 %) und hoch (> 100 %) unterschieden. Für diese Einteilung der Werte liegen keine standardisierten Verfahren vor, wodurch in der Praxis je nach Standort und Erfahrung individuelle Entscheidungen getroffen werden können.

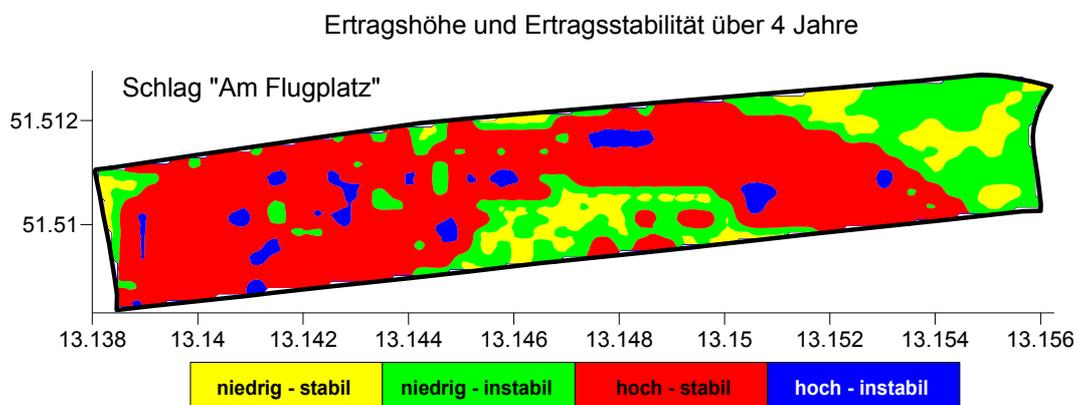


Abbildung 122: Ertragshöhe und Ertragsstabilität 2003 - 2006 bei $\delta = 25$ %, Schlag „Am Flugplatz“

Für die folgende Abbildung (123) wurden die Erträge in die Klassen niedrig (< 85 %), mittel (85 % bis 115 %) und hoch (> 115 %) geteilt und zudem für die zugelassene Streuung ein kleinerer Wert (15 %) angesetzt. Es ergibt sich im Unterschied zu Abbildung 122 ein differenzierteres Bild. Gerade die Hohertragszonen werden stärker in instabile Zonen unterteilt.

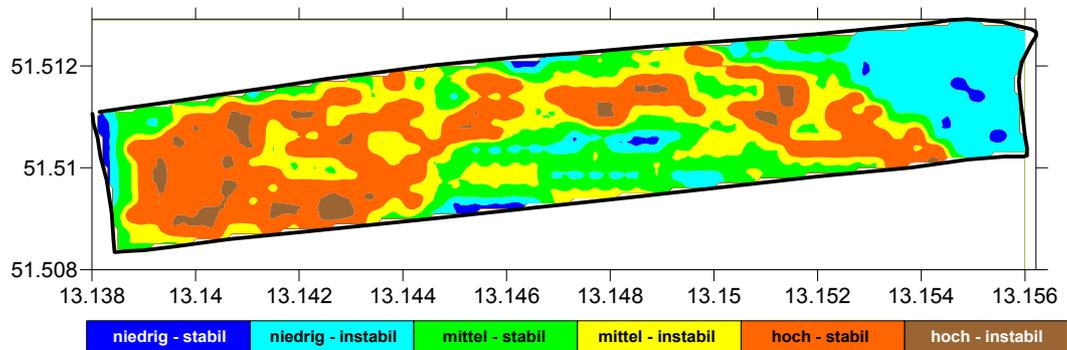


Abbildung 123: Ertragshöhe und Ertragsstabilität 2003 - 2007 $\delta = 15\%$, Schlag „Am Flugplatz“

Bei der Klassenbildung ist immer die Anzahl der Klassen zu beachten. Je mehr Klassen, desto schwieriger und unsicherer werden die Entscheidungen (vgl. TREUE 2003). Die erstellten Managementzonenkarten bilden je nach Methodik der Erstellung andere Muster aus. Welche die richtige für eine betreffende Applikation ist, kann voraussichtlich nicht sicher entschieden werden.

Für das Beispiel „Am Flugplatz“ ergeben sich bei einem praktikablen Ansatz bis auf kleine Teilflächen, die mit der vorhandenen Technik nicht berücksichtigt werden können, zwei Management-Zonen (siehe Abb. 122) bzw. drei Management-Zonen (siehe Abb. 120 b/c). Die mehrjährig niedrigen Erträge und damit auch das geringere Ertragspotenzial verlangen nach einer Reduzierung zum Beispiel der N-Aufwandmengen in sandigen Schlagteilen, ein Bestandesausgleich ist in diesem Fall nicht anzustreben. Vorstellbar ist jedoch auch eine sukzessive und damit längerfristige Bodenverbesserung der sandigen Schlagteile durch Maßnahmen, die zum Humusaufbau beitragen.

Für den Schlag „Adelwitzer Park“ konnten ebenfalls durch Verrechnung verschiedener Daten (Dienstleistung und eigene Erstellung) plausible Managementzonen (siehe Abb. 124) erstellt werden.

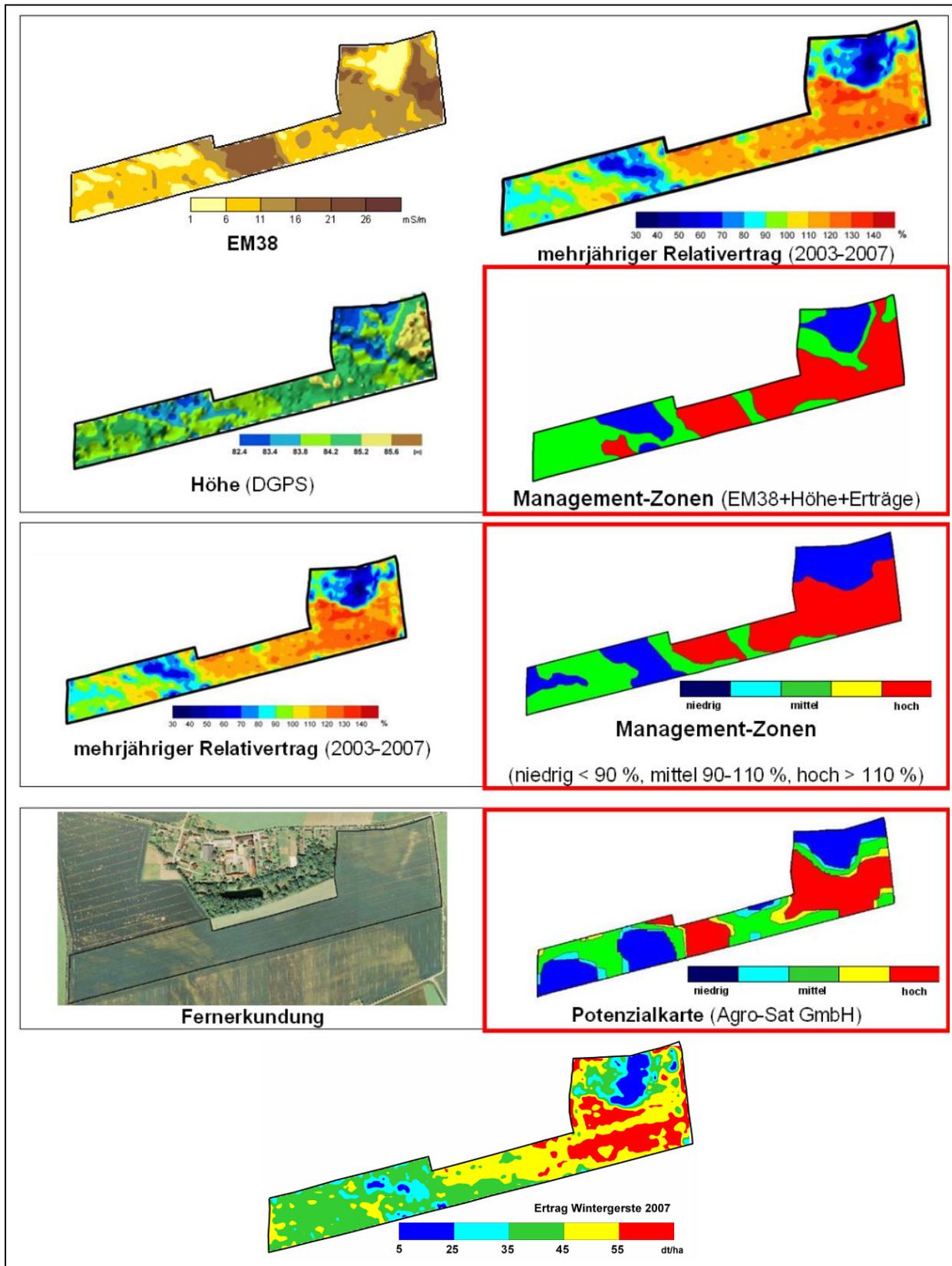


Abbildung 124: Managementzonenkarten (roter Umriss) als Ergebnis unterschiedlicher Ansätze der Erstellung bzw. Datengrundlage und Vergleich zur Ertragskarte 2007, Schlag „Adelwitzer Park“

Die Auswertung der den einzelnen Zonen zugeordneten Daten ergab ähnliche Ergebnisse wie „Am Flugplatz“. Zumindest zwischen niedrigem Potenzial (blau) und hohem Potenzial (rot) bestehen bei den meisten Parametern (siehe Abb. 125) deutliche Unterschiede.

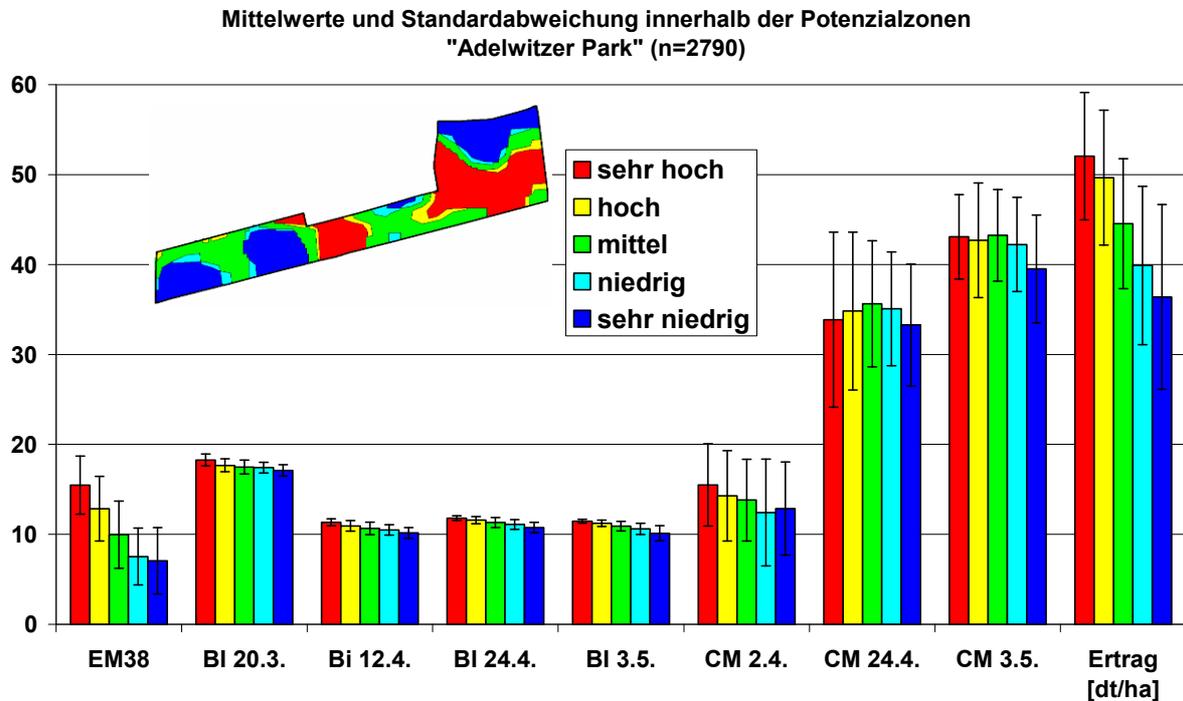


Abbildung 125: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter (N-Sensor, Pendelsensor) innerhalb der Potenzialzonen 2007, Schlag „Adelwitzer Park“

Fazit Bildung von Managementzonen

Die Bewirtschaftung von Flächen nach Management- oder Potenzialzonen ist unter den Standortvoraussetzungen des LVG Köllitsch eine Bewirtschaftungsalternative gegenüber den „online“- Applikationsverfahren.

3.7.4 Korrelation von Boden und Bestand zu Sensorwerten („Adelwitzer Park“)

Die schon in Kapitel 3.3.3 für 2007 dargestellte und durch Sensormessdaten bestätigte Heterogenität des Schlagges „Adelwitzer Park“ soll unter dem Aspekt der Wuchshöhe (mittlere Bestandeshöhe) betrachtet werden. Die vor allem bodenbedingten Bestandesunterschiede am 14.5.2007 sind in Abbildung 126 dokumentiert.



Abbildung 126: Bestandesunterschiede am 14.5.2007, Wintergerste „Adelwitzer Park“

Die Messung der Wuchshöhe an 48 ausgewählten Punkten ergab nachvollziehbare Beziehungen zur elektrischen Leitfähigkeit und Sensorwerten (siehe Abb. 127). Der erhöhte Wassermangel bzw. geringere Nährstoffverfügbarkeit im sandigen Teil führte zu geringeren Wuchshöhen und einem insgesamt dünnen, schwachen Bestand.

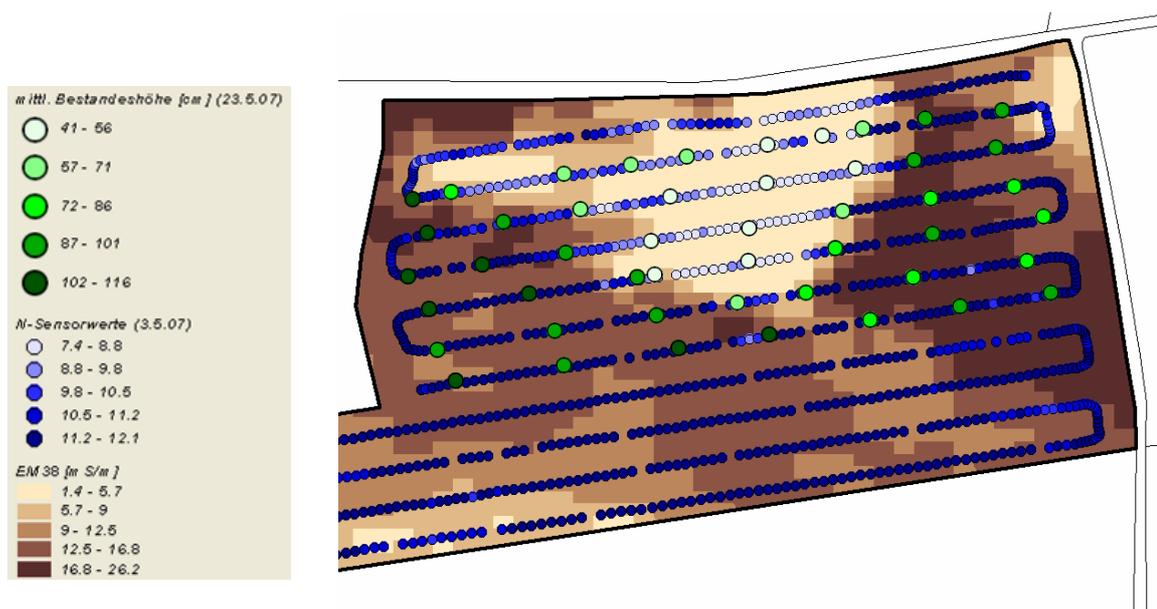
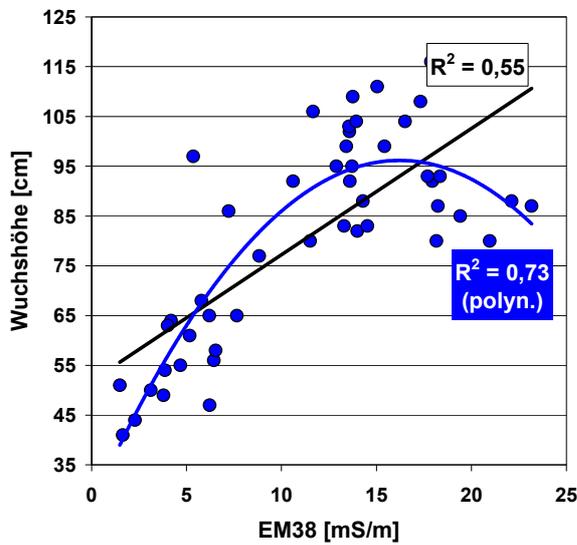
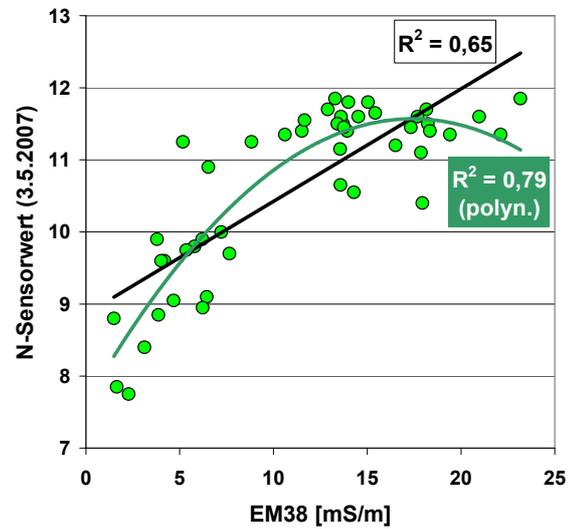


Abbildung 127: N-Sensorwerte (blau), EM38 (braun) und Wuchshöhen (grün) zu Wintergerste, östlicher Schlagteil „Adelwitzer Park“ (WGS84)

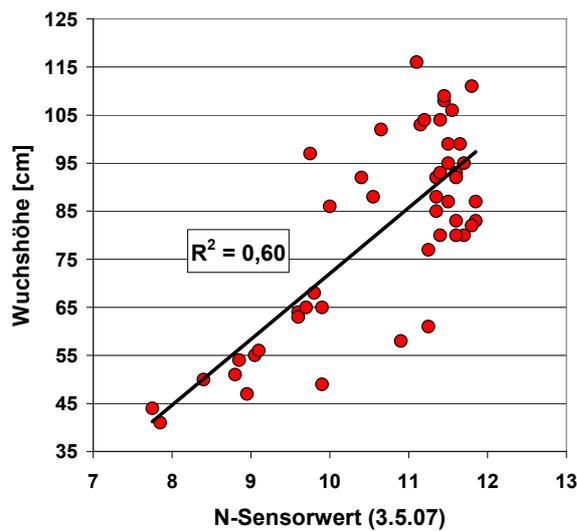
Diese optisch guten Beziehungen werden durch die Diagramme (siehe Abb. 128) abgebildet. Bei den Pendelwinkeln ist der Zusammenhang zur Wuchshöhe etwas geringer als bei den YARA N-Sensor ALS- bzw. EM38-Messungen.



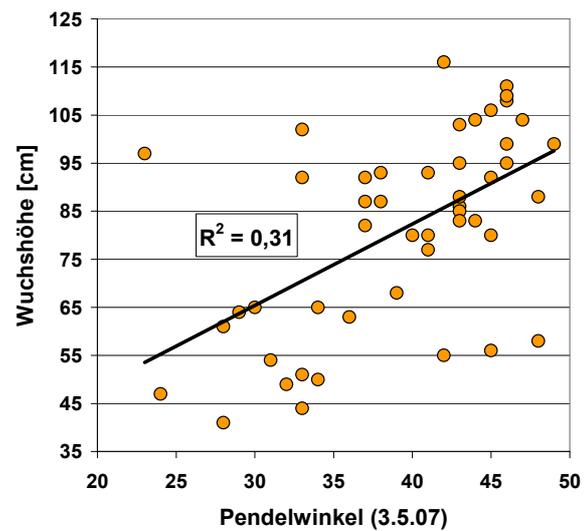
a) EM38 - Wuchshöhe



b) EM38 - N-Sensorwert



c) N-Sensorwert - Wuchshöhe



d) Pendelwinkel - Wuchshöhe

Abbildung 128: Korrelation EM38, Wuchshöhe, N-Sensorwert und Pendelwinkel (n = 48), Schlag „Adelwitzer Park“ (2007)

Die unterschiedliche Bestandesentwicklung führte im Ertragsbild zu einer großen Differenzierung. Korrelationen zwischen Sensorwerten, Bodendaten und der Wuchshöhe lassen sich gut zum Ertrag herstellen. Der Ertrag und die Wuchshöhe korrelieren hoch mit den EM38-Werten mit ähnlichem Kurvenverlauf. Ebenso gibt es einen Zusammenhang zwischen Wuchshöhe und Ertrag (siehe Abb. 129).

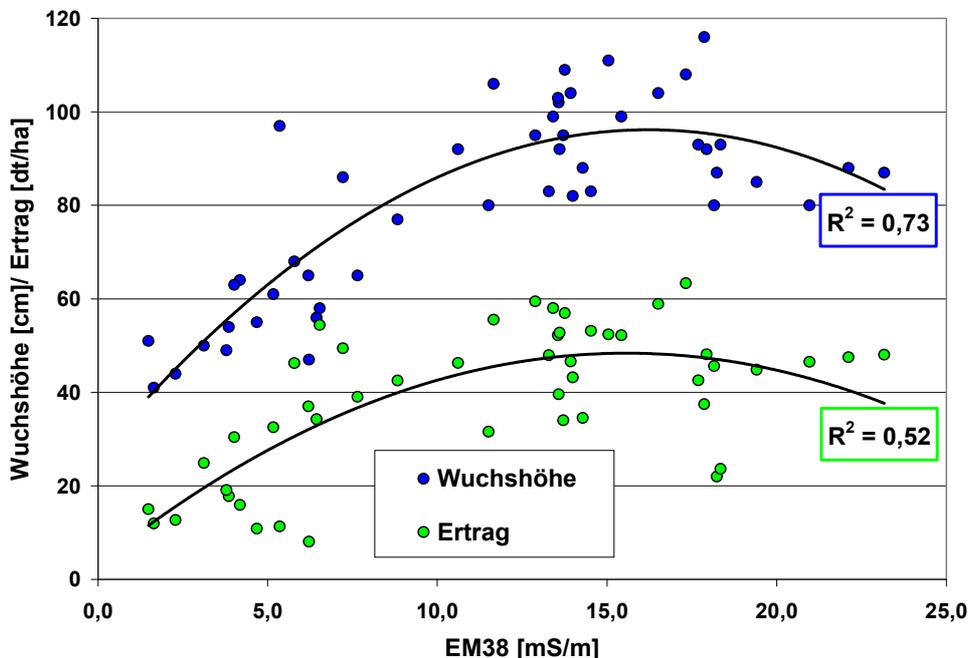


Abbildung 129: EM38, Wuchshöhe und Ertrag, Schlag „Adelwitzer Park“ (östlicher Schlagteil, n = 48)

Fazit Korrelation von Boden und Bestand zu Sensorwerten

Die Messwerte der Getreidewuchshöhe ergaben nachvollziehbare Beziehungen zu den Messwerten des EM38, des YARA N-Sensors ALS, des CROP-Meters und den Ertragsmesswerten der Mähdrescher.

3.7.5 Geländehöhe

Die Höhendaten aus dem digitalen Geländemodell (DGM) des Landesvermessungsamtes Sachsen eignen sich nur bedingt für landwirtschaftliche Fragestellungen, wie etwa Bodenfeuchtemuster, Erosionspfade oder Geländeneigung. Die offensichtlichen Abweichungen (siehe Abb. 13) erfordern genauere Höhenmodelle etwa durch DGPS- bzw. genauere RTK-Vermessungen.

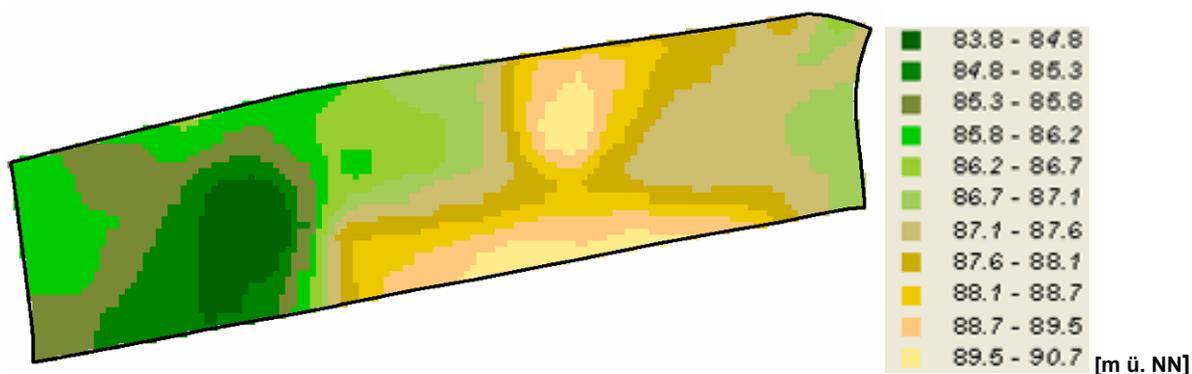


Abbildung 130: Höhe aus DGM (Quelle: Freistaat Sachsen), Schlag „Am Flugplatz“

Nach Mittelwertbildung der DGPS-Höhen mehrerer Überfahrten und Interpolation (5 m-Raster) ergibt sich für den Schlag „Am Flugplatz“ folgendes Bild (siehe Abb. 131).

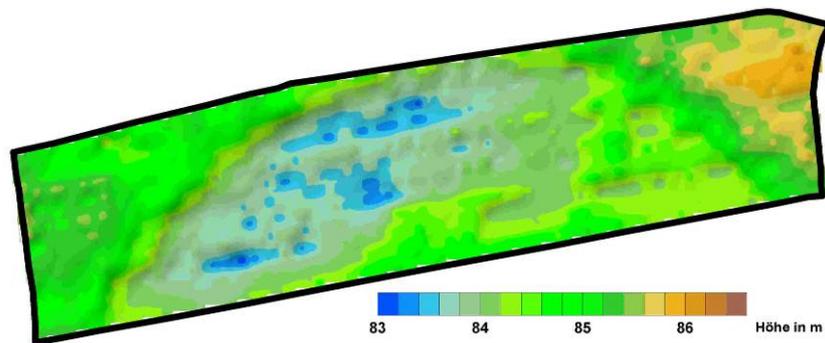


Abbildung 131: Höhenmodell aus mehrfacher DGPS-Messung, Schlag „Am Flugplatz“

Die Unregelmäßigkeiten (Ausreißer) lassen sich durch weitere Bearbeitung (Anwendung eines Filters oder nochmalige Interpolation eines reduzierten Datensatzes) glätten. In Abbildung 132 sind die für den Standort typischen Zusammenhänge trotz geringer Höhenunterschiede zwischen Höhe und Boden bzw. Ertrag zu erkennen.

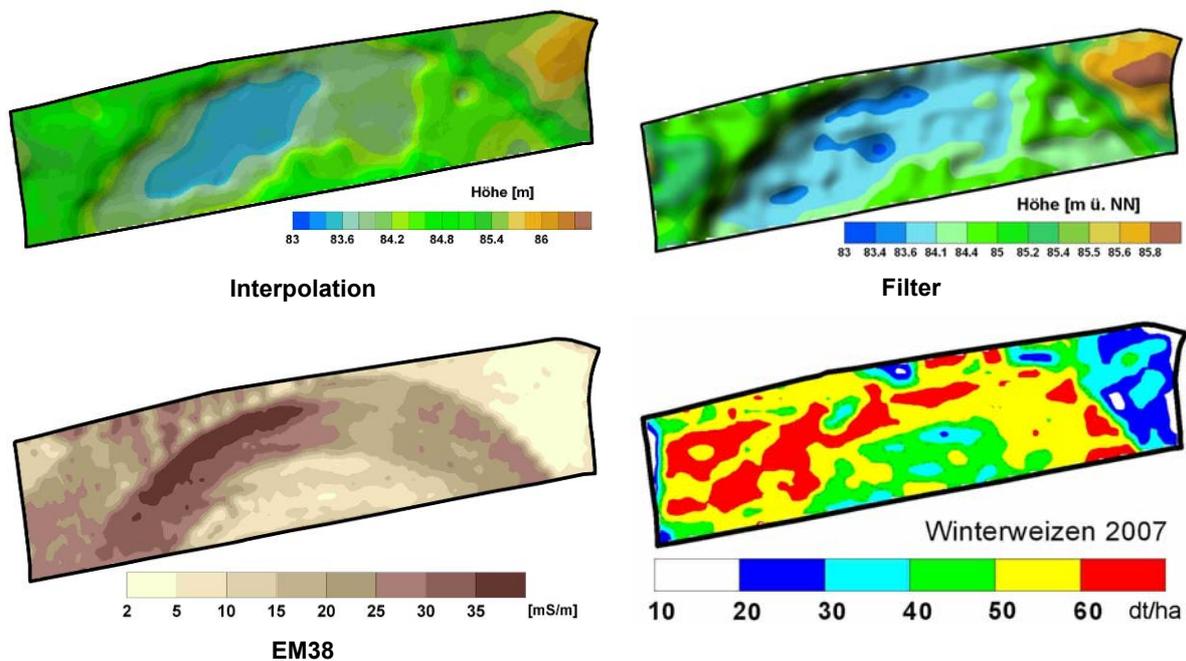


Abbildung 132: Vergleich von geglätteten (Interpolation bzw. Filter) Höhenmodellen aus mehrfacher DGPS-Messung und EM38 und Ertrag 2007, Schlag „Am Flugplatz“

Die DGPS-Höhe korreliert für den Schlag „Am Flugplatz“ mit den EM38-Werten mit $r^2 = 0,35$ und mit dem Winterweizenertrag 2007 mit $r^2 = 0,30$.

Auch für den Schlag „Adelwitzer Park“ ergibt sich für die Höhe durch DGPS-Messungen ein genaueres, von den Daten des DGM Sachsen abweichendes Bild (siehe Abb. 133).

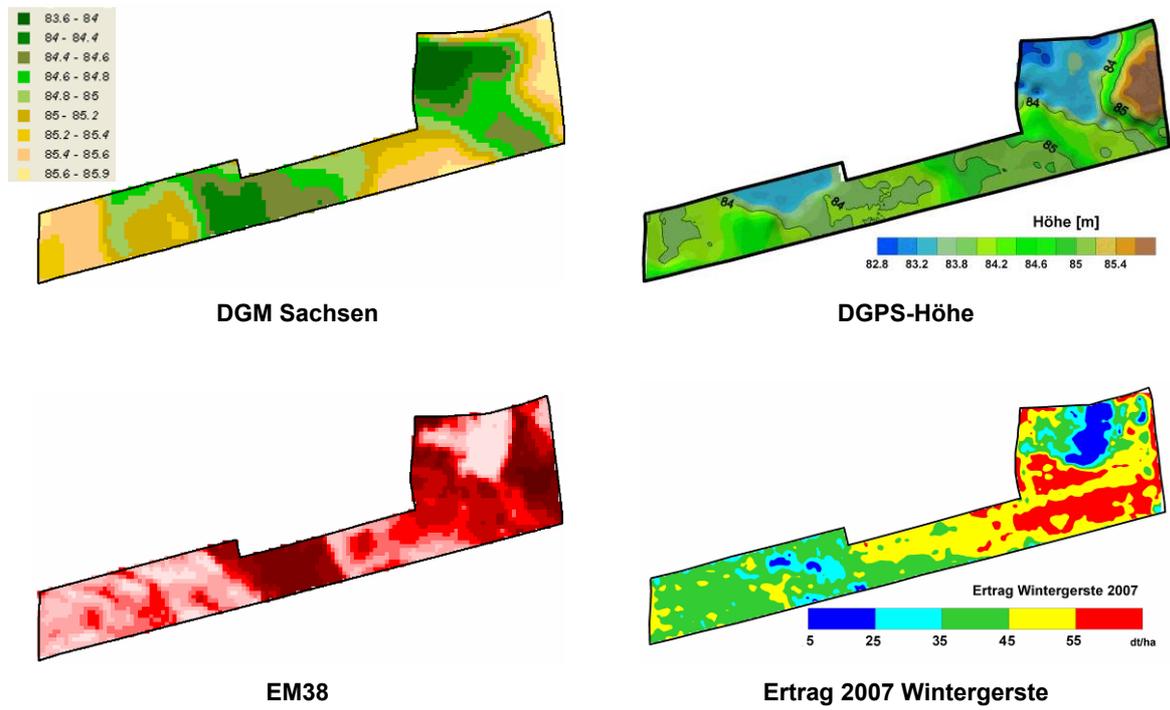


Abbildung 133: Vergleich von Höhenmodellen (DGM bzw. mehrfacher DGPS-Messung) und EM38 und Ertrag 2007, Schlag „Adelwitzer Park“

Auf dem Schlag „121.32/33“ war es schwieriger, Zusammenhänge herzustellen. Zur Höhe konnte nur für die erste N-Sensormessung (20.3.2007) eine negative Korrelation ($r = -0,51$) ermittelt werden (siehe Abb. 134).

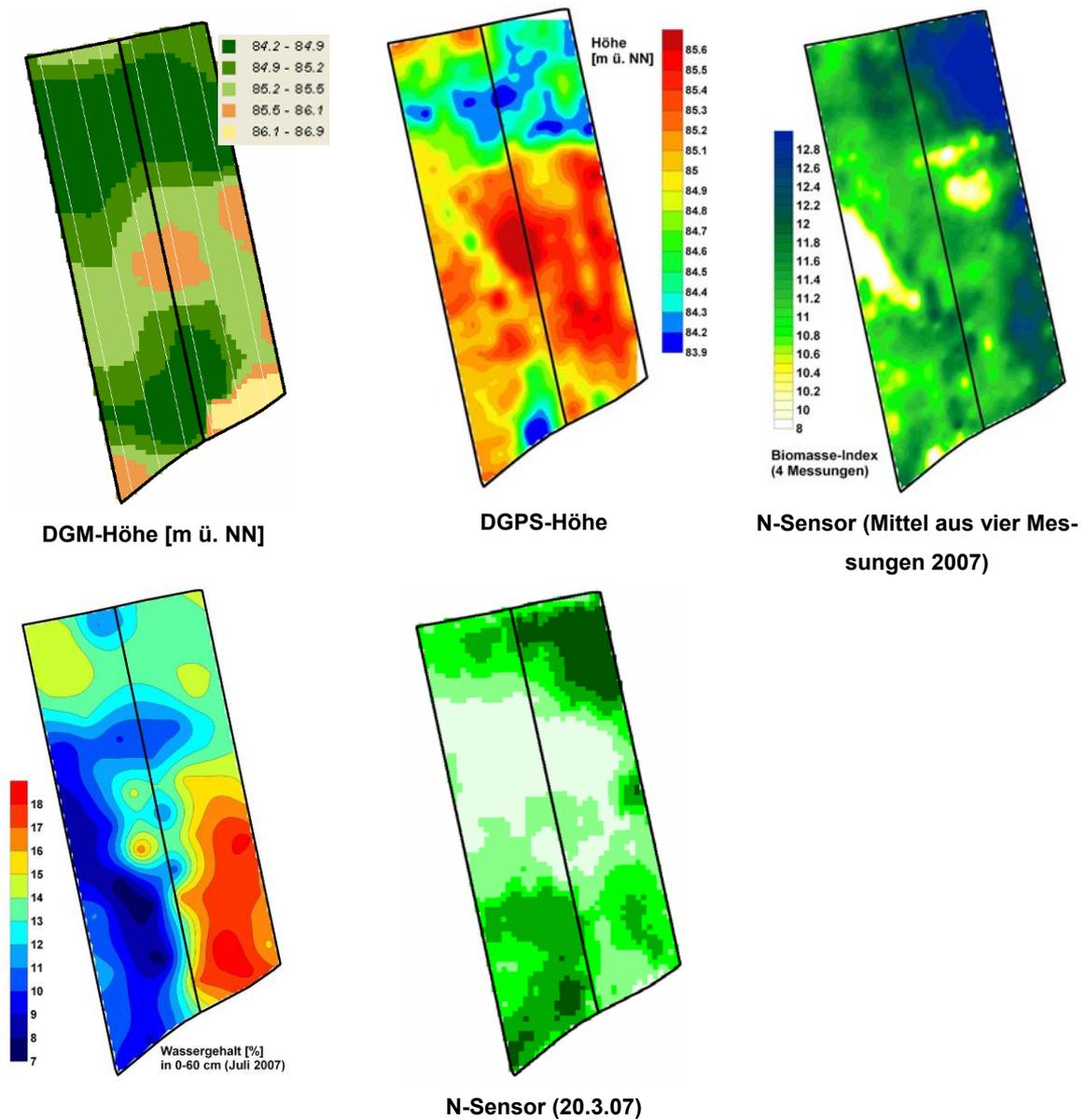


Abbildung 134: Vergleich von Höhenmodellen (DGM bzw. mehrfacher DGPS-Messung), Wassergehalt und N-Sensormessungen 2007, Schlag „121.32/33“

Fazit Geländehöhe

Trotz geringer Höhenunterschiede stand am Standort Köllitsch, Einzelschläge betreffend, die Geländehöhe mit den Messwerten des EM38 und dem Ertrag in Beziehung.

3.7.6 Qualität der Sensormessungen

Die vorangegangenen Ausführungen zu Beziehungen zwischen Sensormessungen (CROP-Meter und YARA N-Sensor ALS) haben gezeigt, dass das optische N-Sensorsystem die Bestandessituation meist etwas besser abbildete als das mechanische Pendelsystem, die Korrelationen zum Ertrag besonders bei den späten Messungen deuten dies an. Zu den Messzeitpunkten lagen jedoch nur wenig hochaufgelöste Vergleichswerte vor.

Die Karten der Pendelmessungen zeigen gegenüber den Karten der N-Sensormessungen meist ein etwas differenzierteres Bild. Die Spannweite und Streuung der Messwerte ist höher als beim N-Sensor. Der Vergleich zwischen Ertrag und Pendelwinkeln zeigte geringere Zusammenhänge als die N-Sensormessungen.

Für den Schlag „Am Flugplatz“ wurde zur ersten Messung (2007) andeutungsweise auch durch die Pendelmessung die kräftigere Bestandesentwicklung im sandigen Schlagteil erkannt. Auch die Fehlstelle wurde wie beim YARA N-Sensor ALS durch niedrige Werte angezeigt. Zum Zeitpunkt der 3. N-Gabe zeigte das Pendel weiterhin höhere Winkel an, als auf dem Rest des Schlages. Die einmal angelegte Biomasse hat unabhängig von der aktuellen Pflanzenernährung anscheinend einen großen Einfluss auf das Messergebnis und damit die Düngempfehlung. Hier sind die genaue Schlag- und Pflanzenbestandeskenntnis und die Erfahrung des Landwirtes gefragt, die richtige Kalibrierung und Applikationsfunktion (unabhängig vom genutzten Sensor!) für die jeweilige Maßnahme zu wählen.

Für einen konstant gedüngten Schlag (Winterweizen 14,7 ha) konnte mit dem YARA N-Sensor ALS die Zunahme der Biomasse/Grünfärbung bei gleichzeitigem Rückgang der Streuung (Standardabweichung) kartiert werden (siehe Abb. 135). Ein Ausgleich des Bestandes bezüglich der spektralen Eigenschaften erfolgt ohne variable Düngung.

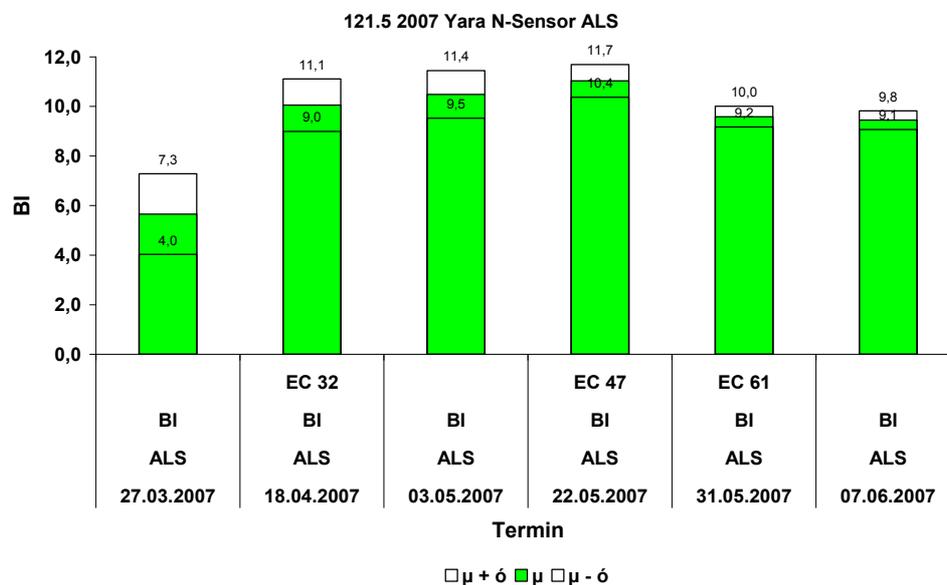


Abbildung 135: Mittelwerte und Streuung von 6 N-Sensormessungen auf einem Schlag mit konstanter N-Düngung, Schlag „121.5“ (2007)

Für die Pendelwinkel (siehe Abb. 136) erhöht sich im Unterschied zum N-Sensorverfahren mit zunehmendem EC-Stadium die gemessenen Pendelwinkel durch die Zunahme der pflanzlichen Biomasse. Die Streuung der Werte nahm im Gegensatz zum YARA N-Sensor ALS jedoch von 11,3 auf 16,4 zu.

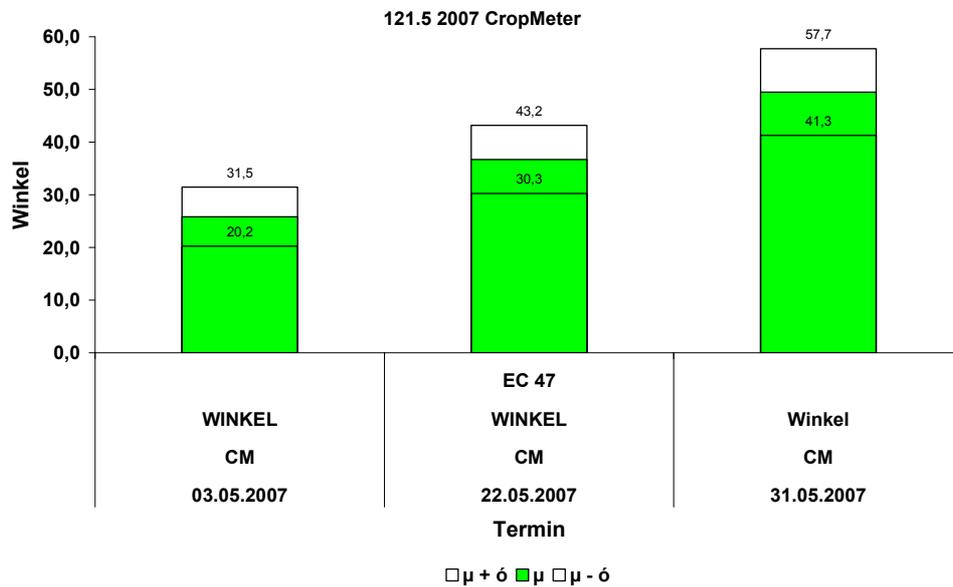


Abbildung 136: Mittelwerte und Streuung von 6 N-Sensormessungen auf einem Schlag mit konstanter N-Düngung, Schlag „121.5“ (2007)

Für die Eignung des aktiven YARA N-Sensors ALS als „Rund-um-die-Uhr“-System wurde am 1.6.2007 zusätzlich auf dem Schlag „Am Flugplatz“ eine Nachtmessung durchgeführt. Diese korreliert mit der Tagmessung vom 31.5.2007 mit $r^2 = 0,74$ (siehe Abb. 137).

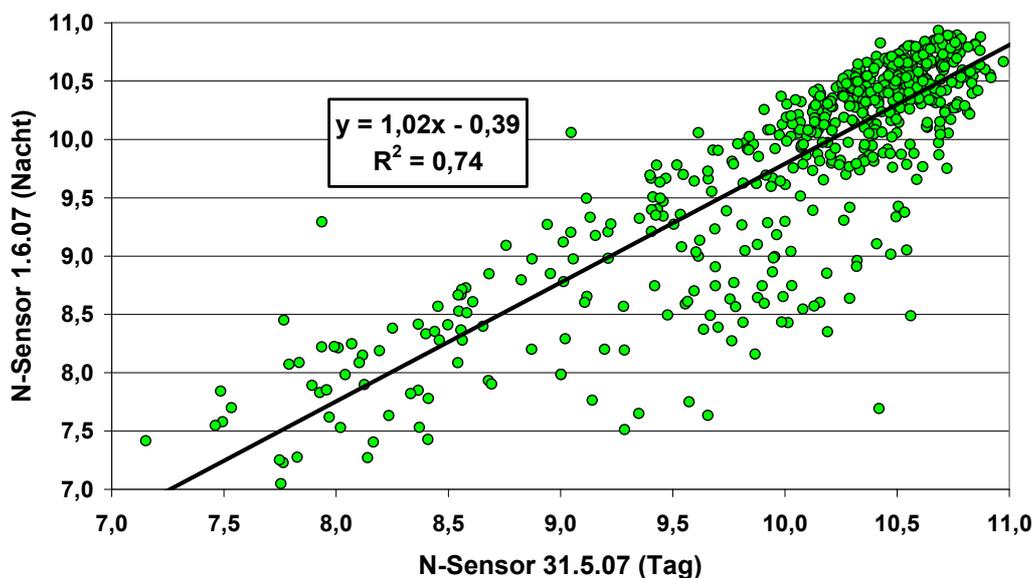


Abbildung 137: Zusammenhang zwischen Tag- und Nachtmessung mittels N-Sensor „ALS“, Schlag „Am Flugplatz“ (2007)

Werden die beiden Datensätze in Beziehung zum EM38 gesetzt, dann werden Unterschiede deutlich (siehe Abb. 138). Der Trend der Werte ist sehr ähnlich, jedoch streuten die Werte bei der Nachtfahrt etwas mehr.

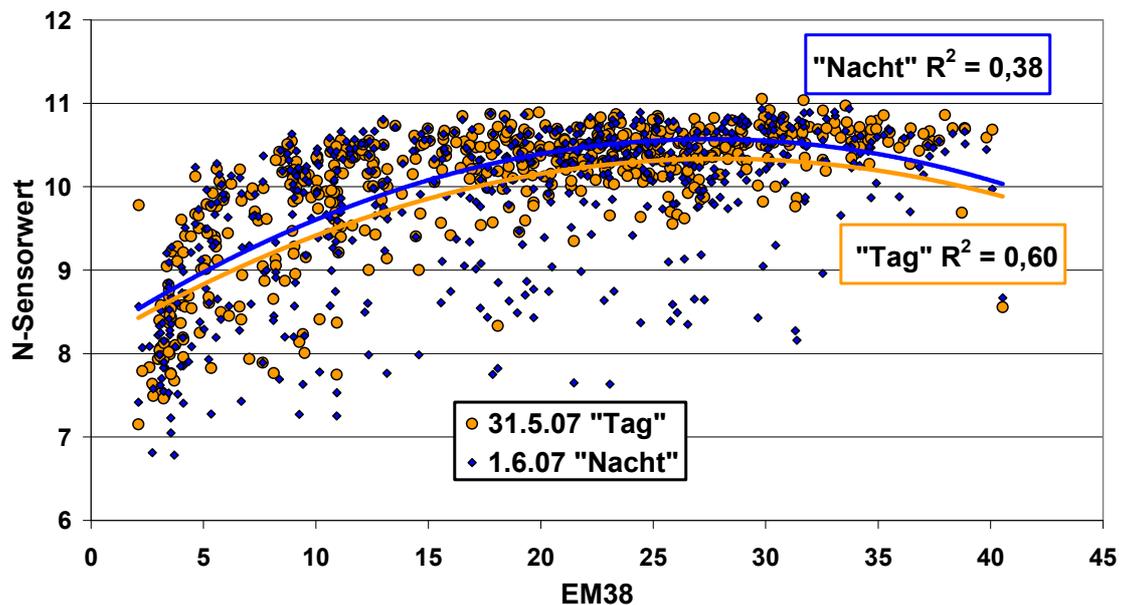


Abbildung 138: Zusammenhang zweier N-Sensormessungen („Tag“, „Nacht“) zur elektrischen Leitfähigkeit, Schlag „Am Flugplatz“

Fazit Qualität der Sensormessungen

Das optische Sensorsystem des YARA N-Sensors ALS erfasste die Bestandessituation meist qualitativ besser als das mechanische Pendelsystem des CROP-Meters. Der Tagmesswerte des YARA N-Sensors ALS korrelierten mit den Messwerten der nächtlichen Feldüberfahrt.

4 Zusammenfassung

Mit einer großen bodenbedingten Heterogenität innerhalb und zwischen den Schlägen, in Zusammenhang mit starken Unterschieden im Witterungsverlauf, wurde von einer guten Eignung des gewählten Standortes Köllitsch für den Einsatz von „Precision Farming“-Technologien ausgegangen. Im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch bestanden die technischen Voraussetzungen für teilschlagspezifische Betriebsmittelapplikationen. Für die „online“- und „offline“-Applikationen standen GPS-Ausrüstung, ein ansteuerbarer Düngerstreuer und eine ansteuerbare Pflanzenschutzspritze (ab 2008) zur Verfügung. Die Differenzierung des Bodens und der Pflanzenbestände ließ sich mit „online“-Sensormessungen (EM38, CROP-Meter, YARA N-Sensor ALS) abbilden. Es konnten eindeutige und nachvollziehbare Korrelationen zwischen Boden, Sensormessungen, Bestandesparametern sowie Ertrag nachgewiesen werden. Sensorgestützte Betriebsmittelreduzierungen wurden im Untersuchungszeitraum 2007 - 2008 erzielt. Dies betraf

- die teilschlagbezogene Kaliumdüngung im Rahmen der Grundnährstoffdüngung einer Fruchtfolge,
- die zonenbasierte Wachstumsreglerausbringung zu Wintergerste im Jahr 2007 und
- die Einsparung von Stickstoffdünger im Jahr 2007 zu Winterweizen im „online“-Applikationsverfahren mit dem YARA N-Sensor ALS auf Teilflächen.

Wurde mit der Festlegung der Höhe der Betriebsmittelmenge für die konstante Applikationsvariante eine hohe Bestandesrepräsentanz erreicht, dann konnte sensorbasiert die Applikation variiert werden, aber in den meisten Fällen blieben die Gesamtbetriebsmittelaufwendungen annähernd gleich. Die Applikationsvarianten (konstant, zonenorientiert und sensorbasiert) für

- mineralischen Dünger,
- Fungizide und
- Halmstabilisatoren

hatten in keinem Fall im Untersuchungszeitraum signifikante Ertragsdifferenzierungen bei Winterraps, Winterweizen und Wintergerste zur Folge. Besonders im Jahr 2007 überlagerten stark ausgeprägte Jahreseffekte (Lufttemperatur und Niederschlag) die möglichen Effekte des variablen Betriebsmitteleinsatzes. Die Vorzüglichkeit oder ein Nachteil der untersuchten Applikationsverfahren kann auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen nicht mit Bestimmtheit beschrieben werden. Anhand der erzielten Ergebnisse bleibt die Entscheidung offen, ob am Standort für die Teilschlagbewirtschaftung

- der zonenbasierte „offline“-Applikationsansatz oder
- die sensorgestützten „online“-Verfahren

Verwendung finden. Der zonenbasierte Arbeitsansatz erfordert die Erstellung von Zonen in Dienst- oder Eigenleistung und Festlegungen zur Betriebsmittelaufwandmenge pro Zone. Werden die Zonen in Eigenleistungen erstellt, dann ist dies mit einem entsprechenden Qualifikationsgrad und Zeitaufwand verbunden. Der sensorgestützte „online“-Ansatz ist auf die Kalibrierung der Sensoren am aktuellen Pflanzenbestand angewiesen.

Die Entscheidung für ein Verfahren zur variablen Ausbringung von Betriebsmitteln in „online“- oder „offline“-Verfahren hängt gegenwärtig von den finanziellen Möglichkeiten und dem Informations- und Dokumentationsbedarf der Anwender ab.

5 Empfehlungen zur weiteren Erprobung und Anwendung von Precision Farming-Anwendungen im Lehr- und Versuchsgut Köllitsch

Precision Farming-Technologien und -methoden sind geeignet, Heterogenitäten in der Bodengüte sowie im Pflanzenbestand zu erfassen und darauf abgestimmt Betriebsmittelapplikationen entsprechend zu steuern. Ein effizienter und umweltschonender Betriebsmitteleinsatz ist damit prinzipiell realisierbar. Nachweisbare Mehrerträge, die sich mit der Anwendung von Precision Farming-Technologien und -methoden begründen ließen, wurden im Untersuchungszeitraum am Standort Köllitsch in der Mehrzahl der untersuchten Fälle nicht erreicht. Hauptursache dafür war der dominierende Einfluss des Faktors Wasser (im Zusammenspiel mit dem Boden) auf die Ertragshöhe der Fruchtarten. Es zeigte sich, dass von der Wasserverfügbarkeit während der Wachstumsperiode der Erfolg des Betriebsmitteleinsatzes abhängig war. Für die weitere georeferenzierte Teilschlagbewirtschaftung mit Precision Farming-Anwendungen wird deshalb folgende Rang- und Reihenfolge empfohlen:

1. Hauptschwerpunkt der Feldbewirtschaftung ist die nachhaltige, teilschlagbezogene Bodenverbesserung, hinsichtlich Erhöhung der Wasserspeicherkapazität (siehe auch Punkt 3). Die Wasserhaltefähigkeit der Böden ist Grundlage für den Erfolg von Precision Farming-Technologien und -methoden sowie zur Minderung klimatisch bedingter Ertragsschwankungen und -verluste.
2. Es sind Voraussetzungen für zentimetergenaues Fahren mit Zugmitteln (RTK-Signal) zu schaffen und das Leitspursystem im Pflanzenbau einzuführen (Voraussetzung für die nachfolgenden Punkte).
3. Gesamtbetrieblich sollte die teilschlagspezifische organische Düngung (flüssig und fest) und die darauf abgestimmte teilschlagbezogene Grundnährstoffdüngung (P/K/Mg), einschließlich Kalkung, umgesetzt werden.
4. Zur Überbrückung von Trockenperioden im Pflanzenbau sollte die teilschlagbezogene Beregnung aufgebaut werden.
5. Die Abbildung des gesamten Betriebes in nachhaltig zu bewirtschaftende, einzelschlagübergreifende Management-Zonen ist auf der Grundlage fortzusetzender bodengebundener Messungen (YARA N-Sensor ALS, Ertragskartierung der Erntemaschinen, ...) sowie Luftbildauswertungen auszubauen.
6. Die Praxiseinführung von Verfahren zur georeferenzierten, reihen- bzw. pflanzenorientierten mechanischen Unkrautbekämpfung sowie der geocodierten optoelektronischen Unkrauterkenntnis und -bekämpfung sollte aktiv unterstützt werden.

6 Literatur

- ERASMI, S. (2002): Analyse spektroradiometrischer in situ Messungen als Datenquelle für die teilflächenspezifische Zustandsbeschreibung von Winterweizenbeständen. Dissertation
- HENRICHMANN, S. (2005): Sensorsysteme zur variablen Stickstoffdüngung. Eine vergleichende Untersuchung unter Praxisbedingungen. Diplomarbeit, Fachhochschule Osnabrück
- HUFNAGEL, J., R. HERBST, A. JARFE und A. WERNER (Hrsg.) (2004): Precision Farming. Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. KTBL-Schrift 419, Loseblattsammlung.
- LINK, A. und S. REUSCH (2006): Implementation of site-specific nitrogen application- Status and development of the YARA N-Sensor. NJF Seminar, Norway
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2006): Untersuchungen zur Teilflächenbewirtschaftung, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 18/2006
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2007): Umsetzung der Düngeverordnung- Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Dresden
- TREUE, P. (2002): Potenziale und Grenzen teilflächenspezifischer N-Düngung in Schleswig Holstein/ Precision Agriculture. Schriftenreihe d. Instituts f. Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung- Univ. Kiel. zugl. Dissertation
- WERNER, A. et al. (Hrsg.) (2004): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau. Verbundprojekt pre agro. Abschlussbericht
- WERNER, A. et al. (Hrsg.) (2008): Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung – pre agro II. pre agro. Abschlussbericht

Internet

- <http://www.agricon.de/sensor-technik>
- <http://www.agricon.de/sensor-technik>, 29.9.2008
- <http://web.mac.com/agrosat/AGRO-SAT/Willkommen.html>, 29.9.2008
- <http://www.agrocom.com/>, 29.9.2008

Impressum

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>
- Autoren:** Jens Ponitka, Dr. Jörg Pößneck
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Pflanzliche Erzeugung
Gustav-Kühn-Str. 8, 04159 Leipzig
Telefon: 0341 9174-179
Telefax: 0341 9174-189
E-Mail: joerg.poessneck@smul.sachsen.de
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit
Präsidialabteilung
- ISSN:** 1867-2868
- Redaktionsschluss:** Januar 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.