



Entwicklung eines internetbasierten GIS-gestützten Auskunftssystems
zur schlaggenauen Modellierung der Nmin-Gehalte und des Stickstoffhaushalts bei Mais,
anhand von Referenzflächen.

Kurztitel: RefereNz-Projekt

K. Müller-Sämann, T. Hölscher, S. Schrempp, P. Hoffmann, U. Naedelin, Ch. Schulze,
E. Priesack, M. Selz

Endbericht zum

Projekt 2006-14

30.10.2011



HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

*gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG

Projektdurchführung:

Projektleitung:



Agentur für Nachhaltige Nutzung von
Agrarlandschaften (ANNA)
Dr. Karl Müller-Sämann und Thomas Hölscher
Klarastraße 94
79106 Freiburg
Telefon: +49 (0)761 / 20 23 23 – 0
Fax: : +49 (0)761 / 20 24 15 - 4
email: team@anna-consult.de
URL: www.anna-consult.de

Projektpartner:



GIT Hydros Consult GmbH
Stephen Schrempp, U. Naedelin; P. Hoffmann
Bertoldstraße 61, 79098 Freiburg
Tel. +49 (0)761 / 211 138-0
URL: www.hydrosconsult.de



TransMIT GmbH
Dr. Christian Schulze,
Kerkrader Straße 3, D-35394 Gießen
Tel.: +49 (0)641 / 94 36 4-0
URL: www.transmit.de



badenova AG & Co. KG
Martin Selz, Qualitätssicherung Wasser
Tullastraße 61, D 79108 Freiburg i. Br.
Tel. +49 (0)761 / 279-2616
URL: www.badenova.de

HelmholtzZentrum münchen
Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

Helmholtz Zentrum München
Dr. Eckart Priesack, Institut für Bodenökologie
Ingolstädter Landstr. 1, D-85764 Neuherberg
Telefon: +49 (0)89 / 3187 3354
URL: www.helmholtz-muenchen.de

Kooperierende Landwirte:

Ernst Bohrer (Oberrimsingen), Erich Faller (Hausen); Heinrich und Axel Karrer (Schmidhofen), Alexander Meyer (Tunsel), Andreas Metzger (Ehrenstetten), Andreas Morath (Eschbach), Rudolf Müller (Biengen), Matthias Pfefferle (Heitersheim), Josef Schächtele (Tunsel), Klaus Schitterer (Freiburg), Erwin Seywald (Schlatt), Michael Strub (Offnadingen), Bernhard Walz (Heitersheim), Leodegar Wick (Biengen)

Inhaltsverzeichnis:

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung und Zielsetzung	3
2.1	N-Dynamik und N-Problematik in Ackerböden	3
2.1.1	Langzeittrends und $N_{\min}$ Situation	4
2.2	Der Nitratinformationsdienst (NID) als Steuerungshilfe bei der Frühjahrsdüngung	5
2.3	Modellierung als Alternative und Ergänzung zum NID	6
2.4	Erwartete Ergebnisse	6
3	Material und Methoden	8
3.1	Das Referenz- Konzept	8
3.2	Das Projektgebiet und seine naturräumliche Ausstattung	9
3.2.1	Geografische Lage	9
3.2.2	Böden	9
3.2.3	Klima	9
3.2.4	Landnutzung	11
3.3	Erfassung und Dokumentation schlagspezifischer Informationen	11
3.3.1	Flächenauswahl und Bodeneigenschaften	11
3.3.2	Erfassung der Bewirtschaftungsdaten	12
3.3.3	Bestandesentwicklung und Erträge	12
3.3.4	Projektbegleitende $N_{\min}$ -Messungen in Mais	12
3.3.5	Bereitstellung von Hintergrunddaten über ein GIS	13
3.4	Modellierung von Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt	14
3.4.1	Das Modellsystem Expert-N	14
3.4.2	Eingangsdaten und Datenhaltung	14
3.4.2.1	Klimadaten	15
3.4.2.2	Bodendaten	18
3.4.3	Messwerte	19
3.4.3.1	$N_{\min}$ -Messwerte	19
3.4.3.2	Bodenwassergehalt	19
3.4.3.3	Pflanzendaten	19

3.4.3.4	Ertrags- und Pflanzenuntersuchungen	19
3.4.3.5	Modellparametrisierung.....	20
3.4.3.6	Identifizierung eines geeigneten Modulsets	21
3.4.3.7	Parametrisierung des Mais-Modells.....	21
3.4.3.8	Stickstoffumsatz und -transport im Boden.....	22
3.5	Entwicklung des internetbasierten, GIS-gestützten Auskunftssystems	29
3.5.1	Leitgedanken	29
3.5.2	Technische Umsetzung von „RefereNz“ und Werkzeugkomponenten	29
3.5.3	Ablauf der Berichtserstellung.....	30
3.5.4	Zusammenführung der Modelldaten im Smallworld GIS.....	31
3.5.4.1	Modellierung und Übergabe der Ergebnisdaten	32
4	Ergebnisse und Diskussion	33
4.1	Projektbearbeitung und Bedingungen während des Projektes.....	33
4.1.1	Kooperation mit Landwirten und Dokumentation von Felddaten für die Modellanwendung und Validierung.....	33
4.1.2	Variabilität von N-Abfuhrn aufgrund unterschiedlicher N-Gehalte im Mais	35
4.2	Modellevaluierung.....	39
4.2.1	Nitrat-Stickstoff im Boden ($N_{\min}$)	40
4.2.2	Bodenwasser	44
4.2.3	Ertragsmodellierung	46
4.2.4	Modellierung als Ergänzung zum Nitratinformationsdienst (NID).....	50
4.2.5	Fazit Modellevaluierung	51
4.3	Übertragung der Ergebnisse auf Simulationsflächen	52
4.4	Erklärungspotenzial von Expert-N	56
4.5	Das internetbasierte, GIS-gestützte „RefereNz“-Auskunftswerkzeug.....	60
4.5.1	Grundüberlegungen	60
4.5.2	Architektur und Aufbau.....	60
4.5.3	Nutzeroberfläche.....	60
4.5.4	Berichtserstellung (Modellanwendung) durch Landwirte	61
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	63

5.1	Modellierung	63
5.1.1	Modellierung allgemein	63
5.1.2	Bodenwassermodul.....	63
5.1.3	Pflanzenmodell CERES-Mais.....	63
5.1.4	Stickstoffumsatz im Boden.....	63
5.1.5	Anwendungspotenziale und Einsatzmöglichkeiten	63
6	Literaturverzeichnis.....	65
7	Abkürzungsverzeichnis.....	68
8	Anlagen	69
8.1	Profilbeschreibung Referenz- Fläche 1.....	70
8.2	Profilbeschreibung Referenz- Fläche 2.....	71
8.3	Profilbeschreibung Referenz- Fläche 3.....	72
8.4	Profilbeschreibung Referenz- Fläche 4.....	73
8.5	Profilbeschreibung Referenz- Fläche 5.....	74
8.6	Profilbeschreibung Referenz-Fläche 6.....	75
8.7	Profilbeschreibung Referenz-Fläche 7.....	76
8.8	Profilbeschreibung Referenz-Fläche 8.....	77
8.9	Übersichten zu den erhobenen Daten auf 8 Referenz- und 64 Simulationsstandorten im Projektgebiet.	78
8.9.1	Modell Eingangsdaten Referenzstandorte	78
8.9.2	Simulationsstandorte	80
8.9.3	Erhebungsbogen zur Erfassung der Schlaginformationen in den Landwirtschaftsbetrieben	82
8.10	Termine der ganzjährigen $N_{\min}$ Beprobungen auf „Referenz- Flächen“ bei Mais	84
8.11	Anleitung zur Bedienung des Referenz-Werkzeugs über einen browser	85
8.12	Sortenliste Körnermais	93
8.13	Tagesniederschläge und Niederschlagssummen der Wetterstation Heitersheim 2008 bis 2010	98
8.14	1:1 Diagramme modellierter und gemessener $N_{\min}$ –Werte und Bodenwassergehalte	101
8.15	Öffentlichkeitsarbeit:.....	113

Verzeichnis der Abbildungen:

Abbildung 2.1 Mittlere flächengewichtete Nitratstickstoffgehalte von Saat- und Körnermaisflächen vor Winter im WSG Hausen (Projektgebiet) zwischen 1988 und 2009 in kg N/ha in 0-90 cm (TZW, 2010).....	4
Abbildung 3.1 Geographische Lage, Bodeneinheiten, Referenz- und Simulationsflächen im Projektgebiet Staufener Bucht /WSG Hausen.....	9
Abbildung 3.2 Klimadiagramm der Station Hausen (1997-2008).....	10
Abbildung 3.3 Trockenheitsindex (TI) in der Region Freiburg und Umgebung (WaBoA 2007).....	11
Abbildung 3.4 Nach RADOLAN differenzierte Niederschlagshöhen (P) der Referenzflächen in 2007..	16
Abbildung 3.5 Niederschlagshöhen (P) der Vegetationsperiode 2007 (Mai-Oktober)	17
Abbildung 3.6 Niederschläge (P) außerhalb der Vegetationsperiode 2007 (Januar bis April und November-Dezember)	17
Abbildung 3.7 Maiserträge (kg TM/ha) auf den Referenzflächen für die Jahre 2006 bis 2008	20
Abbildung 3.8 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinien in 0-90 cm für unterschiedlich hohe Umsatzraten des Parameters „UreaHy“	24
Abbildung 3.9 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten des Parameters „Nitrifikation“	24
Abbildung 3.10 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Denitrifikation.....	25
Abbildung 3.11 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinie auf einer Referenzfläche in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Mineralisierung frischer organischer Substanz zwischen September und November 2008.....	27
Abbildung 3.12 $N_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Humus-Mineralisierung auf Referenzfläche RER3	28
Abbildung 3.13 Überblick über die Systemarchitektur des RefereNz-Werkzeugs.....	30
Abbildung 3.14 Ablauf (1-8) der Berichtserstellung bei der Referenz Modellierung.....	31
Abbildung 3.15 Datenzusammenführung in XML-Datei: a) und b) symbolisieren die standortsbezogenen Daten; c) zeigt die Bodenschätzflächen mit den zugehörigen Bodenprofilen und d) zeigt den Standort und den zugehörigen Rasterpunkt (rot) der zugewiesenen RADOLAN-Niederschlagsdaten.	31
Abbildung 3.16 Ablaufschema einer Modellierung: a) Modellinitialisierung mit Standard-Startwerten b) Rücksetzen des (Simulations-) Projektes auf den Beginn der Simulationsperiode c) eigentliche Simulation über die angegebene Periode mit einer in a) erstellten Ergebnisdatei	32

Abbildung 4.1 Dokumentation der erhobenen Felddaten zum Betrieb des Expert-N Agrarökosystemmodells von der Schlagkartei über die Kalkulationsblätter in die Datenbank.....	34
Abbildung 4.2 . Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Hartmaistypen	37
Abbildung 4.3 Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Zahnmaistypen	37
Abbildung 4.4 Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Zwischentypen.....	38
Abbildung 4.5 Beziehungen zwischen gemessenem Ertragsniveau bei Körnermais und den mittleren N-Gehalten im Maiskorn bei allen Maistypen.	39
Abbildung 4.6 Mittlere Abweichung der modellierten von den gemessenen N_{min} -Werten in 0-90 cm Bodentiefe in kg N/ha als Nitrat.....	40
Abbildung 4.7 N_{min} -Ganglinie und Messwerte für 0-90 cm bei Fläche RER7	41
Abbildung 4.8 Eins zu eins Vergleich gemessener und modellierte N_{min} -Werte in einem Punktdiagramm für RER7 (2006-2009)	42
Abbildung 4.9 Vergleich einer simulierten N_{min} -Ganglinie mit Messwerten (0-90 cm) für Fläche RER2	42
Abbildung 4.10 Beispiel zu einer Simulation der Entwicklung der Gehalte von C und N im Humus auf Fläche RER4 mit Saatmais über etwa vier Jahre.	43
Abbildung 4.11 Beispiel zur Simulation der Entwicklung der Gehalte von C und N im Humus auf Referenzfläche RER3 über etwa vier Jahre.	44
Abbildung 4.12 Mittlere Abweichungen der Modellwerte zur Bodenfeuchte von gemessenen Bodenfeuchtwerten von 0-90 cm Bodentiefe in Vol-%	45
Abbildung 4.13 Simulierte und gemessene Bodenwassergehalte auf Fläche RER1 in 30-60 cm Tiefe	45
Abbildung 4.14 Abweichungen der modellierten N-Gehalte beziehungsweise der N-Gehalte in der Ernteabfuhr gegenüber gemessenen N-Abfahren mit der Körnermaisernte in kg N/ha.	46
Abbildung 4.15 Relative Abweichung modellierter Mais-Erträge von im Feld beprobten Erträgen	47
Abbildung 4.16 Diagramm der gemessenen und modellierten Körnermaiserträge.....	47
Abbildung 4.17 Entwicklung von Blattflächenindex (LAI), Biomasseaufbau und Transpiration bei der Maismodellierung auf Fläche RER3 im Jahr 2006	48
Abbildung 4.18 Diagramm zum Vergleich der N_{min} -Messwerte (Linie) mit den Modellwerten (blau) und den NID-Werten (grün).	51
Abbildung 4.19 Simulation des mittleren Bodenwassergehalts von RES14	53
Abbildung 4.20 Gemessene und modellierte N_{min} -Gehalte in 0-90 cm für die Simulationsfläche RES14	53
Abbildung 4.21 Messung und Simulation der Bodenwassergehalte der Simulationsfläche RES15.....	54

Abbildung 4.22 Simulierte und gemessene $N_{\min}$ -Gehalte in 0-90 cm für die Simulationsfläche RES15	55
Abbildung 4.23 Bodenstickstoff [kg NO ₃ -N/ha] in 0-90 cm Bodentiefe für RER3, Herbst 2008 bis Frühjahr 2009	56
Abbildung 4.24 Minimal-, Maximal- und mittlere Temperatur, Herbst 2008 bis Frühjahr 2009	56
Abbildung 4.25 $N_{\min}$ -Gehalte in den Bodenschichten 0-30 cm, 30-60cm, 60-90 cm für RER3.....	57
Abbildung 4.26 $N_{\min}$ -Gehalte in 0-90 cm, kumulierte Auswaschung und N-Freisetzung für Fläche RER3	57
Abbildung 4.27 $N_{\min}$ -Gehalte für den Standort RER3 in den Bodenschichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm in der Vegetationszeit 2009.....	58
Abbildung 4.28 Stickstoffaufnahme, -einlagerung und Ertragsbildung bei Körnermais auf Fläche RER3	58
Abbildung 4.29 Mittlere Wassergehalte und Bodenkennwerte(a) in Vol-% und b) mittlere Lufttemperaturen und Evaporations- und Transpirationswerte für RER3 (0-90)	59
Abbildung 4.30 Startseite des RefereNz-Werkzeugs (links) und nutzerspezifische Kartenansicht (rechts).....	60
Abbildung 4.31 Berichtskopf mit Informationen zum Standort, einheitlich für jeden Berichtstyp	62
Abbildung 8.1 Bodenkennwerte RER1	70
Abbildung 8.2 Bodenkennwerte RER2	71
Abbildung 8.3 Bodenkennwerte RER3	72
Abbildung 8.4 Bodenkennwerte RER4	73
Abbildung 8.5 Bodenkennwerte RER5	74
Abbildung 8.6 Bodenkennwerte RER6	75
Abbildung 8.7 Bodenkennwerte RER7	76
Abbildung 8.8 Bodenkennwerte RER8	77
Abbildung 8.9 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER1 (2006-2009)	102
Abbildung 8.10 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER2 (2006-2009)	102
Abbildung 8.11 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER3 (2006-2009)	102
Abbildung 8.12 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER4 (2006-2009)	103
Abbildung 8.13 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER5 (2006-2009)	103
Abbildung 8.14 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER6 (2006-2009)	103

Abbildung 8.15 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER7 (2006-2009).....	104
Abbildung 8.16 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER8 (2006-2009).....	104
Abbildung 8.17 Berichtsformat Simulations-Übersicht	105
Abbildung 8.18 Berichtsformat Stickstoff/ Nitrat (1/2)	106
Abbildung 8.19 Berichtsformat Stickstoff/ Nitrat (2/2)	107
Abbildung 8.20 Berichtsformat Pflanzen	108
Abbildung 8.21 Berichtsformat Wasser- und Klima (1/2)	109
Abbildung 8.22 Berichtsformat Wasser- und Klima (2/2)	110
Abbildung 8.23 Jahres-Niederschlagssummen seit 1986 für das Projektgebiet bei der Niederschlagsstation am Wasserwerk Hausen der badenova (Quelle: Ball TZW Karlsruhe).....	111
Abbildung 8.24 Monats-Niederschlagssummen im Projektgebiet von 1/2006 bis 5/2010 und langjährige Mittel (graue Linie) am Wasserwerk Hausen der badenova (Quelle: Ball, TZW Karlsruhe).	111
Abbildung 8.25 Schema zur Berechnung des Düngerbedarfs bei Ackerkulturen nach guter fachlicher Praxis (LTZ, 2010)	112

Verzeichnis der Tabellen:

Tabelle 3.1 Eingangsdaten und Herkunft	15
Tabelle 3.2 Hydrometeorologische Eingangsdaten	16
Tabelle 3.3 Bodentypen und nutzbare Feldkapazitäten der Referenz-Flächen bis 1 m Bodentiefe nach Profilhebungen von SOLUM (2007)	18
Tabelle 3.4 CERES-Parametereinstellungen zur Mais-Wachstumsmodellierung	22
Tabelle 3.5 Parametrisierung der Stickstoffumsatzraten der oberen Bodenschichten	23
Tabelle 3.6 Umgesetzter Stickstoff mit unterschiedlichen Umsatzraten für UreaHy	23
Tabelle 3.7 Umgesetzter Stickstoff mit veränderten Umsatzraten für die Nitrifikation	24
Tabelle 3.8 Mengen an umgesetztem Stickstoff bei Variation der Umsatzraten für die tägliche Denitrifikation	25
Tabelle 3.9 Stickstofffreisetzung aus organischen Rückständen bei Variation der Parametereinstellungen für die Mineralisierung von Ernterückständen (MinerLit).	26
Tabelle 3.10 Menge an jährlich mineralisiertem Stickstoff bei Variation der Parametereinstellungen für die Mineralisierungsraten des Humus (MinerHum).	27
Tabelle 4.1 Mittlere Abweichungen der modellierten Bodenwassergehalte von den gemessenen Werten auf Referenzflächen für die Jahre 2006 bis 2009 in 0-90 cm Bodentiefe.	45
Tabelle 4.2 Mittlere Abweichungen der NID- und Modellwerte von gemessenen $N_{\min}$ -Werten der Flächenbeprobungen.....	50

1 Zusammenfassung

Mehr Effizienz beim Energie- und Ressourceneinsatz sind Herausforderungen, denen sich alle Sektoren der Wirtschaft stellen müssen. In der Landwirtschaft gilt dies vor allem für die Stickstoffdüngung, weil sie in hohem Maße auch Fragen des Klima- und Gewässerschutzes berührt. Zur Vermeidung von Nährstoffüberschüssen wird bei der Düngebedarfsermittlung der im Frühjahr bereits im Boden vorhandene mineralisierte Stickstoff ($N_{\min}$) berücksichtigt. Ermittelt wird dieser Wert durch eigene Beprobungen oder durch Heranziehung eines in Baden-Württemberg amtlich ermittelten NID Wertes. Dazu werden im Rahmen des Nitratinformationsdienstes im Land genommene und veranlasste Bodenproben nach Regionen und Kulturen wochenweise ausgewertet. Die erhaltenen Mittelwerte (Median) werden dann wöchentlich in der Fachpresse und im Internet nach Kulturen und Anbauregionen differenziert veröffentlicht und bei der Berechnung des verbleibenden Stickstoff-Düngerbedarfs zugrunde gelegt. In der Praxis bestehen Vorbehalte gegenüber der Aussagekraft dieser großräumig mit beträchtlichem finanziellem Aufwand ermittelten NID Werte. Dies bezieht sich insbesondere auf deren Gültigkeit und Repräsentativität für individuelle Flurstücke. Dennoch werden betriebseigene Beprobungen wegen des hohen Zeit- und Kostenaufwands immer seltener und sind häufig fehlerbehaftet. Probenahmen durch zertifizierte Labore können dies verhindern, sind aber mit höheren Kosten verbunden und liefern auch nur eine Momentaufnahme mit wenig Erklärung zum Zustandekommen der Messwerte.

Allgemein formuliertes Ziel des „Referenz-Projektes“ war es in dieser Situation eine gangbare Alternative zur aktuellen Praxis zu entwickeln. Aufbauend auf dem Fundament periodischer $N_{\min}$ Kontrollbeprobungen auf gebietsrepräsentativen Flächen soll beispielhaft ein innovatives und technisch zeitgemäßes Werkzeug zur ganzjährigen und flächengenauen Simulation und Beauskunftung des Stickstoff- und Wasserhaushalts auf Maisflächen entwickelt werden. Die Zusammenführung der Informationen zu Klima, Boden und Bewirtschaftung eines Feldes, die Herstellung des Flächenbezugs und die Verknüpfung mit einer Modellanwendung soll über ein geografisches Informationssystem (GIS) auf einem zentralen leistungsfähigen Rechner erfolgen. Der Zugang zur Nutzung des komplexen Werkzeugs soll für den Landwirt einfach und kostengünstig über einen Internet Browser möglich sein. Der Anwender soll für die Nutzung der Modellanwendung außer seinen eigenen Bewirtschaftungsdaten möglichst wenige Rechen- und Datenressourcen vorhalten und bereit stellen müssen.

Als Produkt soll am Ende des Projektes der Prototyp eines Modellierwerkzeugs für den Stickstoff und Wasserhaushalt individueller Maislächen stehen, - ausreichend genau, -wirtschaftlich in der Anwendung und mit einem Mehrwert durch die ganzjährige und erklärende Darstellung der Stickstoff- und Bodenwassergehalte und des Pflanzenwachstums. Ausgehend von einer Pilotanwendung im Wasserschutzgebiet Hausen sollen damit die Voraussetzungen für die Weiterentwicklung und Anwendung des Modellwerkzeugs auch in anderen Gebieten und Kulturen geschaffen werden

Mit Abschluss des Projektes konnten diese Ziele im Wesentlichen erreicht werden, wobei zur Realisierung des Referenz Werkzeugs das modular aufgebaute Agrar-Ökosystem-Modell Expert-N verwendet wurde. Die Parametrisierung und Kalibrierung für die Maisflächen in der Oberrheinebene erfolgte anhand dreijähriger Mess- und Felddaten von 8 eingehend beprobten und beschriebenen Referenzflächen. Für die Validierung der Simulationen wurden auf weiteren 64 Flächen im Projektgebiet um das Wasserschutzgebiet Hausen die wichtigsten Bewirtschaftungs- und Erntedaten erhoben und zwei mal jährlich $N_{\min}$ -Messungen durchgeführt.

Das „Referenz Werkzeug“ selbst wurde als modellgestützte, GIS basierte Web-Auskunftslösung realisiert. Es besteht im Kern aus drei zentralen, funktionalen Elementen: dem Agrar-Ökosystem-Modell

Expert-N, der „RefereNz-GIS“ Anwendung und der „RefereNz-Web“ Applikation. Das Werkzeug konnte als Prototyp zur Simulation tagesgenauer Berichte zur Entwicklung und zum Stand von Stickstoffgehalt, Wasserhaushalt und Maiswachstum auf allen Flächen im Projektgebiet realisiert werden (URL: www.n-referenz.de/nref/).

Das geografische Informationssystem wurde als Smallworld GIS Fachschale, aufbauend auf LIWIS®-AGRAR realisiert, wobei die Fachschale als zentrale (Geo-)Datenbank fungiert. Darüber hinaus ist sie Kommunikationsplattform und zuständig für das automatisierte Datenmanagement. Sie verwaltet die Nutzereingaben und Anfragen über das Web und übernimmt das Pre-Processing der Expert-N Eingangsdaten (Boden, Klima, Bewirtschaftung), die Modellsteuerung, die Auswertung und die Aufbereitung der Expert-N Ergebnisse für die Rückgabe über die Referenz WEB-Anwendung.

„RefereNz-WEB“, die Web-Anbindung des Referenzwerkzeugs, wurde als eigenständige Nutzeroberfläche in PHP entwickelt. Die Speicherung der Bewirtschaftungsdaten übernimmt hierbei ein "mySQL" Datenbankserver, dessen Inhalte mit der „RefereNz-GIS“ DB synchronisiert werden. Alle Geodaten für die WEB Navigation (Flurstücke, Flächen der Bodenschätzung, ALK Grenzen, etc.) werden dabei aus dem GIS heraus über einen UMN-Mapserver integriert angeboten. Über die WEB Oberfläche pflegt und dokumentiert der Anwender seine Daten und hat Zugriff auf die modellgestützten Auswertungen in Form von thematischen Berichten.

Die Modellevaluierung und die Bewertung der Modellgüte im Vergleich mit den Werten des amtlichen NID erfolgte für 34 Einzelsituationen an 8 Standorten an denen zum gleichen Termin Messungen, Modellierungen und NID Werte vorlagen. Hierbei zeigte sich, dass die modellierten N_{min} Werte in absoluten Zahlen etwas weniger von den Messwerten abwichen als die NID Werte. Außerdem wurden die gemessenen Werte mit Expert-N eher unterschätzt, während der NID die frühjährlichen N_{min} Werte überschätzte. Das „Referenz Werkzeug“, bei dem auch noch einige Schwächen und Verbesserungsmöglichkeiten z. B. bei der Düngereisetzung und der Ertragsmodellierung aufgezeigt wurden, kann nach den Ergebnissen des vorliegenden Projektes ersatzweise oder komplementär zum NID angeboten werden. Das Erklärungspotenzial ist dabei in jedem Fall deutlich höher (Auswaschungsvorgänge, Darstellung des Entzugsverlaufs etc.) und die Beprobungen könnten zur Kontrolle auf wenige, gezielt ausgesuchte Flächen beschränkt werden. Gut konnte mit einer hohen Auflösung der Niederschlagssituation durch die Verwendung von automatisiert bereit gestellten RADOLAN-Daten (Niederschlagsradar) auch der Bodenwasserhaushalt dargestellt werden, wodurch nur eines von künftig noch zusätzlich möglichen Anwendungsfeldern für das „RefereNz Werkzeug“ aufgezeigt wurde.

2 Einleitung und Zielsetzung

Hohe Ressourceneffizienz und geringe Umweltbelastungen sind Anforderungen, die heute an alle Sektoren der Wirtschaft gestellt werden. In der Landwirtschaft gilt dies vor allem für den Umgang mit Stickstoff. Die Bereitstellung von Stickstoffdünger ist energieaufwändig und ein ineffizienter Einsatz führt zu klimaschädlichen und gewässerbelastenden Emissionen. Im Projektgebiet sind die landwirtschaftlich bedingten Gewässerbelastungen in den letzten Jahren nicht angestiegen, deutliche Verbesserungen sind aber auch nicht zu beobachten (Plota et al. 2006). Bundes- und landesweit sind die Belastungen im letzten Jahrzehnt tendenziell leicht zurück gegangen (BMU/BMELV 2008, Haber 2010). Der Rückgang diffuser Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft in die Gewässer war mit minus 12% zwischen 1983 und 2005 im Vergleich zu anderen Wirtschaftssektoren (-44%) aber eher gering. Dabei hatte die Landwirtschaft mit 463.000 t N/Jahr in 2005 einen Anteil von über 70 % an den diffusen und von 59 % an den Gesamtemissionen in die Fließgewässer. Wenn man in Rechnung stellt, dass die rückläufigen Trends sich erklären lassen aus einem über 10% verringerten Handelsdüngereinsatz/ha und aus einem um 30 % verringerten Viehbesatz/ha, wird klar, dass nach wie vor Handlungsbedarf besteht (BMU/ BMELV 2008). Die Weiterentwicklung von Instrumenten zur Steuerung des Stickstoffdüngereinsatzes und zur Berechnung und erklärenden Darstellung der Stickstoffdynamik in Ackerböden kann hierbei einen wichtigen Beitrag leisten. Einer nutzergerechten, grafisch aufbereiteten Entscheidungsunterstützung wird die höchste Akzeptanz eingeräumt.

2.1 N-Dynamik und N-Problematik in Ackerböden

Stickstoff ist der bedeutendste mineralische Nährstoff der Pflanzen. Nur wenn er den Kulturpflanzen zum richtigen Zeitpunkt in ausreichender Menge zur Verfügung steht, lassen sich hohe Erträge, marktgerechte Qualitäten und ein wirtschaftlicher Anbau realisieren. Zum Problem wird dieser Sachverhalt, weil Stickstoff gleichzeitig ein Nährstoff ist, der sich nur bedingt auf Vorrat düngen lässt. Er wird als Nitrat leicht mit den Niederschlägen ausgewaschen und kann dann Grund- und Oberflächengewässer belasten. Darüber hinaus ist eine termin- und bedarfsgerechte Dosierung für eine Kultur wie Mais deshalb schwierig, weil auch die Ackerböden selbst pflanzenverfügbaren Stickstoff freisetzen (mineralisieren). Im Boden kommt Stickstoff zu über 95% mehr oder minder fest gebunden im Humus vor bzw. ist durch Mikroorganismen festgelegt. Nur 1-3% liegen frei als Ammonium und Nitrat vor, von dem sich die Pflanzen ernähren. Je nach Bodenart sind also zwischen 3.000 und 10.000 kg/ha Stickstoff im Boden gebunden, wovon etwa 10 % (300 -1000 kg/ha) in einer Vegetationsperiode an Um-, Ab- und Aufbauprozessen beteiligt sein können (Lütke-Entrup et al. 2000). Die Maispflanzen selbst nehmen während ihres Wachstums um 200 kg/ha Stickstoff auf. Der Großteil davon wird mit der Ernte weggefahren. Zirka 60-80 kg N/ha kommen mit den Ernteresten in den Boden zurück und werden langsam wieder freigesetzt oder in den Bodenhumus eingebaut.

Es ist leicht nachzuvollziehen, dass es schwierig ist, bei diesen Mengen und der starken Dynamik des Nährstoffs (Möller & Stinner ,2008) die Düngung so zu terminieren und zu dosieren, dass die Pflanzen in Zeiten hohen Bedarfs optimal versorgt sind und gleichzeitig keine umweltbelastenden Überschüsse zurück bleiben, die bei Sickerwasserbildung ausgewaschen werden. Schon früh wurden deshalb Messmethoden, Faustzahlen und Berechnungshilfen entwickelt, um den Landwirten eine „bedarfsgerechte und verlustarme“ Düngung nach den gesetzlichen Vorgaben der Düngeverordnung (DüV) zu ermöglichen (LTZ 2008). Um ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtli-

chen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung der Pflanzen zu gewährleisten, ist vor einer N-Düngung eine Düngebedarfsermittlung durchzuführen. Dabei sind das Ertragsniveau des Standortes, die im Boden verfügbaren N-Mengen, das N-Nachlieferungsvermögen des Bodens, die Standortbedingungen (Klima, Bodenart und -typ), der Kalkgehalt, der Humusgehalt und (Nach-) Wirkungen der Fruchtfolge zu berücksichtigen.

2.1.1 Langzeittrends und $N_{\min}$ Situation

Nach den Aufzeichnungen des Wasserversorgers badenova und des Technologiezentrums Wasser (TZW) ließ sich im Wasserschutzgebiet Hausen im Rahmen eines Demonstrationsprojektes zur Düngung von 1992 bis 1998 eine deutliche Reduktion der vorwinterlichen $N_{\min}$ Gehalte bei Mais erreichen. Dies beruhte vor allem auf der Einführung der späten N-min Düngung mit schlagspezifischen $N_{\min}$ Untersuchungen. Weitere deutliche Verbesserungen konnten seither nicht mehr verzeichnet werden (Abbildung 2.1). Die hohen Nitratrestmengen in 2003 kamen dadurch zustande, dass die mittleren Maiserträge und damit Nährstoffentzüge in diesem Jahr wegen extremer Trockenheit und Hitze nicht erreicht werden konnten.

Zugenommen hat in den letzten Jahren die Praxis den gesamten Stickstoff zur Saat mit stabilisierten N-Düngern auszubringen oder Harnstoff nach Unterfußdüngung in einem frühen Entwicklungsstadium des Mais anzuwenden. Hierbei sind Orientierungswerte zum schon vorhandenen $N_{\min}$ Gehalt für eine fachgerechte Düngung dringend notwendig.

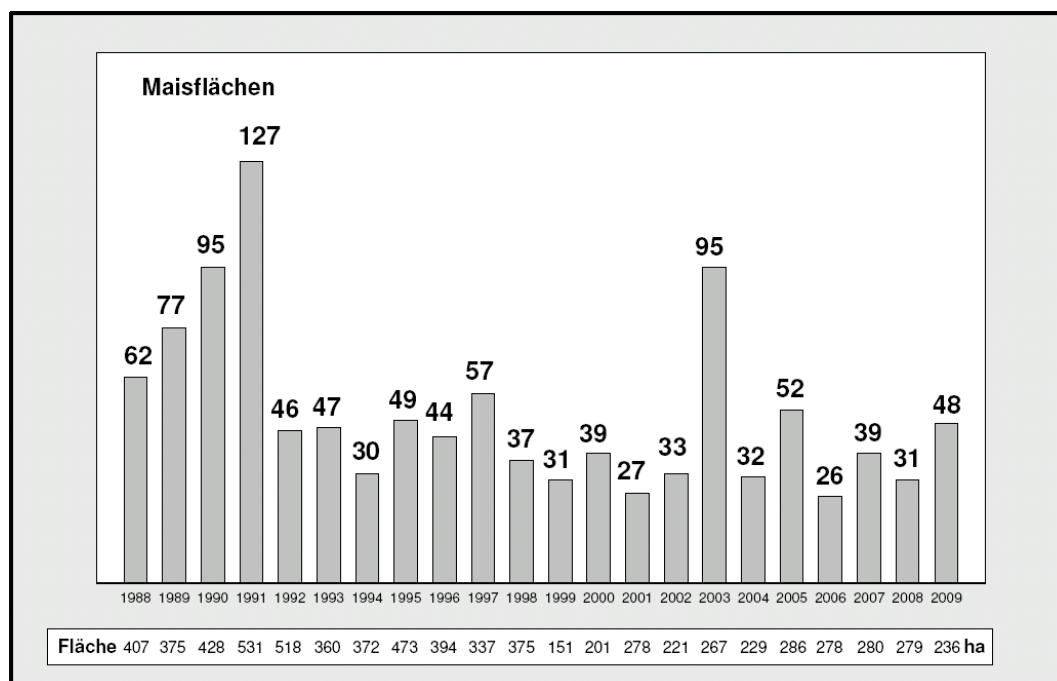


Abbildung 2.1 Mittlere flächengewichtete Nitratstickstoffgehalte von Saat- und Körnermaisflächen vor Winter im WSG Hausen (Projektgebiet) zwischen 1988 und 2009 in kg N/ha in 0-90 cm (TZW, 2010).

2.2 Der Nitratinformationsdienst (NID) als Steuerungshilfe bei der Frühjahrsdüngung

In Baden-Württemberg steht den Landwirten zur sachgerechten Düngerbemessung bei der Frühjahrsdüngung seit 1991 der Nitratinformationsdienst (NID) zur Verfügung. Er hat zum Ziel den Landwirten eine flächen- oder schlagspezifische Stickstoff-Düngeempfehlung für die unterschiedlichen Kulturpflanzen zu geben. Wie bereits erwähnt, wird dabei der zum Vegetationsbeginn schon im Boden verfügbare Stickstoff in die Bedarfsberechnung einbezogen. Basierend auf dieser Angabe und anhand von Faustzahlen zu Fruchtfolge, Anbauregion und Bodengüteklasse, erfolgt die N-Düngebedarfsberechnung zu Beginn der Vegetationszeit (Ott 2010). Im Rahmen der Düngebedarfsberechnung (Abbildung 8.25) können zur Bestimmung des Stickstoffstartwertes (*Frühjahrs N-min Wert* genannt) Resultate betriebseigener Bodenproben oder die regional und nach Kulturarten aufgeschlüsselten, amtlichen Orientierungswerte des NID verwendet werden. Für die Ermittlung des amtlichen NID Wertes werden die Nitratwerte der im Land genommenen Bodenproben dem Nitratinformationsdienst gemeldet, von diesem durch amtliche Beprobungen ergänzt, ausgewertet und nach Regionen und Kulturen als Mittelwerte ausgewiesen. Die Mittelwerte (Median) werden im Frühjahr für jede Kalenderwoche als gleitendes Mittel der letzten drei Beprobungswochen als Bodenstickstoffwert oder „amtlicher NID-Wert“ in der Presse veröffentlicht und für die Düngebedarfsermittlung der zu düngenden Flächen herangezogen.

Von Seiten der Landwirte bestehen vielfach Vorbehalte gegenüber diesem amtlichen Wert, weil der Bezug zu individuellen Feldflächen gering bleibt (nur 7 Regionenwerte in Baden-Württemberg werden unterschieden) und weil die Orientierungswerte nach Auslaufen eines Förderprogramms in der regionalen Auflösung zunehmend nur noch aus wenigen, nicht immer qualitätsgeprüften Beobachtungen zustande kommen (rückläufiger Probenumfang von ca. 60.000 Proben in 2004 auf ca. 22.000 in 2010). Ebenfalls kritisch zu sehen ist der Umstand, dass der NID-Wert nur eine Momentaufnahme wiedergibt und jüngere Veränderungen kaum berücksichtigt. Auf Flächen, die im Frühjahr organisch angedüngt werden oder eine frühe Basisdüngung mit stabilisierten N-Düngern erhalten, kann der NID nicht angewendet werden. Er bietet auch wenig erklärende Informationen zu jüngsten Veränderungen und zur zeitlichen Dynamik der Stickstoffgehalte im Jahresablauf. Trotz dieser Vorbehalte und Nachteile werden eigene Beprobungen, die einen Teil dieser Defizite auffangen könnten, in den Betrieben auch immer seltener. Dies liegt vermutlich daran, dass Landwirte den Zeit- und Kostenaufwand eigener Beprobungen im arbeitsreichen Frühjahr scheuen. Außerdem sind die ermittelten N-Werte oft nicht plausibel, weil Unachtsamkeiten und methodische oder technische Mängel bei eigenen Probenahmen zu fehlerhaften Werten führen.

Zusammengefasst ergibt sich damit trotz erheblicher, finanzieller Aufwendungen (ca. 50 €/Probe können veranschlagt werden) eine unbefriedigende und verbesserungswürdige Situation, weil der prinzipiell sachgerechte Ansatz mit Kontrollbeprobungen an seine Grenzen stößt. In Fachkreisen wird deshalb darüber diskutiert, das aktuell praktizierte Verfahren mit vielen, zufällig verteilten, einmaligen Feldebeprobungen durch ein System mit wiederholten, qualitätsgesicherten Beprobungen auf wenigen repräsentativen Flächen zur ersetzen. Auch bei einer kleineren Anzahl beprobter Schläge, so die Hypothese, ließe sich dadurch eine bessere Qualität hinsichtlich der Repräsentativität der Stickstoffgehalte, bezüglich der N-Dynamik sowie eine höhere Effizienz der eingesetzten Mittel erreichen.

Allerdings werden auch mit diesem Ansatz noch keine Möglichkeiten aufgezeigt, um die komplexen Wechselwirkungen von Boden, Klima, Düngung, Bodenbearbeitung und Bewässerung zu erfassen, welche die Stickstoffdynamik am individuellen Standort im Jahresverlauf beeinflussen.

2.3 Modellierung als Alternative und Ergänzung zum NID

Im „Referenz-Projekt“ wird deshalb der Weg beschritten, die mittlerweile verfügbaren technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten zu nutzen und zu einem zeitgemäßen und leistungsstarken Werkzeug für die Düngesteuerung zu verknüpfen, welches die oben genannten Nachteile vermeidet.

Der Ansatz der Mehrfachbeprobung weniger, repräsentativer Flächen wird aufgegriffen und durch Modellierung erweitert, so dass ein innovatives, erklärendes Instrument zur Darstellung des Stickstoffhaushalts individueller Felder (Schläge) entsteht. Für Felder mit der Beispielkultur Mais soll das Instrument tages- und schlaggenaue Informationen zu den Frühjahrs-Stickstoffgehalten liefern und es soll ohne das Vorhalten eigener Software in Beratung und Praxis einsetzbar sein.

Kontrollbeprobungen zu den (modellierten) $N_{\min}$ -Gehalten der Böden sind bei diesem Vorgehen auf wenige Referenzflächen im Anwendungsgebiet beschränkt, werden dafür aber das ganze Jahr über vorgenommen und sind für Berater und Landwirte jederzeit „online“ zur Orientierung verfügbar.

Bei der Simulation des N-Haushalts beliebiger Maisflächen dienen die Messergebnisse der „Referenzflächen“ zur Parametrisierung und Validierung des verwendeten Agrarökosystemmodells. Das zu entwickelnde Werkzeug mit dem Agrarökosystemmodell Expert-N als Kernelement (Priesack 2006), soll auch in der Lage sein ganzjährig und schlaggenau Auskunft zu geben über Höhe und Veränderungen des mineralisierten Bodenstickstoffs. Die zur flurstücksbezogenen Modellierung notwendigen Schlaginformationen (Anlage 8.10), sollen über ein online-Formular eingelesen und dokumentiert werden. Sie werden ergänzt durch die Boden- und Klimadaten, die georeferenziert und automatisch über die Datenbank eines Geografischen Informationssystems (GIS) bereit gestellt werden (die Abbildungen 3.13 und 3.14 zeigen schematisch den Aufbau des Werkzeugs). Der Flächenbezug wird durch die Verwaltung der Informationen in der Datenbank des Geografischen Informationssystems hergestellt, welches die Eingangsdaten und Simulationsergebnisse mit der Modellanwendung austauscht. In der Datenbank sind auch zentral gepflegte Kenndaten von Sorten und Düngern hinterlegt, die das Ausfüllen der Formulare vereinfachen. Die Nutzung des komplexen Werkzeugs soll auf einfache Weise über einen Internet-Browser möglich sein. Praktiker und Berater sollen ohne eigene Spezialsoftware jederzeit einen Modelllauf anstoßen und aktuelle Simulationsergebnisse zum $N_{\min}$ -Status ihrer Flächen anfordern können (Details zur Struktur, siehe Kapitel 2). Um die Projektkosten in Grenzen zu halten, wurde die Entwicklung zunächst auf die Kultur Mais und auf ein Testgebiet in der Rheinebene südlich von Freiburg beschränkt (Abb. 3.1).

2.4 Erwartete Ergebnisse

Mit Abschluss des Projektes soll ein funktionsfähiges, an die regionalen Verhältnisse angepasstes Werkzeug zur ganzjährigen Simulation des Stickstoffhaushalts auf Maisflächen als Prototyp zur Verfügung stehen. Hinsichtlich der Genauigkeit der Simulation sollte es an den NID heran reichen, um amtlich anerkannt werden zu können. Über die Ermittlung des NID-Wertes im Frühjahr hinaus, soll es auch Informationen zum Wasserhaushalt, den zeitlichen Veränderungen der Stickstoffgehalte im Boden und zum Verlauf des Pflanzenwachstums liefern. Die Berichte für die Nutzer sollen

so aufbereitet werden, dass die Modellberechnungen grafisch und in Tabellenform Auskunft geben über Höhe, Herkunft und Verbleib des Stickstoffs in unterschiedlichen Kompartimenten (Boden, Sickerwasser, Pflanzenentzug etc.). Der Mehrwert an Information, der sich aus der Modellierung ableitet, soll Erklärungen zur Dynamik des N-Haushalts liefern und so das aktuelle Handeln und Lernen rund um die Stickstoffdüngung verbessern. Durch die ganzjährige Simulation des Stickstoffhaushalts kann nicht nur der $N_{\min}$ Frühjahrswert ermittelt werden, sondern auch ein Herbstwert, welcher den SchALVO Herbstwert mit Erklärungen zu seinem Zustandekommen ergänzen kann. Niedere Herbstwerte z. B. können damit besser eingestuft und interpretiert werden, denn sie können sowohl Folge einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz sein, als auch Konsequenz vorangegangener spätsommerlicher Auswaschungsprozesse.

3 Material und Methoden

Die Entwicklung des Referenz-Werkzeugs erfolgte in der Region um das Wasserschutzgebiet Hausen, südwestlich von Freiburg (Abb.3.1), weil hier aus Vorgängerprojekten schon qualitätsgesicherte, digitale und georeferenzierte Flächeninformationen vorlagen. Ergänzend zu diesen Informationen über Flurstücke, Böden mit aus der Reichsbodenschätzung und aus bodenkundlichen Kartiereinheiten abgeleiteten Schätzgrößen zur (nutzbaren) Feldkapazität, der Lagerungsdichte und dem Steinanteil wurden auf 8 Referenzflächen Bodenprofile gegraben (Kapitel 2.2.2 und Anlagen 8.1 - 8.8). Diese *Referenzflächen* wurden zu sieben Terminen beprobt (Anlage 8.11). Die Informationen zum Klima mit den Eingangsgrößen für das Pflanzenmodell CERES Mais (Jones & Kiniry 1986) wurden aus der GIS Datenbank bereit gestellt. Alle wesentlichen Daten zur Bewirtschaftung, zur Entwicklung der Maisbestände und zu den Erträgen der Referenzflächen wurden erfasst und für die Modellkalibrierung und spätere Anwendung des „Referenz-Werkzeugs“ verwendet. Die Validierung des Modells erfolgte unter Heranziehung weiterer, sogenannter *Simulationsflächen* auf denen im Frühjahr und nach der Ernte Kontrollbeprobungen stattfanden und auf denen ein reduzierter Datensatz erhoben wurde. In Anlage 8.9 sind die Parameter gelistet, die zu acht Referenz- und 63 Simulationsflächen erhoben wurden. Die aus den Schlagaufzeichnungen der Landwirte dokumentierten Angaben zu Düngung, Bodenbearbeitung, Saatterminen etc. wurden ergänzt durch Bonituren zum Entwicklungsverlauf (Phänologie) und Gesundheitszustand der Pflanzen, so dass bei den Simulationen auch die Rahmenbedingungen dokumentiert und zur Interpretation der Ergebnisse herangezogen werden konnten (Erhebungsbogen zu Schlaginformationen siehe Anlage 8.9.3).

3.1 Das Referenz-Konzept

Auch beim modellbasierten Referenz Konzept wurde am Prinzip der $N_{\min}$ -Kontrollen festgehalten. Allerdings kann bei Anwendung des Agrarökosystemmodells Expert-N der Beprobungsumfang deutlich reduziert werden. An die Stelle einmaliger Beprobungen auf vielen, zufällig erfassten und - verteilten Flächen, tritt eine ganzjährig, zu sieben Terminen stattfindende Beprobung weniger, repräsentativer „Referenz-Flächen“ (Anlage 8.10). Die „Referenz-Flächen“ werden dabei so gewählt, dass sie die wichtigsten Bodeneinheiten und Standortbedingungen im Anwendungsgebiet abbilden.

Das Referenz Konzept sieht vor, dass ergänzend zu den Simulationen der $N_{\min}$ Situation auf betriebseigenen Flurstücken auch die Möglichkeit existiert die aktuelle Situation auf benachbarten *Referenzflächen* einzusehen - mit den wichtigsten Hintergrundinformationen zur Bewirtschaftung. Über den Vergleich der Simulationsergebnisse auf den eigenen Flächen mit den Messwerten der Referenzflächen soll der Anwender einen zusätzlichen Orientierungswert an die Hand bekommen. Er soll dadurch in die Lage versetzt werden das Zustandekommen von Mess- und Simulationswerten nachzuvollziehen und auch eigene Beobachtungen und Erfahrungen bei der Bewertung der Ergebnisse einbringen zu können. Auftretende Abweichungen sollen transparent werden. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass auch Modellsimulationen im Einzelfall an Grenzen stoßen und nicht alle „Standorteffekte“ immer richtig abgebildet werden (z.B. Spätwirkungen von Grünlandumbruch, Felddrainagen oder langjährige Fruchtfolgeeffekte). Auch Eingangsgrößen, wie etwa die Wasserkapazität stimmen nicht immer exakt und führen zu systematischen Über- oder Unterschätzungen, die der Anwender einzuschätzen lernt.

3.2 Das Projektgebiet und seine naturräumliche Ausstattung

3.2.1 Geografische Lage

Das Projektgebiet befindet sich rechtsrheinisch im Oberrheingraben südlich von Freiburg. Der Oberrheingraben wird westlich durch den Höhenzug der Vogesen, östlich vom Gebirgszug des Schwarzwalds und im Süden von den Ausläufern des Schweizer Jura eingeschlossen. Das engere Projektgebiet ist im Nordwesten durch den Punkt 7°38' O./47°49' N bei der Gemeinde Oberrimsingen und im Südosten durch den Punkt 7°42' O./ 47°52' N bei Staufen Wettenbrunn begrenzt

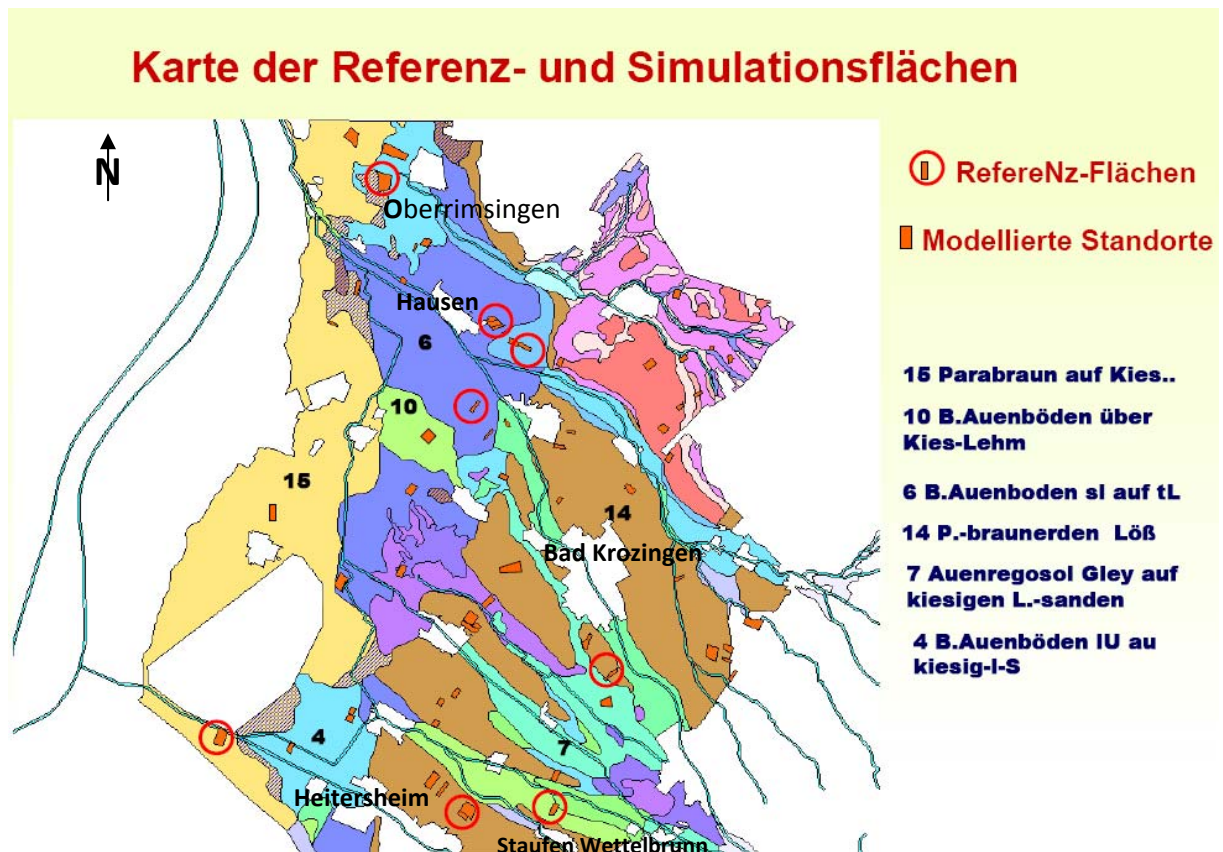


Abbildung 3.1 Geographische Lage, Bodeneinheiten, Referenz- und Simulationsflächen im Projektgebiet Stauffer Buch /WSG Hausen

3.2.2 Böden

Die Variabilität der Böden im Projektgebiet ist hoch und reicht von geringmächtigen, skeletthaltigen Böden über Kies bis hin zu tiefgründigen Lössböden, vornehmlich in der Vorbergzone. Verbreitet sind anlehmgige Sande und sandige bis schluffige Lehme auf Schotter und Aueböden die periodisch durch Staunässe beeinflusst sind (Pseudovergleyung). Häufig handelt es sich um Braunerden und Parabraunerden. Auf teilerodierten Lösskuppen treten auch Pararendzinen auf. Acht Flächen, mit für das Gebiet repräsentativen Bodentypen (Tabelle 3.3) werden als „Referenz-Flächen“ mit Profilsprachen und physikalische Untersuchungen genauer beschrieben (Anlagen 8.1 - 8.8). Die nutzbaren Feldkapazitäten liegen zwischen 132 mm und 235 mm (Solum 2007).

3.2.3 Klima

Das Untersuchungsgebiet mit humidem, warm-gemäßigtem Klima liegt im Oberrheingraben auf einer Höhe von durchschnittlich 180 m ü. NN. Es zeichnet sich durch hohe sommerliche Tempera-

turen aus. Die westlich und östlich angrenzenden Vogesen und der Schwarzwald weisen Höhen bis zu 1500 m ü. NN auf. Die Mittelgebirge liegen durch ihre Nord-Süd-Ausrichtung quer zur Anströmrichtung der vorherrschend niederschlagsbringenden westlichen Winde. Dadurch kommt es zu ausgeprägten Luv- und Lee-Effekten und zu einer ungleichen Niederschlagsverteilung in der Region (Parlow et al. 1992).

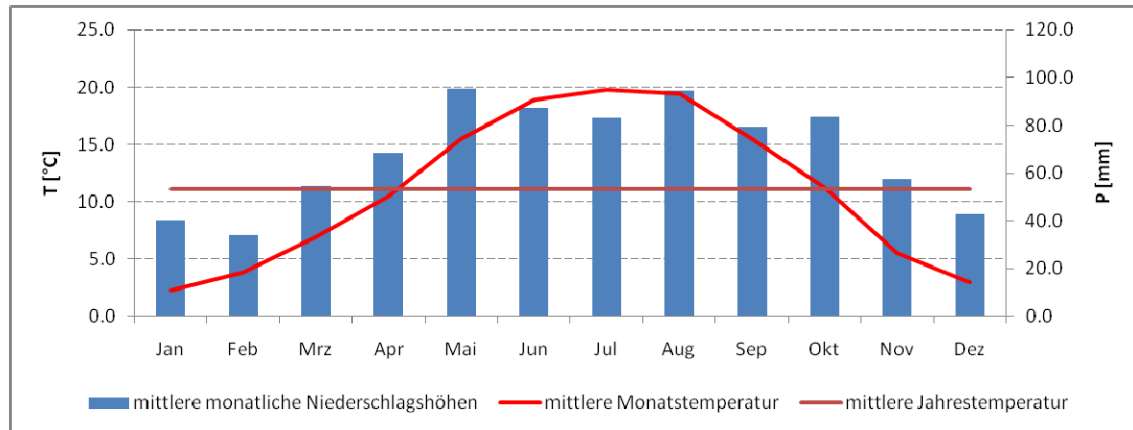


Abbildung 3.2 Klimadiagramm der Station Hausen (1997-2008)

Wie Abbildung 2.1 zeigt liegt die mittlere Jahrestemperatur bei 11,1 °C (Station Hausen 1997-2008). Die mittleren Monatstemperaturen reichen von durchschnittlich ca. 1 – 2 °C im Januar bis ca. 20 °C im Juli (WaBoA 2003). Die hohe Zahl an Sommertagen (ca. 50 Tage > 25°C) und im Mittel 10 Hitzetage (>30°C) im Jahr sind ein Grund dafür, dass der Maisanbau seit langem und mit Ackerflächenanteilen von örtlich mehr als 50 % in der Region etabliert ist. In den Jahren 1997-2008 fielen bei der Station Hausen durchschnittlich 821 mm/a Niederschlag. Aufgrund der Lage im Regenschatten der Vogesen im Westen und den wieder ansteigenden Höhen des Schwarzwalds im Osten nehmen die Niederschläge im Untersuchungsgebiet vom Rhein in Richtung der östlichen Vorberge zu. Die ergiebigsten Niederschläge treten im Rheingraben während konvektiv geprägter Ereignisse in den Sommermonaten auf (WaBoA 2007, Atlastafel 2.2). Bei einer potenziellen Verdunstungshöhe von rund 650 mm/Jahr ist die klimatische Wasserbilanz im Mittel mit ca. 100 bis 200 mm/Jahr positiv (WaBoA 2003). In den Sommermonaten kommt es trotz der günstigen mittleren Niederschlagsverteilung aufgrund der hohen Verdunstung dennoch regelmäßig zu Trockenstressperioden für die Kulturpflanzen. Das Wasserspeicher- und Nachlieferungsvermögen der Böden, das durch die nutzbare Feldkapazität (nFK) beschrieben wird, spielt deshalb eine oft entscheidende Rolle für die Ertragsbildung der Körnermaisbestände. Abbildung 3.3 zeigt den im Projektgebiet stark variablen Trockenheitsindex TI als Rasterdaten (WaBoA 2007). Der TI gibt an, an wie vielen Tagen in der Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) der Bodenwassergehalt < 30 % der nFK ist und damit ohne Zusatzberechnung zu starkem Wasserstress bei den Pflanzen führt. In der Vorbergzone werden Werte bis 30 Tage erreicht, auf den skelettreichen Niederterasseböden zum Rhein hin findet man TI Werte von über 60 Tagen.

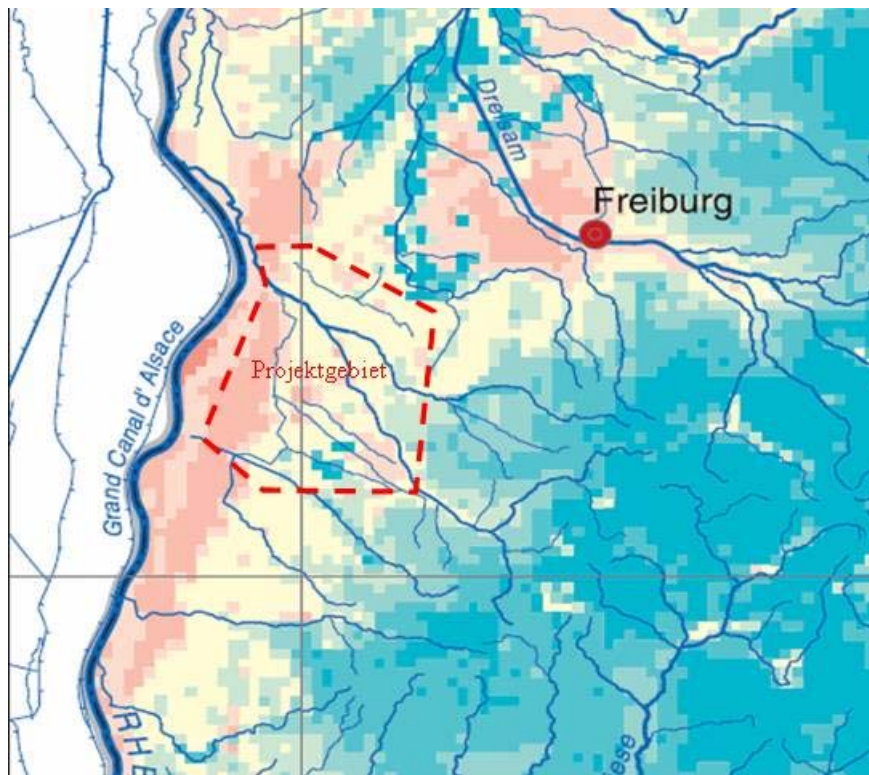


Abbildung 3.3 Trockenheitsindex (TI) in der Region Freiburg und Umgebung (WaBoA 2007)

3.2.4 Landnutzung

Etwa 80 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Projektgebiet wurden 2007 als Ackerland genutzt, 10 % als Rebland und ca. 7 % als Dauergrünland. Der Ackerbau im Projektgebiet ist durch die Dominanz des Maisanbaus gekennzeichnet, der nach der letzten Agrarstrukturerhebung von 2007 (StaLa 2008) ca. 51 % der Ackerfläche einnahm. Etwa 8 % waren mit Winterweizen bestellt und 6 % mit Kartoffeln. Außerdem haben Sonderkulturen wie Spargel, Erdbeeren und Feldsalat eine zunehmende Bedeutung. Wo Beregnungsmöglichkeiten vorhanden sind, werden auf den leichten, sandig-kiesigen Böden vorwiegend Saatmais, Kartoffeln und Sonderkulturen angebaut.

3.3 Erfassung und Dokumentation schlagspezifischer Informationen

3.3.1 Flächenauswahl und Bodeneigenschaften

Acht „Referenz-Flächen“ mit sechs Bodentypen wurden so gewählt, dass sie die wichtigsten Bodeneinheiten und die geographische Ausdehnung des Anwendungsgebiets abbilden (Abb. 3.1). Hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften wie Porenvolumen, Textur, Wasserspeichervermögen, nutzbarer Feldkapazität und Profilaufbau (Bodentyp) wurden diese Standorte eingehend untersucht und beschrieben (Solum 2007), so dass Messwerte für die wichtigsten Eingangsparameter zur Modellierung und Modellkalibrierung zur Verfügung standen (Profilbeschreibungen in Anlage 8.1 bis 8.8 und in Tabelle 3.3). Hinsichtlich einer robusten Kalibrierung des Expert-N Modells

konnte durch die Berücksichtigung des breiten Bodenspektrums eine gute Grundlage geschaffen werden.

Auf allen Flächen fanden zu Beginn des Projekts Bodenprobenahmen durch ein amtlich zugelassenes Bodenlabor und eine Grunduntersuchung mit Humusanalyse durch das LTZ Augustenberg statt. Dies erfolgte mit dem Ziel, auf allen Flächen einen guten Kalkzustand und eine ausreichende Nährstoffversorgung (Versorgungsstufe C) bei den Grundnährstoffen (P, K, Mg) garantieren zu können. Nährstoffseitig bestanden damit gute Bedingungen für die Kulturpflanzen und damit auch für die Modellanwendung.

3.3.2 Erfassung der Bewirtschaftungsdaten

Zur Erfassung der Bewirtschaftungsdaten der Flächen wurde ein Formular entwickelt, das die Landwirte gegen eine Aufwandspauschale jährlich ausfüllten. Es enthielt die wichtigsten Angaben zur Bewirtschaftung der Flächen wie z.B. Fruchtfolge der letzten Jahre, Vorgeschichte des Feldes, Zeitpunkt und Tiefe der Bodenbearbeitung, Saattermin, Saatstärke, Sorte und sonstige Pflegemaßnahmen von der Ernte der Vorkultur bis Ernte der Hauptkultur (Anlage 8.10). Nach Prüfung und Rücksprache mit den Landwirten wurden die Angaben in ein Excel Datenblatt und nachfolgend in die Datenbank der LIWIS® Agrarfachschule von „Smallworld GIS“ übertragen.

Da es für die Dauer des Projekts auf den Maisflächen nicht zu einem Fruchtwechsel kam, ist der Einfluss der Fruchtfolgewirkungen auf die angestellten Modellsimulationen auf Langzeitwirkungen eingeschränkt. Diese wurden bis ins dritte Vorjahr zur Interpretation der Ergebnisse dokumentiert. Bei einigen Standorten handelte es sich um ehemaliges Grünland, das vor 20 – 40 Jahren auf Ackerland umgestellt wurde und bei dem nach Auskunft der Landwirte zum Teil noch höhere Mineralisierungswerte auftreten. Ein Referenzstandort (RER7) wurde regelmäßig mit Schweinegülle gedüngt.

3.3.3 Bestandesentwicklung und Erträge

Wie die Zusammenstellung der von Expert-N benötigten Parameter in Anlage 8.9 zeigt, war es zur Kalibrierung des Modells notwendig die Pflanzenbestände im Vegetationsverlauf zu beschreiben. Termine wichtiger Entwicklungsstadien wurden festgehalten und Anomalien, wie etwa das Auftreten von Krankheiten oder Hagelschäden, wurden protokolliert. Diese Hintergrundinformationen dienten der Interpretation der Simulationsergebnisse zu den Wachstumsverläufen bzw. zur Erklärung von gegebenenfalls aufgetreten Abweichungen. Bezüglich der Ertragsbildung wurden zur Siloreife (maximale vegetative Entwicklung) pro Feld 20 Ganzpflanzen auf einer diagonalen Linie geerntet und bezüglich Trockenmasse- und Stickstoffgehalt ausgewertet. Die Kornerträge wurden durch Beerntung von 6* 2 m Reihengänge, diagonal im Feld, abgeschätzt (9 m² oder ca. 32 Pflanzen). Die Restrohmenen, ihr N-Gehalt und die C/N Verhältnisse wurden in analoger Weise anhand von 20 Einzelpflanzen zur Druschzeit ermittelt.

3.3.4 Projektbegleitende N_{min}-Messungen in Mais

Zu sieben Terminen im Jahr, beginnend im März, zur Saat, vor dem Schossen, zur Blüte, nach der Blüte, nach der Ernte und vor dem Winter wurden auf allen Referenzparzellen N_{min} Proben in 0-90 cm (0-60 cm, wo dies nicht möglich war) entnommen und vom TZW Karlsruhe auf die Gehalte an mineralisiertem Stickstoff untersucht (Anlage 8.11).

3.3.5 Bereitstellung von Hintergrunddaten über ein GIS

Im Smallworld GIS werden die für eine erfolgreiche Modellierung mit Expert-N erforderlichen Daten historisiert vorgehalten. Damit ist es möglich, über die hierfür entwickelte Schnittstelle schlagbezogen für ein definiertes Bewirtschaftungsjahr eine ACCESS-Datenbankdatei und erforderliche Steuerdateien auszulesen. Mit diesen Daten ist es dann möglich extern einen Simulationslauf mit Expert-N anzustoßen, sowie anschließend die Rechenergebnisse aus den Ergebnisdaten zurückzunehmen.

Jedem Schlag bzw. Flurstück werden durch die Georeferenzierung Bodendaten zugewiesen. Die Grundlage hierfür bildet die Reichsbodenschätzung, die wegen ihrer hohen räumlichen Auflösung und detaillierten Beschreibung der Bodeneigenschaften eine wertvolle Basis zur Bodencharakterisierung darstellt. Im Vergleich zu verfügbaren bodenkundlichen Kartierungen erlaubt sie eine flurstückscharfe Betrachtung und Auswertung. Diese Eigenschaften werden in der „WAQIS“ GIS Fachanwendung BOMET II, einem durch die GIT HydroS Consult entwickelten GIS-basierten Informationssystem genutzt. Es dient der Erfassung, Verwaltung und Darstellung von in der Bodenschätzung vorliegenden Daten, der automatisierten Übersetzung in bodenkundliche Nomenklatur und verfügt über Berechnungs- und Übersetzungsalgorithmen für die Bereitstellung der relevanten bodenkundlichen Parameter einzelner Flurstücke (Umweltfonds 2006). Die implementierten Methoden stützen sich im Wesentlichen auf die in den technischen Berichten zum NIBIS (Benne et al. 1990) dokumentierten Verfahren und Vorschriften. Über die detaillierte Bodenbeschreibung hinsichtlich der Substrateigenschaften der einzelnen Horizonte, des Ausgangssubstrates und der Zustandsstufe können Bodenkennwerte abgeschätzt werden, wie Bodenart, (nutzbare) Feldkapazität, Grobporenvolumen, Permanenter Welkepunkt oder hydraulische Leitfähigkeit.

Die Bewirtschaftungsdaten sind über die Schlagdaten (vgl. 3.3.2) eingepflegt und werden den Flurstücken zugewiesen. In der Datenbank hinterlegt sind neben diversen Feldbearbeitungsgeräten (sie nehmen unter anderem Einfluss auf die Bearbeitungstiefe) auch die verschiedenen Handels- und Wirtschaftsdünger mit Angaben zum Stickstoffgehalt und zur Stickstoffform (Ammoniak-, Nitrat- und Amid-Stickstoff).

Die hydrometeorologischen Daten werden innerhalb der GIS-Datenbank als Zeitreihen an repräsentativen Stationen gehalten und entsprechend dem jeweils zu modellierenden Schlag zugewiesen. Die Niederschlagsdaten entstammen RADOLAN (vgl. 3.4.2.1) und können als bundesweite tägliche Rasterdaten im 1 km-Raster räumlich differenziert den Schlägen zugeordnet werden.

3.4 Modellierung von Wasser-, Energie- und Stoffhaushalt

Das zur Anwendung kommende Simulationsmodell sollte in der Lage sein, das Pflanzenwachstum in Abhängigkeit von Wasser- und Energiedargebot sowie Nährstoffverfügbarkeit zu beschreiben und die damit verbundenen Stoffströme bei Stickstoff und Kohlenstoff/Humus abzubilden. Um die Parametrisierung und die Übertragbarkeit auf weitere Standorte zu erleichtern, sollten die Ansätze zur Beschreibung der einzelnen Prozesse möglichst physikalisch basiert sein. Das Agrarökosystemmodell Expert-N entspricht weitgehend diesem Anforderungsprofil und erfüllt auch die Anforderungen bezüglich Verfügbarkeit und Anwendungserfahrung.

3.4.1 Das Modellsystem Expert-N

Expert-N wurde Anfang der 1990'er Jahre von Priesack & Engel (1993) entwickelt. Es zählt zu den Ökosystemmodellen und modelliert das Pflanzenwachstum eines Standorts über die Simulation von Wasser- und Energiehaushalt sowie die Stickstoff- und Kohlenstoffdynamik im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Die Simulation erfolgt eindimensional vertikal. Die Hauptparameter werden als repräsentativ für die Feldskala angenommen. Das modular aufgebaute Modell berücksichtigt:

- Bodenwasserhaushalt und Pflanzenverdunstung
- Energieeintrag und Bodenwärmetransport
- Kohlenstoffumsetzung
- Stickstoffmineralisierung, -aufnahme und -freisetzung
- Bestandesentwicklung
- Bodenbearbeitung (und Beregnung)

Durch seinen Aufbau als modulares Modellsystem erlaubt Expert-N durch die Kombination von geeigneten Pflanzenwachstums-, Wasserhaushalts- und Stickstoff-Transformationsmodellen die Erstellung von kulturart- bzw. fruchtfolgespezifischen Simulationsmodellen. Ganzjährig und auf Tagesschrittbasis erlaubt es eine Beschreibung des gesamten Prozessgefüges des N-Haushaltes im System Boden-Pflanze auf einem landwirtschaftlich genutzten Standort. Für die Beschreibung des Bodenwasserhaushalts stehen beispielsweise der Kapazitätsansatz und die Bodenwasserbewegung nach Richards zur Verfügung. Ebenso gibt es verschiedene Ansätze zur Berechnung der Verdunstung, des Oberflächenabflusses oder des Bodenwärmestroms. Je nach Pflanzenart stehen auch verschiedene geeignete Pflanzenwachstumsmodelle zur Verfügung, wie CERES (Ritchie et al. 1987) und SUCROS (van Laar et al. 1997). Schließlich bestehen vorkonfigurierte Modulkombinationen, welche die integrierten Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modelle nach LEACHN (Hutson et al. 1992) oder CERES (Ritchie et al. 1987) für die Simulation des Pflanzenwachstums beinhalten (Priesack 2006).

Die Ergebnisse der Modellierung werden umfangreich und nach Prozessen gegliedert für die Themen Wasserhaushalt, Pflanzenwachstum, Stickstoffumsatz, Kohlenstoffumsatz, Wärmestrom und als Bilanzen dargestellt. Ausgabeformate sind ASCII-Dateien in täglichen Schritten oder auch Diagramme mit Ganglinien zu einzelnen Prozessen und Parametern. Dies erlaubt eine detaillierte Betrachtung der Prozesse, der damit verbundenen Umsätze und eine weitreichende Plausibilisierung der Modellergebnisse.

3.4.2 Eingangsdaten und Datenhaltung

Die von Expert-N benötigten Eingangsdaten sind in einer Access-Datenbank abgelegt und umfassen Katalogdateien sowie Boden-, Schlag-, Bewirtschaftungs- und Klimadaten mit entsprechenden

Verweisen. Darüber hinaus benötigt Expert-N verschiedene Initialisierungsdateien. Dazu zählen eine .xnc--Modellkonfigurationsdatei mit dem Aufruf der zu aktivierenden Module, eine .ini-Datei mit der Projektdefinition, eine Parameterdatei .gtp mit den pflanzenspezifischen Einstellungen, eine .xnm-Datei mit Daten beispielsweise zur Stickstoff- und Humusmineralisierung sowie den Startwerten aus den Vorläufen. Eine komplette Auflistung aller benötigten Eingangsdaten findet sich im FAM Bericht 59 (Priesack & Bauer 2002) und auf der Internetseite von Expert-N. (<http://www.helmholtz-muenchen.de/en/iboe/expertn/>).

Die Modellierung mit Expert-N erfolgt in der Regel für eine Bewirtschaftungseinheit (Schlag) und eine Vegetationsperiode, maximal jedoch für 1000 Tage, wobei aufeinander folgende Vegetationsperioden auf den Daten des Vorzeitraums aufsetzen können. Messdaten wie Bodenwassergehalte und Bonituren können mitgeführt werden, um die Modellgüte zu prüfen. Alle Standortdaten werden aus einer Access-Datenbank abgerufen.

Im Verlauf dieses Projektes wurde mit der Einbindung des Modells in das Smallworld GIS (GE Energy, 2009) die Datenhaltung in die GIS-Datenbank verlagert. In Tabelle 3.1 sind die Eingangsdaten nach Kategorien geordnet aufgelistet und werden nachfolgend beschrieben.

Tabelle 3.1 Eingangsdaten und Herkunft

Parameterart	Datenherkunft
Klimadaten	DWD, Station Hausen, Station Heitersheim
Niederschlag	RADOLAN (Rasterdaten, Niederschlagsradar)
Bodenbearbeitung	Landwirte/Agentur ANNA (Schlagkartei)
Bewirtschaftungsinformationen	Landwirte/Agentur ANNA (Schlagkartei)
Bodendaten	Solum: Profilaufnahmen Referenzflächen und aus der Reichsbodenschätzung abgeleitete Bodenparameter
Bonituren, Ertragsmessungen, Qualitätsproben	Messungen Agentur ANNA
N _{min} -Werte, Bodenwassergehalte	Labor Meier / TZW

Einige Informationen, wie z.B. die Bodenbearbeitung, sind für die Modellierung nicht zwingend erforderlich, können jedoch berücksichtigt werden und nehmen dann z.B. über die Tiefe der Bodenbearbeitung auch Einfluss auf die Mineralisierung und den N-Haushalt. Andere Messdaten dienen der Validierung und Kontrolle der Simulationsergebnisse, wie z.B. Entwicklungsbonituren, Ertrags- und Qualitätsproben und Messwerte zu den Bodenwassergehalten.

3.4.2.1 Klimadaten

Zur Beschreibung der Klima- und Wetterverhältnisse in der Modellierungsphase wurden tägliche Messdaten der Wetterstationen Heitersheim und Hausen herangezogen. Die Daten der Station Hausen wurden seit Februar 2009 zu Tageswerten aggregiert für den operationellen Betrieb verwendet und in die GIS-DB übernommen. Die Heitersheimer Stationsdaten, die in Tagesauflösung vorliegen, wurden durch die Hausen-Daten abgelöst, dienten bis April 2009 aber noch zur Plausibilitätskontrolle.

In der nachfolgenden Tabelle sind die hydrometeorologischen Parameter aufgelistet, die von Expert-N als Tagesmittelwerte für die Simulationen benötigt werden:

Tabelle 3.2 Hydrometeorologische Eingangsdaten

Parameter	Einheit
Lufttemperatur (Minimum, Maximum, Mittel)	°C
Niederschlag	mm
Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe	m/s
relative Luftfeuchte	%
Sonnenscheindauer	h

Wie bereits angesprochen ist die Niederschlagsverteilung im Projektgebiet insbesondere in den Sommermonaten aufgrund der Dominanz konvektiver Ereignisse sehr uneinheitlich. Luv- und Lee-Effekte führen darüber hinaus zu einer west-östlichen Zunahme der mittleren Niederschlagshöhen. Da die Niederschlagswerte eine wichtige Modellgröße darstellen und sich bei Verwendung einer einzigen Station regional deutliche Unsicherheiten ergeben, wurden RADOLAN Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD 2004) verwendet. Ab Oktober 2006 wurden auf dieser Grundlage Niederschlagszeitreihen in 1x1 km Auflösung für das Projektgebiet genutzt. Mit den stündlichen RADOLAN-Daten (angeeichte stündliche Niederschlagshöhen aus der Kombination der flächendeckenden Niederschlagserfassung mit Radar und punktuell gemessenen Niederschlagsstationen) war es möglich die Niederschlagsereignisse räumlich und zeitlich gut aufzulösen. Mithilfe eines hierfür entwickelten Task-Managers im Smallworld GIS konnten die vom DWD mit einer Verzögerung von vier Stunden auf einem ftp-Server zur Verfügung gestellten (bundesweiten) Daten dann automatisch in die GIS-Datenbank eingepflegt und den Schlägen zugewiesen werden. Abbildung 3.4 gibt die Niederschlagsverhältnisse auf den Referenz-Flächen im Jahr 2007 wieder, in dem die Niederschläge insgesamt etwas unter dem langjährigen Mittel von 821 mm lagen und besonders im April und bei der Abreife des Mais ab Mitte September unterdurchschnittlich ausfielen.

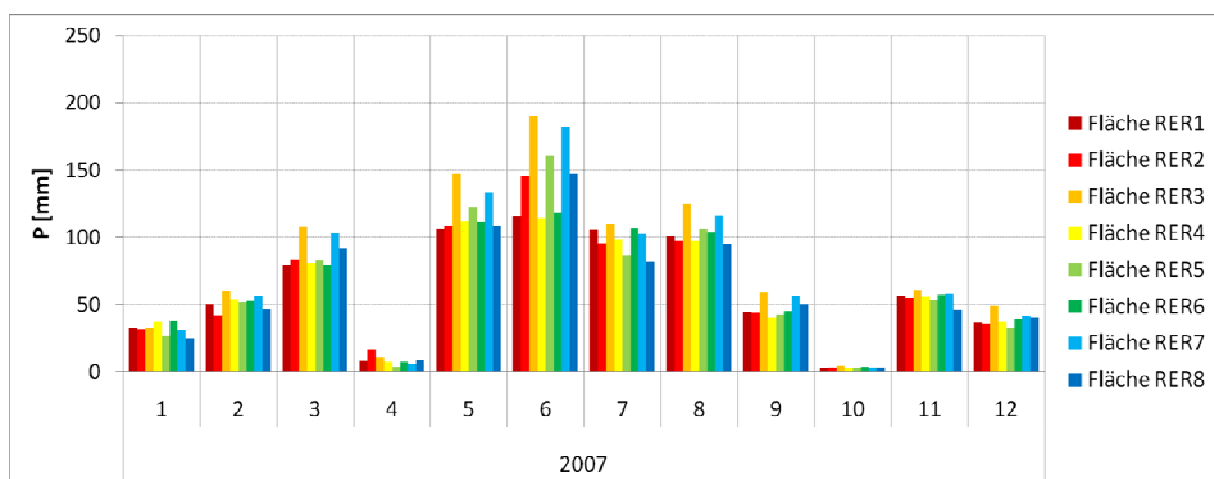


Abbildung 3.4 Nach RADOLAN differenzierte Niederschlagshöhen (P) der Referenzflächen in 2007

Auf den acht Referenz-Flächen fielen 2007 im Mittel 795 mm/a Niederschlag. Die Spannweite zwischen den Flächen RER2 (738 mm) und RER3 (958 mm) betrug 220 mm (!).

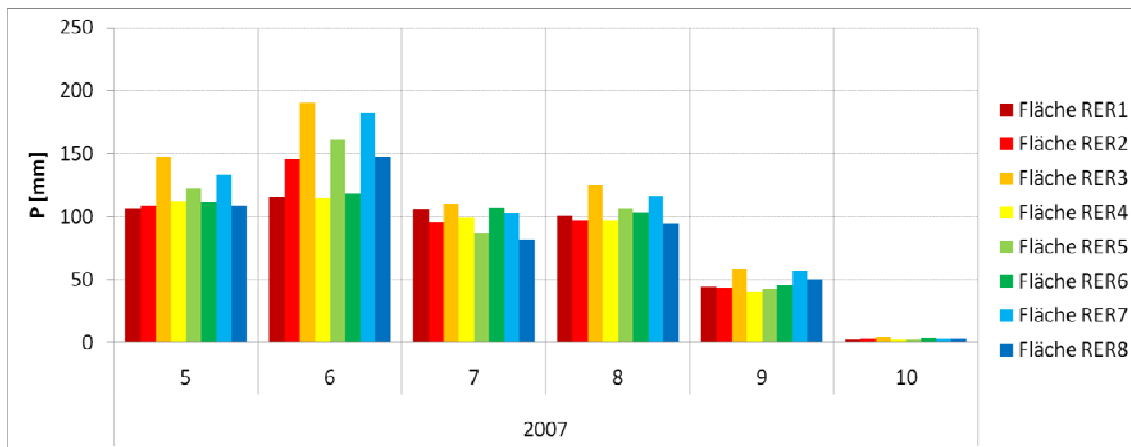


Abbildung 3.5 Niederschlagshöhen (P) der Vegetationsperiode 2007 (Mai-Oktober)

In der Vegetationsperiode von Mai-Oktober fielen im Mittel 520 mm Niederschlag (Abbildung 3.5), wobei wieder deutliche Unterschiede zwischen den Flächen beobachtet wurden. So fielen im RADOLAN-Raster der Fläche RER3 in Richtung östlicher Vorbergzone 637 mm, während im westlich gelegenen Raster der Fläche RER1 nur 475 mm fielen.

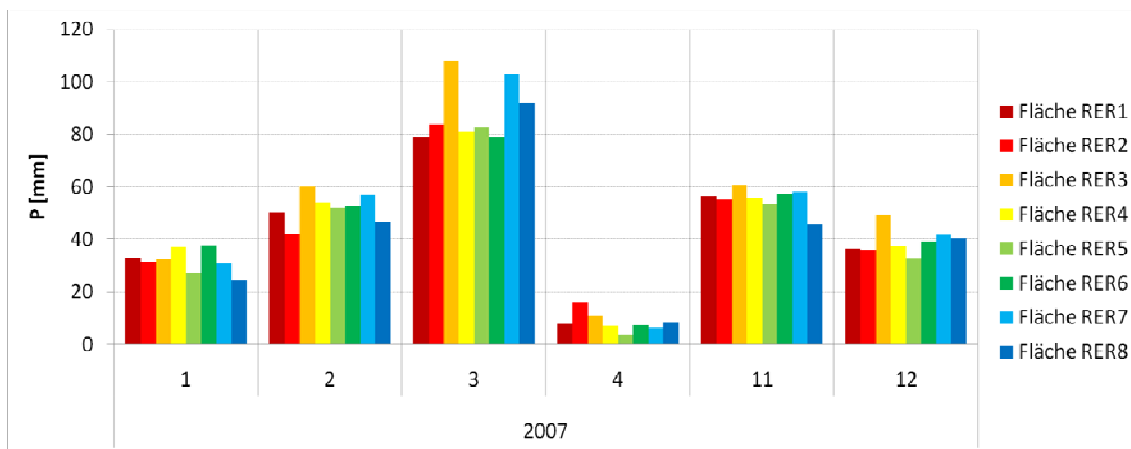


Abbildung 3.6 Niederschläge (P) außerhalb der Vegetationsperiode 2007 (Januar bis April und November-Dezember)

Außerhalb der Vegetationszeit waren die Unterschiede kleiner. Bei einem mittleren Niederschlag von 275 mm war die Spannweite mit ca. 70 mm deutlich geringer (Abbildung 3.6).

Im Juni traten bei teils gewittrigen Regenereignissen Unterschiede von bis zu 50 % zwischen den Flächen auf. Im September war die Variabilität der Niederschlagsverteilung wieder gering. In allen Fällen konnte mit den RADOLAN-Daten eine differenziertere Beschreibung der Niederschlagsverhältnisse einzelner Flächen erreicht werden. Die räumlich auf 1 km² aufgelösten Radolan-Daten haben auch Vorteile für die beteiligten Landwirte, weil sie über den Internetzugriff auf das GIS

zeitnah und flächenbezogen den Wasserhaushalt ihrer Felder beobachten können, um gegebenenfalls z. B. eine Bewässerung durchführen zu können.

Die übrigen vom Modell verwendeten Klimaparameter wie Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit sind relativ homogen verteilt. Ihre geringe Variabilität im Untersuchungsgebiet hat wenig Einfluss auf die Simulationsergebnisse, weshalb diese Daten einheitlich von der im Projektgebiet liegenden meteorologischen Station der badenova in Hausen bezogen wurden.

3.4.2.2 Bodendaten

Für die Kalibrierung und Validierung des Modells wurden von der Firma „solum“ in Freiburg auf den acht Referenz- oder RER-Flächen Profilgrabungen bis wenigstens 100 cm Tiefe durchgeführt. In drei bis vier diagnostischen Horizontabschnitten wurden je sechs Stechzylinder-Proben zur Bestimmung bodenphysikalischer Kenngrößen entnommen. Die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung erfolgte an gestörten Proben. Bestimmt wurden:

- Bodenart und -lagerung (Feinboden, Grobboden, Steinanteile, Rohdichte, Lagerungsdichte)
- Wasser- und Lufthaushalt (Gesamtporenvolumen, Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität und Totwasser (PWP)).

In Tabelle 3.3 sind die Bodentypen der acht Referenzflächen mit der ermittelten nutzbaren Feldkapazität (nFK) aufgelistet. Detaillierte Informationen finden sich in Anhang 8.1 bis 8.8 und im Bericht (Solum 2007).

Tabelle 3.3 Bodentypen und nutzbare Feldkapazitäten der Referenz-Flächen bis 1 m Bodentiefe nach Profilerhebungen von SOLUM (2007)

Fläche	Bodentyp	nutzbare Feldkapazität (nFK), 1 m
RER1	Auengley-Brauner Auenboden	136 mm (mittel)
RER2	Pseudogley- Brauner Auenboden	132 mm (mittel)
RER3	Pararendzina. rigolt, mit Haftnässeerscheinungen	235 mm (sehr hoch)
RER4	Brauner Auenboden	157 mm (hoch)
RER5	Parabraunerde	140 mm (mittel)
RER6	Auengley – Brauner Auenboden	127 mm (mittel)
RER7	Kolluvisol über Parabraunerde	154 mm (hoch)
RER8	Brauner Auenboden – Auengley	210 mm (sehr hoch)

Zwei Profile weisen eine sehr hohe nFK auf, zwei Standorte eine hohe nFK, vier Flächen haben eine mittlere nFK. Mit Ausnahme von RER5 übersteigt der Schluffgehalt im Oberboden überall 50 %. Ton und Schluff zusammen machen überall den Großteil der Feinbodenanteile auf den Flächen aus. Hieraus resultiert ein relativ hoher nutzbarer Wasservorrat. In RER2 wurde außerdem ein Sandanteil von über 30 % ermittelt, ebenso wie auf Fläche RER5, wo zusätzlich ein hoher Kies- oder Steinanteil ermittelt wurde. Die beiden letztgenannten Böden besitzen deshalb geringere Wasserspeicherfähigkeiten (FK und nFK). Trotz vergleichbarer Feinbodenanteile zeigen die zur

Modellkalibrierung herangezogenen Referenz-Flächen eine relativ große Variabilität im Bodenwasserhaushalt.

Für die Modellierung der Bodenwasserbewegung mit der physikalisch basierten RICHARDS-Gleichung wird zudem die gesättigte Leitfähigkeit (k_{sat}) benötigt, die aber in den Bodenuntersuchungen nicht ermittelt wurde. Im Modell werden für solche Fälle sogenannte Pedotransferfunktionen (PTF) verschiedener Autoren angeboten. Mit deren Hilfe werden die Leitfähigkeitswerte k_{sat} für die Leitfähigkeit abgeschätzt.

3.4.3 Messwerte

3.4.3.1 N_{min} -Messwerte

Für die Qualitätsbeurteilung der Modellergebnisse zum Stickstoffhaushalt wurden zu aussagekräftigen oder für die Düngerbemessung wichtigen Terminen Bodenproben zur Bestimmung der N_{min} -Gehalte entnommen (Termine siehe Anlage 8.10). Die Probenahme mit gleichzeitiger Bestimmung des Bodenwassergehaltes erfolgten mit einem Pürckhauer-Bohrstock in 0-90 cm Bodentiefe nach den Richtlinien des amtlichen Nitratinformationsdienstes. Wo dies wegen starker Austrocknung oder einem hohen Steinanteil nicht möglich war, wurde auf 0-60 cm beprobt. Sofort nach den Probenahmen wurden die Bohrkern vor Ort in gekühlte Isolierboxen überführt und danach im Wasserwerk Hausen tiefgefroren gelagert. Die gefrorenen Proben wurden durch eine Spedition für die Analyse zum Technologiezentrum Wasser (TZW) nach Karlsruhe transportiert, wo die Proben für die Bodenschichten von 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm auf ihren Gehalt an mineralisiertem Stickstoff (N_{min}) zum Zeitpunkt der Probenahme untersucht wurden. In der Schicht von 0-30 cm wurde dazu neben dem Nitrat- auch der vorhandene Ammonium- Stickstoff (NH_4) bestimmt. Die Umrechnung der Analysenergebnisse (mg Nitrat/kg Boden) auf flächenbezogene Nitratstickstoffgehalte in kg N/ha erfolgte mit den gebietsrepräsentativen Werten für die Trockendichte der Böden im WSG Hausen. Sie betrugen für 0-30 cm $1,45 \text{ g/cm}^3$; für 30-60 cm und 60-90 cm Bodentiefe $1,60 \text{ g/cm}^3$.

3.4.3.2 Bodenwassergehalt

Um die Modellgüte der Bodenwassermodellierung und die Wachstumsbedingungen für den Pflanzenbestand beurteilen zu können, wurden mehrmals pro Vegetationsperiode Mischproben in den Tiefen 0 - 30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm entnommen und ebenfalls vom Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe analysiert. Die Messwerte zum Bodenwassergehalt [Vol-%] konnten zur Einschätzung der Güte des Bodenwasserhaushaltsmoduls in Expert-N herangezogen werden.

3.4.3.3 Pflanzendaten

Zur Parametrisierung und Kalibrierung des Wachstumsmodells und zur Quantifizierung der Parameter für den Stickstoffentzug, die Menge und Qualität der Ernterückstände und die daraus abgeleitete Mineralisierungsdynamik wurden in den Jahren 2006 bis 2008 auf den Referenzflächen Pflanzenproben genommen. Phänologisch wichtige Entwicklungsstadien des Mais (Meier 2001) wurden mit ihrem Datum festgehalten und zur Evaluierung des Wachstumsmodells herangezogen.

3.4.3.4 Ertrags- und Pflanzenuntersuchungen

Die wachstumsbegleitenden Messungen wurden von der Agentur für Nachhaltige Nutzung von Agrarlandschaften (ANNA) durchgeführt. Hierzu zählten Pflanzenparameter wie der Biomasse-

und Strohertrag (geschätzt mit 20 Pflanzen diagonal/Fläche), die Abschätzung des Kornertrages (6×2 m oder ca. 72 Pflanzen, diagonal/Fläche) und die Biomassebeprobung bei Gründüngungspflanzen ($4 \times 1,5$ m² diagonal/Fläche). An den Ertragsproben wurden Qualitätsuntersuchungen durchgeführt, die beim Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg mit aktuellen Standardmethoden vorgenommen wurden (LTZ 2011). Neben Trockenmassegehalt und Ertrag wurden die N-Gehalte zur Bestimmung der N-Entzüge und der N-Abfuhr bestimmt. Bei gemulchten oder eingearbeiteten Biomassen wurde wegen der Bedeutung für die Mineralisierung auch das C/N Verhältnis der Pflanzenrückstände zur Überprüfung der im Modell angenommenen Werte ermittelt.

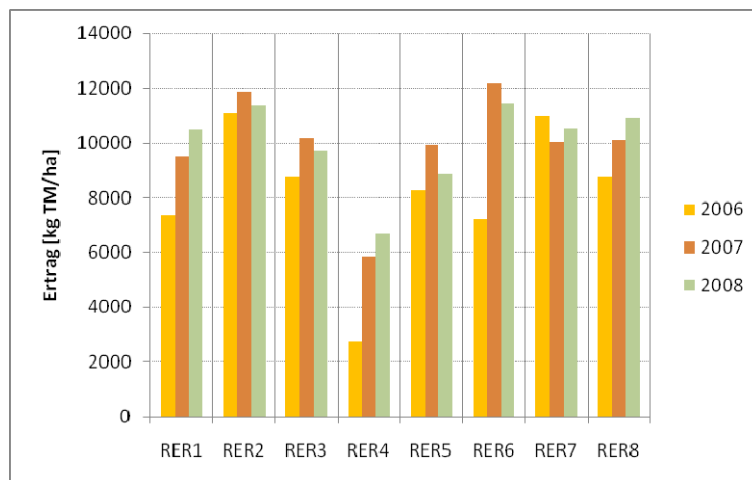


Abbildung 3.7 Maiserträge (kg TM/ha) auf den Referenzflächen für die Jahre 2006 bis 2008

Durchschnittlich beliefen sich die N- Abfuhr mit den Körnermaiserträgen 2006 auf 128 kg N/ha, 2007 auf 121 kg N/ha und 2008 auf ca. 137 kg N/ha. Auf Fläche RER4 wurde Saatmais angebaut, der geringere Flächenenerträge hat. Die Ertragsbestimmungen zeigen variable Resultate von Jahr zu Jahr und von Standort zu Standort und decken ein relativ breites, für robuste Modellkalibrierungen erforderliches Spektrum von Anbauvarianten ab (siehe Abbildung 3.7).

3.4.3.5 Modellparametrisierung

Für die Modellierung des Wasser- und Energiehaushalts und des Pflanzenwachstums musste zunächst eine geeignete Modellkombination ermittelt werden. In einem zweiten Schritt mussten die erhobenen Daten in eine für das Modell nutzbare Form aufbereitet und die erforderliche Grundparametrisierung erstellt werden. Daran anschließend erfolgten Testberechnungen (und etwaige Modell-anpassungen), um die Modellsimulationen für das Anwendungsgebiet auf ihre Eignung hin zu überprüfen. Anhand verschiedener, gemessener und modellierter Prüfkriterien wurde die Eignung der gesetzten Parameter geprüft und ggf. angepasst, bis eine hinreichend gute Angleichung des Modells an die gemessenen Felddaten erreicht wurde und die räumliche Übertragbarkeit des Modells gewährleistet war.

Die während der Modellierung zu aktivierenden Prozessmodule werden in einer ASCII-Konfigurations-Datei `~.xnc` definiert. Die Schlag-, Boden-, Klima- und Bewirtschaftungsdaten werden in einer Access-Datenbank schlagbezogen bereitgestellt; ebenso wie die Katalogdateien mit hinterlegten Eigenschaften und Attributen von Pflanzen, Ackergeräten und Düngemitteln. Eine `.ini`-Datei mit der Projektdefinition, eine Parameterdatei `.gtp` mit den pflanzenspezifischen Einstellungen und eine `.xnm`-Datei mit Daten beispielsweise zur Stickstoff- und Humusmineralisierung

sowie den Startwerten aus den Vorläufen komplettieren die Problemdefinition für den Modelllauf.

3.4.3.6 Identifizierung eines geeigneten Modulsets

Aufgrund der im Modellgebiet erheblichen Variabilität von Niederschlägen, Bodenverhältnissen und weiterer Standortfaktoren war ein robustes Modulset erforderlich, das für alle Standorte im angestrebten vollautomatischen Betrieb lauffähig ist. Die Identifikation der geeigneten Modulkombination erfolgte mit fachlicher Unterstützung von Dr. Priesack und seinem Team vom Helmholtz Zentrum München (Priesack 2009).

Für die Bodenwasserprozesse wurde folgende Modulkombination ausgewählt:

Die Bodenverdunstung wurde als potentielle Verdunstung nach Penman (1948) berechnet. Über den Limited-Flux Ansatz wurde die entsprechende, aktuelle Verdunstung berechnet. Der Ansatz von Richards (1931) berechnet die Bodenwasserbewegung in Abhängigkeit von Wassergehalt und Saugspannung bzw. der Abhängigkeit der Wasserleitfähigkeit von diesen Größen. Der Wassergehalt in der Bodenzone in Abhängigkeit von der Wasserspannung wurde über die Pedotransferfunktion nach Hutson & Cass (1987) beschrieben. Schneeschmelze und -akkumulation wurden über ein Grad-Tag-Verfahren simuliert. Die Grundwasserneubildung als untere Randbedingung wurde über eine freie Drainage implementiert.

Wachstum und Entwicklung der Maispflanzen wurden mit dem Modell CERES (Ritchie et al., 1989) beschrieben. Das Modell simuliert dabei die verschiedenen Zustände des Pflanzenbestandes anhand der nachfolgend aufgeführten Entwicklungsphasen (Priesack 2006, S. 188 ff.).

- Stadium 7: Brache oder Aussaatvorphase (Beginn Modelllauf)
- Stadium 8: Aussaat bis Keimung
- Stadium 9: Keimung bis Auflaufen
- Stadium 1: Auflaufen bis Ende der juvenilen Phase
- Stadium 2: Beginn des Längenwachstums
- Stadium 3: Ende des Blattwachstums und Beginn des Rispschiebens
- Stadium 4: bis Beginn der Kornfüllung
- Stadium 5: Kornfüllungsphase
- Stadium 6: Ende der Kornfüllung bis physiologische Reife und Ernte (Ende Modelllaufzyklus)

Die Simulation der Mais-Bestandesentwicklung (Phänologie) erfolgte über das Konzept der „thermischen Zeit“ anhand einer Modellpflanze. Dabei wird angenommen, dass eine bestimmte Temperatursumme (Summe von Gradtagen über einer Basistemperatur) erreicht werden muss, um die Pflanze in die nächste Wachstums- und Entwicklungsphase eintreten zu lassen. Die Reaktionsmuster der Modellpflanze werden dabei auf den Bestand hochgerechnet, wobei in der Wachstumsphase neben dem Energieangebot (Temperatur, Strahlung) auch die Bodenfeuchte und die N-Verfügbarkeit auf das Pflanzenwachstum und damit auf die Ertragsbildung einwirken.

3.4.3.7 Parametrisierung des Mais-Modells

Die kulturpflanzenpezifischen Informationen zur Modellierung wurden in der Datei „maize.gtp“ festgelegt und erlaubten damit eine Kalibrierung der wachstumsrelevanten Prozesse. Die ASCII-

Datei ist in verschiedene Abschnitte gegliedert wie die photosynthetische Aktivität, Parameter für das Wachstum von Wurzeln, Blättern, Stängel und Früchten, phänologische Stadien und die Verteilung des aufgenommenen Stickstoffs in die unterschiedlichen Pflanzenorgane. Die Grundparametrisierung wurde von Dr. Sebastian Gayler vom Helmholtz-Zentrum München vorgenommen.

Tabelle 3.4 CERES-Parametereinstellungen zur Mais-Wachstumsmodellierung

Stadium	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tmax	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Topt	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Tmin	6	6	8	8	8	8	6	0	10
ΣT	190	-1	-1	160	450	30	0	-1	-1
Dev.-rate	1	1	1	1	1	1	1	1	1

In Tabelle 3.4 sind beispielhaft die Temperaturen und Temperatursummen für die Maisentwicklung nach dem CERES-Modell aufgeführt. Die obersten drei Zeilen markieren die Angaben für die Maximal-, Optimal und Basistemperaturen [°C]. Darunter befinden sich die Angaben zu den Temperatursummen, die in einem Wachstumsstadium erreicht werden müssen, um zum nächsten Stadium überzugehen. Die letzte Zeile gibt die maximale Entwicklungsrate an, welche die Pflanzen in der jeweiligen Wachstumsphase erreichen können. Sortenunterschiede z.B. zwischen Saat- und Körnermais können abhängig vom verwendeten Pflanzenmodell an noch weiteren Stellen in der ~gtp-Datei definiert werden, wodurch spezifische Simulationen zu gesondert parametrisierten Maisbeständen möglich werden (unterschiedliche Reifegruppen, speziell kältetolerante Sorten etc.). Wegen begrenzter Ressourcenausstattung und des erheblichen Aufwands und Datenbedarfs für die Validierung konnten derartige Spezialparametrisierungen im Rahmen dieses Projektes nicht realisiert werden.

3.4.3.8 Stickstoffumsatz und -transport im Boden

Der Stickstoffumsatz und -transport wird im Modell mittels mehrerer Prozesse beschrieben. Transportprozesse sind Diffusion, Dispersion und Konvektion. Sogenannte Quellen- und Senkenterme beschreiben Transformations- und Abbauprozesse oder die Wurzelaufnahme durch die Pflanze. Da die Prozesse des Stickstoffumsatzes eng an die Prozesse des Kohlenstoffumsatzes gekoppelt sind, müssen zur Beschreibung der N-Dynamik auch die C-Transformationen berücksichtigt werden. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozesse ist in der Modelldokumentation von Expert-N zu finden (Priesack 2006).

Die Modellinitialisierung für den Stickstoff- und Kohlenstoffpool im Boden für das erste Projektjahr (2006) basiert auf den abgeschätzten Werten nach der Reichsbodenschätzung. In den darauf folgenden Jahren wurden die Modellergebnisse aus den vorhergehenden Jahren als Startwerte für das aktuelle Bewirtschaftungsjahr verwendet (~xnm-Datei). Die Mineralisierung aus dem Humus, die Nitrifikation und die Denitrifikation in den verschiedenen N- und Kohlenstoffkompartimenten Streu und Humus wurden über tägliche Umsatzraten [d^{-1}] parametrisiert. Pro Bodenschicht kann im Modell je eine Umsatzrate definiert werden, wodurch es möglich ist, verschiedene Boden-Milieus in einem Bodenprofil zu parametrisieren. Folgende Prozesse werden dabei vom Modell berücksichtigt:

- Harnstoffhydrolyse (UreaHy): Umsetzung von Harnstoff zu Ammonium-Ionen durch Bodenorganismen
- Nitrifikation (Nitrif.): Schrittweise Umsetzung von Ammonium-Ionen über Nitrit- zu Nitrat-Ionen durch Bakterien
- Denitrifikation (Denitrif.): Umsetzung von Nitrat-Ionen zu molekularem Stickstoff durch Bakterien
- Mineralisierung der organischen Substanz (MinerMan/MinerHum): Freisetzung des organisch gebundenen Stickstoffs durch Bodenorganismen in einem schnell- und langsam abbaubaren Pool (Streu, Wirtschaftsdünger, Humus).

Die Parametrisierung ist in der folgenden Tabelle für die ersten zehn Bodenschichten dargestellt.

Tabelle 3.5 Parametrisierung der Stickstoffumsatzraten der oberen Bodenschichten

Layer	UreaHy	Nitrif.	Denitrif.	MinerLit	MinerMan	MinerHum
1	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
2	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
3	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
4	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
5	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
6	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
7	0.4	1	0.1667	0.02	0.01	0.0001
8	0.4	1	0	0.02	0.01	0.0001
9	0.4	1	0	0.02	0.01	0.0001
10	0.4	1	0	0.02	0.01	0.0001

Außer bei der Denitrifikation werden alle Umsatzraten mit der Bodentiefe als konstant angenommen. Die Rate für die Humusmineralisierung hat die geringste Höhe. Sie ist wegen der großen, im Humus gebundenen Stickstoffmengen auch mit Abstand die sensibelste Größe.

UreaHy

Am Beispiel des Faktors „UreaHy“ für den Harnstoffumsatz ist in Tabelle 3.6 die Sensitivität der Stickstoffumsatzraten im Boden auf Parametervariationen dargestellt. Der Modelllauf wurde für die Parzelle RER3 (Löss) für das Bewirtschaftungsjahr 2009 (15.09.2008 – 13.09.2009) durchgeführt. Die Verteilung der Raten über die Bodenschichten wurde dabei nicht verändert. Im Ergebnis fallen die Änderungen im Bodenstickstoffhaushalt relativ gering aus, wobei mit höheren Umsatzraten etwas weniger Stickstoff nitrifiziert und etwas mehr denitrifiziert wird.

Tabelle 3.6 Umgesetzter Stickstoff mit unterschiedlichen Umsatzraten für UreaHy

UreaHy [d ⁻¹]	0.4	0.7	0.9
nitrifiziert [kg N/ha]	357.1	356.86	356.77
denitrifiziert [kg N/ha]	9.54	10.02	10.23

Bei Betrachtung der $N_{\min}$ -Ganglinie in Abbildung 3.8 zeigt sich auch, dass mit höheren Werten für „UreaHy“ in der Parametrisierung der Umsatz von Amid-haltigen Düngern etwas schneller abläuft.

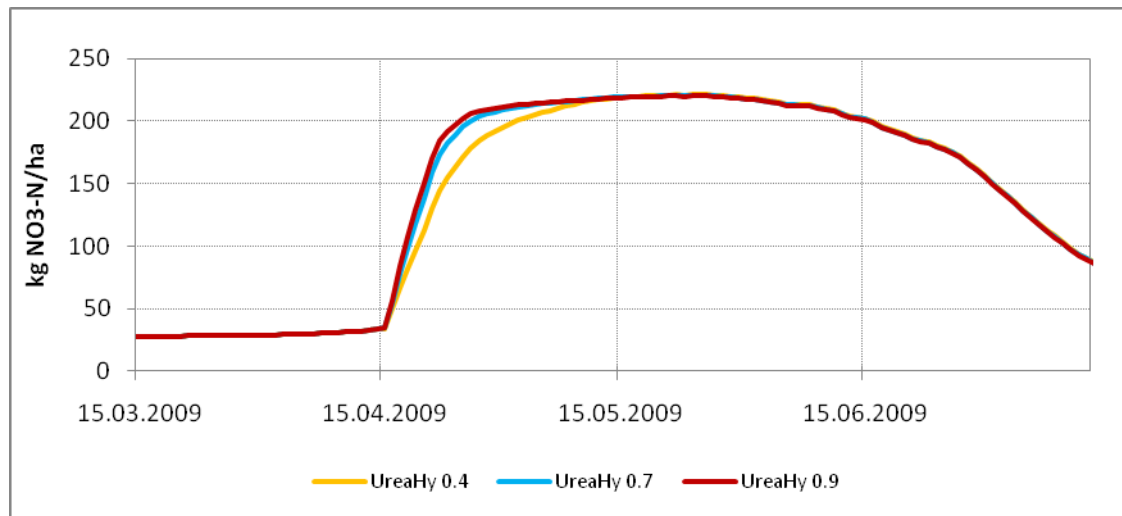


Abbildung 3.8 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinien in 0-90 cm für unterschiedlich hohe Umsatzraten des Parameters „UreaHy“

Nitrifikation

Die Effekte, die sich aus einer Veränderung des Parameters für Nitrifikation (Schritt von Ammonium-N zu Nitrat-N) ergeben sind gegenüber Änderungen des Faktors für die Harnstoffhydrolyse deutlich größer. Mit höheren Umsatzraten wird deutlich mehr Stickstoff nitrifiziert, während sich die Mengen an denitrifiziertem Stickstoff nur gering verändern (Tabelle 3.7 und Abbildung 3.9)

Tabelle 3.7 Umgesetzter Stickstoff mit veränderten Umsatzraten für die Nitrifikation

Nitrifikation [d^{-1}]	0.2	0.5	1.0
nitrifiziert [kg N/ha]	306.46	343.27	357.1
denitrifiziert [kg N/ha]	7.56	8.85	9.54

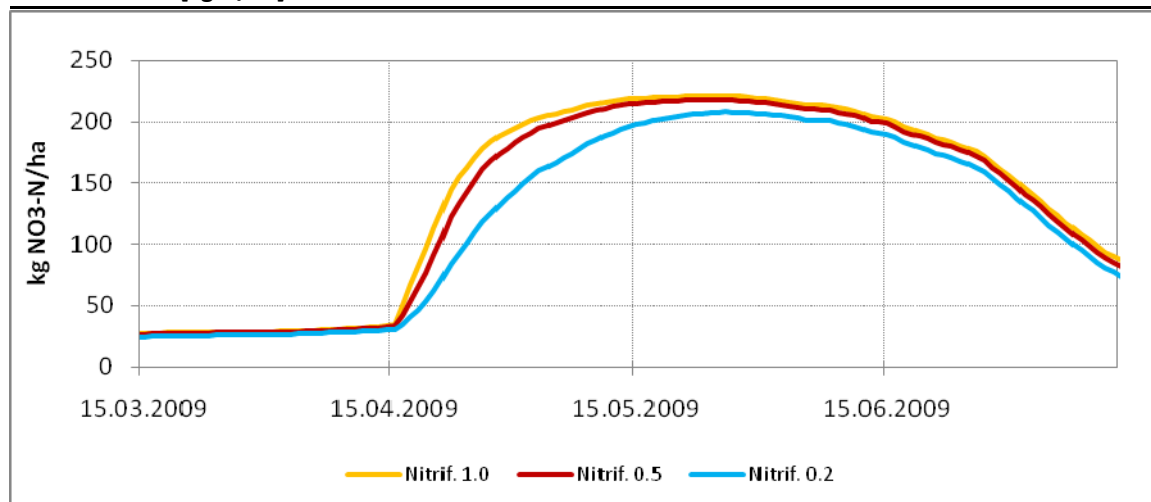


Abbildung 3.9 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten des Parameters „Nitrifikation“

Die Abbildung 3.9 lässt erkennen, dass bei niedrigen Parameterwerten für die Nitrifikation weniger Nitrat in verzögerter Form freigesetzt wird und die dazu gehörige blaue Verlaufslinie konstant unter den beiden anderen Linien bleibt. Mit steigenden Umsatzraten werden die Ganglinien immer ähnlicher und Veränderungen durch höher eingestellte Nitrifikationsraten fallen zunehmend geringer aus.

Denitrifikation

In der ursprünglichen Modell-Parametrisierung findet Denitrifikation nur im Oberboden statt. Tabelle 3.8 zeigt Reaktionen auf veränderte Umsatzraten für die Denitrifikation am Standort RER 3.

Tabelle 3.8 Mengen an umgesetztem Stickstoff bei Variation der Umsatzraten für die tägliche Denitrifikation

Denitrifikation [d^{-1}]	0.2	0.5	1.0
nitrifiziert [kg N/ha]	357.13	357.43	357.77
denitrifiziert [kg N/ha]	11.37	26.78	48.88

Bei höher eingestellten täglichen Denitrifikationsraten wird mehr Stickstoff denitrifiziert (Tabelle 3.8 und Abbildung 3.10). Die nitrifizierte Stickstoffmenge bleibt dagegen nahezu konstant. Der Stickstoff wird dabei vom Modell in die Formen NO , N_2O und N_2 umgewandelt, welche sich verflüchtigen und für die Pflanzen nicht mehr zur Verfügung stehen.

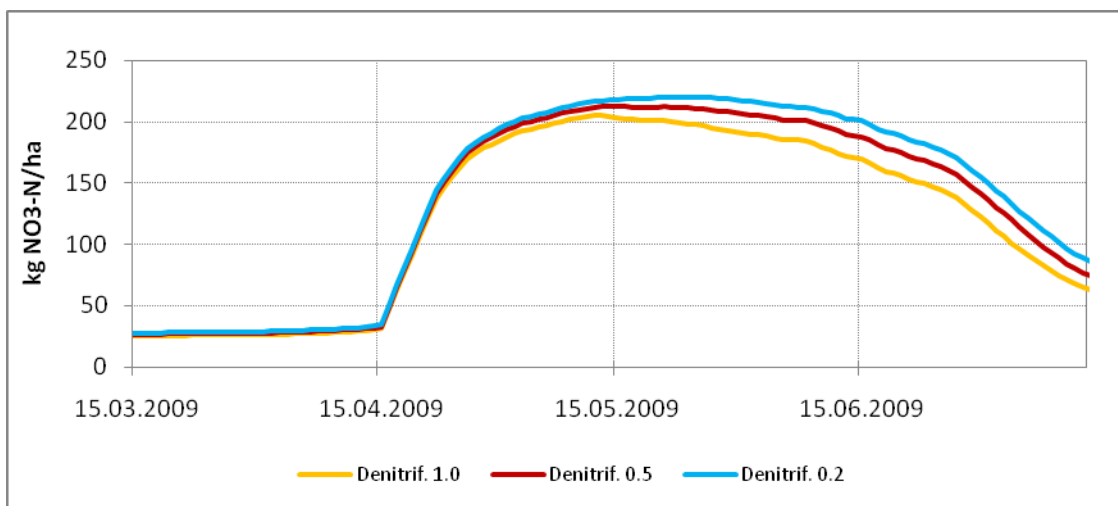


Abbildung 3.10 Verlauf der $\text{N}_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Denitrifikation

N-Mineralisierung aus frischer organischer Substanz

In Expert-N können die Ernterückstände in den Stickstoffkreislauf einbezogen werden. Hierfür wird zum Beginn eines Modelllaufs die Menge an verbleibender frischer organischer Auflage aus den Ergebnissen der Vorkultur initialisiert. Die Mineralisierungsraten beschreiben die Schnelligkeit

des Abbaus frischer organischer Substanz. Der Standardwert hierfür beträgt 0.02 und liegt damit um eine Zehnerpotenz niedriger als bei den oben bereits angesprochenen Parametern.

Tabelle 3.9 Stickstofffreisetzung aus organischen Rückständen bei Variation der Parametereinstellungen für die Mineralisierung von Ernterückständen (MinerLit).

MinerLit [d^{-1}]	0.02	0.2	1.0
mineralisierter Stickstoff [kg N/ha]	56.31	110.57	97.63

Tabelle 3.9 zeigt die Menge an mineralisiertem Stickstoff aus frischer organischer Substanz. Mit der Erhöhung um eine Zehnerpotenz steigt auch die Menge an mineralisiertem Stickstoff deutlich an, während die nochmalige Erhöhung um den Faktor 5 auf den Wert 1.0 einen Rückgang an mineralisiertem Stickstoff zur Folge hat. Der Grund liegt in der modellinternen Kopplung mit dem abgebauten Kohlenstoff, welcher bei einer Rate von 1.0 bedeutend schneller abgebaut wird. Dadurch kommt es früher zu einem Umschalten von Mineralisierung zu Immobilisierung als bei geringeren Raten.

Anmerkung: Mineralisierung und Immobilisierung sind mikrobiologische Prozesse, die meist im Gleichgewicht stehen. Werden beispielsweise bei einer landwirtschaftlichen Bodennutzung Ernterückstände mit einem weiten C/N-Verhältnis in den Boden eingearbeitet, kann sich das Gleichgewicht zwischen beiden Prozessen verschieben, so dass es für eine bestimmte Zeit zu einer Netto-Stickstoff-Immobilisierung kommen kann. Erst wenn ein gewisser Anteil des Kohlenstoffs aus den Ernterückständen durch die Bodenmikroorganismen mineralisiert, d.h. zu CO_2 veratmet ist, tritt eine Netto-Stickstoff-Mineralisierung auf, bis sich schließlich wieder ein Gleichgewicht einstellt" (Priesack 2006). Noch grüne Ernterückstände („Litter“) der Vorperiode mit einem engen C/N Verhältnis und leicht abbaubaren C-Verbindungen führen zu einer schnellen Netto-Stickstoff-Mineralisierung. In den Katalogen der Modellanwendung sind die C/N-Verhältnisse für die Ernterückstände kulturspezifisch hinterlegt.

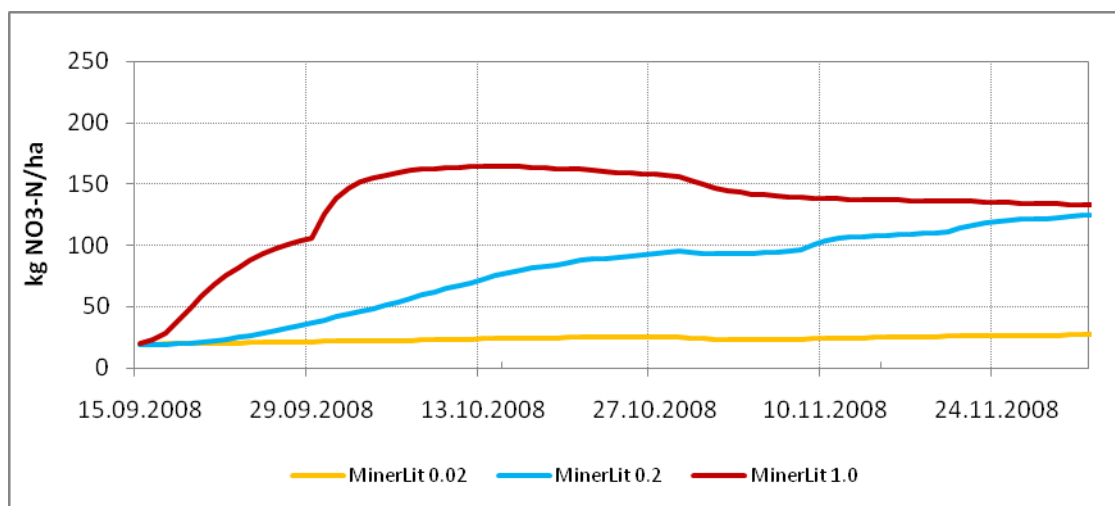


Abbildung 3.11 Verlauf der $N_{\min}$ -Ganglinie auf einer Referenzfläche in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Mineralisierung frischer organischer Substanz zwischen September und November 2008

In Abbildung 3.11 sind die Auswirkungen variierender Parameterwerte für die Mineralisierung frischer organischer Substanz bei der Modellierung aufgezeigt. Während bei einer geringen Mineralisierung (0.02) der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt nahezu konstant bleibt, steigt bei 0.2 die Ganglinie kontinuierlich an, bis die frische organische Substanz vollständig umgesetzt ist und Humus-Mineralisierung, Düngerumsetzung und Auswaschungsvorgänge den Stickstoffhaushalt wieder dominieren. Noch schneller umgesetzt wird die frische org. Substanz bei einer angenommenen Rate von 1.0 (rote Linie), wodurch die $N_{\min}$ Veränderungen im Profil schon nach wenigen Wochen wieder von den anderen, bereits genannten Prozessen dominiert werden.

N-Mineralisierung aus dem Humus

Der Bodenumus ist mit Abstand der größte Stickstoff- und Kohlenstoffpool im System Boden-Pflanze. Der Parametrisierung der Humusmineralisierung kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Zum einen stellt sie einen bedeutenden Teil der Nährstofflieferung an die Pflanze, zum anderen muss modelltechnisch sichergestellt werden, dass die Nachlieferung nicht zu groß wird. Letzteres ist auch deshalb wichtig, weil zu hohe Mineralisierungsraten zu einem Abbau des Humusniveaus führen, welches sich in Ackerböden mit regulärer Bewirtschaftung aber meist in einem dynamischen Gleichgewichtszustand befindet.

Die Mineralisierungsraten des Bodenumus sind niedrig. Im Modell sind die Schichten mit einer konstanten Rate von 0.0001 in der $\sim$.xnm-Datei parametrisiert. Tabelle 3.10 zeigt den Einfluss einer Variation der Mineralisierungsrate auf die mineralisierte Stickstoffmenge pro ha und Jahr.

Tabelle 3.10 Menge an jährlich mineralisiertem Stickstoff bei Variation der Parametereinstellungen für die Mineralisierungsraten des Humus (MinerHum).

MinerHum [d^{-1}]	0.0001	0.0005	0.001
mineralisierter Stickstoff [kg N/ha]	121	588	1134.6
Änderung des C- und N-Gehaltes [%]	-0.6	-6.5	-14.6

Bei einer Änderung um den Faktor fünf zeigt sich auf der Referenzfläche RER3 im Bewirtschaftungsjahr 2009 ein Zuwachs an mineralisiertem Stickstoff um den Faktor 5, bei einer Erhöhung um den Faktor 10 wird auch nahezu zehnmal so viel Stickstoff mineralisiert. Auch der Humus-Gehalt im Boden reagiert sensibel. Bei einer angenommenen Mineralisierungsrate von 0.001 bzw. 0,0005 bleiben bereits nach einer Vegetationsperiode 14.6 % bzw. 6,5 % weniger Stickstoff und Kohlenstoff im Boden zurück.

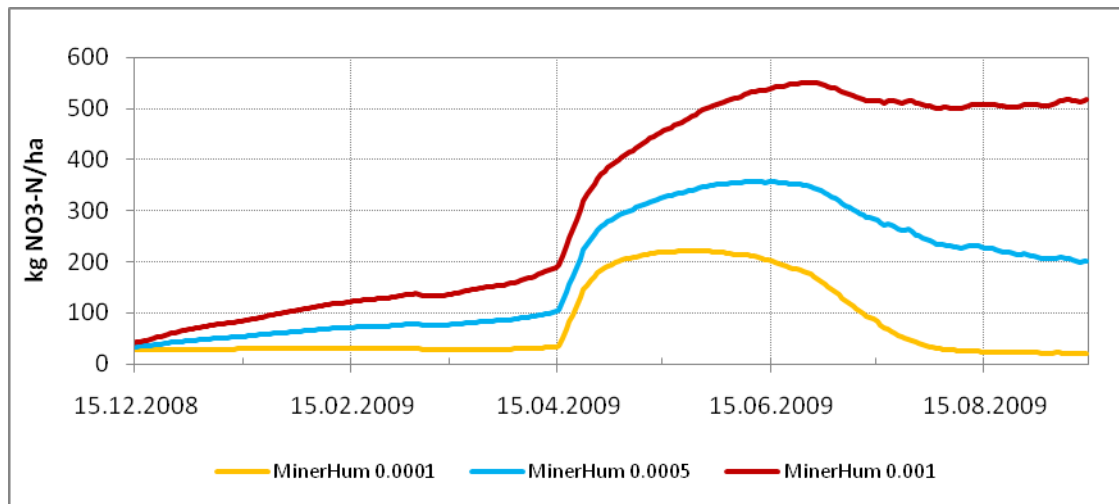


Abbildung 3.12 $N_{\min}$ -Ganglinie in 0-90 cm für verschiedene Umsatzraten der Humus-Mineralisierung auf Referenzfläche RER3

In Abbildung 3.12 ist dieser Sachverhalt nochmals anhand der temporären bzw. nachhaltigen Freisetzung von Bodenstickstoff aus dem Bodenumus dargestellt. Im Frühjahr 2009, schon vor der Düngung, ist zu erkennen wie alleine aufgrund der Humusmineralisierung die $N_{\min}$ Gehalte im Bodenprofil kontinuierlich ansteigen. Trotz Auswaschung und Entzug durch die Pflanzen steigt der $N_{\min}$ -Gehalt bei den hoch eingestellten Mineralisierungsraten absolut betrachtet bis zum Ende der Vegetationsperiode an (MinerHum 0.001, MinerHum 0.0005). Erst mit der Standardparametrisierung (MinerHum 0.0001) werden als Folge der Zufuhr organischer Substanz über Wurzel- und Erntestereste die Verluste wieder ausgeglichen, so dass gegen Ende der Wachstumsperiode Ende August wieder das Ausgangsniveau erreicht wird.

3.5 Entwicklung des internetbasierten, GIS-gestützten Auskunftssystems

3.5.1 Leitgedanken

Eines der Kernanliegen des Projektes bestand darin, dem Anwender (Berater oder Landwirt) eine einfache Oberfläche zur tagesaktuellen Information über den $N_{\min}$ -Zustand, den Wasserhaushalt und die Pflanzenentwicklung auf gebietstypischen, intensiv beobachteten Referenzflächen sowie auf den eigenen Flächen zur Verfügung zu stellen. Dabei sollte das Vorhalten eigener Software, die Beschaffung standortbezogener Daten und die Einarbeitung in komplexe Modellierungen so weit als möglich vermieden werden.

Um dies zu erreichen wurde die Modellanwendung mit einem geografischen Informationssystem verknüpft und auf einem zentralen Rechner betrieben. Die Funktionalitäten zur Eingabe noch benötigter Bewirtschaftungsdaten, zur Modellierung und zur Dokumentation der Ergebnisse wurden über eine Webanbindung und die Schaffung von Schnittstellen in einer gängigen „Browser“-Umgebung über das Internet bereit gestellt.

Im Folgenden sind die Komponenten und die Verknüpfung der einzelnen Elemente zu einem funktionalen Ganzen, dem „*RefereNz Werkzeug*“ dargestellt.

Anmerkung: Obwohl hier im Methodenteil aufgeführt, handelt es sich in weiten Teilen auch um ein Ergebnis, da die Identifizierung und Verknüpfung der einzelnen Module des Referenz Werkzeugs im Rahmen der Projektarbeit konzipiert und programmiert werden musste.

3.5.2 Technische Umsetzung von „RefereNz“ und Werkzeugkomponenten

Als funktionales Kernelement des Auskunftssystems dient das geografische Informationssystem „Smallworld GIS“ (GE Energy 2010) mit den nachfolgend aufgeführten Hauptfunktionen:

- Verwaltung und Fortschreibung der für die Modellierung notwendigen Datengrundlagen, tagesaktuelle Klimadaten, flächendeckende Bodeninformationen, Katasterdaten, optional Schlagkartei.
- Datenaufbereitung und -übertragung für die Modellierung in Expert-N
Datenplausibilisierung, Zusammenführung, Umstrukturierung und Konvertierung, Problembehandlung. Übertragung der Modelldaten an die Expert-N – Access-Datenbank, Übergabe der Modellkonfiguration per ASCII-Dateien.
- Anstoßen und Überwachung der Modellsoftware Expert-N
- Auswertung der Modellierung und automatisierte Berichtsgenerierung zu den Simulationen
Ausladen relevanter Ergebnisdaten, Umstrukturierung, Datenübergabe und Steuerung des Berichtswerkzeugs List & Label (Combit, 1989-2010).
- Kommunikation mit Web-Anwendung für Berichtserstellung / Modellierung.
Kommunikation per http-Server umgesetzt im Smallworld GIS, Datenaustausch per XML. Prozess-Steuerung der Anfragen (first in, first out).

Die Kommunikation mit dem Nutzer erfolgt über einen aktuellen Internet-Browser, wobei die hierfür genutzte Webanwendung über eine eigene SQL-Datenbank verfügt, in der die Schlagkartei der Referenz- und Simulationsflächen, sowie die von den Anwendern (Landwirten) angelegten Schläge vorgehalten werden. Ferner stehen der Webanwendung Geodaten zur Verfügung, die der Anwender in der Kartenansicht aufrufen kann. Der Zugang zur Webanwendung <http://www.n-referenz.de/nref/> ist passwortgeschützt und steht den Projektbeteiligten zur Verfügung. Abbildung 3.13 zeigt Komponenten und die Systemarchitektur des realisierten „RefereNz-Werkzeugs“.

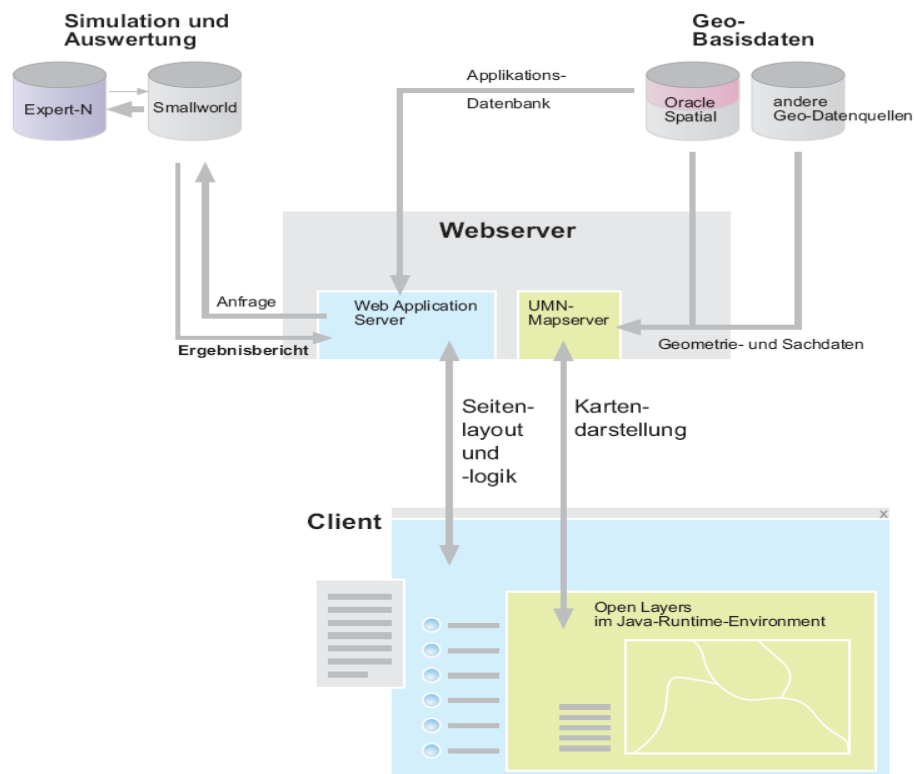


Abbildung 3.13 Überblick über die Systemarchitektur des RefereNz-Werkzeugs

3.5.3 Ablauf der Berichtserstellung

Das in Abbildung 3.14 nachfolgend dargestellte Schema skizziert den Ablauf einer Berichtserstellung von der Anfrage durch den Anwender (1) bis zur Bereitstellung der Berichte über den Internet Browser (8). Über eine Berichts-anfrage werden die noch erforderlichen Daten ins Smallworld-GIS übertragen. Anschließend wird die ACCESS-Modelldatenbank gefüllt und die Modellierung gestartet. Die generierten Ergebnisdateien werden vom Smallworld-GIS gelesen und zur Berichtserstellung (über ein ADO-Dataset in einer .Net-Anwendung) an die Software List & Label (combit GmbH, 1989-2010) übergeben. Die mit dieser Softwarelösung erstellten Berichte werden dann in Form eines strukturierten pdf-Dokuments der Web-Anwendung zur Verfügung gestellt. Einige Aspekte zum methodischen Vorgehen sind nachfolgend zum besseren Verständnis etwas genauer erläutert.

gen Klimazeitreihen werden automatisch von der badenova Wetterstation Hausen bezogen oder, falls nicht vorliegend, von der Wetterstation Heitersheim. Die so aufbereiteten und mit Klimazeitreihen hinterlegten Schlaginformationen werden anschließend vom Smallworld-GIS in die Expert-N-Modelldatenbank geschrieben und die Simulation wird mit der erforderlichen Modellumgebung angestoßen.

3.5.4.1 Modellierung und Übergabe der Ergebnisdaten

Die im Rahmen des Referenz-Projekts praktizierte Modellierung besteht aus der Erstinitialisierung und dem eigentlichen Modelllauf (siehe Abbildung 3.16). Die Erstinitialisierung dient dazu, die Bodendaten und Pools für Stickstoff und Kohlenstoff aus den GIS-Daten zu extrahieren und als standortspezifische Startwerte dem Modell zu übergeben. Der eigentliche Modelllauf rechnet dann mit der Ergebnisdatei aus der Erstinitialisierung, ab der Vorfruchternte bis zum angegebenen Erntedatum. Enden die vorhandenen Klimazeitreihen vor dem Erntedatum wird als Projektende (Ende eines Simulationslaufs) das Datum des letzten verfügbaren Klimadatensatzes (Klimadaten + RADOLAN-Niederschläge) verwendet, so dass bei vegetationsbegleitenden Simulationen der jeweils aktuelle Zustand abgebildet wird. Die von Expert-N für die verschiedenen Prozesse in unterschiedlichen ASCII-Dateien abgelegten täglichen Ergebnisdaten werden von Smallworld-GIS nach Modellende wieder zurückgenommen und zur Berichtserstellung übergeben.

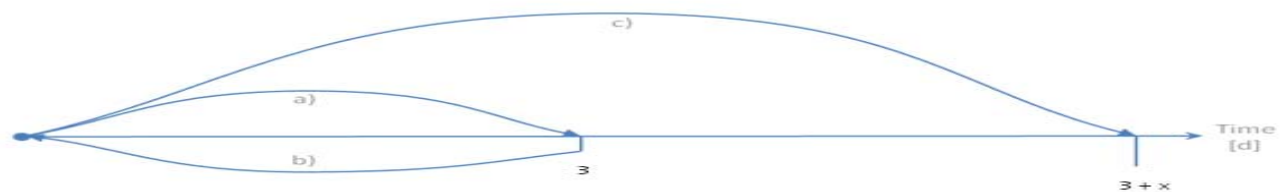


Abbildung 3.16 Ablaufschema einer Modellierung: a) Modellinitialisierung mit Standard-Startwerten b) Rücksetzen des (Simulations-) Projektes auf den Beginn der Simulationsperiode c) eigentliche Simulation über die angegebene Periode mit einer in a) erstellten Ergebnisdatei

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Projektbearbeitung und Bedingungen während des Projektes

Vorrangige Ziele des Referenz-Projektes waren

- a) Aufzeigen einer Alternative bzw. eines innovativen, erklärenden Instruments zum aktuell existierenden NID (Nitatinformationsdienst) und damit Wegweisung für ein Konzept mit periodischer Beprobung weniger, repräsentativer Referenzflächen anstelle einmaliger Probenahmen auf vielen, meist zufällig verteilten Flächen.
- b) Entwicklung des Prototypen eines robusten Simulationswerkzeugs, das über die Abschätzung eines aktuellen $N_{\min}$ Wertes hinaus auch die zeitliche Dynamik zeigt und Erklärungen zur Entstehung der $N_{\min}$ Werte liefern kann.
- c) Anwendbarkeit des Werkzeugs auf beliebige Flächen in einem Großraum unter Beachtung und Gewähr von Praxistauglichkeit, Nutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit im Einsatz.
- d) Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen mit dem NID sollen durch die Integration neuer Instrumente und Technologien – wie Modellierung und Einbindung in ein geographisches Informationssystem (GIS) - die Grundlagen für ein ganzjähriges Monitoring des Stickstoff- und Wasserhaushalts auf Ackerflächen entwickelt werden.
- e) Bereitstellung einer Entscheidungshilfe für Landwirte hinsichtlich möglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen (Bewässerung, Düngung) sowie bei sorgfältiger Datenerfassung ein Dokumentationssystem für die ordnungsgemäße Bewirtschaftung.
- f) Schaffung der Voraussetzungen für die Weiterentwicklung des Referenz-Werkzeugs zu einem landesweit und kulturübergreifend einsetzbaren Instrument auf der Basis einer funktionsfähigen Pilotanwendung.
- g) Kritische Überprüfung des im Pflanzenmodell für Mais Korn angesetzten N-Gehalts.
- h) Schließlich soll das geschaffene „Referenz-Werkzeug“ einen Beitrag zur sachgerechten und effizienten N-Düngung und damit zu einem besseren Klima- und Gewässerschutz leisten.

Zum Ende des Projekts kann festgestellt werden, dass die anvisierten Ziele im Wesentlichen erreicht werden konnten oder verfügbar sind. Wege und Vorgehensweisen zum Zustandekommen der Resultate sind nachfolgend erläutert.

Die Ergebnisse zur technischen Umsetzung der Projektidee wurden bereits im Methodenteil ab Kapitel 3.5. dargestellt).

4.1.1 Kooperation mit Landwirten und Dokumentation von Felddaten für die Modellanwendung und Validierung

Eine erste wichtige Voraussetzung für die Anpassung und Erprobung des Expert-N Modells am Oberrhein war die Mitarbeit von Landwirten bei der Zusammenstellung regionaltypischer, betriebsüblicher Kenndaten zum Maisanbau. Die Landwirte in der Region standen dem Projekt

mehrheitlich offen gegenüber und bis zur zweiten Vegetationsperiode 2008 konnten 14 Landwirte zur Mitarbeit beim Referenzprojekt gewonnen werden (siehe Autoren und Projektpartner im Vorspann). Sie stellten acht Referenzflächen und 64 sogenannte Simulationsflächen zur Erhebung repräsentativer Daten für die Modellkalibrierung und –validierung zur Verfügung. Dabei gelang es, die Flächen so zu verteilen, dass sie das ganze Projektgebiet abdeckten und auch die Diversität der Böden gut abgebildet werden konnte (siehe Kap. 3.2.2 3.2 und Anlagen).

Alle Landwirte erhielten zu jedem Schlag für jedes Bewirtschaftungsjahr einen Fragebogen, mit dem die relevanten Schlaginformationen erfasst wurden (Abbildung 4.1). Alternativ dazu konnten ab dem zweiten Jahr auch Ausdrucke der betriebseigenen Schlagkartei-Software bereit gestellt werden. Für die Bearbeitung der Fragebögen erhielten die Landwirte eine angemessene Aufwandsentschädigung. Die Schlagkarteiinformationen wurden in Gesprächen mit dem Projektkoordinator auf ihre Plausibilität hin überprüft und wo nötig komplettiert. Landwirte mit „Referenz-Flächen“ auf denen Bodenprofile gegraben wurden und die mehrmals pro Jahr beprobt wurden, erhielten zusätzlich eine jährliche Flächenpauschale wegen möglicher Flurschäden und für die Überlassung als Feldversuchsstandort.

Die Landwirte standen außerdem für Rückfragen des Projektteams zur Verfügung und nahmen an jährlich stattfindenden Projekttreffen teil, bei denen über den Stand der Projektarbeit informiert wurde und bei denen noch offene und neu auftretende Fragen besprochen werden konnten. Im Gegenzug erhielten die Eigner der Referenzflächen die Resultate der Grunduntersuchung ihrer Flächen und die Bodenbeschreibungen mit den Bodenprofilaufnahmen. Außerdem wurden alle teilnehmenden Landwirte regelmäßig über die gemessenen N_{min} Werte auf ihren Flächen informiert. Gegen Ende der Projektlaufzeit erhielten sie einen Zugang zur online-Nutzung des „Referenz-Werkzeugs“ über das Internet. Sie konnten damit im Jahr 2010 Simulationen zum Maiswachstum und zum Stickstoff- und Wasserhaushalt auf ihren Flächen durchführen und die aktuellen Ergebnisse der Messungen und Modellierungen auf den Referenz-Flächen einsehen.

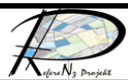
Agentur ANNA und Projektpartner Referenz Projekt		 Seite 1	
Klarastraße 94, 79106 Freiburg			
Müller-Samann (handy): 0176 600 12 619			
Erhebung von Schlagdaten Ref		Flurst. NR.	Gemarkung
Bewirtschafter*	Landwirt N.N.	Düngung 2 Dünger-Form	Datum 2
Flurst.-Nr.*	1584	Bonitur BBCH_10 (Aufgang)	Bonitur BBCH_61 (Blühbeginn männl.)
Referenz- Fläche	RES 24	Informationen	
Angaben zum Schlag:		Art der Bereitstellung	
Fruchtfolge	Jahr	Zuständigkeit	
1.1	2008	Globalstrahlung [MJ/m ²]	tagesgenau
1.2	2007	Windgeschwindigkeit [m/s]	tagesgenau
		rel. Luftfeuchte [%]	tagesgenau
		Phänologische Entwicklung	
		Saattermin	Schlagkartei
		Saattiefe [mm]	Schlagkartei
		Aufgang, BBCH_09	Bonituren im Feld
		Beginn Längenwachstum	Bonituren im Feld
		BBCH_31	Bonituren im Feld
		Blühbeginn männlich	Bonituren im Feld
		BBCH_61	Bonituren im Feld

Abbildung 4.1 Dokumentation der erhobenen Felddaten zum Betrieb des Expert-N Agrarökosystemmodells von der Schlagkartei über die Kalkulationsblätter in die Datenbank

4.1.2 Variabilität von N-Abfuhrn aufgrund unterschiedlicher N-Gehalte im Mais

Schon im Vorfeld des laufenden Projektes konnten die angenommenen mittleren N-Gehalte im Mais Erntegut als Fehlerquelle bei der Bilanzierung und Modellierung identifiziert werden. Sowohl im Expert-N Wachstumsmodell, als auch in den Tabellen zur Düngbedarfsermittlung und Nährstoffbilanzierung werden grundsätzlich 1,5 % Stickstoff in der Korntrockenmasse angenommen. Im Rahmen von Qualitätsuntersuchungen in früheren Projekten konnte aber festgestellt werden, dass die N-Gehalte in den Maiskörnern und damit auch die angenommenen Zahlen für die Entzüge und die N-Abfuhrn mit dem Erntegut zwischen 1,3% und 2% schwanken können. Dies kann bei Berechnungen der Reststickstoffmengen mit einem Wachstumsmodell zu erheblichen Abweichungen führen. Bei einer angenommenen Abfuhr von 100 dt/ha Trockenmasse Maiskorn ergeben sich dadurch Abfuhrn von 130 oder 200 kg N/ha. Gegenüber dem angenommenen Mittelwert von 1,5% N im Korn verbleiben dann vor Winter zwischen 20 kg/ha weniger und 50 kg/ha mehr Stickstoff auf dem Feld.

Angenommen, 50 kg N/ha würden zu Nitrat und über Winter mit 150 mm Niederschlag ins Grundwasser ausgewaschen, so würde das einer mittleren Fracht von über 140 mg Nitrat/l entsprechen. Dies macht deutlich, dass der mögliche Fehler in der Praxis und hinsichtlich der Prognosegenauigkeit des Modells nicht unerheblich ist.

Im Rahmen des Projektes wurde die Thematik deshalb mit dem Ziel aufgegriffen, Möglichkeiten für eine bessere Abschätzung dieses Wertes bei der Modellierung aufzuzeigen. Speziell wurde der Frage nachgegangen, ob es einen mathematisch beschreibbaren Zusammenhang gibt zwischen der Ertragshöhe und den N-Gehalten im Korn oder ob es andere, leicht zugängliche Parameter gibt, die mit geringem Zusatzaufwand eine genauere Abschätzung der N-Gehalte im Korn möglich machen.

Für die Bearbeitung des Themas standen relativ wenige Daten aus eigenen Messungen, vom LTZ in Müllheim und von der badenova zur Verfügung, da in gängigen Feldversuchen mit Mais selten der N-Gehalt des Erntegutes ermittelt wird.

Wie die Zusammenstellung der Maiserträge nach N-Gehalt und Ertragshöhe in Abbildung 4.2 zeigt, waren mit hohen Erträgen in der Tendenz geringere Proteinanteile im Korn verbunden, die Beziehung war aber nicht eindeutig, da auch bei unterdurchschnittlichen Erträgen (aufgrund anderer Ursachen) eine Tendenz zu niedrigeren N-Gehalten im Korn beobachtet wurde. Dies führte dazu, dass keine ausreichend genaue mathematische Beschreibung des Zusammenhangs möglich war. Der Mittelwert aus den 126 vorliegenden Proben lag mit 1,51 % ziemlich genau bei dem vom Modell verwendeten Wert, die sehr hohe Spannweite von 1,0 % bis 2,2 % bestätigte aber die Notwendigkeit, auf eine genauere Abschätzung dieses Wertes hinzuarbeiten.

Erschwert wird ein solches Vorhaben durch den Umstand, dass den N-Gehalten sowohl genetische Ursachen, als auch Umwelteinflüsse zugrunde liegen und dass für hohe Erträge unterschiedliche Faktoren wirksam sind. Die Sorteneigenschaft „Frühreife“ etwa nimmt Einfluss auf die mögliche Dauer der Stärkeeinlagerung nach der Kornausbildung und damit auf die Größe des Mehlkörpers im Maiskorn. Auch sorten- und herkunftstbedingte Unterschiede im Zuchtmaterial nehmen Einfluss auf den N-Gehalt und die Verteilung der N-Anteile auf Keimling und Restsamen (Girardin 1999, Pommel et al. 2006).

Die Umwelteinflüsse während des Wachstums der Maispflanzen sind ebenfalls von großer Bedeutung, da sie in Wachstumsverlauf großen Einfluss nehmen auf qualitätsbestimmende Eigenschaften und die wichtigsten Ertragsparameter. Die Ertragskomponenten Pflanzen/ha, Kornreihen pro Kolben, Kolben pro Pflanze, Länge der Kolben, Kornzahl pro Kolben und das Tausendkorngewicht werden durch gute Bedingungen oder durch Stress in unterschiedlichen Wachstumsphasen des Mais stark beeinflusst. Dies wirkt sich auf die Menge an erntefähigen Körnern und auf die Kornqualitäten aus. Gleiches trifft für Umwelteinflüsse wie Hagel, Schädlings- oder Krankheitsbefall ab einem bestimmten Entwicklungsstadium zu. Sie führen unter anderem zu einer reduzierten Blattfläche zu reduzierter Photosynthese während der Abreife und zu einer Verringerung der Rückverlagerung von Stickstoff aus den Blättern in die Samen.

In der Zusammenschau legt dies den Schluss nahe, dass einfache Methoden für eine verbesserte Abschätzung des N-Gehaltes nur bedingt zum Ziel führen. Eine Herleitung der N-Gehalte im Korn über die Bedingungen im Wachstumsverlauf, das heißt aus dem Mais-Wachstumsmodell heraus scheint – eine geeignete Datenlage vorausgesetzt – am ehesten erfolgversprechend, hätte aber den Rahmen des Projektes bei weitem gesprengt.

Beim Versuch die N-Gehalte im Korn an einer leicht zu bestimmenden und im Modell mitzuführenden Eigenschaft festzumachen, wurde auch der Frage nachgegangen, ob es möglich ist, aufgrund des Korntyps genauere Aussagen zum N-Gehalt zu treffen. Bei den Kornanalysen war aufgefallen, dass die Hartmaistypen überdurchschnittliche N-Gehalte aufwiesen.

Beim Korntyp werden in den amtlichen Sortenlisten fünf Klassen unterschieden: Hartmais, hartmaisähnlicher Typ, Zwischentyp, zahnmaisähnlicher Typ und Zahnmais. Die Eigenschaft lässt sich in der Modelldatenbank als Sortenmerkmal leicht hinterlegen, so dass mit Eingabe des Sortennamens automatisch auch der Korntyp mit seinem typischen N-Gehalt und der Reifegruppe in die Modellierung einbezogen werden könnte. Da das zur Verfügung stehende Datenkollektiv relativ klein war, wurden bei der Projektbearbeitung nur die drei Typen Hartmais, Zahnmais und Misch- oder Zwischentypen unterschieden und mit ihren N-Gehalten aufgeführt. Wie die Ergebnisse in den Abbildung 4.2 bis Abbildung 4.5 zeigen, ergaben sich beim Vergleich der Mittelwerte deutliche Unterschiede. Die Hartmaistypen lagen mit 1,9% N-Gehalt ($sd=0,1$) über dem mittleren N-Gehalt von 1,5 % ($sd=0,2$) bei den Zwischentypen. Die reinen Zahnmaistypen hatten mit 1,4 % N ($sd=0,14$) im Mittel niedrigere Gehalte.

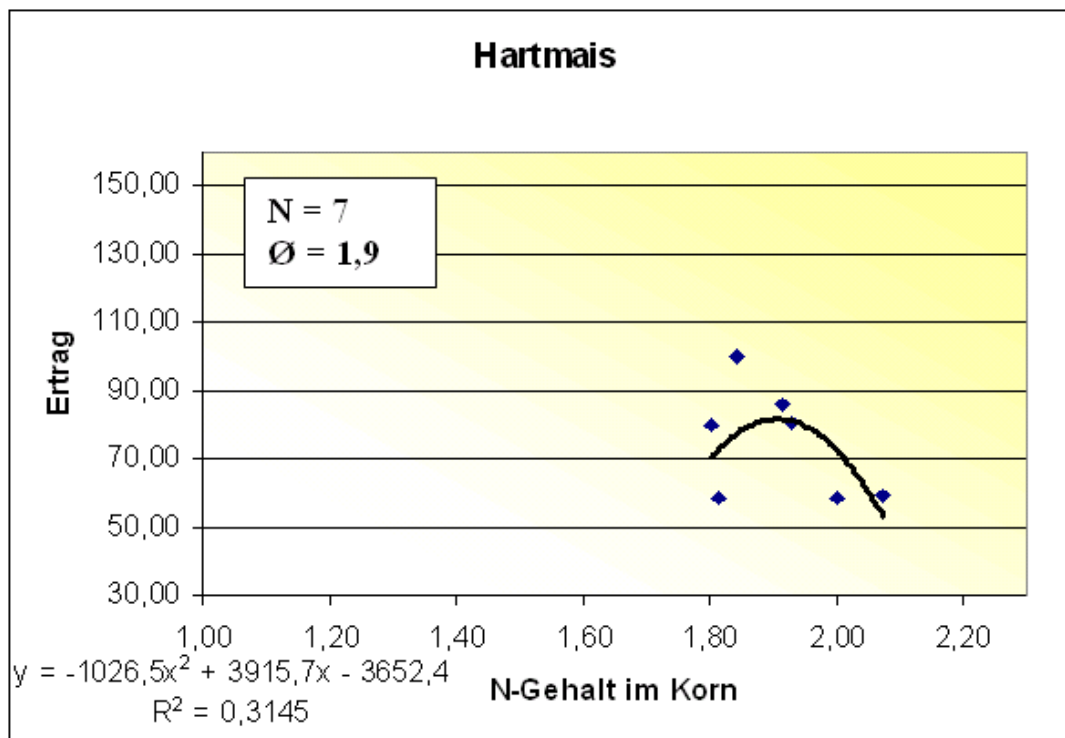


Abbildung 4.2 . Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Hartmaistypen

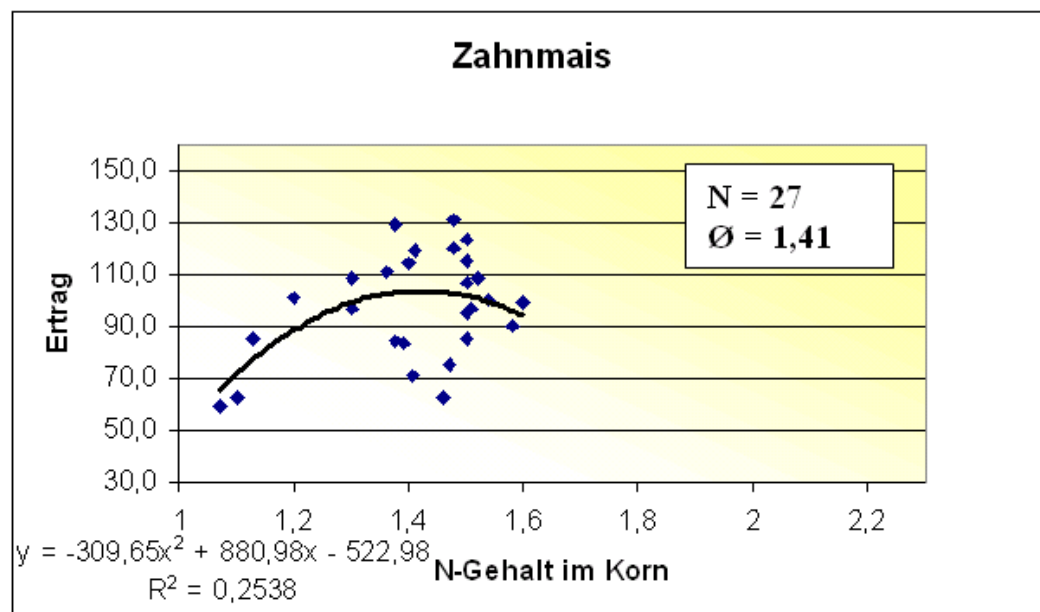


Abbildung 4.3 Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Zahnmaistypen

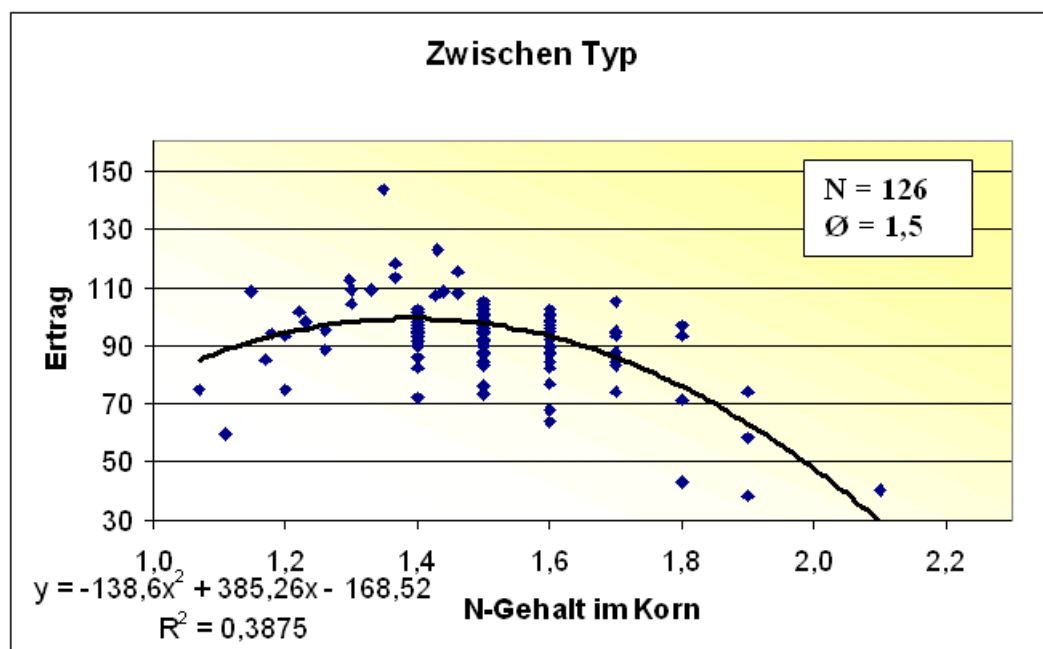


Abbildung 4.4 Kornertrag und N-Gehalte in der Trockenmasse von Zwischentypen

Die Unterschiede beim mittleren N-Gehalt der Korntypenklassen ließen sich, trotz der teilweise geringen Anzahl von Beobachtungen durch einen Mittelwertvergleich (Fischer's LSD Test, $\alpha=0,05$) statistisch absichern.

Obgleich dieses Ergebnis wegen der unterschiedlichen Zahl von Proben und einer insgesamt geringen Anzahl von Beobachtungen nicht abschließend bewertet werden kann, wäre es nach diesen Ergebnissen sinnvoll, bei zukünftigen Modellierungen unterschiedliche Parameter für die N-Gehalte der drei Korntypenklassen zu verwenden und nach Maissorten zu differenzieren. Dies setzt allerdings voraus, dass die Informationen zum Korntyp auch in der Modelldatenbank hinterlegt sind. In einem online Modellierungswerkzeug wie „RefereNz“ kann dies leicht dadurch bewerkstelligt werden, dass eine jeweils aktuelle, zentral und einmal jährlich überarbeitete Sortenliste hinterlegt wird. Der Modellnutzer müsste dann nur den Sortennamen eingeben, um dem Modell mitzuteilen, welchen Wert es für den N-Gehalt der geernteten Körner verwenden soll (siehe Liste in Anlage 8.12).

Als Fazit lässt sich nach diesen Untersuchungen festhalten, dass für eine grundsätzliche Verbesserung der Abschätzung des Modellparameters N-Gehalt im Mais Korn eine Ableitung dieser Größe aus dem Wachstumsmodell heraus am sinnvollsten wäre. Nur auf diesem Wege scheint es möglich auf Grundlage der genetischen Disposition und der Wachstumsbedingungen im Vegetationsverlauf die Ausbildung der ertragsphysiologischen Parameter und deren Einfluss auf den N-Gehalt zu bestimmen. Anschauliches Argument für ein solches Vorgehen ist z. B. die in Abbildung 4.5 dargestellte Häufung hoher N-Gehalte bei sehr niedrigen Kornerträgen. Sie kann auf eine Kombination von hohem Stickstoffangebot und wenigen Kornanlagen/Pflanze zurückgehen, denn Trockenstress zur Blüte z.B. reduziert die Anzahl der Körner pro Kolben und Pflanze. Die weniger angelegten Körner werden später dann aber besser mit Stickstoff versorgt. Trockenstress in der Kornfüllungsphase kann zu ähnlichen Ergebnissen führen, die Ursache wäre aber verschieden.

Bis zu einer Erklärung differenzierter N-Gehalte aus der Simulation heraus, die auch Modifikationen am Modell notwendig macht, könnte nach den Ergebnissen des Projekts eine Verbesserung auch schon dadurch erreicht werden, dass bei der Modellparametrisierung für Hartmais 1,7 %, für Zwischentypen 1,5 % und für Zahnmaistypen 1,4 % als N-Gehalt verwendet werden.

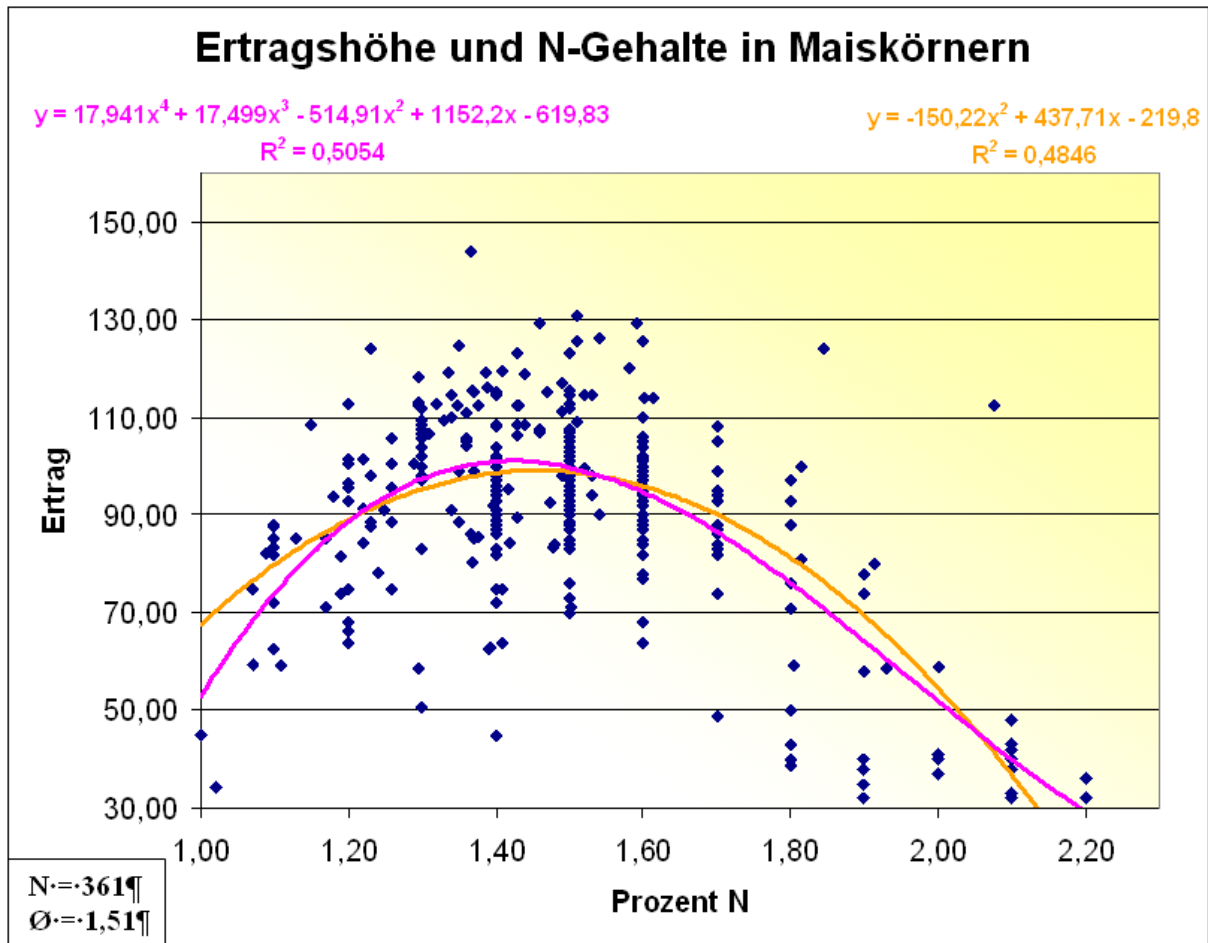


Abbildung 4.5 Beziehungen zwischen gemessenem Ertragsniveau bei Körnermais und den mittleren N-Gehalten im Maiskorn bei allen Maistypen.

4.2 Modellevaluierung

Mit den in Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5 vorgestellten Parametrisierungen für Boden und Pflanze wurden die Jahre 2006 bis 2009 mit Expert-N simuliert. Da erst im Laufe des Projekts Messungen und Vergleichswerte für die Modellgüte erhoben wurden, war eine Modellkalibrierung und Validierung im konventionellen Sinn nur bedingt möglich. Mit Fortschreiten des Projektes wurde die Vergleichsbasis größer und die Modellevaluierung auf eine breitere Basis gestellt. Zusätzlich zu den acht RER Standorten, die zur Optimierung des Modells häufig beprobt wurden, existierten im Projekt 64 sogenannte RES-Flächen oder Simulationsstandorte. Sie wurden weniger dicht beprobt und dienten mit den erhobenen Daten als unabhängiges Datenkollektiv auch zum Test der Modellgüte.

Die Modellinitialisierung kann, wie bereits erwähnt, auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Zum einen über eine Initialisierung mit angenommenen Startwerten, zum anderen über das Einlesen der Ergebnisse aus der davor liegenden Modellperiode. Für das Jahr 2006 wurde das Modell mit mittleren Startwerten initialisiert, alle weiteren Perioden in der Projektlaufzeit wurden dann jeweils aufsetzend auf Ergebnissen der Vorjahresperiode initialisiert.

Als Referenz- und Vergleichswerte wurden die im Feld erhobenen Messungen und Beobachtungen herangezogen (Bonituren, Ertragsbestimmungen, Laboruntersuchungen zu C- und N-Gehalten der Ernteproben und Pflanzenrückstände, Messungen des im Boden vorhandenen, mineralisierten Stickstoffs und des Bodenwassergehalts).

Außerdem wurden die Modellergebnisse mit den Frühjahrs-Werten des Nitratinformationsdienstes NID für die Oberrheinebene verglichen (LTZ Augustenberg) und gemeinsam mit diesen, anhand der gemessenen Werte auf den Ackerflächen in ihrer Güte bewertet.

4.2.1 Nitrat-Stickstoff im Boden ($N_{\min}$)

Die Modellevaluierung erfolgte unter Beachtung der durchgeführten Düngungsmaßnahmen, wobei für den Vergleich jeweils der letzte Termin vor der ersten Stickstoffdüngung auf dem Feld betrachtet wurde, an dem es gleichzeitig einen veröffentlichten NID-Wert (Körnermais, Region Oberrheingraben) als Vergleichswert und einen „zugehörigen“ $N_{\min}$ -Messwert von den Projektflächen gab.

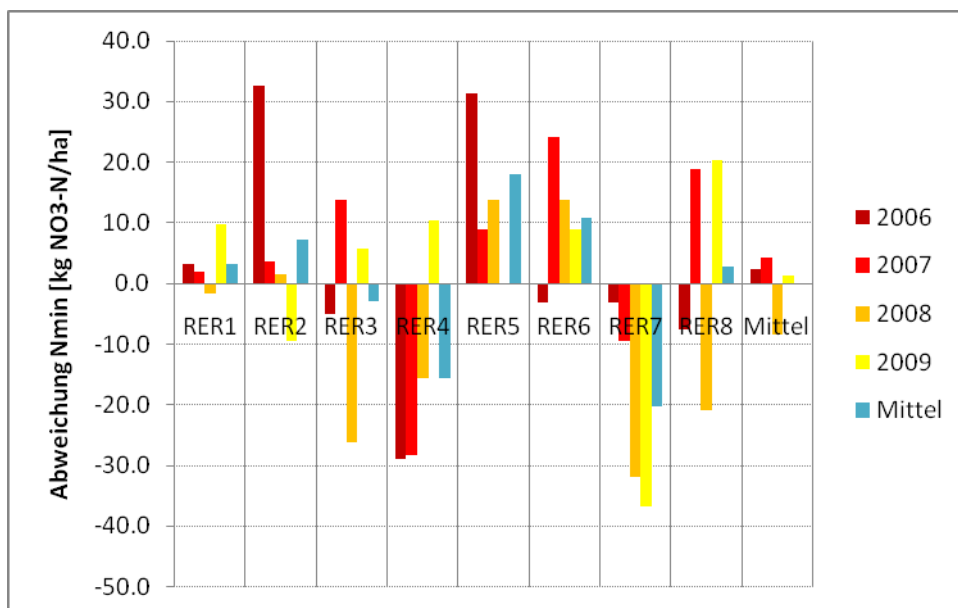


Abbildung 4.6 Mittlere Abweichung der modellierten von den gemessenen $N_{\min}$ -Werten in 0-90 cm Bodentiefe in kg N/ha als Nitrat.

Abbildung 4.6 zeigt die mittleren jährlichen Abweichungen der Modellwerte und der Messwerte für $N_{\min}$. Auf Fläche RER1 war die mittlere Abweichung deutlich geringer als z. B. auf der Fläche RER7. Eine einheitliche systematische Abweichung in den betrachteten Jahren war nur auf den Flächen RER5 und RER7 zu erkennen, auf denen der $N_{\min}$ -Wert kontinuierlich über- bzw. unterschätzt wurde. Bei RER5 handelte es sich um einen sehr steinhaltigen, durchlässigen Boden (Pa-

rabraunerde auf Niederterrassenkies) und bei RER7 um eine Fläche mit regelmäßiger, langjähriger Anwendung von Schweinegülle. Im Gesamtmittel betrug die Abweichung 0,1 kg N/ha, so dass das Modell im Gesamtkollektiv keine systematischen Abweichungen anzeigte.

Bei genauer Betrachtung der Abweichungen auf der Fläche RER7 über die Vegetationsperiode hinweg fiel auf, dass die gemessenen Abweichungen nach Düngergaben oft höher waren als bei der Modellierung. Die verstärkt einsetzende Mineralisierung mit vorübergehend sehr hohen Freisetzungsraten als Folge langjähriger organischer Düngung (Laurenz, 2010) wurde hier vermutlich vom Modell unterschätzt (Abbildung 4.7).

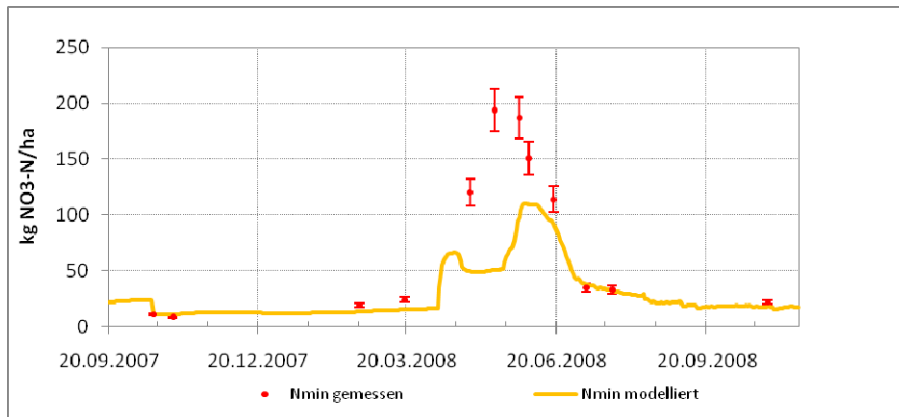


Abbildung 4.7 $N_{\min}$ -Ganglinie und Messwerte für 0-90 cm bei Fläche RER7

Bis Ende März 2008 wurden die gemessenen $N_{\min}$ -Werte auf der Fläche RER7 gut vom Modell wiedergegeben. Am 09.04.2008 fand eine Düngung mit Schweinegülle mit ca. 60 kg N/ha statt, welche vom Modell auch angezeigt wird. Danach stiegen die Messwerte ohne weitere Düngungsmaßnahmen bis auf 194 kg NO₃-N/ha Anfang Mai an. Nach der zweiten Düngung am 18.05. mit 270 kg/ha Sulfamo (ca. 70 kg N/ha) fielen die Messwerte dann wieder ab, während das Modell einen 2. Peak anzeigte. Ab Ende Juni 2008 waren die Messwerte mit den Modellwerten wieder nahezu identisch. Laurenz (2010) schildert ähnlich dynamische Mineralisationsverläufe nach langjähriger Düngung mit Gülle.

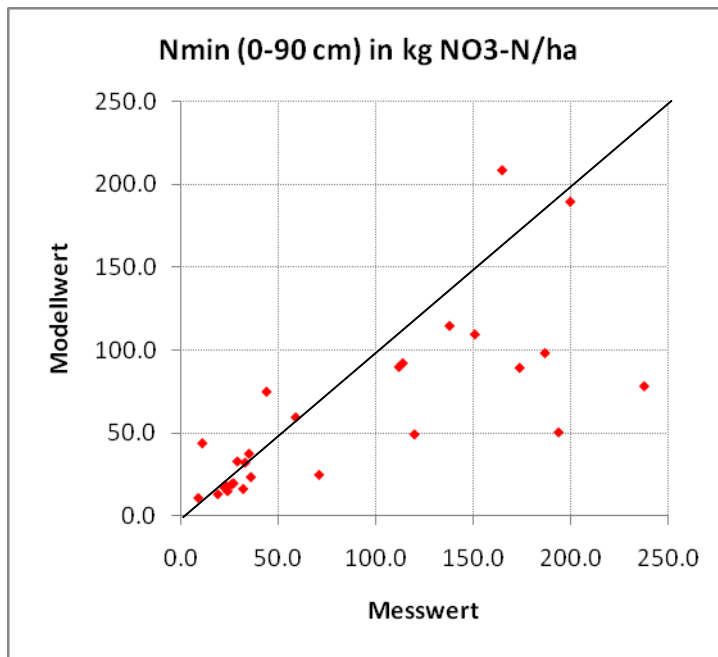


Abbildung 4.8 Eins zu eins Vergleich gemessener und modellierte $N_{\min}$ -Werte in einem Punktdiagramm für RER7 (2006-2009)

Abbildung 4.8 zeigt eine andere Darstellung des oben geschilderten Sachverhalts. Die rote Linie markiert den Idealzustand, wo modellierte Werte und Messwerte zu einem bestimmten Zeitpunkt identisch sind. Werte über der roten Linie markieren Überschätzungen durch das Modell, Werte unterhalb der roten Linie zeigen Unterschätzungen des Modells. Die Abbildung zeigt nur wenige Werte oberhalb der roten Linie. Vermehrt treten Werte unterhalb der Linie und bei hohen $N_{\min}$ -Werten auf. Auf diesem Standort unterschätzt das Modell demnach die starken Mineralisierungsschübe als Folge langjähriger organischer Düngung. Die obige Grafik mit der Punktverteilung zeigt nicht auf, ob der gemessene Wert nicht schon einmal kurz vorher oder kurz nachher erreicht wurde, sondern stellt nur den Wert dar, wie er zum Messzeitpunkt vom Modell simuliert wurde (siehe zum Beispiel Simulationsverlauf und Messzeitpunkte im Mai 2007 in Abbildung 4.9).

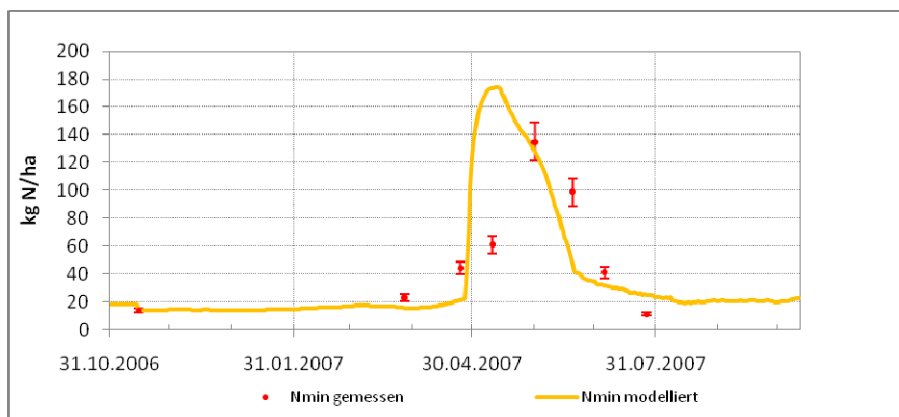


Abbildung 4.9 Vergleich einer simulierten $N_{\min}$ -Ganglinie mit Messwerten (0-90 cm) für Fläche RER2

In Abbildung 4.9 ist zu erkennen, dass der Dünger Alzon 46 als Harnstoff mit Nitrifikationshemmer, welcher die $N_{\min}$ -Werte ansteigen ließ, in diesem Fall vom Modell zu schnell freigesetzt wurde, was zur Folge hatte, dass der Messwert am 10.05.2007 bereits deutlich überschritten wurde und dann auch früher wieder abfiel.

C- und N-Pools

Die Menge an Stickstoff und Kohlenstoff im Boden ist abhängig vom Klima, der Bodenart, der Vorgeschichte einer Fläche, vom Umgang mit Pflanzenrückständen und von der Bewirtschaftung. So können sich Humusvorräte oder sogenannte „pools“ über die Jahre auf unterschiedlichen Standorten verschieden entwickeln und bei gleichbleibender Bewirtschaftung stellt sich in der Regel ein dynamischer Gleichgewichtszustand ein. Für die Modellvalidierung sind solche Situationen, bei denen sich die Bewirtschaftungsmuster über einen längeren Zeitraum nicht groß verändern günstig. Im vorliegenden Fall konnte bei einer Modellinitialisierung mit aus der Reichsbodenschätzung abgeleiteten Startwerten (sie stellen nur Näherungslösungen für den beschriebenen und mehr oder weniger erwarteten Gleichgewichtszustand dar) in der kurzen Projektlaufzeit noch kein Gleichgewichtszustand erreicht werden. Auf nahezu allen Flächen nahmen die Humus- und Stickstoffgehalte noch ab (Abbildung 4.10), es war jedoch zu erwarten, dass sich ein Gleichgewicht nach weiteren 2-4 Modelljahren einstellen würde.

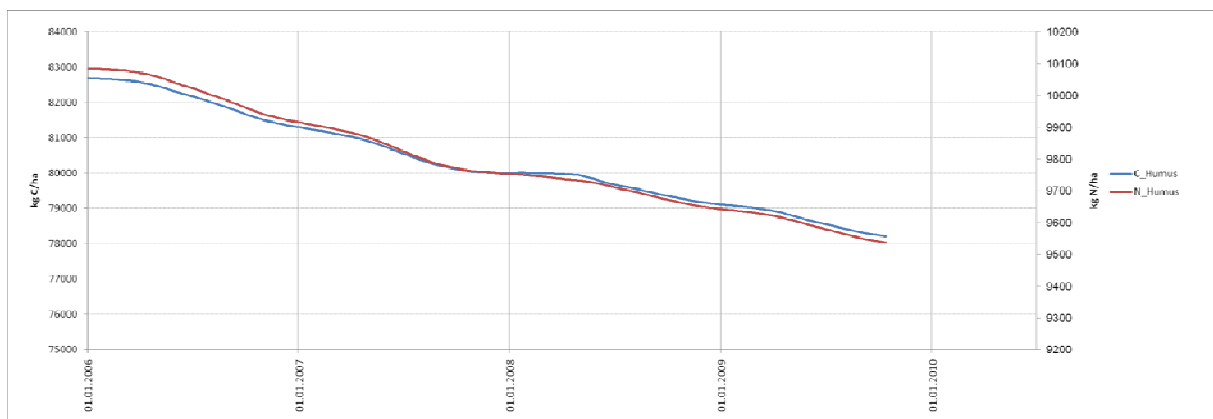


Abbildung 4.10 Beispiel zu einer Simulation der Entwicklung der Gehalte von C und N im Humus auf Fläche RER4 mit Saatmais über etwa vier Jahre.

Auf der Referenzfläche RER4 beispielsweise ergab sich bis zum Jahr 2009 ein relativ starker Humus-Abbau. Der ehemals als Grünland genutzte Auenboden hatte hohe C- und N-Ausgangsgehalte und war nach den Ergebnissen der Profilgrabung bis in Bodentiefen von 70 cm als schwach humos beschrieben. Entsprechend diesen Sonderbedingungen sind die modellierten N-Gehalte (Abbildung 4.6) vermutlich auch niedriger als die gemessenen Werte.

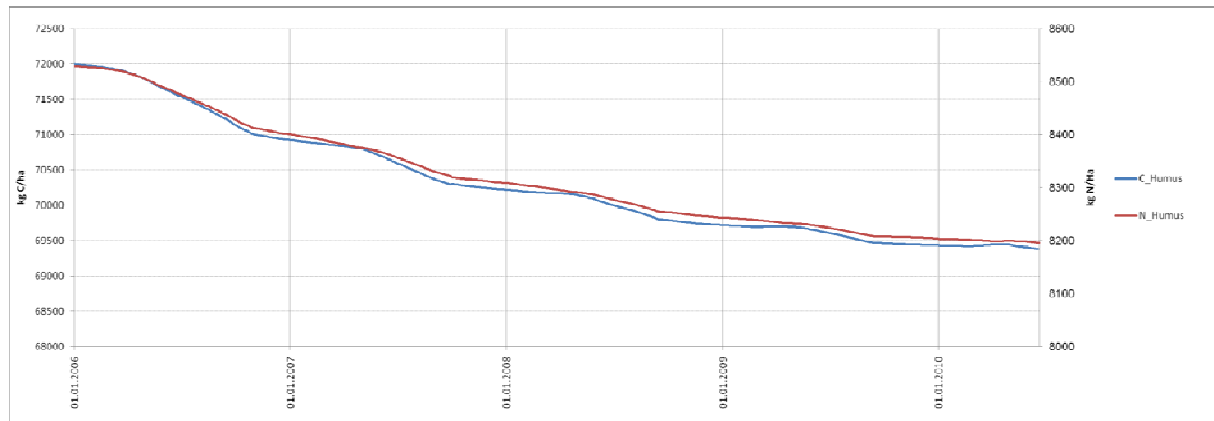


Abbildung 4.11 Beispiel zur Simulation der Entwicklung der Gehalte von C und N im Humus auf Referenzfläche RER3 über etwa vier Jahre.

Verglichen mit Referenzfläche RER4 zeigt RER3 in 2009 erstmals einen leichten Humusaufbau, während C- und N-Gehalt am Anfang der Projektzeit zunächst ebenfalls kontinuierlich gesunken waren. Die Startgehalte waren nicht so hoch, wie bei RER4, was auch durch die Profilgrabungen belegt werden konnte. In 30-60 cm war der Humusgehalt schwach, in größeren Tiefen fand sich kein Humus mehr.

Mit dem Erreichen eines Gleichgewichtes im C- und N-Pool (bei konstanten Bewirtschaftungsbedingungen) wird gezeigt, dass die Parametrisierungen der Umsatzraten im Boden eine konsistente Modellierung der Untergrundverhältnisse erlauben.

4.2.2 Bodenwasser

Im Gegensatz zum Stickstoffhaushalt, wo Expert-N keine systematischen Abweichungen zeigte, traten bei der Simulation des Bodenwasserhaushalts systematische Abweichungen auf. In ihrer absoluten Größe zeigten die Modellwerte für den Bodenwassergehalt aber überwiegend gute Anpassungen. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass das Bodenwassermodul trotz der großen Bodenunterschiede (vgl. Abschnitt 3.2.2) relativ robuste Modellergebnisse liefert.

Abbildung 4.12 zeigt die mittleren Abweichungen der Bodenwassergehalte (0-90 cm) für die Jahre 2006 bis 2009. Es ist zu erkennen, dass auf den Flächen RER1, RER6 und RER7 der Bodenwassergehalt systematisch unterschätzt wurde. Die mittleren Abweichungen sind in Tabelle 4.1 aufgelistet.

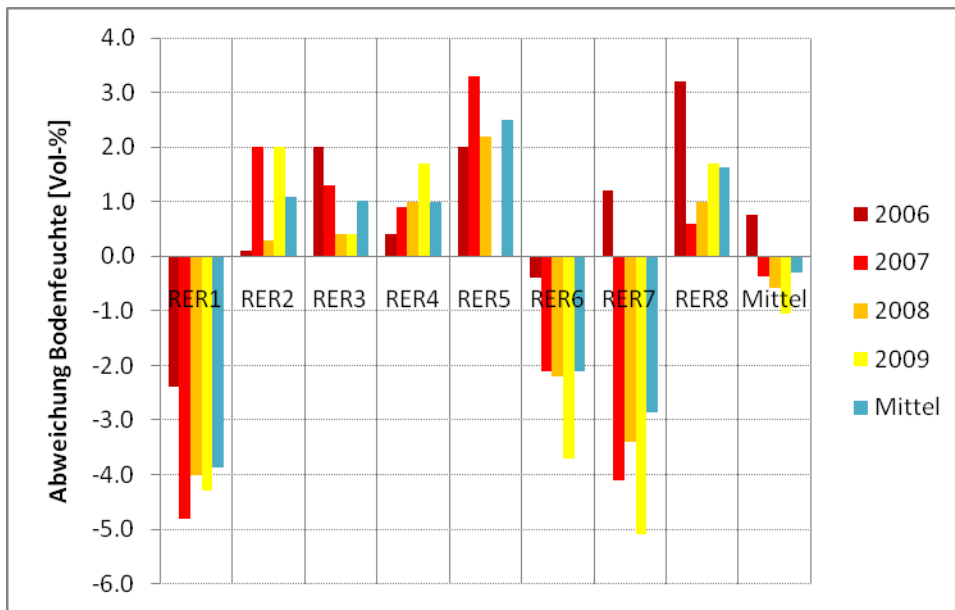


Abbildung 4.12 Mittlere Abweichungen der Modellwerte zur Bodenfeuchte von gemessenen Bodenfeuchtwerten von 0-90 cm Bodentiefe in Vol-%

Tabelle 4.1 Mittlere Abweichungen der modellierten Bodenwassergehalte von den gemessenen Werten auf Referenzflächen für die Jahre 2006 bis 2009 in 0-90 cm Bodentiefe.

Fläche	RER1	RER2	RER3	RER4	RER5	RER6	RER7	RER8	Mittel
Abweichung in Vol %	-3.9	1.1	1.0	1.0	2.5	-2.1	-2.9	1.6	-0.3
nFK [mm] der Flächen	136	132	235	157	140	127	154	210	

RER1 unterschätzt den Bodenwassergehalt besonders im Mittel- und Unterboden und auch bei Fläche RER6 waren die Abweichungen im Bodenwassergehalt im Mittel- und Unterboden zu finden.

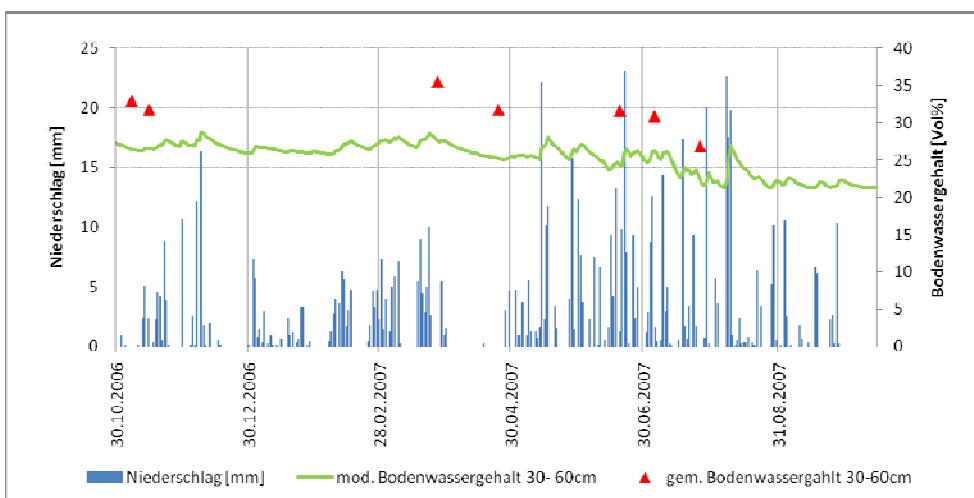


Abbildung 4.13 Simulierte und gemessene Bodenwassergehalte auf Fläche RER1 in 30-60 cm Tiefe

Die Niederschläge der Vegetationsperiode 2007 (Abbildung 4.13 ab dem 30.04.) waren überdurchschnittlich hoch. Selbst auf leichten Standorten konnte deshalb in diesem Versuchsjahr auf Beregnung verzichtet werden. Auf Flächen die zu Staunässe neigen (z.B. RER 8) litten dagegen die Maisbestände bis in den August hinein unter eher zu feuchten Verhältnissen. Die Niederschlagssituation im Projektgebiet ist in Anlage 8.13 für die Jahre 2008 bis 2010 in ihrem Jahresverlauf dargestellt.

4.2.3 Ertragsmodellierung

In Abbildung 4.14 sind auf Basis der simulierten Mais-Kornerträge und der gemessenen Kornerträge die mittleren Abweichungen der modellierten N-Abfuhr mit dem Erntegut aufgeführt. Im Vergleich mit den Messwerten waren sie sowohl von Fläche zu Fläche, als auch von Jahr zu Jahr in Ausmaß und Richtung der Abweichungen unterschiedlich.

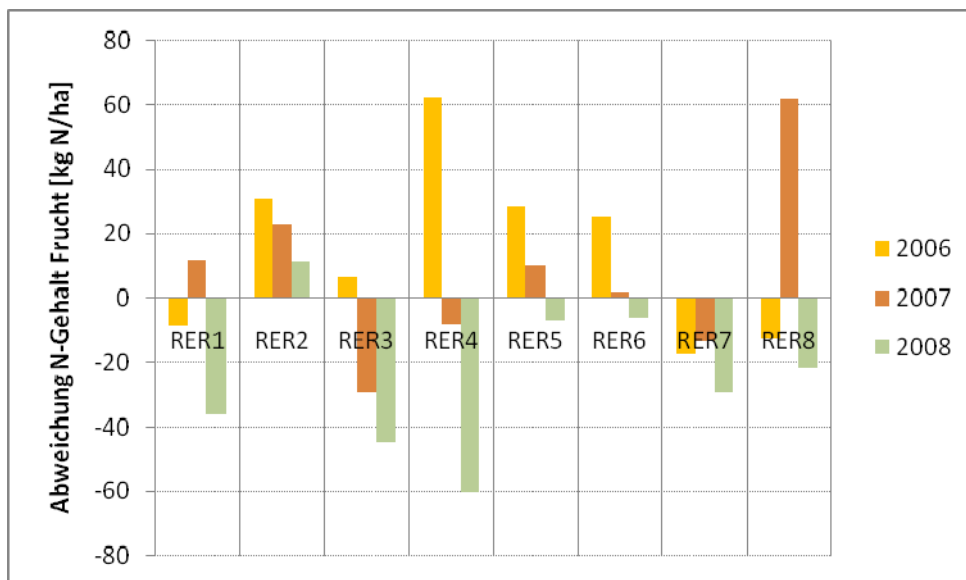


Abbildung 4.14 Abweichungen der modellierten N-Gehalte beziehungsweise der N-Gehalte in der Erntefuhr gegenüber gemessenen N-Abfuhr mit der Körnermaisernte in kg N/ha.

Während Expert-N im Jahr 2006 die N-Abfuhr meistens überschätzte (es war ein Sommer mit verbreitetem großem Hitzestress in der Maisblüte), sind die Abweichungen im Jahr 2008, in dem zur Abreife fast ideale, ausgeglichene Wachstumsbedingungen herrschten, meist negativ. Dies deutet darauf hin, dass das Modell (ohne Berücksichtigung von Reifegruppe und Sorte) das Potenzial der im Anbau befindlichen modernen Maissorten eher unterschätzte. Die Ertragsminderungen durch Hitze- und Trockenstress im Jahr 2006 wurden tendenziell dagegen wohl eher unterschätzt.

Wirklich große Abweichungen bei der N-Abfuhr, die über das Niveau der oben angesprochenen Tendenzen und von Störfaktoren, wie etwa dem Einfluss unterschiedlicher N-Gehalte im Korn hinausgehen (Abschnitt 0) traten nur bei den Parzellen RER4 und RER8 auf. Auf Parzelle RER4 handelte es sich um Saatmais, der je nach verwendeten Zuchtlinien sehr große Ertragsunterschiede zeigt und dessen Erträge mit existierenden Modellen nur ansatzweise reproduziert werden können bzw. in der Regel überschätzt werden. Nur in 2008, als die Sorte „Agromax“ vermehrt wurde, die bekanntermaßen sehr hohe Saatguterträge liefert, lag die Abfuhr auf den mit Mutterpflanzen

angebauten Streifen sogar höher als im Modell berechnet. Bei Parzelle RER8 handelte es sich um einen staunässeempfindlichen Standort in Bachnähe bei dem hohe Niederschläge und hoher Grundwasserstand im Jahr 2007 die normale Entwicklung des Bestandes beeinträchtigten.

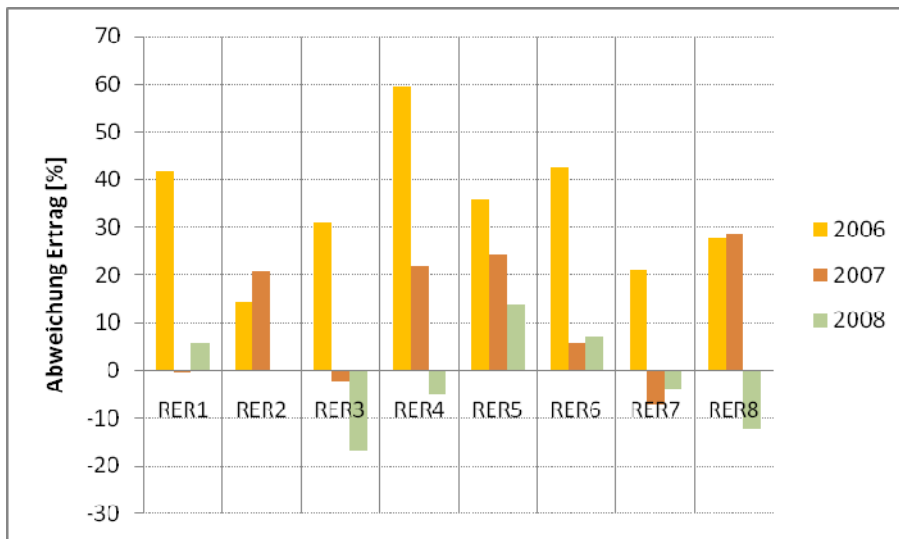


Abbildung 4.15 Relative Abweichung modellierter Mais-Erträge von im Feld beprobten Erträgen

Auch bei Betrachtung der Relativerträge (Abbildung 4.15) lässt sich erkennen, dass die modellierten Erträge im Jahr 2006 systematisch zu hoch lagen, was durch eine Unterbewertung des Hitzestress bedingt sein kann. Die Überschätzung lag im Mittel bei 34 %. In den darauffolgenden Jahren wurde die Abweichung deutlich geringer. Im Jahr 2007 lag die Überschätzung bei durchschnittlich bei 11 %, in 2008 bei -1 %.

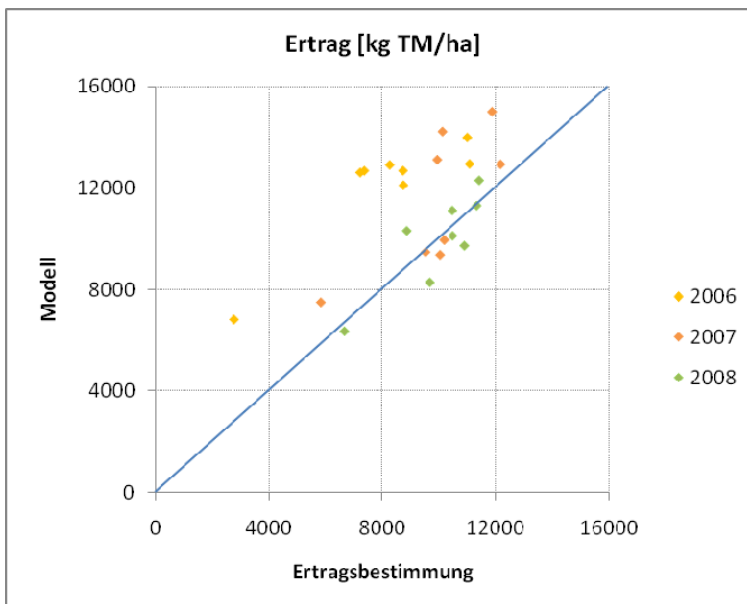


Abbildung 4.16 Diagramm der gemessenen und modellierten Körnermaiserträge.

Abbildung 4.16 zeigt in der Darstellungsweise eines 1:1 Diagramms noch einmal, dass die Erträge für 2008 zufriedenstellend vom Modell simuliert werden konnten, dass 2006 Überschätzungen auftraten und dass im Jahr 2007 Überschätzungen und gute Modellierungen das Bild bestimmten.

Neben den bereits angesprochenen, vom Modell unterschätzten Folgen von Hitze- und Trockenstress rührten die Überschätzungen in der Vegetationsperiode 2006 eventuell auch daher, dass die Pflanzen im Modell verstärkt Stickstoff aus mineralisiertem Humus aufnehmen konnten (Humusabbau, vgl. Abbildung 4.10 und Abbildung 4.11 in Abschnitt 4.2.1).

Was die Reaktionen auf Trockenstress anbelangt, so gab es im Juni/Juli 2006 eine längere Trockenphase. In dieser Zeit reagierten die Bestände im Modell mit einer verminderten Transpiration (siehe Abbildung 4.17). Die potentielle Transpiration (grüne Linie) zeigt sehr hohe Transpirationsraten, während die aktuelle Transpiration (violette Linie) bis Ende Juli relativ geringe Werte von weniger als 1 mm aufwies. Dieses relativ plausible Verhalten mit stark defizitären Verdunstungsraten wirkte sich im Modell kaum auf den Biomasseaufbau aus, welcher in Form der roten Ganglinie kontinuierlich stieg, bis etwa Mitte August die maximale Biomasse erreicht war.

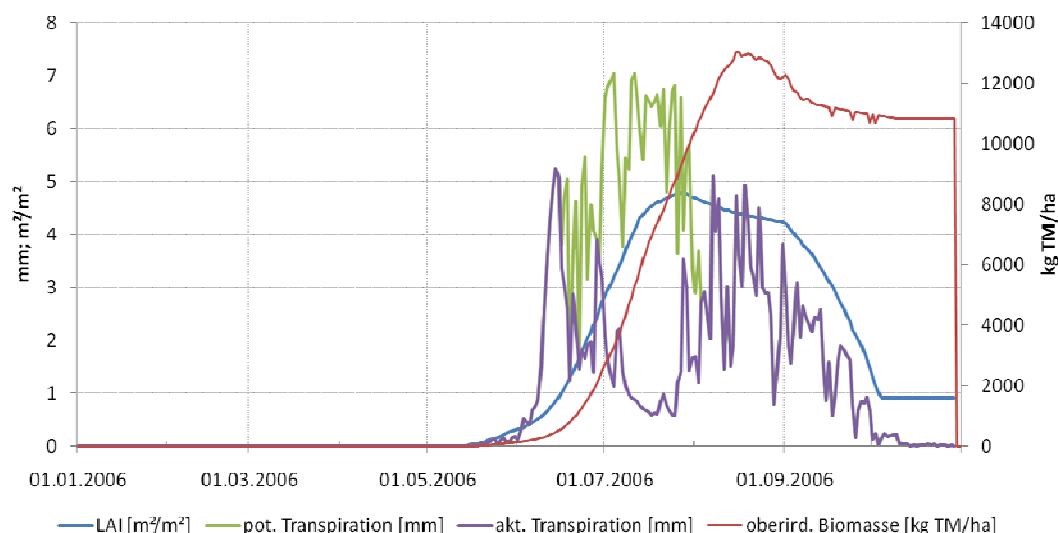


Abbildung 4.17 Entwicklung von Blattflächenindex (LAI), Biomasseaufbau und Transpiration bei der Maismodellierung auf Fläche RER3 im Jahr 2006

Weitere Einflussfaktoren, wie etwa kleinere Pflanzenschäden als Folge von Hagel oder Schädlingsbefall wurden bei der Simulation nicht berücksichtigt, sie könnten im verwendeten Modell aber hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Reduktion der photosynthetisch aktiven Blattfläche (LAI oder Blattflächenindex) berücksichtigt werden.

Auf allen acht Referenzflächen wurde mit der gleichen Pflanzenparametrisierung gerechnet und es wurde lediglich zwischen normalem Körnermais und Saatmaisvermehrung unterschieden. Spezifische Sorteneigenschaften innerhalb der Maistypen (siehe Anlage 8.12) konnten bei den durchgeführten Simulationsläufen nicht berücksichtigt werden. In den Projektjahren 2006 bis 2008

wurden jedoch 17 unterschiedliche Maissorten auf den acht RER-Standorten angebaut und die im Projekt gesammelten Erfahrungen lassen vermuten, dass neuere Maissorten eine bessere Kältetoleranz aufweisen und unter günstigen Wachstumsbedingungen auch ein höheres Ertragspotenzial besitzen, als dies in der Standardparametrisierung des von Expert-N verwendeten Wachstumsmodells angenommen wird. Auch eine Modellierung mit unterschiedlichen Reifegruppen bzw. Kornreifezahlen (FAO Zahlen) scheint notwendig und sinnvoll, um die Synchronisation von Klimaverlauf und Abreife und Ertragsbildung besser abbilden zu können. Eine sortenspezifische Pflanzenmodellierung erfordert unter vergleichbaren Bedingungen abgeleitete, geeignete Parametrisierungen, die im Rahmen dieses Projektes nicht mehr entwickelt werden konnten. Dennoch wird von einem deutlichen Verbesserungspotenzial durch die Einbeziehung der genannten Sortenmerkmale ausgegangen.

4.2.4 Modellierung als Ergänzung zum Nitratinformationsdienst (NID)

Eines der Projektziele bestand darin, Alternativen zum Nitratinformationsdienst auszuloten. Die Vorteile der Modellierung wurden in diesem Zusammenhang bereits angesprochen. Anhand der im Feld gemessenen Werte sollte jedoch auch der Frage nachgegangen werden, wie erste Simulationsergebnisse und NID Werte im Vergleich untereinander zu bewerten sind.

Für die Auswertung wurde ein Kollektiv aus Dreiersätzen von Nitratwert der $N_{\min}$ -Bodenanalyse, einem NID-Wert ($\text{NO}_3\text{-N/ha}$ in 0-90 cm) und einem simulierten Modellwert zusammen gestellt. Die zeitliche Zuordnung wurde dabei so gewählt, dass der letzte NID-Wert vor der ersten N-Düngungsmaßnahme im Frühjahr als Bezug gewählt wurde. Diesem Wert wurde der zeitlich am nächsten liegende $N_{\min}$ -Messwert und der dazu simulierte Modellwert zugeordnet. Für die Jahre 2007 bis 2010 entstanden dadurch 23 Dreiergruppen. Das Jahr 2006 fiel aus der Betrachtung heraus, da die Probenahme im ersten Projektjahr erst nach den Düngemaßnahmen begann.

Für die einzelnen Jahre ergaben sich unterschiedliche Abweichungen vom Messwert (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2 Mittlere Abweichungen der NID- und Modellwerte von gemessenen $N_{\min}$ -Werten der Flächenbeprobungen

Jahr	Modell- $N_{\min}$ [kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$]	NID- $N_{\min}$ [kg $\text{NO}_3\text{-N/ha}$]
2007	-8.5	+13.9
2008	-17.5	+7.4
2009	4.5	+9.4
2010	-9.5	+10.3
Mittel	-7.7	10.2

In drei von den vier betrachteten Jahren war die absolute Abweichung vom gemessenen Wert bei der Modellierung geringer als die der NID-Werte. Lediglich im Jahr 2008 war die mittlere Abweichung vom Messwert größer als die des NID. Auffällig war, dass der NID die Messwerte in allen Jahren systematisch überschätzte, während die Modellwerte eher zu einer systematischen Unterschätzung gegenüber den gemessenen $N_{\min}$ Werten in den Bodenproben tendierten.

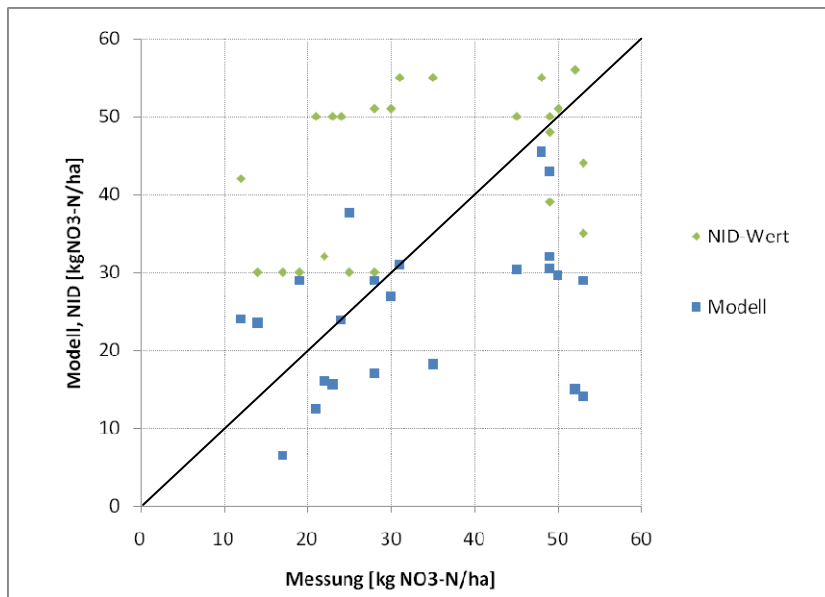


Abbildung 4.18 Diagramm zum Vergleich der $N_{\min}$ -Messwerte (Linie) mit den Modellwerten (blau) und den NID-Werten (grün).

In Abbildung 4.18 sind die Wertegruppen in einem 1:1 Diagramm direkt gegenübergestellt. Deutlich läßt sich die relativ große Streuung der beiden Paarungen erkennen, mit Tendenzen zur Überschätzung durch den NID und zu etwas niedrigeren $N_{\min}$ Werten bei der Modellierung.

4.2.5 Fazit Modellevaluierung

Beim Vergleich der Simulationen der Vegetationsperioden 2006 bis 2009 mit den gemessenen Feldwerten ergab sich ein differenziertes Bild. Die Modellierung des Bodenwasserhaushalts erbrachte für die acht RER-Flächen gute bis sehr gute Ergebnisse. Bei einigen Flächen mit geringer nutzbarer Feldkapazität zeigten sich allerdings auch systematische Unterschätzungen, was darauf hindeutet, dass das parametrisierte Bodenwassermodul bei Bodenverhältnissen mit hohen Kies- und Sandanteilen im Profil an seine modelltechnischen Grenzen gestoßen ist.

Bei der Modellierung des Stickstoffhaushaltes im Boden konnten die düngungsunbeeinflussten Zeitperioden zufriedenstellend vom Modell wiedergegeben werden. Die durch Düngungsmaßnahmen im Verein mit dem Mineralisierungsgeschehen ausgelösten Spitzenwerte wurden dagegen häufig nicht korrekt simuliert. Die Spitzenkonzentrationen wurden teilweise gar nicht erreicht oder aber (stabilisierte) N-Dünger wurden im Modell zu schnell umgesetzt, so dass die Spitzenwerte in der Simulation verfrüht auftraten. Die starken Mineralisierungsschübe, die auf Flächen mit langjähriger Gülledüngung beobachtet wurden und auch aus der Literatur belegt sind, konnten nicht reproduziert werden.

Der Vergleich mit den Werten des NID zeigt, dass die Modellierung in ihrer Güte oder Qualität mindestens so genau ist, wie der NID. Die Abweichungen, die mit dem Modell simulierten $N_{\min}$ Werte von den Messwerten sind in absoluten Zahlen ausgedrückt geringer als die Abweichung der NID-Werte von den Messwerten der zeitgleich durchgeführten Bodenbeprobungen. In der Tendenz unterschätzte Expert-N die Frühjahrswerte für den $N_{\min}$ -Gehalt der Böden, während der NID

(Nitratinformationsdienst) die $N_{\min}$ -Gehalte gegenüber den gemessenen Werten in den betrachteten Jahren systematisch überschätzte.

Die Ertragsmodellierungen konnten noch nicht ganz befriedigen, da die Abweichungen, besonders in 2006 unter ungünstigen Wachstumsbedingungen noch zu groß waren. Teilweise könnte hierfür die im Modell vermehrte Humusmineralisierung im Jahr 2006/2007 ursächlich gewesen sein; bei verbreitet bedarfsorientierten Mineraldüngergaben kann der Einfluss aber nicht das Ausmaß der Überschätzung erklären. Es muss deshalb vermutet werden, dass die zu geringe Empfindlichkeit des Wachstumsmodells gegenüber Hitze- und Trockenstress zu diesem Ergebnis führte. Trotz ausgeprägter Wasserdefizite und sehr hohen Temperaturen im Sommer 2006 hatte sich der Maisbestand in der Modellsimulation ungestört gut entwickelt (Abbildung 4.17). In der Tendenz konnte beobachtet werden, dass das Maismodell von Expert-N bei Stresssituationen eher zu hohe Erträge lieferte, während unter sehr guten Wachstumsbedingungen oder bei kühlen Bedingungen das reale Ertragspotenzial neuer Maissorten mit den Standardparametrisierungen des Modells eher unterschätzt wird.

Es bleibt abzuwarten, wie sich die Ertragsmodellierung in Zukunft darstellt und ob die guten Simulationsergebnisse der Jahre 2007 und 2008 sich auch in der Zukunft reproduzieren lassen.

Die Ertragsbildung und N-Dynamik auf den Saatmaisflächen des Projektes konnten wegen der hohen, sortenbedingten Streuung von Biomasseaufwuchs und -ertrag bei den Ausgangslinien für die Hybridsaatguterzeugung nur ansatzweise simuliert werden. Das sortenspezifisch zu beobachtende stark streuende Ertragsverhalten konnte auch mit veränderten Modelleinstellungen des verwendeten Maiswachstumsmodells für das Gesamtkollektiv nur ungenau abgebildet werden.

4.3 Übertragung der Ergebnisse auf Simulationsflächen

Um die Anwendbarkeit des Modells für das gesamte Projektgebiet zu untersuchen, wurden 64 weitere, sogenannte **Referenz-Simulationsflächen** in die Validierung einbezogen und beprobt, um unabhängige Daten außerhalb des Kollektivs der RER-Flächen zu erhalten. Diese sogenannten RES-Flächen wurden nur 2- bis 3-mal pro Vegetationsperiode auf ihren $N_{\min}$ Gehalt beprobt. Im Frühjahr zur Saat ($N_{\min}$ -Frühjahrswert), bei geteilter N-Düngung noch einmal zum 6-Blatt Stadium und im Herbst nach der Maisernte (Wassergehalt und $N_{\min}$). Die in der Modellierung verwendeten Werte zur Ansprache der Bodenprofile entstammten den im GIS hinterlegten Daten aus der Reichbodenschätzung und nicht wie auf den RER Flächen praktiziert, von Profilaufnahmen der einzelnen Flächen. Mit Hilfe dieser Messwerte und den ebenfalls auf allen Flächen durchgeführten Ertragsbestimmungen wurde untersucht wie robust Modellsimulationen an frei wählbaren, beliebigen Standorten im kartierten Projektgebiet sind.

Auch die RES Flächen (siehe Kartierung in Abbildung 3.1) repräsentierten in ihrer Verbreitung das ganze Projektgebiet hinsichtlich der Variabilität von Klima, Böden und Sorten.

Simulation der Beispielfläche RES 14

Die Fläche, mit einem schwach tonigen Schluff als Untergrund (Reichbodenschätzung) lag nord-östlich der Ortschaft Mengen). Die Modellperiode umfasste den Zeitraum vom 20.10.2007 bis zum 04.12.2008. Für die Evaluierung lagen 3 $N_{\min}$ -Messwerte und 2 Bodenwassermesswerte vor. Die ebenfalls vorliegende Ertragsbeprobung ergab einen hohen Ertrag von 115,6 dt TM/ha Körnermais.

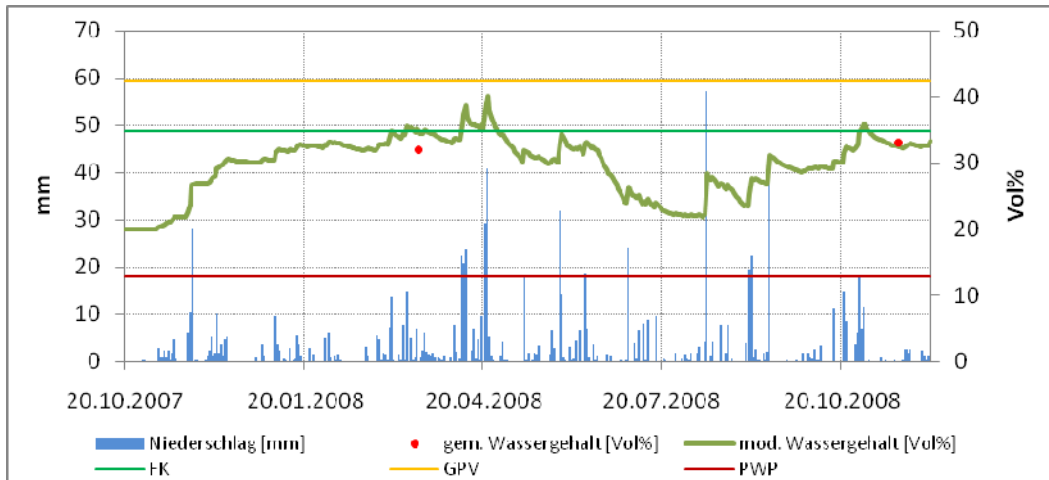


Abbildung 4.19 Simulation des mittleren Bodenwassergehalts von RES14

Der mittlere Bodenwassergehalt (grüne Linie in Abbildung 4.19) wurde durch das Modell plausibel wiedergegeben. Die charakteristische Austrocknung des Bodens im Hochsommer wurde vom Modell ebenfalls gut wiedergegeben. Der Bodenwassergehalt kam nie in den Bereich des sogenannten permanenten Welkepunktes (PWP), ab dem die Pflanzen kein Wasser mehr aufnehmen können, weil die Trockenphase relativ moderat ausfiel und weil der Boden mit einer nutzbaren Feldkapazität (nFK) von 220 mm einen großen pflanzenverfügbaren Wasserspeicher aufwies (220 l/m²).

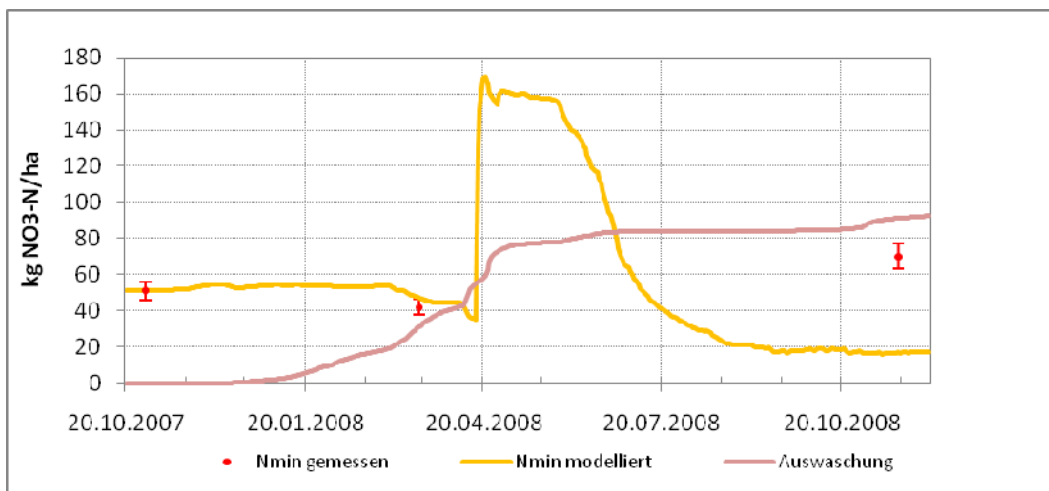


Abbildung 4.20 Gemessene und modellierte $N_{\min}$ -Gehalte in 0-90 cm für die Simulationsfläche RES14

Die $N_{\min}$ -Werte (Abbildung 4.20) zeigten für den Herbst und das Frühjahr vor der Saat gute Anpassungen. Lediglich am Ende der Modellperiode wichen die Messwerte und die Modellergebnisse deutlich voneinander ab, was bei nur einmaliger $N_{\min}$ Beprobung im Herbst allerdings auch durch Messfehler beeinflusst sein kann. Der modellierte Ertrag war mit 102,5 dt TM/ha etwas geringer als der mit Beprobungen bestimmte Ertrag von 115 dt TM/ha. Die verwendeten Hohertragssorten konnten die günstigen, herbstlichen Bedingungen noch gut in Ertrag umsetzen.

Simulation der Flächen RES15 in den Jahren 2007 und 2008

Die Fläche RES15 lag nordwestlich der Ortschaft Norsingen. Die Bodenart war ein stark toniger Schluff (Ut4). Die nutzbare Feldkapazität war mit 189 mm bei einem Meter Bodentiefe relativ hoch, wodurch auch dieser Boden mit einer hohen Wasserreserve gut gegen Austrocknung in Dürreperioden geschützt war. Modelliert wurden die Jahre 2007 und 2008, wobei in beiden Jahren wiederum nur wenige Messwerte zur Kontrolle der Simulationsergebnisse vorlagen. Austrocknungsphasen im Sommer und das Erreichen der Feldkapazität im Winter wurden auch bei dieser Fläche plausibel vom Modell dargestellt (siehe Abbildung 4.21).

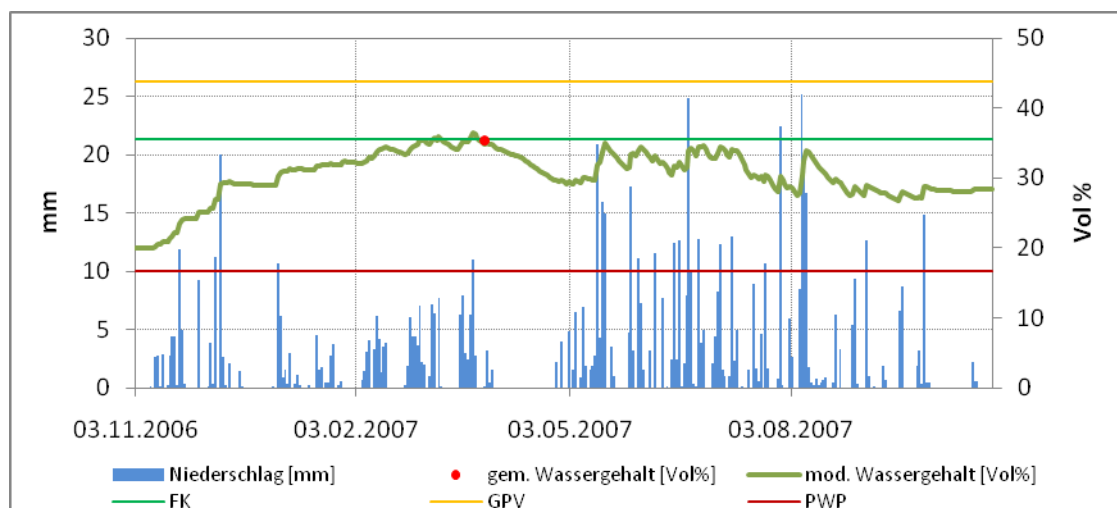


Abbildung 4.21 Messung und Simulation der Bodenwassergehalte der Simulationsfläche RES15

Für die Periode 2006/2007 konnten gute Anpassungen für den Herbst und das Frühjahr erreicht werden. Auswaschung fand hauptsächlich im März statt, wobei niedrige Temperaturen und geringe Niederschläge eine frühere Auswaschung verhinderten. Die $N_{\min}$ Gehalte im Frühjahr werden vom Modell mit einer guten Annäherung wiedergegeben (Abbildung 4.22). Was die Erträge anbelangt so werden in 2007 trotz Stressbedingungen 134,4 dt TM/ha vom Modell simuliert aber nur 113,8 dt TM/ha ermittelt. Im Jahr 2008 wird der gemessene Ertrag von 131 dt TM/ha bei guten Anbau- und Abreifebedingungen vom Modell unterschätzt (109,1 dt TM/ha).

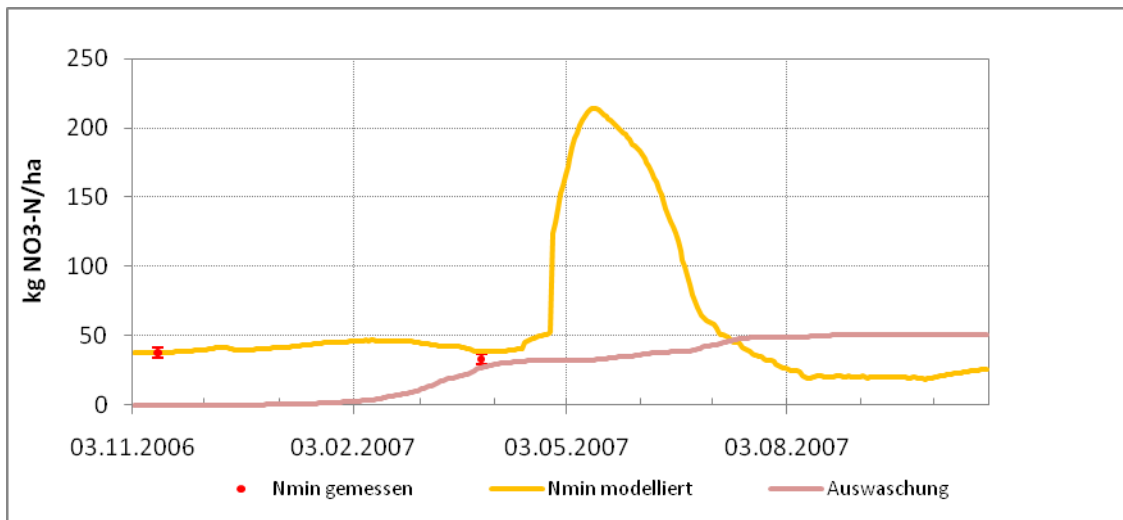


Abbildung 4.22 Simulierte und gemessene N_{min} -Gehalte in 0-90 cm für die Simulationsfläche RES15

4.4 Erklärungspotenzial von Expert-N

Im folgenden Abschnitt soll beispielhaft das Erklärungspotenzial von Expert-N erläutert werden. Hierzu wird die Fläche RER3 (Pararendzina auf Löss) als Modellstandort herangezogen, bei der gute Modellergebnisse bei Wasserhaushalt und Bodenstickstoff erzielt wurden.

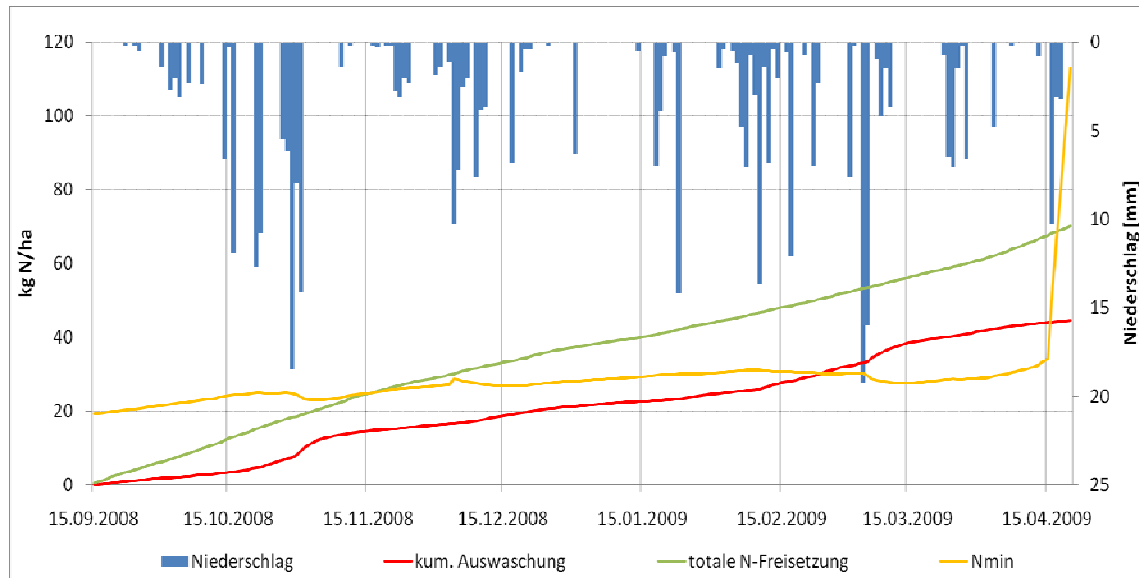


Abbildung 4.23 Bodenstickstoff [$\text{kg NO}_3\text{-N/ha}$] in 0-90 cm Bodentiefe für RER3, Herbst 2008 bis Frühjahr 2009

In Abbildung 4.23 ist der Verlauf der Nitratstickstoffgehalte im Boden dargestellt. Niederschlagsereignisse Ende Oktober 2008 und im Februar/März 2009 führen zu Stickstoffauswaschung ins Grundwasser. Gleichzeitig wird durch Mineralisierung Stickstoff freigesetzt, wodurch der $N_{\min}$ -Gehalt von September 2008 bis Februar 2009 langsam ansteigt.

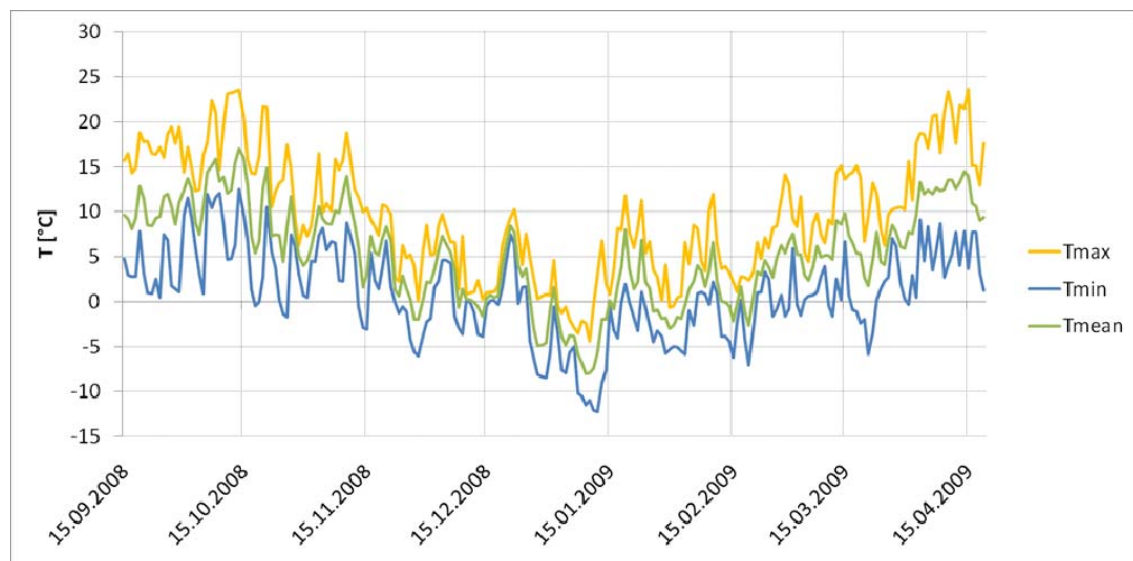


Abbildung 4.24 Minimal-, Maximal- und mittlere Temperatur, Herbst 2008 bis Frühjahr 2009

Relativ hohe Temperaturen im Herbst 2008 führen zu N-Mineralisierung und einem Anstieg des $N_{\min}$ -Gehaltes im Oberboden bis Ende Oktober – Anfang November. Zusätzlich erfolgt durch Niederschlagsereignisse eine Stickstoffverlagerung in tiefere Schichten von 30-60 cm und 60-90 cm (siehe Abbildung 4.25 und Abbildung 4.26).

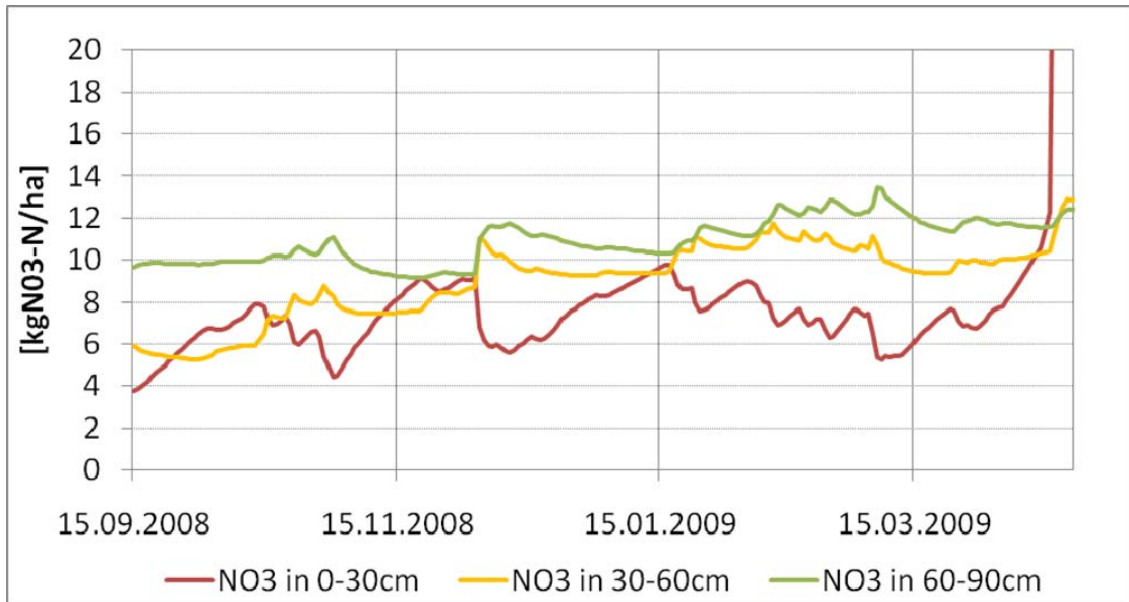


Abbildung 4.25 $N_{\min}$ -Gehalte in den Bodenschichten 0-30 cm, 30-60cm, 60-90 cm für RER3

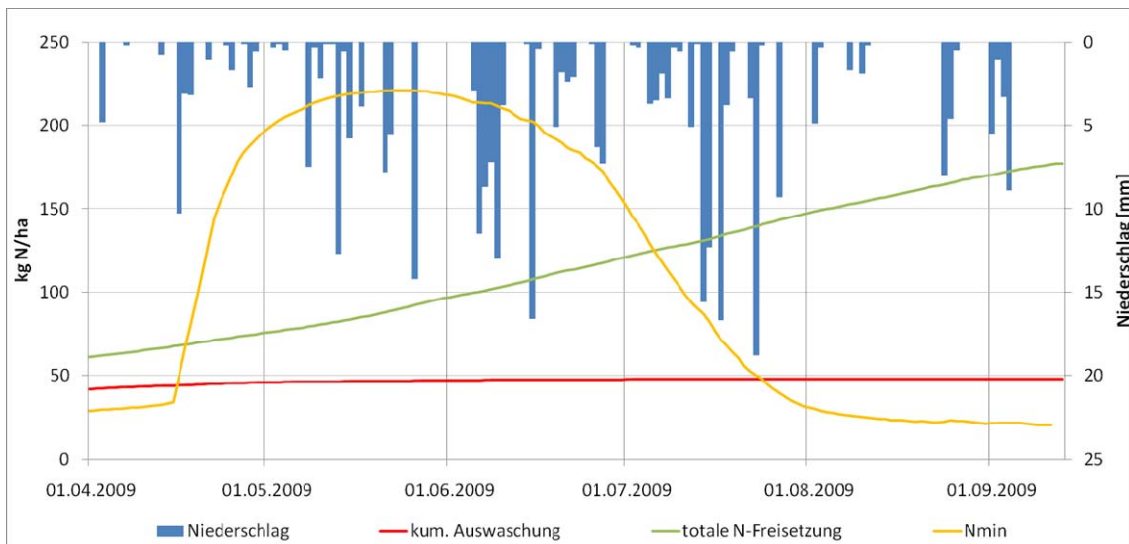


Abbildung 4.26 $N_{\min}$ -Gehalte in 0-90 cm, kumulierte Auswaschung und N-Freisetzung für Fläche RER3

Anfang April erfolgt eine Düngung mit ca. 190 $kg\ N/ha$ mit teilstabilisiertem Dünger und am 20.04.2009 erfolgt dann die Aussaat von Körnermais.

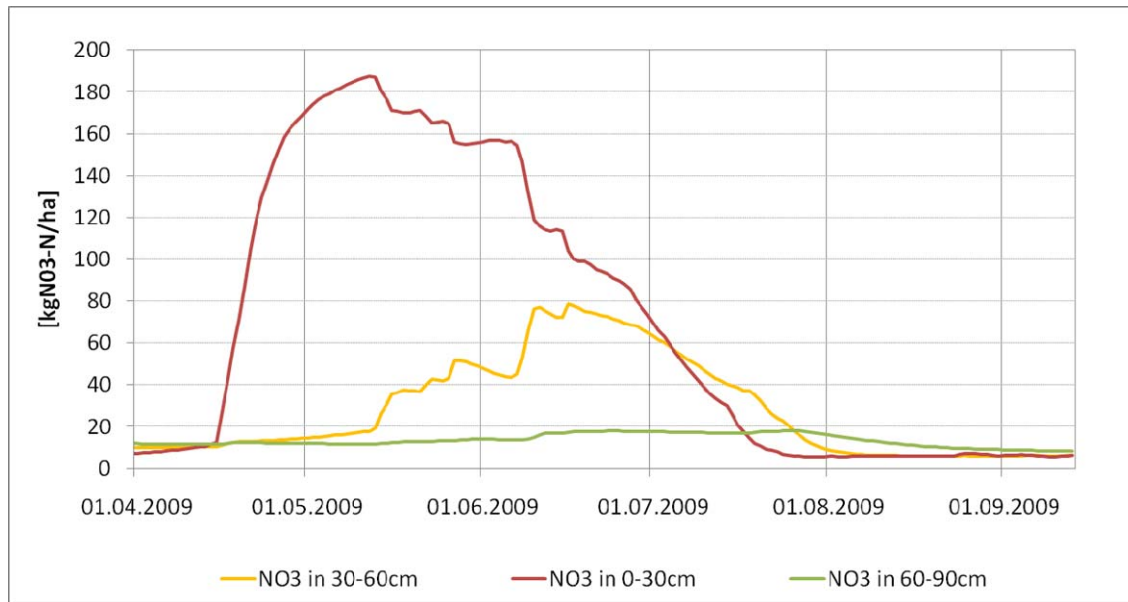


Abbildung 4.27 N_{min} -Gehalte für den Standort RER3 in den Bodenschichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm in der Vegetationszeit 2009

Durch die Ausbringung und Umsetzung des Düngers erfolgt ein gleichmäßiger Anstieg des N_{min} -Gehaltes im Oberboden bis Mitte Mai (siehe Abbildung 4.27). Niederschlagsereignisse führen zur Verlagerung des Stickstoffs vom Oberboden (rote Linie) zunächst in 30-60 cm Bodentiefe (gelbe Linie). Dabei wird der Stickstoff in der weiteren Abfolge nicht ins Grundwasser ausgewaschen, sondern fast vollständig durch den Maisbestand aufgenommen.

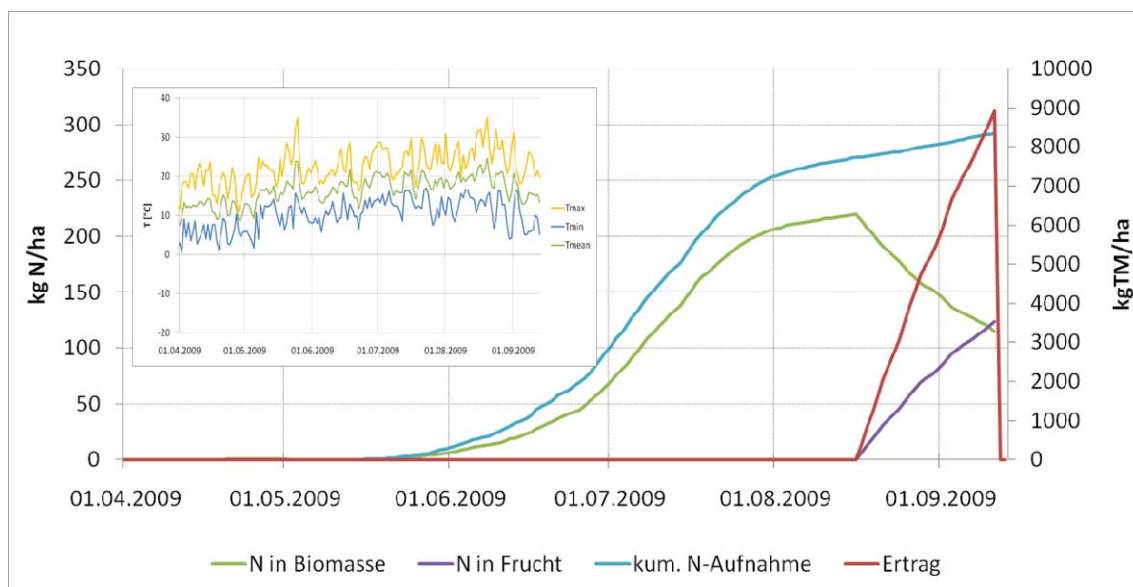


Abbildung 4.28 Stickstoffaufnahme, -einlagerung und Ertragsbildung bei Körnermais auf Fläche RER3

Ab Mitte Juni nimmt der Bestand vermehrt Stickstoff auf, siehe Abbildung 4.28. Dieser wird zunächst hauptsächlich in der vegetativen oberirdischen Biomasse (grüne Linie) gespeichert. In die-

ser Entwicklungsphase erfolgt das Längenwachstum und das Schossen, sowie Anfang August die Ausbildung der Blütenanlagen und das Rispschieben. Anfang August hat der $N_{\min}$ -Gehalt im Boden ungefähr wieder das Niveau vor der Düngung erreicht (Abbildung 4.27). Im August beginnt auch die Frucht- oder Kornentwicklung (rote Linie) und ein Teil des in der Pflanze eingelagerten Stickstoffes wird bei günstigen Wachstumstemperaturen (kleines Bild in Abbildung 4.28) in die Maiskolben umverlagert (violette Linie).

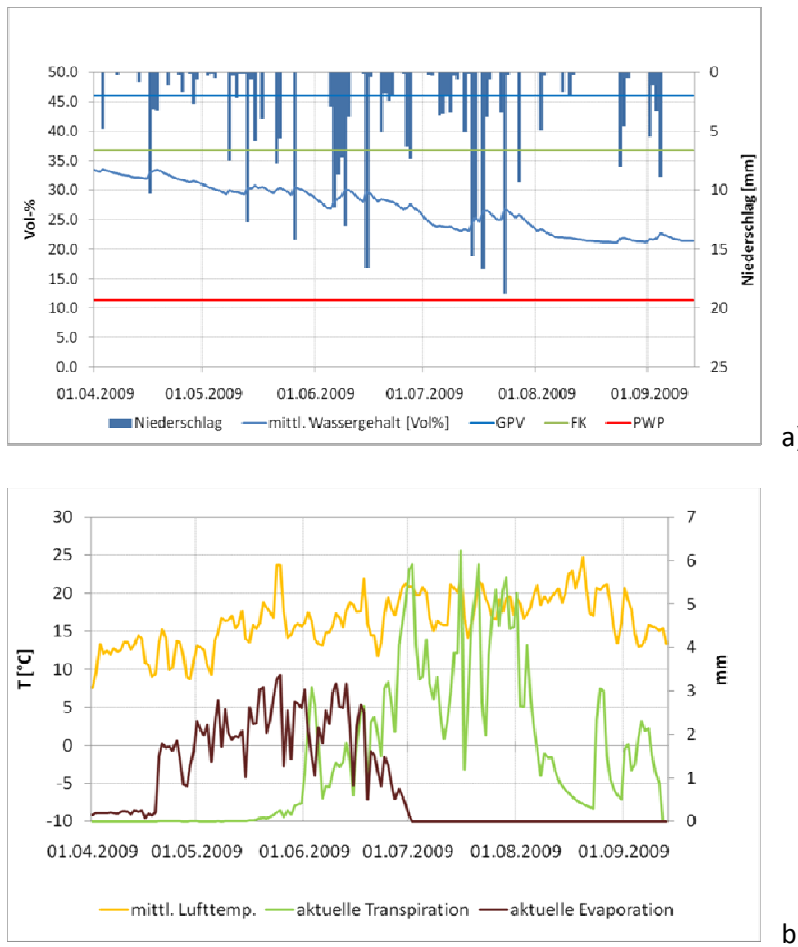


Abbildung 4.29 Mittlere Wassergehalte und Bodenkennwerte(a) in Vol-% und b) mittlere Lufttemperaturen und Evaporations- und Transpirationswerte für RER3 (0-90)

Während der Vegetationsphase entzieht die Pflanze dem Boden Wasser. Dies lässt sich durch die aktuelle Transpiration deutlich erkennen, die im Juli /August bis zu 6 mm am Tag erreichen kann (grüne Linie, Abbildung 4.29b). Bevor der Bestand Mitte bis Ende Juli das Maximum an Blattfläche und Bodenbedeckungsgrad erreicht (LAI ca. $5,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$; hier nicht dargestellt), hat auch die Bodenverdunstung (Evaporation) noch einen bedeutenden Anteil an der Gesamtverdunstung. Durch den Wasserentzug sinkt der Bodenwassergehalt bis Mitte August auf ca. 21 Vol-% ab. Aufgrund anhaltend hoher Temperaturen und verbreiteter Trockenheit im August verringert sich die Transpiration der Maispflanzen drastisch auf weniger als 1 mm/Tag. Dies ist ein deutliches Anzeichen von Wasserstress für den Bestand. Mit Erreichen der Vollreife und der Maiskolbenernte am 13.09.2009 ist die Modellierungsperiode beendet (bei Fläche RER3 wurden die Kolben gepflückt und in einem hohen Feldsilo zur Trocknung gelagert).

4.5 Das internetbasierte, GIS-gestützte „RefereNz“-Auskunftswerkzeug

4.5.1 Grundüberlegungen

Wie bereits in Kapitel 3.5 ausgeführt bestand ein zentrales Anliegen des Referenz-Projektes darin, den handelnden Akteuren an der Schnittstelle von Ackerbau und Gewässerschutz ein einfach zu bedienendes Werkzeug zur Beobachtung des Stickstoff- und Wasserhaushalts wie auch des Pflanzenwachstums zur Verfügung zu stellen. Landwirte und Berater sollten damit in die Lage versetzt werden in Echtzeit die aktuelle Situation auf einem ganz bestimmten Flurstück mit seiner individuellen Bewirtschaftung abzubilden und zu dokumentieren. Der Modellierung der N_{min} Situation vor Vegetationsbeginn wurde dabei besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da sie eine wichtige Stellgröße für die wirtschaftlich effiziente und gewässerschonende Düngerbemessung darstellt.

Um dies möglich zu machen wurde so verfahren, dass Software, Hintergrunddaten und auch komplexe Modellberechnungen mit einem geografischen Informationssystem verknüpft und auf einem zentralen Rechner betrieben wurden. Die zur Nutzung des Werkzeugs benötigten Funktionalitäten zur Eingabe noch erforderlicher Bewirtschaftungsdaten, zur Modellierung und zur Dokumentation der Ergebnisse wurden über eine Webanbindung und die Schaffung von Schnittstellen in einer gängigen „browser“-Umgebung über das Internet bereit gestellt.

4.5.2 Architektur und Aufbau

Die technischen Komponenten, der Aufbau und das funktionale Zusammenwirken der Software- und Hardwarekomponenten sind im Methodenteil in Kapitel 3.5 erläutert und beschrieben.

4.5.3 Nutzeroberfläche

Abbildung 4.30 zeigt die Startseite zur Nutzung des Referenz-Werkzeugs über einen Internet Browser. Nach dem Aufruf der Internetadresse <http://www.n-referenz.de/nref/> meldet sich der Benutzer über ein persönliches Login an. Neben dem Login gibt die Startseite Auskunft über den aktuellen amtlichen NID-Wert für Körnermais in der Rheinebene und informiert mit einer kurzen Beschreibung über Aufgaben, Ziele, Anliegen, beteiligte Akteure und Förderer des Projekts. Des Weiteren steht dort eine Bedienungsanleitung zur Handhabung des Werkzeugs als pdf Dokument zur Verfügung (Anhang 8.11).

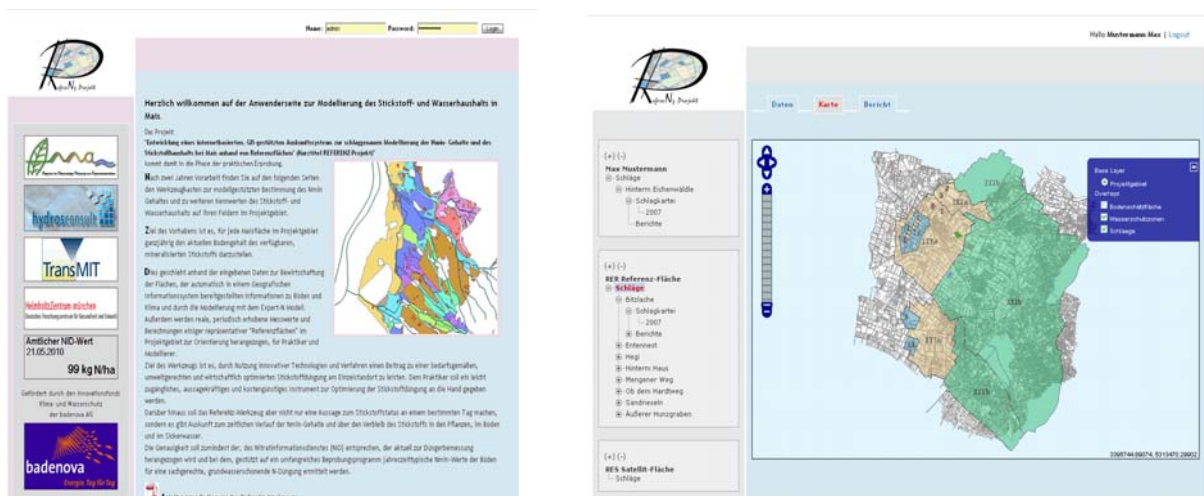


Abbildung 4.30 Startseite des RefereNz-Werkzeugs (links) und nutzerspezifische Kartenansicht (rechts)

Nach der Anmeldung können alle Anwender -es gibt auch einen Gästezugang- $N_{\min}$ Werte und andere Informationen zu den eigenen Flächen und Berichte zu den regional repräsentativen Referenzflächen einsehen, zu denen in der Regel auch Ganglinien von gemessenen $N_{\min}$ -Werten vorliegen. Ein Nutzer kann neue Flächen nach Flurstücksnummer und Gemarkung anlegen, Bewirtschaftungsdaten eingeben, Simulationen zu diesen Flächen durchführen und die vorhandenen und neu generierten Schlaginformationen verwalten und dokumentieren. Aufgrund einer geeigneten Nutzerverwaltung sind eigene Flächen, im Gegensatz zu den regionalen „Referenzflächen“, nur für den jeweiligen Flächenbesitzer einzusehen und zu bearbeiten. Die Navigation hierfür erfolgt über die, in der linken Spalte eingebettete Baumstruktur. Der rechte Bereich bietet wahlweise eine Datenansicht in Formularform oder eine Kartenansicht mit verschiedenen Themen. Beide Ansichten passen sich entsprechend dem gewählten Eintrag in der linken Baumstruktur dynamisch an. Wird beispielsweise eine Schlagkarte ausgewählt, so erscheint in der Datenansicht das Schlagkarten-Formular mit den entsprechenden Feldern und Werten und in der Baumansicht in der linken Navigationsspalte wird der gewählte Schlag farblich herausgehoben. Der Benutzer kann die ihm zugeordneten Schlagdaten nach belieben ergänzen und modifizieren. Alle Änderungen werden dabei in der Anwendungs-Datenbank gespeichert und stehen dem Benutzer bei der nächsten Anmeldung wieder zur Verfügung. Ebenso werden alle veranlassten Berichte von durchgeführten Modellsimulationen schlagbezogen abgelegt und können jederzeit angezeigt, ausgedruckt oder nach vorheriger Markierung auch wieder gelöscht werden. In der Kartenansicht, aktiviert über den Reiter „Karte“ (siehe Abbildung 4.30), wird die topografische Lage einzelner Projektflächen als Landkarte angezeigt.

Eine detaillierte Anleitung zur Nutzung des Referenz-Werkzeugs über einen Internet-Browser befindet sich auf der Startseite von RefereNz (s. o.) als pdf. Dokument und in Anlage 8.11 diese Berichts.

4.5.4 Berichtserstellung (Modellanwendung) durch Landwirte

Um die umfangreichen Ergebnisdaten aus Expert-N für den Anwender überschaubar und klar strukturiert zugänglich zu machen, wurde für das Projekt ein automatischer Berichtsgenerator in das Auskunftswerkzeug integriert. Dieser Berichtsgenerator (Combit GmbH, 1989-2010) erstellt auf der Basis von Blaupausen und aktuellen Daten ein Dokument, auf welches der Anwender einfach und schnell zugreifen kann.

Die Blaupausen wurden im Vorfeld in gestalterischer Hinsicht und unter fachlichen Gesichtspunkten in einem interaktiven Prozess mit Fachleuten und Landwirten entworfen und ausgearbeitet.

Um thematisch und jahreszeitlich unterschiedlichen Anforderungen und Fragestellungen gerecht werden zu können und um eine Überfrachtung der Simulationsberichte zu vermeiden wurden vier Berichtsformate für die Ausgabe der Modellergebnisse entwickelt:

1. **Berichtsformat Simulations-Übersicht:** Kurze Darstellung der wichtigsten Ergebnisse zu den Themen Wasserbilanz, Bodenwassergehalt, $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens und Ertrag der Pflanzen
2. **Berichtsformat Wasserhaushalt:** detaillierter Bericht zum Wasserhaushalt (Niederschlag, aktuelle Evapotranspiration, Grundwasserneubildung); mittlere Lufttemperatur und Bo-

dentemperatur in 10 cm Tiefe; Wassergehalte in 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Bodentiefe, Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, Beginn von Wasserstress).

3. **Berichtsformat Stickstoff/Nitrat:** $N_{\min}$ -Gehalte in 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm; NH_4 -N in 0-90 cm; N-Aufnahme der Pflanzen, Niederschlag, tägliche N-Auswaschung, kumulierte N-Auswaschung; N-Bilanz und Düngemittelgaben
4. **Berichtsformat Pflanzen:** Biomasseproduktion und Kornertrag, Entwicklungsstadium und Blattflächenindex; Pflanzenstickstoff in Frucht, Wurzel und Restpflanze, Gesamt-N-Aufnahme durch den Pflanzenbestand und $N_{\min}$ -Gehalte zum Saat- und Erntezeitpunkt.

Abbildung 4.31 zeigt beispielhaft den Berichtskopf zum Berichtsformat Simulationsübersicht mit allgemeinen Schlaginformationen, wie sie in jedem Berichtsformat vorangestellt werden.

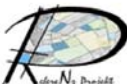
				
Expert-N Modelllauf				
- Übersichtsbericht -				
Standort	Schlag	Flurstück(e)	Erstelldatum	
Gemarkung		2877-0; 2878-0; 2879-0; 3047-0;	28.06.2010	
Krozingen		2878-1		
Bew.-jahr	Vorfruchternte (Modellstart)	Saat (Hauptfrucht)	Ernte (Modellende)	Hauptfrucht
2010	13.09.2009	29.04.2010	26.06.2010	Mais, Körner

Abbildung 4.31 Berichtskopf mit Informationen zum Standort, einheitlich für jeden Berichtstyp

Der Anwender kann die Berichte einzeln anfordern und erhält dann die jeweils interessierenden Berichte und einige zentrale Informationen wie z. B. die Angaben zum $N_{\min}$ -Gehalt. Ansichtsexemplare aller für die Pilotanwendung generierten Berichtsformate finden sich in den Abbildung 8.17 bis Abbildung 8.22 im Anhang.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

5.1 Modellierung

Die Modellierung und ihre Güte haben gezeigt, dass das Modell robust arbeitet und im Projektgebiet operationell eingesetzt werden kann. Die Güte könnte durch einige Veränderungen und Ergänzungen weiter verbessert werden (siehe Ausführungen hierzu im Ergebnisteil).

5.1.1 Modellierung allgemein

Die Modellergebnisse haben gezeigt, dass mit längeren Untersuchungszeiträumen das Modell in einen Gleichgewichtszustand eintritt. Zum einen bestätigt dies grundsätzlich die Modellparametrisierungen, zum anderen zeigt dies aber auch, dass die Modellergebnisse zu Beginn der Projektlaufzeit noch großen Schwankungen unterliegen, welche schwer zu interpretieren sind. Das Modell sollte in seinem jetzigen Zustand mit den langjährigen Informationen im Projektraum (Nachfolgeprojekte, Datenpflege) fortgeführt werden, um zu untersuchen, ob die Ausbildung eines modellinternen Gleichgewichtes erreicht wird bzw. in welchem Umfang noch Anpassungen und Verbesserungen nötig sind.

5.1.2 Bodenwassermodul

Obgleich das Bodenwassermodul auf den RER-Flächen gute bis sehr gute Ergebnisse liefern konnte, sind weitere Verbesserungen denkbar. So sollten für leichtere Böden die Pedotransferfunktionen (PTF) noch einmal kritisch überprüft werden, da hier in mittleren und tieferen Bodenschichten die Wassergehalte relativ schlecht getroffen werden. Auch die kontinuierlich verlaufenden Sickerungsvorgänge in den Sommermonaten erscheinen nicht immer plausibel. Denkbar wäre hier auch die Anwendung eines einfacheren Modells wie z.B. ein Kapazitätsansatz.

5.1.3 Pflanzenmodell CERES-Mais

Die simulierten Erträge mit dem benutzten Maismodell CERES unterliegen im betrachteten Zeitraum teils großen Schwankungen. Dies kann aus Sortenunterschieden herrühren die mit einer einheitlichen Parametrisierung für die Maispflanzen nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Hier wäre es wünschenswert in Zukunft eine feinere Abstufung vorzunehmen und nach sortenspezifischen Merkmalen wie Reifezahl, Korntyp oder Kältetoleranz weiter zu differenzieren.

5.1.4 Stickstoffumsatz im Boden

Die $N_{\min}$ -Werte konnten zufriedenstellend vom Modell abgebildet werden. In Bezug auf die Dynamik in der düngerbeeinflussten Vegetationszeit sind noch Weiterentwicklungen möglich und nötig. Ein Beispiel hierfür ist die modelltechnische Handhabung stabilisierter Stickstoffdünger, für deren Abbaudynamik noch keine geeigneten Algorithmen vorliegen. Spitzenkonzentrationen verfügbaren Stickstoffs nach der Düngung werden teilweise zu früh im Modell simuliert, während in der Natur der Dünger noch nicht vollständig umgesetzt wurde. Die verzögerte Freisetzung, welche abhängig von Bodenfeuchte und Temperatur ist, kann derzeit nur über verzögerte Umsatzraten für die Nitrifikation, Denitrifikation und Harnstoffhydrolyse angenähert werden. Werden sie entsprechen angepasst entstehen aber neue Fehler an anderer Stelle.

5.1.5 Anwendungspotenziale und Einsatzmöglichkeiten

Im vorliegenden Projekt konnte gezeigt werden, dass es schon heute möglich ist bei entsprechender Datengrundlage mit standortindividuellen Modellrechnungen zu aussagekräftigen Ergebnissen bei der Berechnung des Stickstoffhaushalts auf Maisstandorten zu kommen. Eine Übertragung

des Werkzeugs in andere Gebiete mit digital verfügbaren Bodenkarten wäre damit sinnvoll und machbar.

Trotz noch bestehendem Verbesserungsbedarf hat das Werkzeug das Potenzial als Ersatz oder Ergänzung zu aktuell angewandten Instrumenten bei Gewässerschutz und Düngungssteuerung eingesetzt zu werden. Auch die Anwendung bei anderen Kulturen ist mit relativ geringem Aufwand durch Austausch der Wachstumsmodelle möglich, da zu den bedeutenden landwirtschaftlichen Kulturen schon qualitativ befriedigende Modelle vorliegen.

Durch die Verortung von Wartung, Pflege und Betrieb der Modellanwendungen und des Datenbestandes auf einem zentralen, leistungsstarken Server können Aktualisierungen und Informationen (wie z. B. Düngereigenschaften, aktuelle Sortenlisten bei Mais mit Kornreifezahlen und anderen Merkmalen) wirtschaftlich effizient und aktuell bereit gestellt werden. Anwender, die das Werkzeug über einen Internetzugang nutzen, werden so entlastet und gleichzeitig optimal mit aktuellen Hintergrunddaten versorgt. Sie können sich damit auf die Informationen beschränken, die ihren individuellen Standort ausmachen und können trotzdem sehr aktuelle und komplexe Simulationen anstoßen.

In dem Maße wie die digitale Dokumentation von Flächen-, Boden- und Klimainformationen vorschreitet wird die internetbasierte Modellanwendung des Agrarökosystemmodells für immer mehr Standorte und Kulturen wie z. B. Weizen, Roggen, Gerste, Zuckerrüben (Raps) und Sonnenblume attraktiv und möglich. Dies bezieht sich sowohl auf die in Frage kommenden Flächen und Gebiete, als auch auf die Qualität der zugrundeliegenden Informationen.

Das Beispiel der Verwendung der Radolan Niederschlagsdaten hat gezeigt wie durch die Einbindung von Fernerkundungsdaten die flächengenaue Modellierung deutlich verbessert werden konnte. Lokal hoch aufgelöste Niederschlagsereignisse konnten mit geringem Aufwand automatisiert auf die Flurstücke übertragen werden. Dies erlaubte nicht nur eine bessere Modellierung des Wasserhaushalts auf einzelnen Flächen, sondern eröffnet im Ansatz auch die Verwendung des Werkzeugs zur Beregnungssteuerung und/oder für Ertragsprognosen.

Das Beispiel zeigt wie sich durch die automatisierte Einbindung - zukünftig zunehmend - verfügbarer Satelliten- und Luftbildinformationen und deren Verknüpfung mit schon vorhandenen Daten, zum Beispiel zum Boden, in wachsendem Maße auch neue Möglichkeiten der Nutzung des Werkzeugs ergeben werden. Eine weitere mögliche Anwendung könnten regionale Potenzialstudien zu einzelnen Kulturen auf der Basis bestehender Wachstumsmodelle und Klimazeitreihen oder auch Modellierungen für Pflanzenschutzhinweise sein, um nur zwei Beispiele zu nennen.

Mit der Nutzung des Referenzwerkzeugs zur Simulation des Stickstoffhaushalts auf Ackerböden würde deshalb auch gleichzeitig die Basis für weitere nützliche Anwendungsmöglichkeiten geschaffen.

6 Literaturverzeichnis

- Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.). 2006.** Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland – Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. KLIWA-Berichte Heft. 9, 100 S., Karlsruhe.
- Benne I., Heineke R. & Nettelmann R. 1990.** Die DV-gestützte Auswertung der Bodenschätzung – Erfassungsanweisung und Übersetzungsschlüssel. Technische Berichte zum NIBIS Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- Biernath Ch. 2009.** persönliche Mitteilung. Helmholtz Zentrum München, 2009.
- BMU/ BMELV 2008. Nitratbericht 2008.** Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. 48 S., Anhang.
<http://gis.uba.de/website/web/atlantis/karten/nitratbericht.htm>
- Combit GmbH 1989-2010.** List & Label 14. 2008. (<http://www.combit.net/reporting/report-generator-List-Label>)
- DÜV 2009.** DÜV-Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). Düngeverordnung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), zuletzt geändert am 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).
- DWD 2004.** Projekt RADOLAN - Routineverfahren zur Online-Aneichung der Radarniederschlagsdaten mit Hilfe von automatischen Bodenniederschlagsstationen (Ombrometer). Offenbach. 2004.
- Fink C. 2007.** Das Klima in Süddeutschland. Johannes Gutenberg Universität, Mainz. 2007.
- GE Energy 2010.** Smallworld.
http://www.gepower.com/prod_serv/products/gis_software/en/index.htm.
- Girardin P. [éd.] 1999.** Écophysiologie du maïs. AGPM, Montardon. (ISBN 2-900 189-41-1).
- Pommel P., Gallais A., Coque M., Quilleré I., Hirel B., Prioul J.L., Andrieu B. & Floriot M. 2006.** Carbon and nitrogen allocation and grain filling in three maize hybrids differing in leaf senescence. European Journal of Agronomy, Vol. 24(3): 203-211.
- Haber N. 2010.** Instrumente zum Grundwasserschutz aus Sicht des LTZ. Vortrag, Abschlussworkshop Referenz Projekt, 28.06.2010 in Freiburg. http://www.anna-consult.de/transfer/Haber_INSTRUMENTE_RefereNz_WS_28_06_pdf.pdf
- Hansen S. et al. 1990.** Daisy - A Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Research from the National Agency of Environmental Protection No. A 10. 272 pp., 1990.
- Hutson J. L. und Cass A. 1987.** A retentivity function for use in soil-water simulation models. L. soil Sci. 105-113, 1987.
- Hutson J. L. und Wagenet R.J. 1992.** LEACHM: Leaching Estimation and Chemistry Model: A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. Version 3.0. Ithaca, NY: Cornell University : Research Series No. 93-3, 1992.

- Johnsson H. et al. 1987.** Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agric. Ecosys. Env.* 333-356, 1987.
- Jones C.A. & Kiniry J.R. 1986.** CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press, College Station, Texas.
- Landesanstalt für Umwelt Messungen und Naturschutz (LUBW) 2007.** WaBoa – Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg. 3. erweiterte Ausgabe, LUBW, 2007.
- Laurenz L. 2010.** Bemessung der N-Düngung beim Mais mit der späten N_{min} -Methode. Die N-Nachlieferung einschätzen lernen. *LOP Landwirtschaft ohne Pflug*, 11/2010:23-29.
- LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg) 2010.** Merkblatt N-Düngeberechnung. http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1201246/ltz_Merkblatt%20zur%20N-Duengeberechnung%20_blaues%20Merkblatt_090717.pdf
- LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg) 2010a.** Nitratinformationsdienst. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1195631/index.html>
- LTZ (Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg) 2011.** www.LTZ-Augustenberg.de (Startseite > Dienststellen > Landesanstalten > LTZ Augustenberg > Untersuchungen)
- Lütke Entrup N., Oehmichen J., Wieker H. & Gröbblinghoff F.F. 2000.** Stickstoffmineralisation im Boden und Stickstoffbedarf im Maisanbau unter Berücksichtigung zeitabhängiger N-Sollwerte und verschiedener Standorte. Forschungsbericht Nr. 9 des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest. Universität – Gesamthochschule Paderborn. 148 S.
- Meier U. 2001.** Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen, 2. Auflage. Berlin und Braunschweig : Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, 2001.
- Möller K. & Stinner, W. 2009.** Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, Vol.30(1):1-16.
- Molina J. A. E. 1983.** NCSOIL, A Model of Nitrogen and Carbon Transformations in Soil: Description, Calibration, and Behavior. *Soil Science Society of America Journal*. Volume 47, no. 1., 1983.
- OSGEO 2009.** <http://openlayers.org/>. [Online] <http://www.osgeo.org/>. 2009.
- Ott J. 2010.** Der NID in Baden-Württemberg. Vortrag, Abschlussworkshop Referenz Projekt, 28.06.2010 in Freiburg. http://www.anna-consult.de/transfer/Ott_NID_in_B-W_RefereNz_28_06_10.pdf
- Parlow E. und Rosner, H. J. 1992.** Das Klima am Oberrhein. *Freiburger Geographische Hefte*. 1992, 36 S. 105-115.
- Penman H. L. 1948.** Natural evaporation from open water, bar solids and grass. *Proc. Royal Meteorologic Society London*, 193 (a), 120-145, 1948.

- Plota K., Betting D. & Selz M. 2006.** Rohwasserbericht. Auswertung von Qualitätsparametern ausgewählter Rohwässer in den Wasserschutzgebieten von Freiburg und Lahr. Untersuchungszeitraum: 2000 bis 2004. badenova AG, Freiburg, 48 S. plus Anhang.
- Priesack E. 2006:** Expert-N - Dokumentation der Modellbibliothek. FAM - Bericht 60, Hieronymus, München, 308 S.
- Priesack E. und Bauer C. 2002.** Expert-N Datenmanagement. FAM-Bericht 59. Hieronymus, München. 2002.
- Priesack E. und Engel T. 1993.** Expert-N - Ein Modellbaukastensystem fuer Stickstoffmodelle - Ausgangssituation, Zielsetzung und Umsetzung. Agrarinformatik, Bd. 24, S. 11-19., 1993.
- Richards L. A. 1931.** Capillary conduction of liquids through porous mediums. Cornell University.
- Ritchie J. T. und Godwin G.C. 1989.** CERES-Wheat 2.0 - Documentation for version 2 of the CERES wheat model, http://nowlin.css.msu.edu/wheat_book/. 1989.
- Ritchie J.T., Godwin D.C und Otter-Nacke S. 1987.** CERES-Wheat - A simulation model of wheat-growth and development. College Station, TX : Texas A & M University Press, 1987.
- Solum 2007.** Referenzflächen, Dokumentation der Profile- Bodenphysikalische Analytik. Untersuchungsbericht. Solum, Büro für Boden und Geologie, Freiburg. 27 S. (unveröffentlicht, als Anlage zum Abschlussbericht).
- StaLa 2008.** Bodennutzung in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 2007– Endgültige Ergebnisse der allgemeinen Agrarstrukturerhebung. STatistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart. –http://www.statistik-bw.de/Veroeffentl/Statistische_Berichte/Sachgeb.asp?C1 (15.11.2010).
- TZW 2010.** Bodenkontrollen 2009 zum Nitratauswaschungspotenzial in den Schutzgebieten der Wasserwerke Ebnet und Hausen. Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe, Juli, 2010.
- Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG 2006.** Nitrathaushalt und Eintragspotentiale der Trinkwassergewinnungsgebiete - Entwicklung einer Auskunftsplattform Gewässerschutz. Teilprojekt I: Bodeninformation und Bodenschätzung. GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg.
- van Laar H. H., Goudriann J. und van Keulen H. 1997.** SUCROS97: Simulation of Crop growth for potential and water-limited production situations. Wageningen: C.T. de Wit Graduate School for Production Ecology and Resource Conservation. : Bd. 14, Quantitative Approaches in System Analysis, 1997.
- Vogel T., et al. 1996.** The HYDRUS Code for Simulating one-dimensional water flow, solute transport and heat movement in variably-saturated media. Version 5.0. U.S. Salinity Laboratory, ARS, USDA : Techn. Report 140, 1996.
- WaBoA 2003/2007.** Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (2003, 2007). Hrsg.: Umweltministerium Baden-Württemberg, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. http://www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/waboa/waboa2004/pages/03home/fs_home.htm

7 Abkürzungsverzeichnis

BSA	Bundessortenamt
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Geografisches Informationssystem (zur Verwaltung und Visualisierung flächenbezogener digitaler Informationen)
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
NID	Nitratinformationsdienst de s landes Baden-Württemberg
NID Wert	amtlich ermittellter N _{min} - Frühjahrswert einer Kultur
N _{min}	Mineralisierter (Boden)-Stickstoff
RADOLAN	DWD-Verfahren zur Online-Aneichung von Radarniederschlagsdaten
RER	Repräsentative Fläche eines Flächenkollektivs zur Charakterisierung der Standortsituation im Projektgebiet (für regionale Referenzwerte und Modellparametrie- sierung)
RES	Referenz-Simulationsflächen zur Anwendung Validierung des Referenzwerkzeugs
SchALVO	Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung (in Baden-Württemberg)
TZW	Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

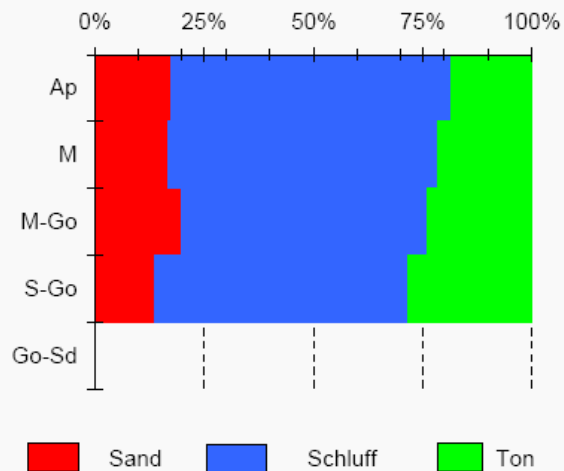
8 Anlagen

8.1 Profilbeschreibung Referenz- Fläche 1

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 1

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	17,50	64,20	18,30	0	Lu	1,49	1,65	43,93	7,47	18,96	35,93	16,81
2	M	55	25	16,90	61,70	21,40	0	Lu	1,67	1,86	37,02	6,23	11,51	30,66	19,11
3	M-Go	75	20	19,70	56,58	23,70	0	Lu	1,67	1,88	36,88	5,46	10,78	31,25	20,42
4	S-Go	130	55	13,60	58,20	28,20	0	Lu	1,68	1,93	36,6	1,42	11,73	34,86	28,10
5	Go-Sd	200	70	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Tl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
6	-														

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

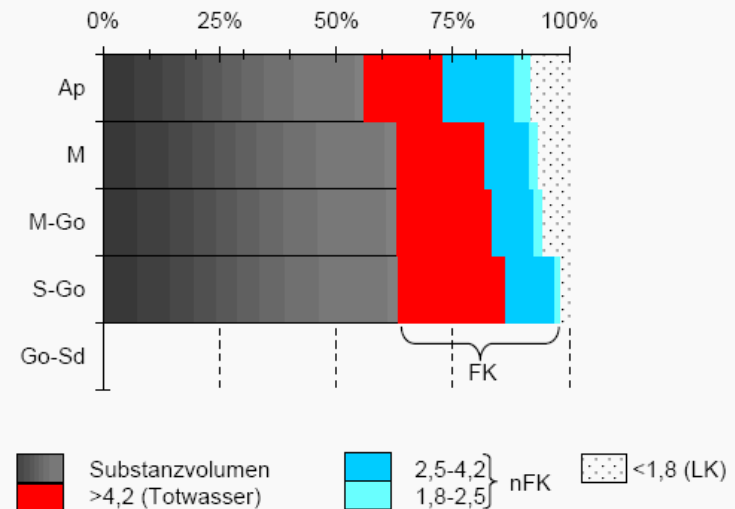


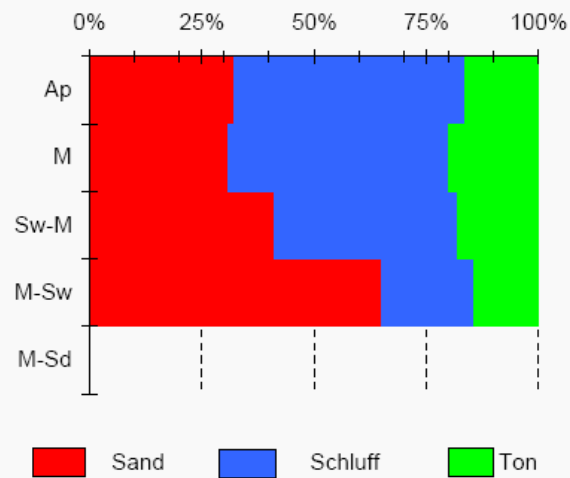
Abbildung 8.1 Bodenkennwerte RER1

8.2 Profilbeschreibung Referenz- Fläche 2

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 2

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	32,2	51,5	16,3	0	Ls3	1,61	1,76	39,23	8,29	17,25	31,53	14,41
2	M	60	30	30,87	48,98	20,14	0	Ls2	1,71	1,89	35,57	6,72	9,89	28,7	18,76
3	Sw-M	80	20	41,05	41,08	17,87	0	Ls2	1,69	1,85	36,13	6,87	11,2	28,59	17,21
4	M-Sw	110	30	64,95	20,58	14,47	2	SI4	1,58	1,71	40,47	15,89	14,1	24,32	10,12
5	M-Sd	160	50	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	TI	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
6	-														

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

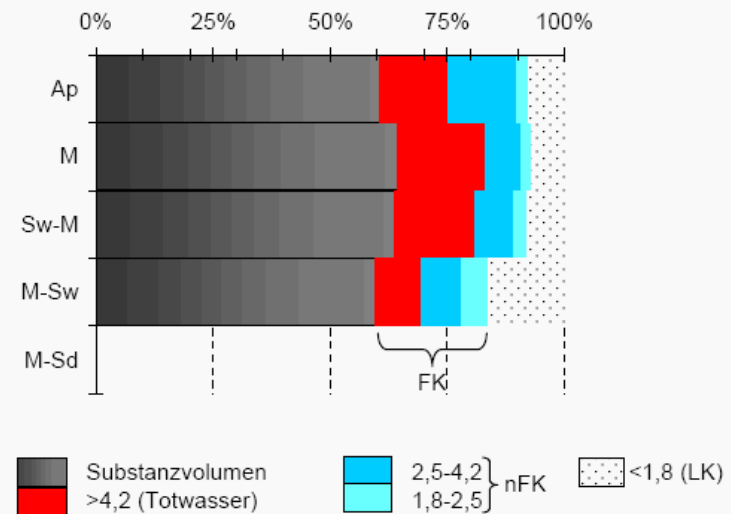


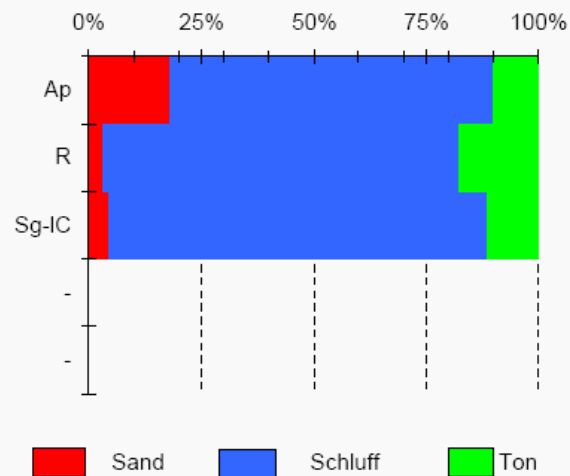
Abbildung 8.2 Bodenkennwerte RER2

8.3 Profilbeschreibung Referenz- Fläche 3

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 3

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	18,2	71,7	10,1	0	Ut2	1,45	1,54	45,38	11,84	20,74	34,34	13,80
2	R	60	30	3,3	79	17,7	0	Ut4	1,43	1,59	46,06	13,25	20,06	32,83	12,78
3	Sg-IC	100	40	4,51	84,04	11,45	0	Ut2	1,52	1,62	46,53	10,53	28,24	36,00	7,76
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

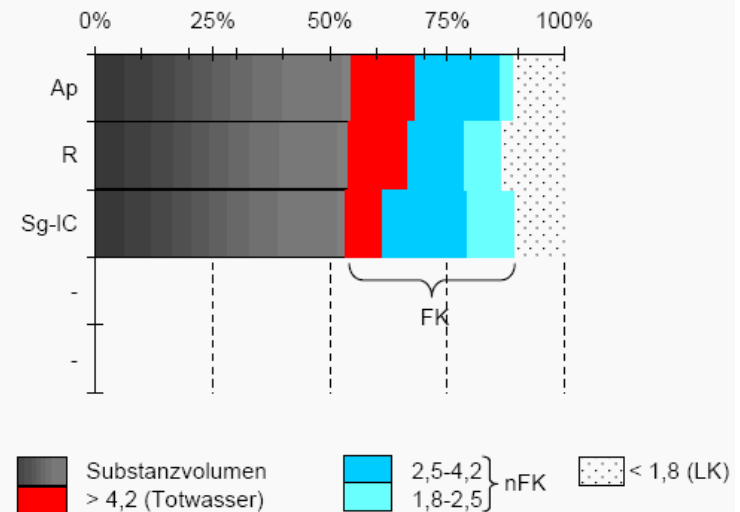


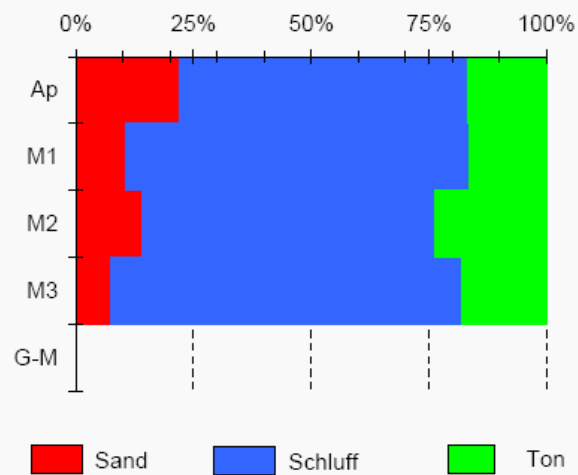
Abbildung 8.3 Bodenkennwerte RER3

8.4 Profilbeschreibung Referenz- Fläche 4

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 4

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	22,1	61,2	16,7	0	Uls	1,51	1,66	42,93	9,33	14,27	33,83	19,65
2	M1	55	25	10,7	72,73	16,58	0	Ut3	1,62	1,77	38,79	2,42	17,72	35,81	17,92
3	M2	75	20	14,24	61,97	23,79	0	Lu	1,57	1,78	40,82	3,56	18,78	37,60	18,93
4	M3	140	65	7,3	74,68	18,02	0	Ut2	1,62	1,78	38,72	9,21	12,88	29,06	16,06
5	G-M	210	70	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Lu	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
6	-														

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

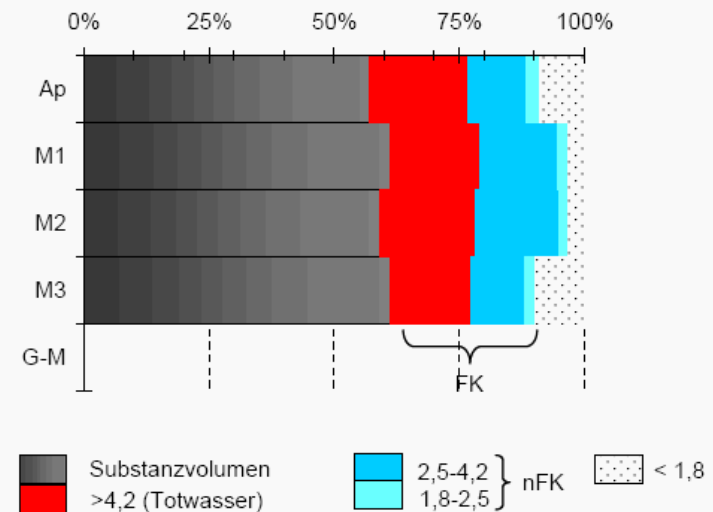


Abbildung 8.4 Bodenkennwerte RER4

8.5 Profilbeschreibung Referenz- Fläche 5

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 5

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n. KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK* [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	43	40,5	15,8	n.b.	Slu	1,60	1,74	39,46	10,56	22,69	28,89	6,20
2	Bt	65	35	50,72	18,93	30,34	72,8	Lts	1,54	1,81	41,95	13,95	21,99	27,99	6,00
3	Cv-C	80	15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
4	C	100	20	94,65	4,38	0,96	75,5	mSfs	1,98	1,99	25,28	8,72	15,76	16,56	0,80
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anmerkung: * die Feldkapazität (FK) wurde nach der Methode der FLL-Richtlinien als WK = maximale Wasserkapazität bestimmt. Das Totwasser ($pF > 4,2$) wurde nur am Feinboden bestimmt und auf das Gesamtvolumen hochgerechnet. Die Ergebnisse für die FK und auch nFK weichen von den Tabellenwerten nach KA5 stark nach oben ab. Dies kann dadurch begründet sein, dass die Bestimmung der FK (WK) entsprechend der FLL Richtlinie einen zu hohen Wert ergibt (z.B. Überstau füllt alle Poren, Abtropfzeit u. U. zu kurz, so dass $WK > FK$) und/oder die Zylinder geringere Grobodgehalte enthielten als in den Horizonten analysiert wurde. Aus diesem Grund sind die hier angegebenen Werte für FK und nFK zu reduzieren, d.h. mit Faktor 0,7 zu multiplizieren.

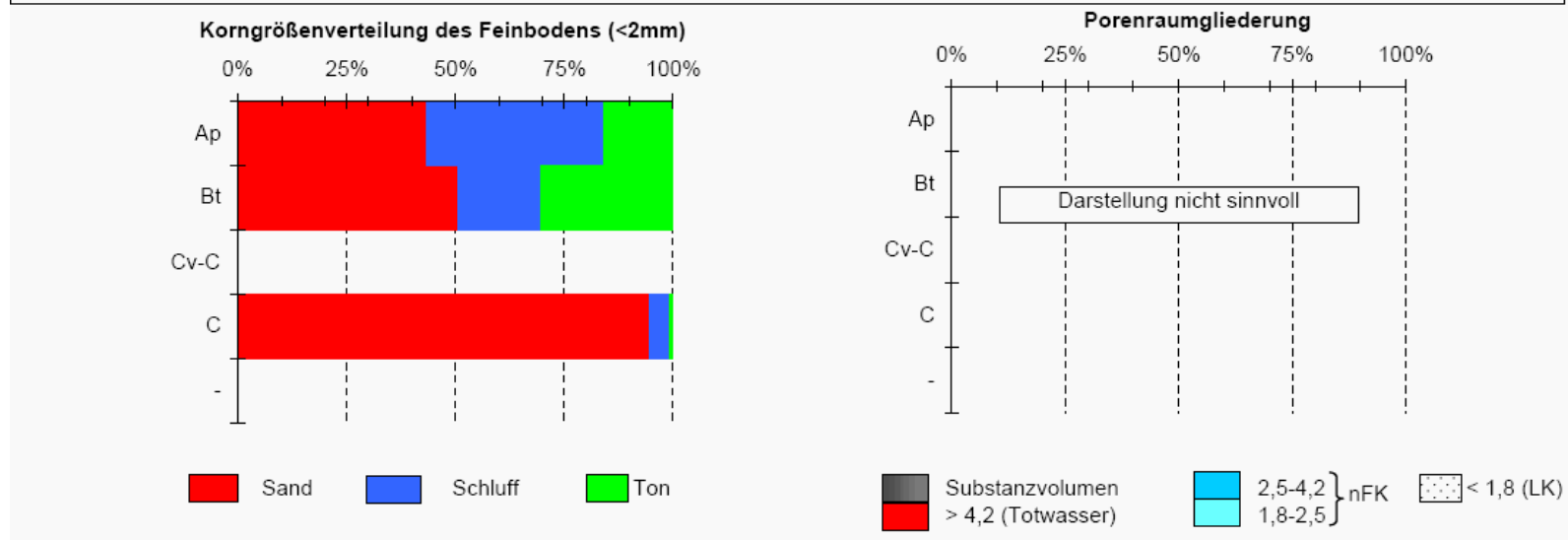


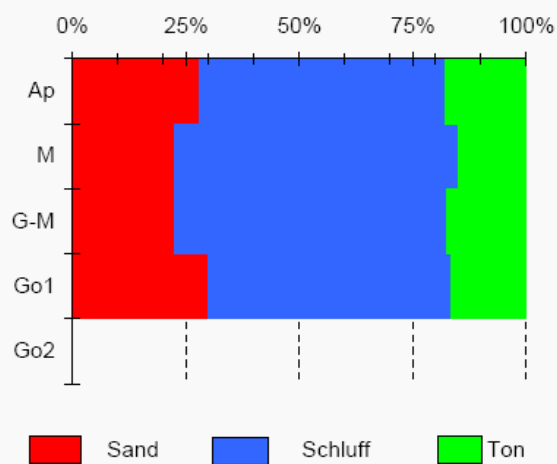
Abbildung 8.5 Bodenkennwerte RER5

8.6 Profilbeschreibung Referenz-Fläche 6

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 6

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	28,2	54,1	17,7	0	Lu	1,53	1,69	42,39	17,27	10,83	26,04	15,45
2	M	60	30	22,68	62,47	14,85	0	Uls	1,69	1,82	37,33	6,81	14,10	30,50	16,39
3	G-M	80	20	22,42	60,21	17,38	0	Lu	1,68	1,84	38,01	6,41	10,24	31,27	20,92
4	Go1	110	30	29,78	53,75	16,47	0	Uls	1,7	1,85	37,03	5,5	15,87	31,98	16,23
5	Go2	140	30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Lt	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
6	-														

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

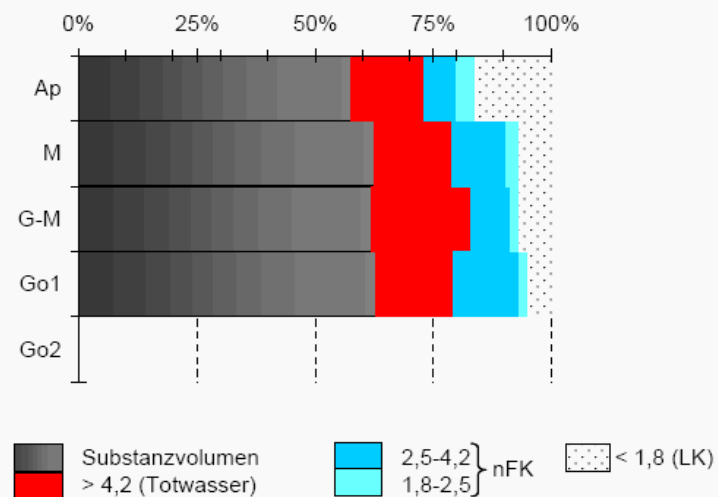


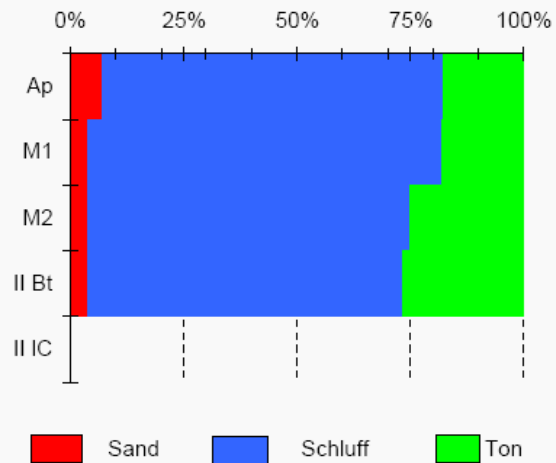
Abbildung 8.6 Bodenkennwerte RER6

8.7 Profilbeschreibung Referenz-Fläche 7

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 7

Horizont				Bodenarten/Lagerung						Wasser-/Lufthaushalt					
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	7,20	75,2	17,6	0	Lu	1,32	1,48	51,57	11,82	24,68	38,47	13,43
2	M1	60	30	3,91	78	18,09	0	Ut4	1,67	1,83	39,18	12,47	11,08	26,57	15,45
3	M2	80	20	3,90	71,19	24,91	0	Ut4	1,76	1,98	37,2	7,44	10,48	29,53	18,98
4	II Bt	110	30	3,70	69,78	26,52	0	Tu4	1,72	1,96	38,12	2,64	12,86	35,29	22,36
5	II IC	140	30	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Uu	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
6	-														

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

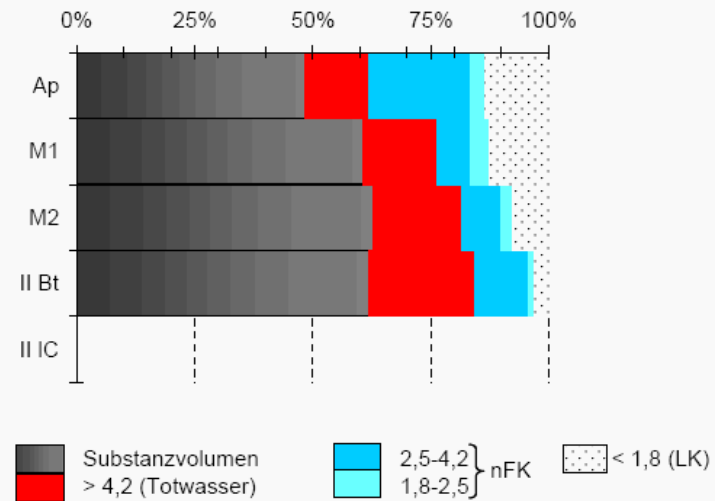


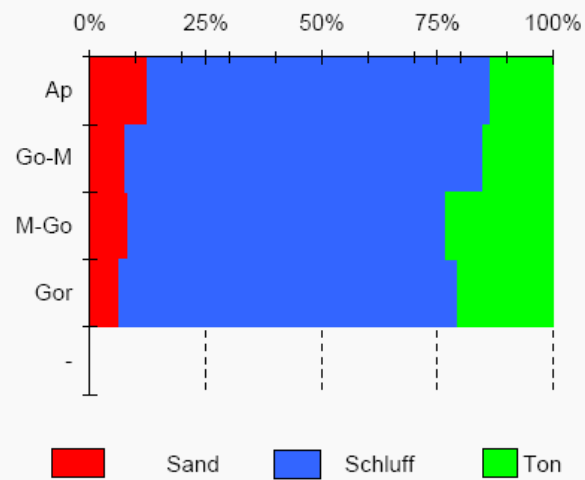
Abbildung 8.7 Bodenkennwerte RER7

8.8 Profilbeschreibung Referenz-Fläche 8

Bodenphysikalische Kenndaten: Profil RER 8

Horizont				Bodenarten/Lagerung							Wasser-/Lufthaushalt				
Nr.	Bezeichn.	Tiefe cm	Mächtig. cm	Sand Gew. %	Schluff Gew. %	Ton Gew. %	Grobb. Gew. %	Feinboden n.KA5	Rohdichte [g/cm³]	eff. LD [g/cm³]	GPV [Vol%]	LK [Vol%]	nFK [Vol%]	FK [Vol%]	TW [Vol%]
1	Ap	30	30	12,30	74,30	13,40	n.b.	Ut3	1,34	1,46	49,51	10,02	26,72	39,21	12,42
2	Go-M	60	30	7,68	77,28	15,04	5,09	Ut3	1,63	1,77	38,38	3,56	23,10	35,32	12,31
3	M-Go	90	30	8,32	68,43	23,26	0	Ut4	1,57	1,78	40,68	2,40	16,70	38,18	21,45
4	Gor	110	20	6,21	73,38	20,40	0	Ut4	1,6	1,78	39,81	2,46	11,06	37,09	25,91
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Korngrößenverteilung des Feinbodens (<2mm)



Porenraumgliederung

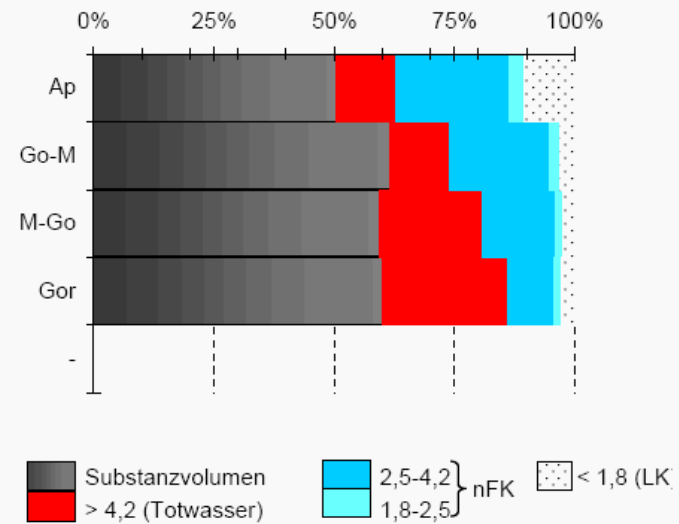


Abbildung 8.8 Bodenkennwerte RER8

8.9 Übersichten zu den erhobenen Daten auf 8 Referenz- und 64 Simulationsstandorten im Projektgebiet.

8.9.1 Modell Eingangsdaten Referenzstandorte

Information	Art der Bereitstellung	Zuständigkeit
Ortsangaben		
Höhenlage [m]	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Breitenlage [Grad]	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Exposition	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Hangneigung [%]	aus Kartierungen ?	Agentur ANNA
Abstand zu Grundwasserspiegel [cm]	aus Kartierungen ?	Git HydroS Consult
Bodentemperatur [°C]	Wetterdienst	Git HydroS Consult
WITTERUNGS- VER- LAUF	automatisch generiert über Wetterstationsdaten und und small world GIS	
Niederschlag [mm]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Tmin, Tmax, T mittel [°C]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Epot [mm]	abgeleitet	Git HydroS Consult
Ea [mm]	abgeleitet	Git HydroS Consult
Globalstrahlung [MJ/m2]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Windgeschwindigkeit [m/s]	tagesgenau	Git HydroS Consult
rel. Luftfeuchte [%]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Phänologische Entwick- lung		
Saattermin	Schlagkartei	Agentur ANNA
Saattiefe [mm]	?	Agentur ANNA
Aufgang, BBCH 09	Bonituren im Feld	Agentur ANNA
Beginn Längenwachstum BBCH 31	Bonituren im Feld	Agentur ANNA

Information	Art der Bereitstellung	Zuständigkeit
Blühbeginn männlich BBCH 61	Bonituren im Feld	Agentur ANNA
Ende der Blüte BBCH 69	Bonituren im Feld	Agentur ANNA
Teigreife BBCH 85	Bonituren im Feld	Agentur ANNA
Ernte BBCH 99	Schlagkartei	Agentur ANNA
Ertrags- und Bestandesdaten		
max. Vegetat.Biomasse [kg/ha] TM und C/N (kg C, N/ha)	Beprobung plus Schätzwert	Agentur ANNA
max. Durchwurzelungstiefe und Wurzelverteilung	Schätzwerte	Agentur ANNA
Ernterückstände als Spross und Wurzelbiomasse [kg C, N/ha]	Beprobung plus Schätzwert	Agentur ANNA
max. Bodenbedeckung [m ² /m ²]	?	?
Kornbiomasse [kg/ha] TM	Beprobung	Agentur ANNA
Trockenmasse ZF bzw. Untersaaten (mit C/N-Verhältnis) [kg/ha]	Beprobung plus Schätzwert	Agentur ANNA
Bodeneigenschaften		
Wasserspannungskurve (einmalig)	Probenahme und Laboranalyse	badenova
N _{min} Beprobung (NO ₃)	6 Termine /Jahr	badenova
NH ₄ Untersuchung	Startwert 1 x/Jahr	
Grunduntersuchung	einmalig	badenova
Textur [g/kg]	einmalig	badenova
Steinanteil [g/kg]		
Lagerungsdichte [kg/dm ³]	einmalig	badenova
C _{org} [%]	einmalig	badenova
C/N Verhältnis	einmalig	badenova

Information	Art der Bereitstellung	Zuständigkeit
<i>Bewirtschaftungs- daten</i>		
Fruchtfolge	aus Schlagkartei- Dokumentation ANNA	Agentur ANNA
Bodenbearbeitung - Zeitpunkt - Bearbeitungstiefe	aus Schlagkartei- Dokumentation ANNA	Agentur ANNA
Düngung -Düngerform und Menge	aus Schlagkartei- Dokumentation ANNA	Agentur ANNA
Saatdichte [k.K/ha]	aus Schlagkartei- Dokumentation ANNA	Agentur ANNA
Sorte (Sortentyp)	aus Schlagkartei- Dokumentation ANNA	Agentur ANNA

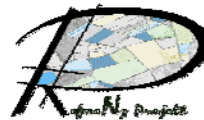
8.9.2 Simulationsstandorte

Information	Art der Bereitstellung	Zuständigkeit
<i>Ortsangaben</i>		
Höhenlage [m]	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Breitenlage [Grad]	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Exposition ?	aus Kartierungen	Git HydroS Consult
Hangneigung [%]	aus Kartierungen ?	Agentur ANNA
Abstand zu Grundwasser- spiegel [cm]	aus Kartierungen ?	Git HydroS Consult
Bodentemperatur [°C]	Wetterdienst	Git HydroS Consult
<i>WITTERUNGS- VER- LAUF</i>	automatisch generiert über Wet- terstationsdaten und und small world GIS	
Niederschlag [mm]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Tmin, Tmax, T mittel [°C]	tagesgenau	Git HydroS Consult

Information	Art der Bereitstellung	Zuständigkeit
Epot [mm]	abgeleitet	Git HydroS Consult
Ea [mm]	abgeleitet	Git HydroS Consult
Globalstrahlung [MJ/m2]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Windgeschwindigkeit [m/s]	tagesgenau	Git HydroS Consult
rel. Luftfeuchte [%]	tagesgenau	Git HydroS Consult
Phänologische Entwicklung		
Daten des Referenzstandortes	automatisch	Git HydroS Consult

8.9.3 Erhebungsbogen zur Erfassung der Schlaginformationen in den Landwirtschaftsbetrieben

Agentur ANNA und Projektpartner Referenz Projekt



Seite 1

Klarastraße 94, 79106 Freiburg
Müller-Sämann (handy): 0176 600 12 619

Telefon: _____
Fax: _____

Erhebung von Schlagdaten Referenz-flächen 2008

Bewirtschafter*	Landwirt	N.N.	Gemeinde*	Oberrimsingen	Gemarkung*	Oberrimsingen
Flurst.-Nr.*	1584		Flurst.-Name*	an der Breisacher Straße		
Referenz Fläche	RES	24				
Angaben zum Schlag:						
Ackerzahl:						
1. Fruchtfolge	Jahr	Kultur		Zwischenfrucht		
1.1	2008					
1.2	2007	Körnermais				
1.3	2006					
1.4	2005					
1.5	2004					
2. Angaben zu langjährig wirksamen Maßnahmen						
2.1	ehemaliges Grünland	ja		nein		
2.2	bis wann? (ca. Jahr)	19_____	unbekannt:			
2.3	langjährige organische Düngung:	ja		nein		
2.4	Stallmist:	bis:		Menge/ha /Jahr ca.:		
2.5	Gülle :	bis:		Menge/ha /Jahr ca.:		
3. Analysen						
3.1	Grunduntersuchung:	ja		nein		
3.2	Bodentyp (ausfüllen ANNA):					
3.3	Monat und Jahr der Untersuchung :	3	2007			
3.3	Ergebnis:	(mg/100 g)				
3.3	Humus	Bodenart	ph-Wert	P2O5	K2O	Mg
3.3	B					
3.3	schon erhoben					
3.4	Nmin Untersuchung	ja		nein		
3.5	Datum:					
3.6	Nmin 30 (kg)		Nmin 60(kg)		Nmin 90(kg)	

*) diese Angaben werden bei Weiterverarbeitung wieder gelöscht

Fortsetzung Anhang 8.9.3

Angaben zur Bewirtschaftung 2007/2008

Seite 2

Flurst.-Nr.*	1584	Flurst.-Name*	an der Breisacher Straße
Referenz Fläche	RES	24	
KULTUR auch Begrünung/ Zwischenfrucht			
4.1 Körnermais		Saatmais	Begrünung
4.2 Sorte		Sorte	Art(en)
4.3 Saattermin		Saattermin 1	Saattermin
4.4 Ablagetiefe(cm)		Ablagetiefe(cm)	Saatechnik
4.5 Dichte (Pfl./ha)			(kg/ha)
4.6 Ertragsziel (dt/ha)		Sortenblatt als Kopie	Mulchtermin
4.7 Erntedatum		Erntedatum	
4.8 Handelsertag 15 % (dt/ha)		Ertrag (dt/ha)	
4.9 Erntefeuchte		Erntefeuchte	
4.10 Stroh eingearbeitet			
4.11 Stroh abgefahren			

5	FELDPARBEITEN (alle Maßnahmen oder Überfahrten seit Ernte der Vorfrucht auflisten)				
	Datum (TT.MM.JJ)	Arbeitsgang	Gerät (möglichst genau)	Arbeitstiefe	Anz. Überfahrten
5.1					
5.2					
5.3					
5.4					
5.5					
5.6					
5.7					
5.8					
5.9					
5.10					
5.11					

6 **DÜNGER:** Grunddünger, Kalkung, Unterfuß, N Düngung *)

Datum (TT.MM.JJ)	Düngerbezeichnung	Menge (kg/ha)	N kg/ha	P2O5 kg/ha	K2O kg/ha	CaO kg/ha

*) Wenn Eigenmischungen verabreicht werden bitte Kopie vom Landhändler beilegen

Flurst.-Nr.*	1584	Flurst.-Name*	an der Breisacher Straße
Referenz Fläche	RES	24	

7 **PFLANZENSCHUTZ** (Herbizide, Insektizide, Trichogramma)

Datum (TT.MM.JJ)	Wirkstoff	Menge/ha	Anmerkungen (falls erforderlich)
7.1			
7.2			
7.3			
7.4			
7.5			
7.6			

8 **BEREGNUNG** (falls zutreffend bitte eine Wasserprobe im Kühlschrank aufbewahren- wird abgeholt)

Datum (TT.MM.JJ)	Menge ca. in mm /ha	oder in m³/ha	oder in m³/Fläche	Probenahme einmalig	Gerät	N-Gehalt (Labor) Analyse *)
8.1						
8.2						
8.3						
8.4						
8.5						

*) wird von ANNA/badenova ermittelt

Alle anderen Daten wie z. B. Entwicklungsstadien, Biomasseproben, Nmin Bestimmungen werden von ANNA bzw. badenova oder GIT HydroS Consult erhoben und können nachgefragt werden bzw. sie werden nach Rücksprache im Winterhalbjahr auf einem Treffen mitgeteilt.

8.10 Termine der ganzjährigen N_{min} Beprobungen auf „Referenz- Flächen“ bei Mais

Termin 1	Ausgangs Winter (März)
Termin 2	Zur Saat (April)
Termin 3	Zum 6–Blatt Stadium (Mai/Juni)
Termin 4	Zur Blüte (Juli)
Termin 5	Nach der Blüte (Juli/August)
Termin 6	Nach der Ernte (Oktober)
Termin 7	Vor Winter (SchALVO/ November)
(Termin 8)	(Im Winter Januar/Februar)

8.11 Anleitung zur Bedienung des RefereNz-Werkzeugs über einen browser

GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health


Anleitung zur Nutzung des RefereNz Werkzeugs

Version 1.2010

Bei Rückfragen und Unklarheiten wenden sie sich bitte an:

Karl Müller-Sämann
Agentur für Nachhaltige Nutzung Agrarlandschaften
Klarastraße 94
79106 Freiburg
Telefon: 0761 – 20 23 23 0
E-mail: km@anna-consult.de

Freiburg, den 23.06.2010



Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG


GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health


Arbeiten mit Expert-N im RefereNz Werkzeug

Einsatzmöglichkeiten

- **Kontinuierliche Modellierung** eines Schrages anstatt Momentaufnahmen
- tagesgenaue Abbildung von Prozessen



➔ **Erweitertes Erklärungspotential, z.B.:**

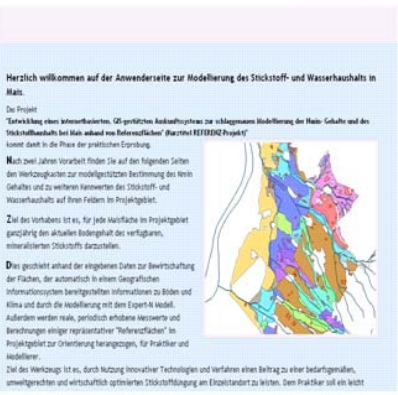
- Anzeige des Bodenwasserzustands
läßt z.B. **Trockenstress und Sickerung** erkennen oder **Beregnungsbedarf**
- Erklärungen für einzelne Modellgrößen aus der Zusammenschau von Klima, Boden und Pflanzenentwicklung

Erstes Einsatzfeld:

- **Prototyp für Körnermais**
- andere Kulturen und Einsatzfelder sind geplant

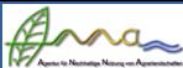
<http://www.n-referenz.de/nref/>





Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG


GIT Hydros Consult GmbH


HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health


Das ReferenZ-Werkzeug – 1. Einführung

Das Referenz Werkzeug besteht aus vier Komponenten:

1. Einer Datenbank (hier sind aktuelle Bodendaten, Klimadaten und Angaben aus der Schlagdatei hinterlegt).
2. Einem Agrarökosystem-Modell zur Simulation des Stickstoffhaushalts in Ackerböden (Expert-N).
3. Einem geografischen Informationssystem zur digitalen Verwaltung und Darstellung der Flächeninformationen.
4. Einer Schnittstelle zur Bedienung des ReferenZ-Werkzeugs über einen Web-Browser im Internet.

Als Nutzer von „ReferenZ“ benötigen sie:

- einige Informationen von ihrem Schlag (Düngung, Bodenbearbeitung, Saat, Ernte, Bewässerung)
- Zugang zum Internet über einen aktuellen Browser (Explorer, Firefox)

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG


GIT Hydros Consult GmbH


HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health


1. Einführung – Begrüßungsseite

- Aufruf der Internetadresse <http://www.n-referenz.de/nref/>



Hiermit kommen sie zur Begrüßungsseite von **ReferenZ** und geben Nutzername und Passwort ein.
(hierbei Groß- und Kleinschreibung der Buchstaben beachten!)

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG


GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health

1. Einführung -allgemeine Hinweise

Einige wichtige Hinweise vorab:

- Geben sie Kommastellen immer mit einem Punktsymbol an (z.B. **5.4** anstatt 5,4)
- Um den aktuellen Stand modellieren zu können müssen sie drei Daten immer eingeben.
 - A) Datum der Ernte der Vorkultur
 - B) Saattermin
 - C) Erntetermin

Wenn ein Termin noch nicht eingetreten ist (z.B. bei Nmin Modellierung vor der Saat) dann setzen sie das Saattermin auf einen Tag vor dem (ebenfalls noch ausstehenden) „Erntetermin“ (Modellende).

Als „Erntetermin“ wählen sie das Datum des letzten Sonntags

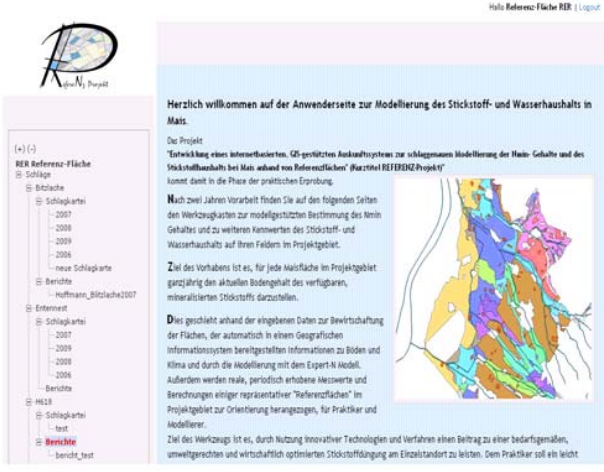


Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health

2. Aufbau der Referenz Seiten



■ Im Referenz Werkzeug haben die Seiten immer den gleichen Aufbau:

■ Auf der linken Leiste findet sich die Navigationsübersicht.

■ Klicken sie zur Aktivierung oder Bearbeitung auf einen Begriff.

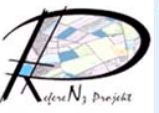
■ Ist der Begriff (z.B. Berichte) aktiv, wechselt er die Farbe zu **rot**. Jetzt sind Bearbeitung oder neue Eingaben möglich.

■ Durch klick auf die ☐ oder ☐ Boxen lassen sich Untermenüs öffnen oder schließen.

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

3. Einloggen / Stammdaten / Schlagübersicht

Name: Password:



(+) (-)

(+) (-) **Referenz-Fläche, RER**

-> Stammdaten

Name

Vorname

Betriebsnummer

Straße, Nr.

Postleitzahl

Ort

Telefon

Telefax

Email

Loginname

Password

- nach dem Einloggen sehen sie ihren Namen und können ihre Stammdaten eintragen (Name erforderlich, anderes evtl. nötig für ihre Dokumentation)
- Durch Doppel-Klick auf „Schläge“ können sie Flächen anlegen oder aktualisieren
- Außerdem haben sie Zugriff auf „Referenz“-Flächen in ihrer Umgebung mit Berichten zu gemessenen und berechneten Nmin-Werten, Wassergehalten etc.
 - Wichtig: (Telefon und Telefax wegen eines Programmfehlers noch weglassen !)
- Abschließen mit einem Klick auf

4. Anlegen eines neuen Standorts/Schlags

Referenz-Fläche RER -> neuer Schlag

Schlagname

Gemarkung

Fläche [ha]

- Nach einem Klick auf die **Schläge** erscheint Knopf oder bei „Auswahl“ eines Schlags die Möglichkeiten
- Bei neuem Schlag Schlagname eingeben
- Auswahl der Gemarkung (Pflicht)
- Optional Flächenangabe und
- ➔ Danach die Flurstücksnummer auswählen (evtl. auch mit Nenner (z. B. /1) dahinter versehen und
- sind dem Schlag mehrere Flurstücke zugeordnet alle Flurstücke dazu anlegen

Flurstücke zuordnen

Referenz-Fläche RER -> Schlag bearbeiten

Schlagname

Gemarkung

Fläche [ha]

Zugeordnete Flurstücke

Nr.	Zähler	Nenner	
1	700	0	anlegen

GIT HydroS Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health

5. Kartenansicht des angelegten Schlages



Nachdem sie einen neuen Schlag angelegt haben, können sie ihn in der linken Leiste aufrufen (Name erscheint **rot** nach klick)

Wenn sie nun im rechten Fenster auf den Läufer „Karte“ klicken, wird die digitale Flurstückskarte geladen (dauert ein wenig) und sie können die Schlagnummer und Lage des Schlages auf Richtigkeit überprüfen).

Außerdem können sie am unteren Bildrand die Geokoordinaten ablesen während sie mit dem Mauszeiger über das Flurstück fahren

Ändern des Kartenausschnitts:
scrollen (Maus) oder Zoomleiste links

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

GIT HydroS Consult GmbH
TransMIT

HelmholtzZentrum münchen
German Research Center for Environmental Health

6. Anlegen einer neuen Schlagkarte



Danach erfolgt nach Aktivierung von **Schlagkartei** die Eingabe der wichtigsten Schlagdaten für ein bestimmtes Bewirtschaftungsjahr **neue Schlagkarte**

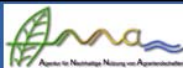
- Modellbeginn: Datum der Vorfruchternte
- Modellende: aktuelles Datum eintragen - „Oberirdischen Rückstände“ und „Wurzeln-Rückstände“ können leer bleiben; ebenso „Ertrag“, wenn er noch nicht vorliegt
- Im Auswahlmenu Hauptfrucht steht „Grain“ für Körnermais. **Hauptfrucht** Grain
- Angaben abschließen mit Basisdaten speichern



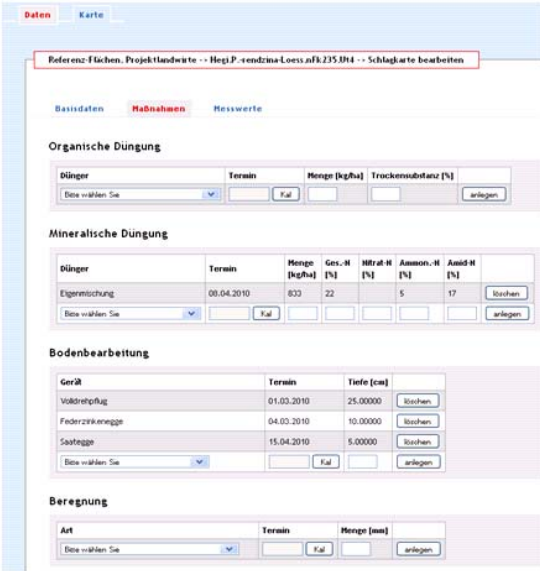


Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

Helmholtz Zentrum München
German Research Center for Environmental Health


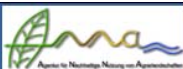
7. Maßnahmen eintragen



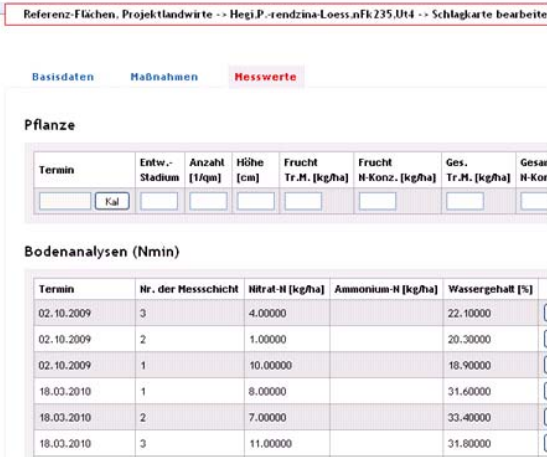
- Nach dem Speichern der Basisdaten aktivieren sie den Reiter **Maßnahmen**
Hier erfolgen Angaben zu jeder Einzelmaßnahme aus den Bereichen
 - Düngung
 - Bodenbearbeitung
 - Beregnung
- Wenn ihr Dünger in der Auswahlliste erscheint, geben sie nur Datum und Menge an (kg/ha), der Rest erfolgt dann automatisch
- Bei Eigenmischungen sind auch N-Gehalte in % für Gesamt N, Nitrat-N, Ammonium-N und carbAmid-N anzugeben.
- Bei Bodenbearbeitung entsprechende Geräte auswählen.
- Jede Maßnahme abschließen mit **anlegen**

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG


GIT Hydros Consult GmbH
TransMIT

Helmholtz Zentrum München
German Research Center for Environmental Health


8. Nmin Messwerte eingeben oder „Referenz Flächen“ Werte konsultieren



- Nach dem aktivieren von **Messwerte** können sie Werte von Nmin Untersuchungen eingeben. Bei Nummer der Messschicht steht
 - 1 -> für 0-30 cm
 - 2 -> für 30-60 cm
 - 3 -> für 60-90 cm
- Nach dem **anlegen** sind sie im System abgelegt und dokumentiert.
- Die Nmin Werte der „**Referenz-Flächen**“ in ihrer Nähe können sie einsehen, wenn sie dort auf **Schlagkartei** und **Messwerte** gehen

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG




9. Berichte anfordern



- Nachdem alle wichtigen Daten eingegeben oder aktualisiert sind können sie das Expert-N Modell starten indem sie **Berichte** in der Schlagkartei aktivieren, und **neuer Bericht** anklicken
- Unbedingt dann einen eindeutigen Berichtsnamen vergeben wie z.B. „Mengener_Weg_15_4_2010“

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG



10. Berichte generieren



Hinweis: Bei einer Simulation müssen sie von etwa drei Minuten Rechenzeit ausgehen.

Die Ergebnisse werden in ein pdf Dokument geschrieben das in der **Schlagkartei** unter der Rubrik **Berichte** abgelegt wird.

- Im neuen Menu geben sie den Berichtstyp an und das Jahr für das sie eine Simulation für den Schlag durchführen wollen
- Start mit klick auf **Speichern + Bericht generieren**
- Modelliert wird vom Datum der Ernte Vorkultur bis zum Termin den sie in der Schlagkartei auf dem Blatt Basisdaten als „Ernte“- Termin eingetragen haben.
- Folgende Berichtstypen sind aktuell zur Darstellung der Ergebnisse verfügbar:
- Berichtstypen sind:
 - Berichte Modellierung (alle Berichte)
 - Ein zusammenfassender Übersichtsbericht (Simulation Übersicht)
 - Spezialberichte zu (Klima und Wasserhaushalt, Stickstoffhaushalt, und Maiswachstum)

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG



GIT HydroS Consult GmbH
TransMIT

Helmholtz Zentrum München
German Research Center for Environmental Health

11. Dokumentationsfunktionen




Index of /nref/reports/9/10

Name	Last modified	Size	Description
Mengen_Weg_2007_nitrogen_report_pseudorec.pdf	04-Mar-2010 06:42:294K		
Mengen_Weg_2007_plant_report_pseudorec.pdf	04-Mar-2010 06:42:193K		
Mengen_Weg_2007_simulation_overview_pseudorec.pdf	04-Mar-2010 06:42:191K		
Mengen_Weg_2007_water_report_pseudorec.pdf	04-Mar-2010 06:42:285K		

- Ist die Modellierung abgeschlossen erhalten sie die links dargestellte Ansicht
- Berichte können gespeichert/gelöscht oder auch ausgedruckt werden
- Berichte und Angaben in der Schlagdatei werden online gesichert und bleiben für Nutzer mit Passwort abrufbar.

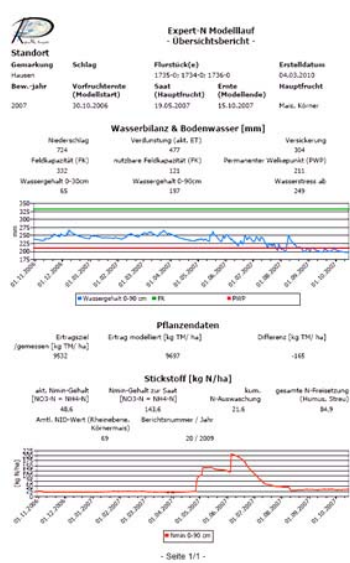
Nach einem klick auf das Symbol  erscheint Bericht in einem neuen Fenster und kann aus einem Speicher in der Datenbank abgerufen und angezeigt werden (evtl. ablegen auf eigenem Rechner zur Dokumentation)

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

GIT HydroS Consult GmbH
TransMIT

Helmholtz Zentrum München
German Research Center for Environmental Health

12. Beispiel für den Übersichtsbericht von einer Referenz-Fläche



Expert-N Modelllauf - Übersichtsbericht

Standort: Garmisch-Partenkirchen
Bew.-Jahr: 2007

Schlag: Vorflutbreite (Modelliert)
30.10.2006

Flurstück(e): 1735-0-1734-0-1736-0
19.05.2007

Ersthaltdatum: 04.03.2010
Hauptfrucht: Mais, Körner

Wasserbilanz & Bodenwasser [mm]

Verdunstung	Verdunstung (akt. ET)	Verdunstung
724	477	304
Feldkapazität (FK)	mittlere Feldkapazität (FK)	Permanenter Wilddruck (PW)
332	125	211
Wasserhaushalt 0-100cm	Wasserhaushalt 0-90cm	Wasserhaushalt ab
85	107	249

Pflanzenparameter

Ertragsziel	Ertrag modelliert [kg TH/ha]	Differenz [kg TH/ha]
952	907	-145

Stickstoff [kg N/ha]

akt. N-Gehalt [kg N/ha]	N-Gehalt zur Saat [kg N/ha]	N-Auswaschung	Sum. gesamte N-Einsatzmenge [kg N/ha]
48.6	143.6	21.6	84.9

Anteil N2O-Stick (Klimabelastung, Körnermais): 89
Berichtsjahr: 20 / 2009

- Seite 1/1 -

- Ergänzend zur Modellierung der eigenen Flächen werden Ansichten repräsentativer Referenz-Flächen gezeigt (RER-Flächen).
- Zu diesen Referenzflächen liegen periodisch gemessene Nmin Daten vor, an denen sie sich auch orientieren können
- Der Vergleich mit einer „ähnlichen“ Referenzfläche, ermöglicht eine bessere Einschätzung der eigenen Modellergebnisse
- Auf Referenzflächen können sie auch die Angaben zur Bewirtschaftung einsehen
- Eintragungen sind nur für eigene Schläge möglich und bleiben für andere unsichtbar

Gefördert durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG

8.12 Sortenliste Körnermais

Sorte	Reife- gruppe 1)	Körner- reifezahl (FAO- Zahl)	Korntyp BSA*)	Hybrid- form	Quellen :
					LEGENDE:
Aarley	msp	K 260	Zw	?	*) nach Bundessortenamt
Acapulco	f	K 210	Zw	SC	BSA (2005)
Agro Lux	m	K 240	(ha)	TC	Ha= Hartmais
Agro Max	m	K 240	(Za)	TC	(ha)= hartmaisähnlich
Ainergy	f	K 210	Zw	SC	Zw= Zwischentyp
Amadeo	m	K 230	Zw	SC	(za)= zahnmaisähnlich
Amandha	s	K320	Za	TC	Za= Zahnmais
Amato	s	K 440	Za	?	
Amatus	f	K 220	Zw/(ha)	TC	1) Reifegruppe
Amball	m	K 230	(ha)	SC	f= früh
Ambrosius	msp	K 270	(ha)	TC	m= mittelfrüh
Amoroso	m	K 230	(ha)	SC	msp= mittelspät
Anasta	s	K 280	(za)	SC	s= spät
Andino	m	K 240	Zw	DC	
Aniset	msp	K 260	Zw	TC	
Anjou 277	msp	K 260	Zw	SC	2) Kreuzungs- oder Hybridform
Anjou219	f	K 220	Zw/(ha)	TC	SC= Single Cross /Einfachhybride
Apostrof	f	K 220	Ha ou Zw/(ha)	TC	
Arobase	m	K 240	(ha)	SC	TC= Triple Cross / Dreiweghybride
Arsenal	f	K 210	Zw	SC	DC= Double Cross / Doppelhybride
Asket	m	K 250	(ha)	SC	
Atfields	msp	K 270	(ha)	SC	
Attribut	m	K 250	(ha)	TC	
Aura	f	K 200	Zw/(ha)	TC	
Aubade	msp	K 260	(Ha)/Zw	TC	
Auxxel	f	K 210	(za)	SC	
Axxur	f	K 200	Ha	SC	
Baggio	msp	K 270	(ha)	SC	
Baiano	f	K 220	(ha)	SC	
Banguy	m	K 240	Zw/(ha)	SC	
Barbados	f	K 220	(ha)	SC	
Baxxos	f	K 210	Zw	SC	
Beatus	s	K 260	Zw/(ha)	TC	
Benicia	m	K 250	Zw/(ha)	SC	
Birko	f	K 200	Zw	SC	
Brissac	msp	K 260	Zw	SC	
Caballero	m	K 250	(ha)	SC	
Calas	m	K 230	Zw	SC	
Campari	m	K 250	Zw	SC	

Cardoso	m	K 240	(ha)	SC
Carrera	m	K 240	Zw	SC
Caruso	f	K 220	Zw	SC
Cascadas	m	K 250	(za)	TC
Clarica	s	K 280	Za	SC
Coach	s	K 260	Zw	SC
Companero	f	K 200	Zw/(ha)	TC
Copland	f	K 220	Ha	SC
Delitop	m	K 230	(ha)	SC
Deltastar	m	K 230	Zw	SC
DK 291	m	K 250	Zw/(za)	SC
DK 231	f	K 210	(ha)	SC
DK 247	f	K 210	Zw	SC
DK 315	msp	K270	Zw/(za)	SC
DKC 2864	f	K 220	Zw	SC
DKC 2960	m	K 240	Zw	SC
DKC 3421	m	K 250	(za)	SC
YG				
DKC 2949	f	K 220	(za)	SC
DKC 3578	m	K 250	(ha)	SC
DKC 3660	m	K 240	Za	SC
DKC 4250	msp	K 270	Za	SC
DKC 4371	s	K290	Za	SC
DKC 4845	s	K330	Za	SC
DKC 5143	s	K350	Za	SC
Domenico	f	K 220	(ha)	TC
Early Star	f	K 220	Zw	SC
Ecrin	f	K 220	(ha)	TS
Emilio	msp	K 260	(ha)	DC
Energystar	f	K 210	Zw	SC
ES Alanis	f	K 210	(ha)	SC
ES Arktis	f	K 200	Zw	SC
ES Ballade	f	K 190	Zw	SC
ES Charles	msp	K 260	Zw	SC
ES Frenetic	f	K 220	Zw/(za)	SC
ES Limes	m	K 230	Zw	TC
ES Paroli	m	K 250	Zw	SC
ES Shorty	f	K 210	Zw	SC
ES Ultrafox	m	K 240	Zw	SC
Duo				
Eurostar	m	K 230	Zw/(ha)	
Expert	m	K 240	Zw	TC
Fangio	s	K 280	Za	SC
Fantastic	m	K 240	Zw	SC
Fauna	f	K 220	(ha)	SC
Fernando	msp	K 260	Zw	SC
Fjord	m	K 230	(ha)	SC

Züchter, 2007/ DMK, 2007
 Züchterbroschüre 2008, internet
 Dekalb, Herr Braun (2007)
 Österreich; Dekalb (207)
 Dekalb (2007)

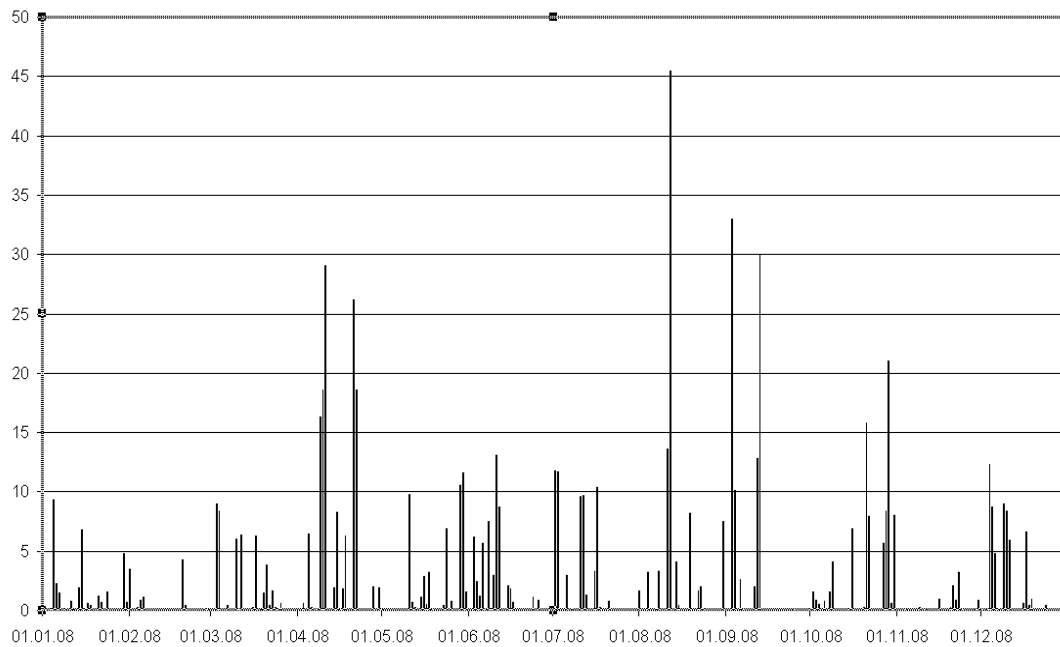
Flavi	m	K 250	Zw/(ha)		
Florett	m	K 230	(ha)/Zw/(za)	TC	
Forum	f	K 190	Zw	SC	
Franz	m	K 240	Zw	SC	
Fuego	f	K 220	Zw	SC	
Fuxxol	f	K 220	Zw	SC	
Gavott	s	K 270	(ha)	SC	
Gomera	f	K 220	Ha	SC	
Helga	m	K 250	Za	SC	
Helix	f	K 220	Zw	SC	
Hexxer	m	K 240	Zw	SC	
Husar	f	K 190	Zw	SC	
Ignacio	m	K 240	Zw	SC	
Ikos	m	K 250	Zw	SC	
Justina	m	K 250	Zw	SC	
Kabanas	msp	K 260	Zw/(ha)	TC	
King	f	K 220	(ha)	SC	
Konfians	m	K 250	Zw	TC	DMK(2007), KWS
Korneli	m	K 240	(ha)	SC	
Korund	m	K 240	Zw	SC	
Kosinus	m	K 240	Zw	SC	
Kuratus	msp	K 260	Zw	SC	
Kuxxar	msp	K 270	Zw/(za)	SC	
Lacta	m	K 230	(za)	SC	
Lambada	m	K 240	Zw/(ha)	SC	
Lenz	m	K 240	Zw/(ha)	TC	
LG 3212	f	K 210	(ha)	SC	
LG 3237	m	K 240	(ha)	SC	
LG 3197	m	K 230	Zw	SC	
LG 3214	f	K 200	Zw	SC	
LG 3226	m	K 240	Zw	SC	
LG 3232	m	K 240	(ha)	TC	
LG 34.40	s	K320	ZA	S	
Liberal	msp	K 270	Zw	SC	
Limit	f	K 220	Zw	SC	
Loft	f	K 220	Zw	SC	
Loretto	s	K 260	Zw	SC	
Marcello	msp	K 260	ZW	TC	DMK/KWS (2007)
Maxxis	s	K 290	Za	SC	
Mikis	m	K 230	Zw	SC	
Moncada	m	K 230	Zw	SC	
Mondeo	m	K 240	Zw	SC	
Montello	m	K 240	Zw	SC	
Monumental	m	K 240	Zw	SC	
Nathan	m	K 240	Zw	SC	
Nexxos	msp	K 260	Zw	SC	

NK Lugan	m	K 250	Zw	SC	
NK Ravello	f	K 190	(ha)	SC	
Oldham	m	K 230	Zw	SC	
Olivin	f	K 220	(za)	SC	
Oreal	m	K 230	Zw	SC	
Palermo	f	K 210	Zw	SC	
Patrick	f	K 220	Zw	SC	
Pedro	m	K 240	Zw/(ha)	TC	
Permanent	m	K 240	Za	SC	Züchter, 2007/ DMK, 2007
Pernel	f	K 220	Zw/(ha)	TC	
Phantom	m	K 230	Zw	SC	
Pharaon	msp	K 260	Zw	SC	
Pixxia	s	K320	Za	SC	DMK/ Ragt (2007)
Pollen	s	K 280	(za)	SC	http://www.maisadour.de/47.html
Pontos	msp	K 270	Zw	SC	
Positive	m	K 240	(ha)	SC	
PR37Y12	s	K300	Za	SC	DMK, 2008
Power	m	K 230	Zw	SC	
PR36B08	s	K390	Za	SC	DMK, 2007
PR36K67	s	K350	(Za)	SC	DMK, 2007
PR38A24	s	K300	(za)	SC	DMK (2007); Pioneer-Germany
PR38F71	s	K 270	Zw	SC	
PR38H20	msp	K 270	Za	SC	DMK, 2007
PR38P82	msp	K 260	(za)	SC	
PR38V12	s	K 280	Za	SC	
PR38B85	s	K 290	Zw	SC	DMK, 2007
PR39F56	msp	K 260	(za)	SC	
PR39T13	m	K 250	Zw	SC	
PR39V17	m	K 250	(za)	SC	
PR38F53	s	K 290	(za)	SC	
PR39A37	m	K 240	Zw/(ha)	SC	
PR39B29	f	K 190	(ha)	SC	
PR39B50	m	K 240	Zw	SC	
PR39F58	m	K 250	Za	SC	
PR39G12	f	K 220	(ha)	SC	
PR39H32	f	K 220	(ha)	SC	
PR39K13	f	K 220	Ha	SC	
PR39M20	f	K 220	Zw	SC	
PR39M48	f	K 210	(ha)	SC	
PR39P49	m	K 250	Zw	SC	
PR39T84	m	K 250	Zw/(ha)	SC	
Prinz	m	K 230	Zw	SC	
Probat	m	K 240	(za)	SC	
Ricardo	f	K 200	Zw/(ha)	TC	
Rivaldo	m	K 250	Zw	SC	
Rodrigo	m	K 250	(za)	SC	

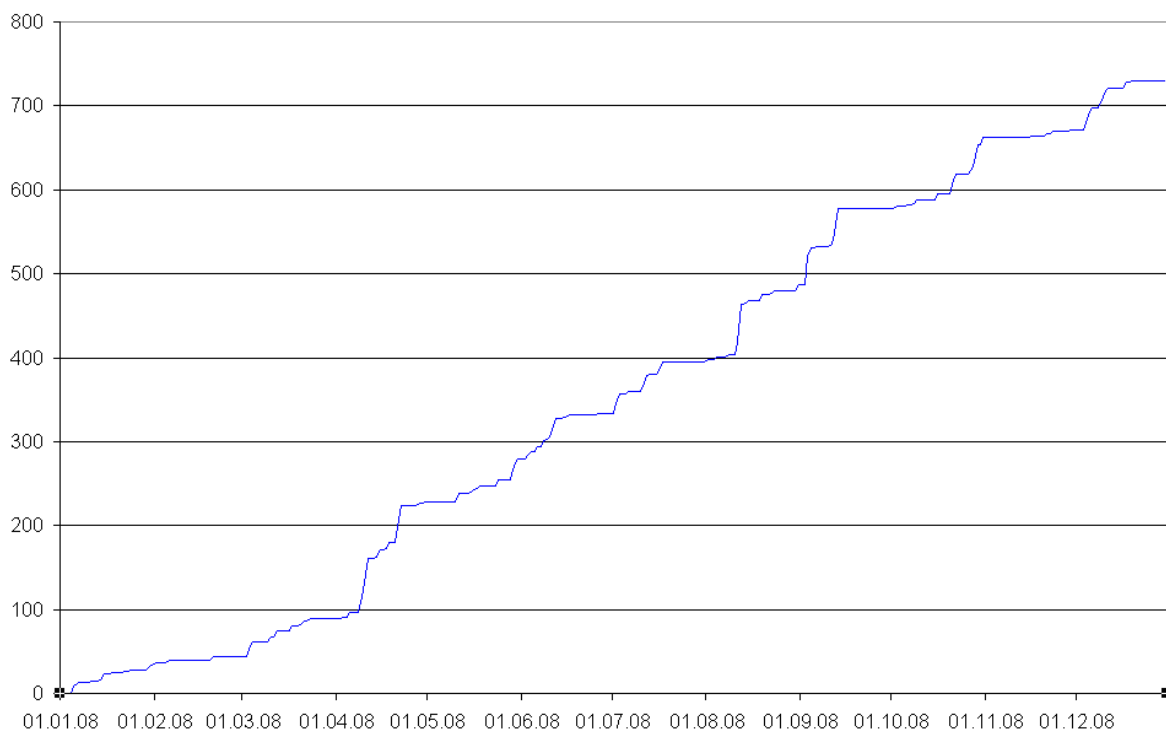
Romario	m	K 240	Zw	SC	
Ronaldino	m	K 240	Zw	TC	DMK, 2007; KWS, 2007
Rosalie	m	K 230	Zw	SC	
Ruperto	m	K 230	(ha)	SC	
Salgado	m	K 230	Zw	SC	
Salmos	msp	K 260	(ha)	TC	
Sandrina	m	K 240	Zw	SC	
Santiago	m	K 230	Zw	SC	
Santorin	m	K 230	(ha)	SC	
Schumi	m	K 230	(ha)	SC	
Secura	msp	K 260	Zw	SC	
Severo	m	K 240	(ha)	TC	
Silas	f	K 210	Zw/(ha)	TC	
Sileno	m	K 230	Zw/(ha)	TC	
Solution	msp	K 270	Zw	SC	DMK, 2007
Sombrero	m	K 230	(ha)	TC	
Spezi	f	K 200	Zw	SC	
Spider	f	K 220	(ha)	SC	
Splendis	s	K 270	Zw/(za)	TC	
Sponsor	f	K 220	(za)	SC	
Sunday	f	K 210	Zw	SC	
Tassilo	f	K 200	Zw	SC	
Tiberio	m	K 230	(ha)	TC	
Topper	m	K 240	Zw	SC	
Veritis	m	K 230	Zw/(za)	TC	
Viborg	f	K 210	Zw	SC	
Volvik	m	K 230	(ha)	TC	

8.13 Tagesniederschläge und Niederschlagssummen der Wetterstation Heitersheim 2008 bis 2010

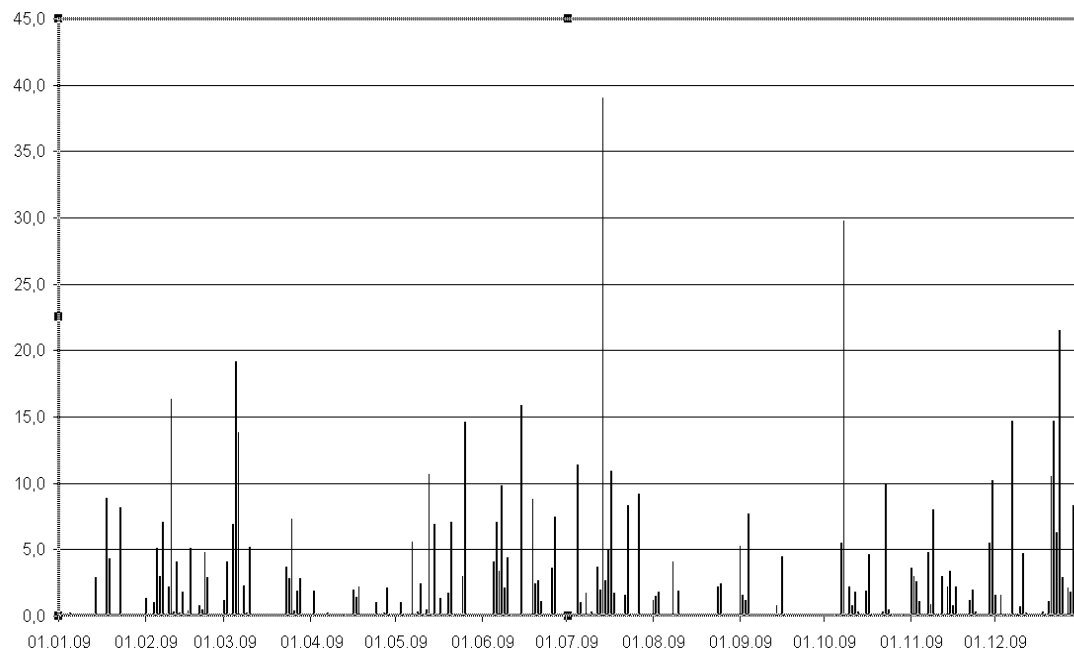
Tages - Niederschlagswerte
Wetterstation Heitersheim 2008



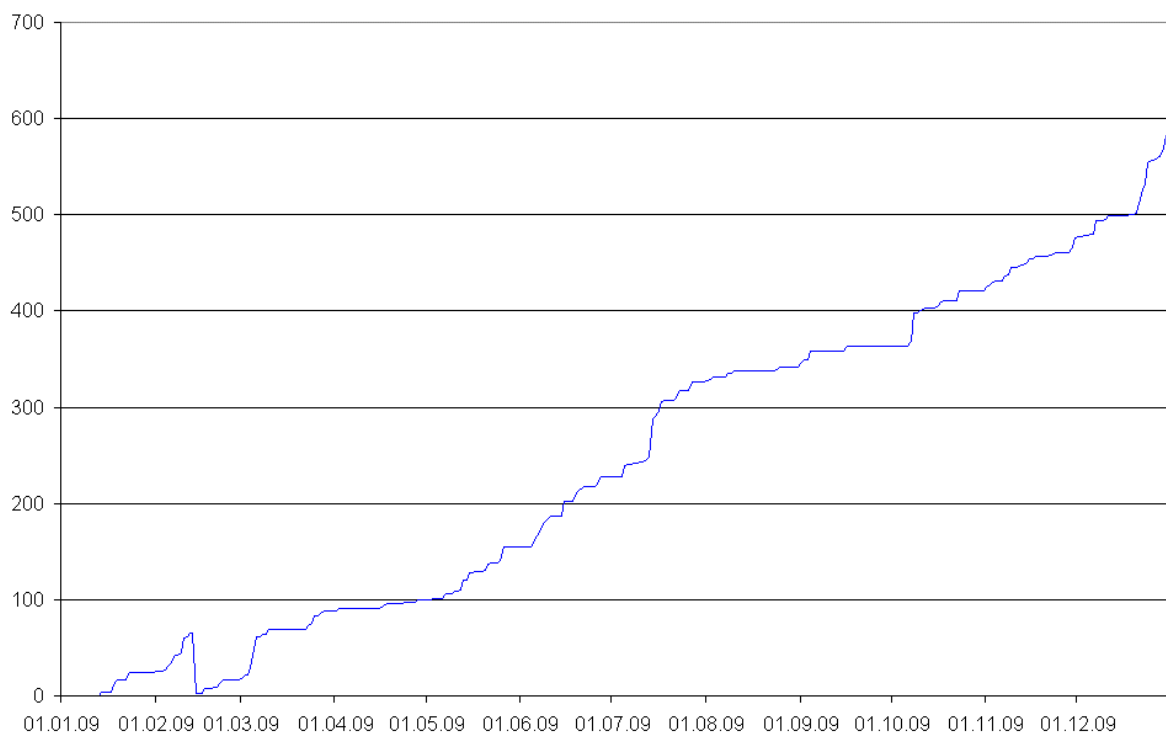
Niederschlagssummen Wetterstation Heitersheim 2008



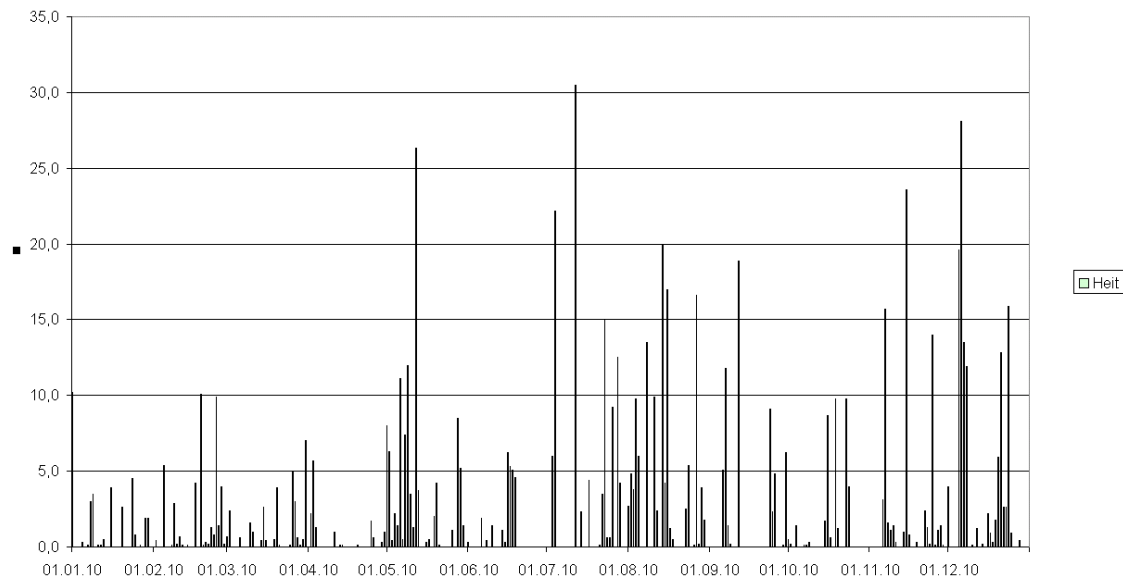
Tages - Niederschlagswerte
Wetterstation Heitersheim 2009



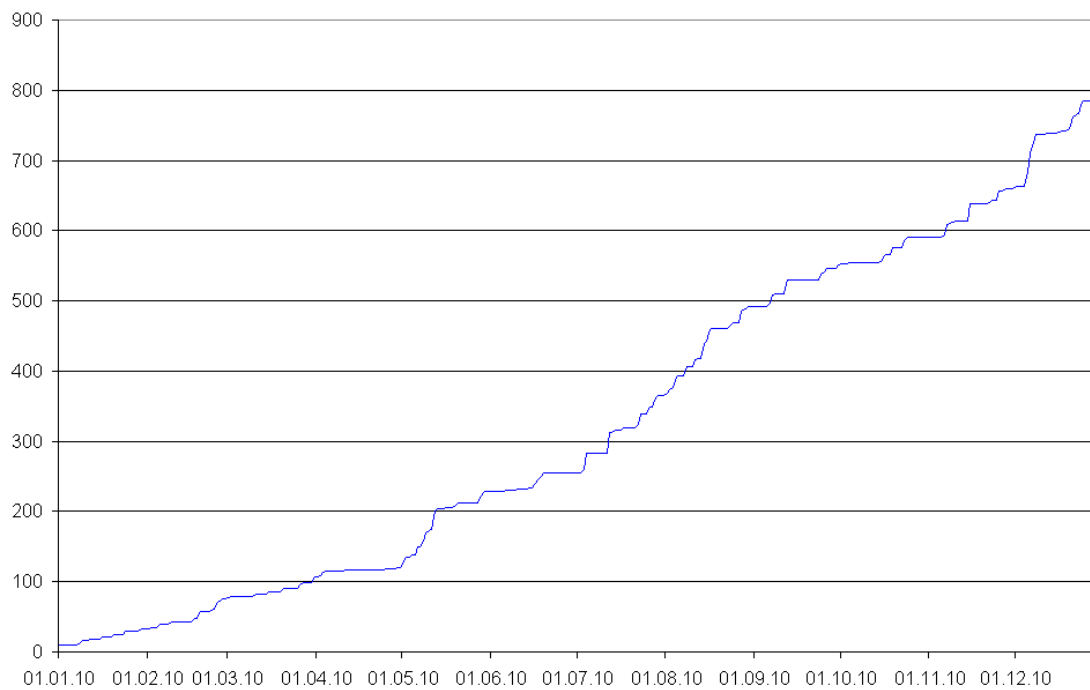
Niederschlagssumme Wetterstation Heitersheim 2009



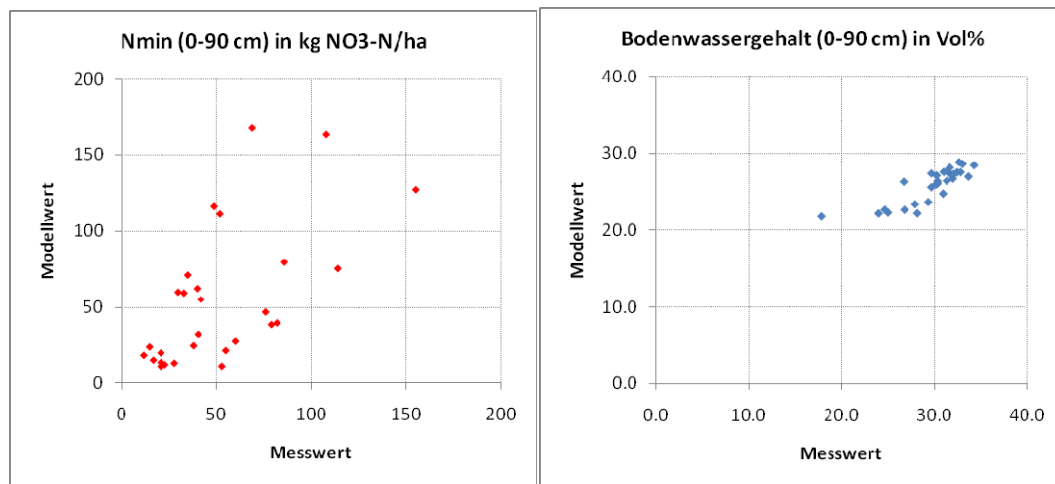
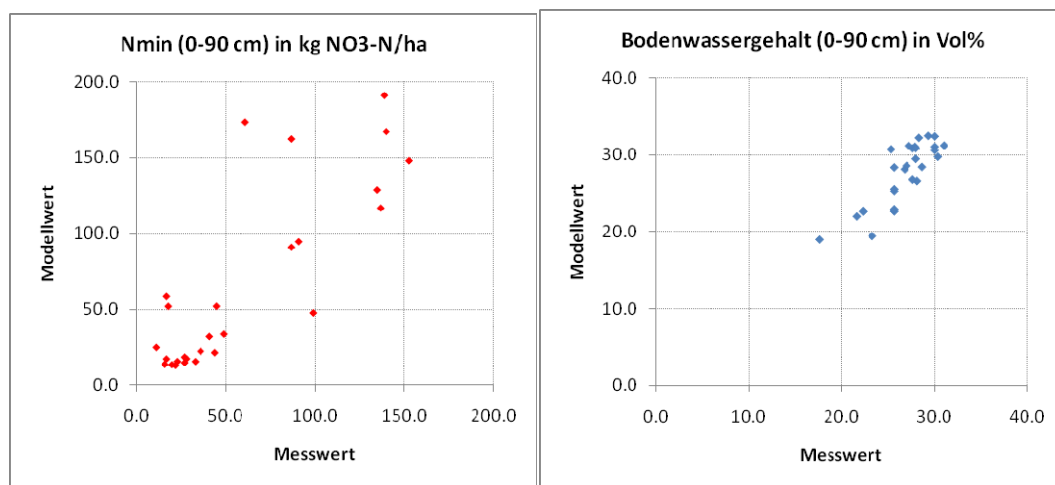
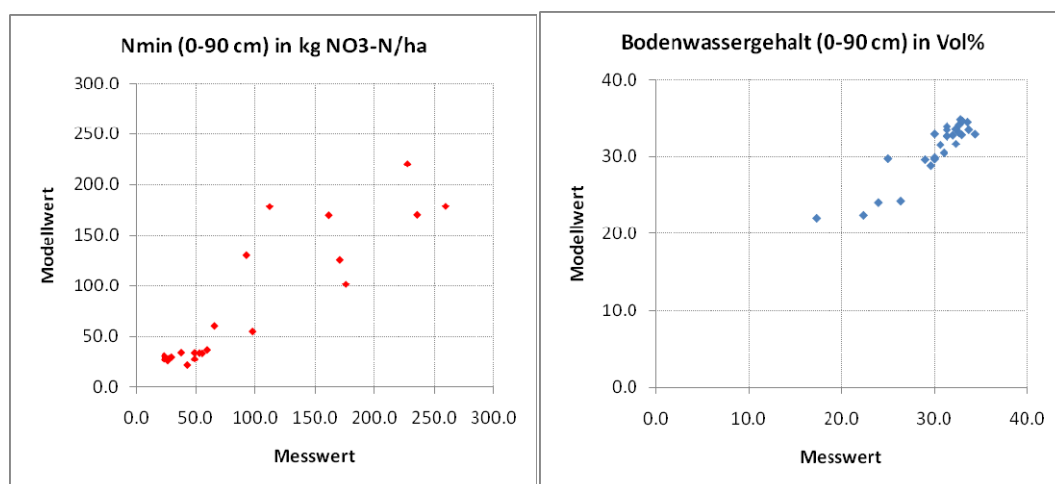
**Tages - Niederschlagswerte
Wetterstation Heitersheim 2010**

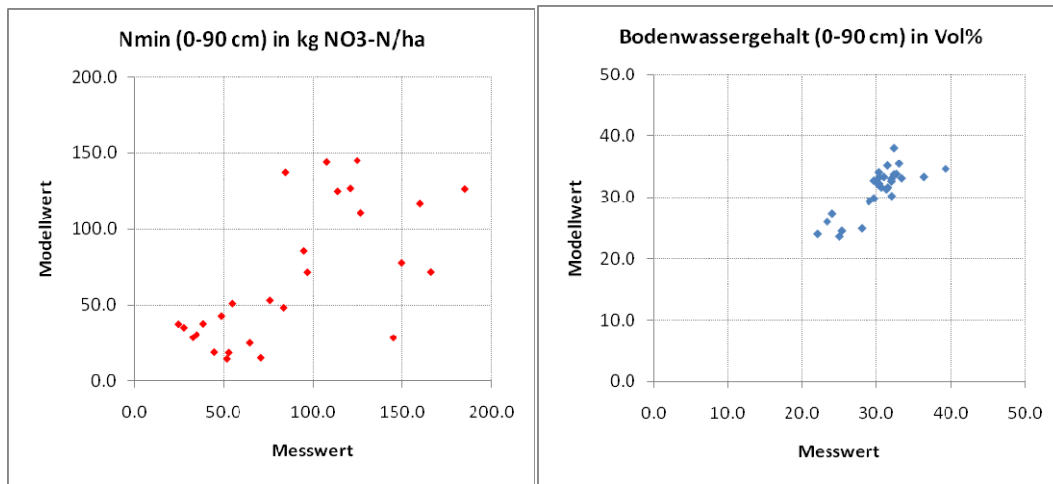
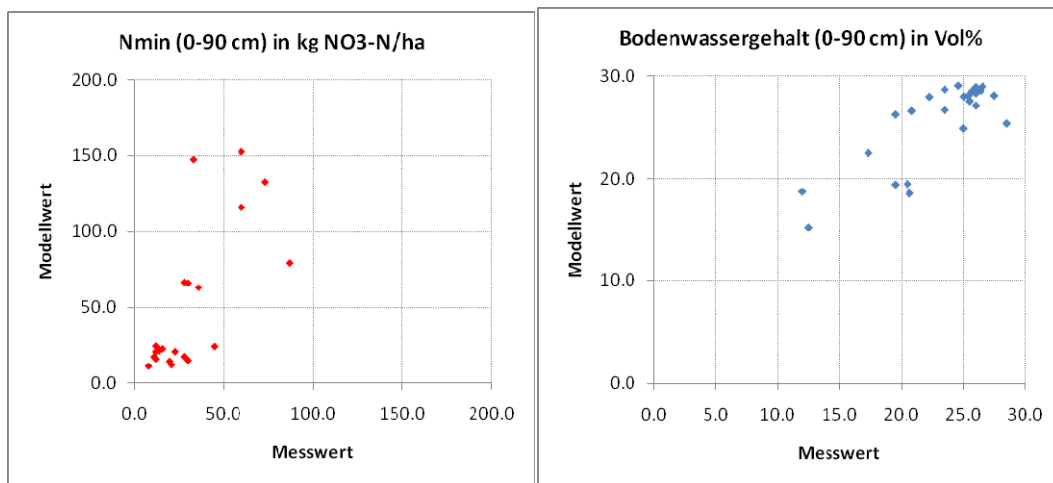
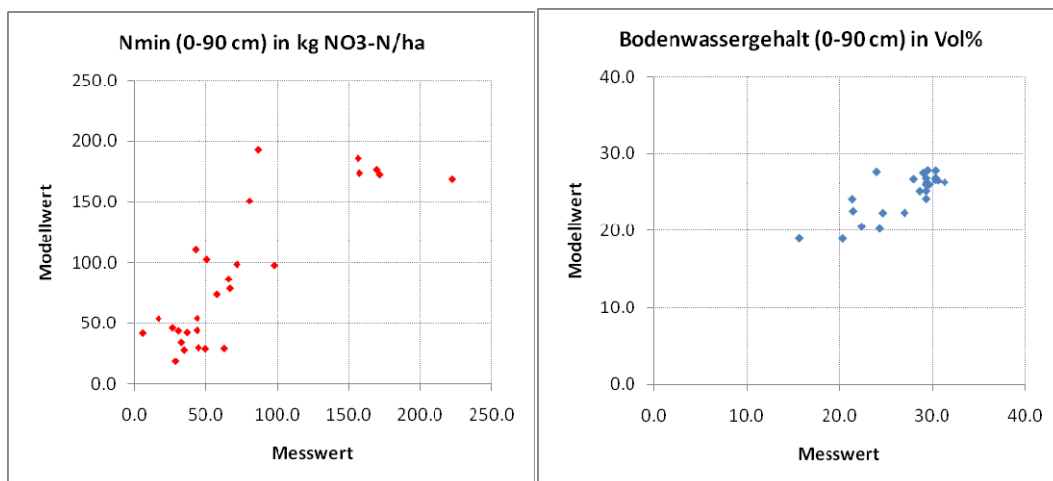


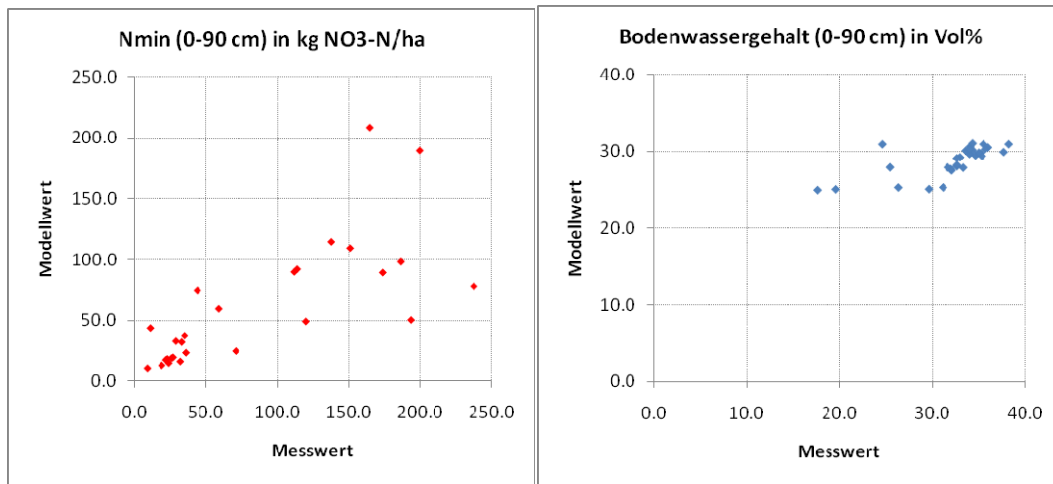
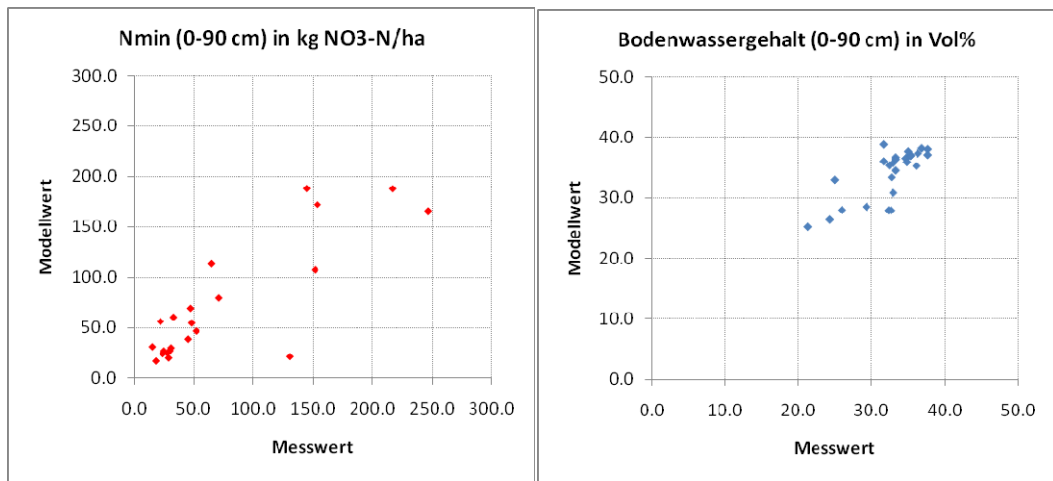
Niederschlagssumme Wetterstation Heitersheim 2010

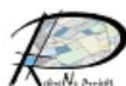


8.14 1:1 Diagramme modellierter und gemessener $N_{\min}$ -Werte und Bodenwassergehalte

Abbildung 8.9 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER1 (2006-2009)Abbildung 8.10 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER2 (2006-2009)Abbildung 8.11 1:1-Diagramm für $N_{\min}$ und Bodenwassergehalte für RER3 (2006-2009)

Abbildung 8.12 1:1-Diagramm für N_{min} und Bodenwassergehalte für RER4 (2006-2009)Abbildung 8.13 1:1-Diagramm für N_{min} und Bodenwassergehalte für RER5 (2006-2009)Abbildung 8.14 1:1-Diagramm für N_{min} und Bodenwassergehalte für RER6 (2006-2009)

Abbildung 8.15 1:1-Diagramm für N_{min} und Bodenwassergehalte für RER7 (2006-2009)Abbildung 8.16 1:1-Diagramm für N_{min} und Bodenwassergehalte für RER8 (2006-2009)



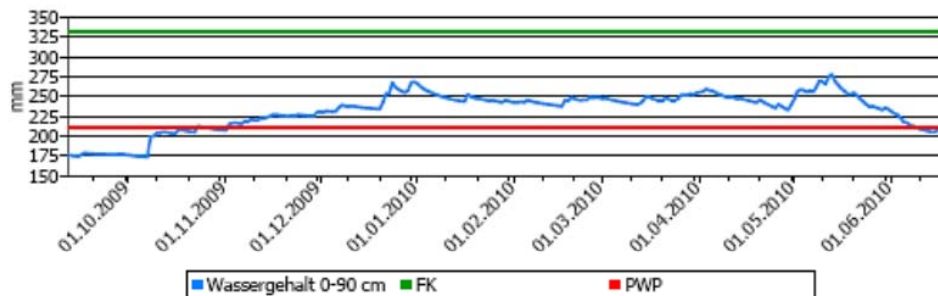
Expert-N Modelllauf - Übersichtsbericht -

Standort

Gemarkung	Schlag	Flurstück(e)	Erstelldatum
Hausen		1735-0; 1734-0; 1736-0	22.06.2010
Bew.-jahr	Vorfruchternte (Modellstart)	Saat (Hauptfrucht)	Ernte (Modellende)
2010	12.09.2009	30.04.2010	20.06.2010
			Hauptfrucht
			Mais, Körner

Wasserbilanz & Bodenwasser [mm]

Niederschlag	Verdunstung (akt. ET)	Versickerung
457	121	275
Feldkapazität (FK)	nutzbare Feldkapazität (FK)	Permanenter Welkepunkt (PWP)
332	121	211
Wassergehalt 0-30cm	Wassergehalt 0-90cm	Wasserstress ab
74	215	248



Pflanzendaten

Ertragsziel /gemessen [kg TM/ ha]	Ertrag modelliert [kg TM/ ha]	Differenz [kg TM/ ha]
	0	

Stickstoff [kg N/ha]

akt. Nmin-Gehalt [NO ₃ -N + NH ₄ -N]	Nmin-Gehalt zur Saat [NO ₃ -N + NH ₄ -N]	kum. N-Auswaschung	gesamte N-Freisetzung (Humus, Streu)
111,2	191,9	35,5	56,0

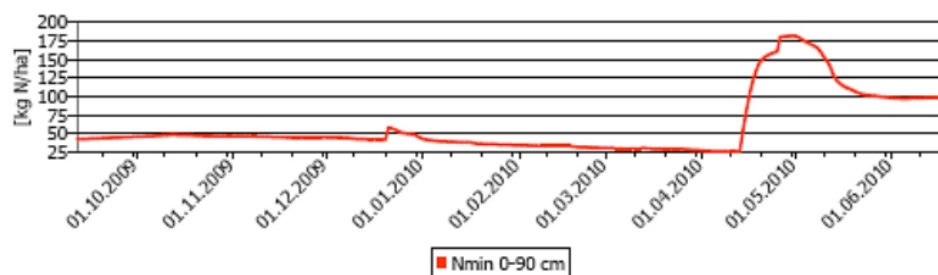


Abbildung 8.17 Berichtsformat Simulations-Übersicht

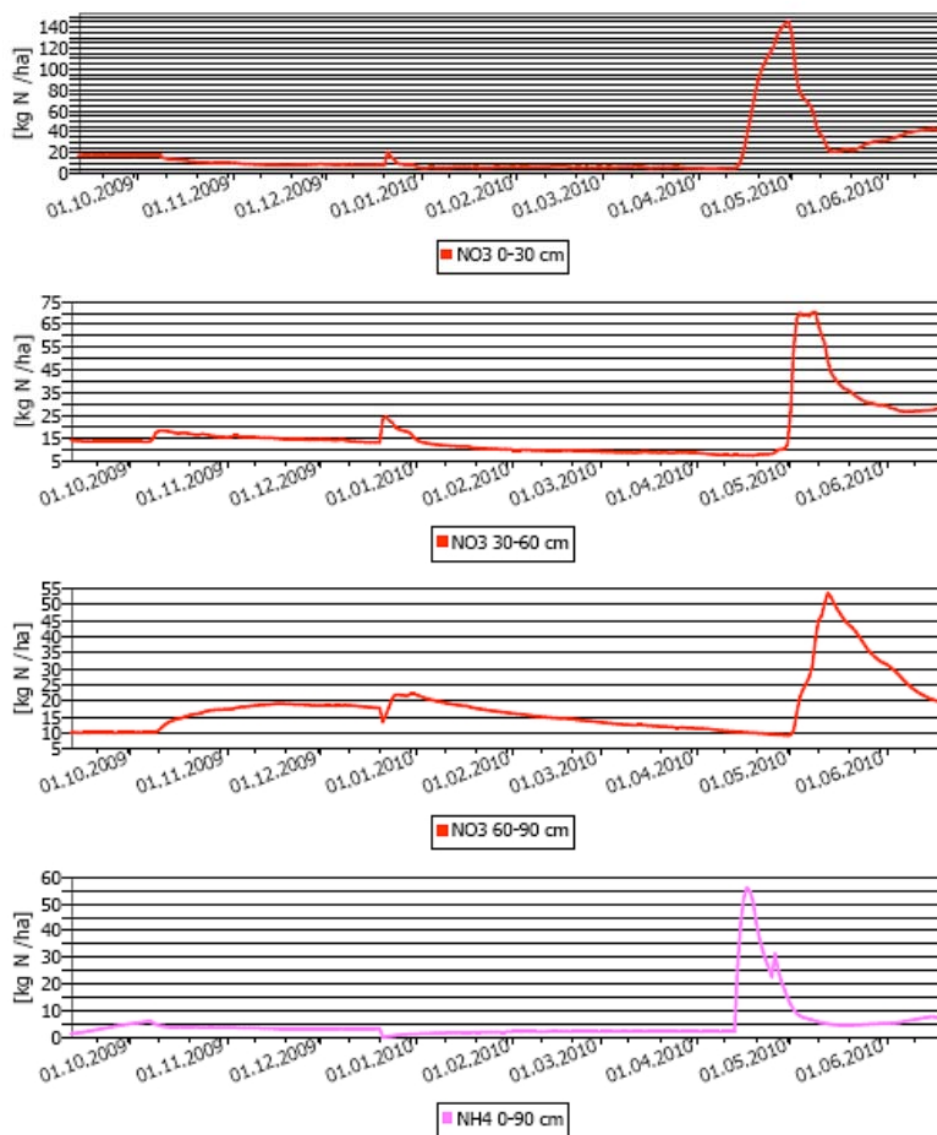


Expert-N Modelllauf - Stickstoff -

Standort

Gemarkung	Schlag	Flurstück(e)	Erstelldatum
Hausen		1735-0; 1734-0; 1736-0	22.06.2010
Bew.-jahr	Vorfruchternte (Modellstart)	Saat (Hauptfrucht)	Ernte (Modellende)
2010	12.09.2009	30.04.2010	20.06.2010
			Hauptfrucht
			Mais, Körner

Bodenstickstoff [kg N/ha]



- Seite 1/2 -

Abbildung 8.18 Berichtsformat Stickstoff/ Nitrat (1/2)

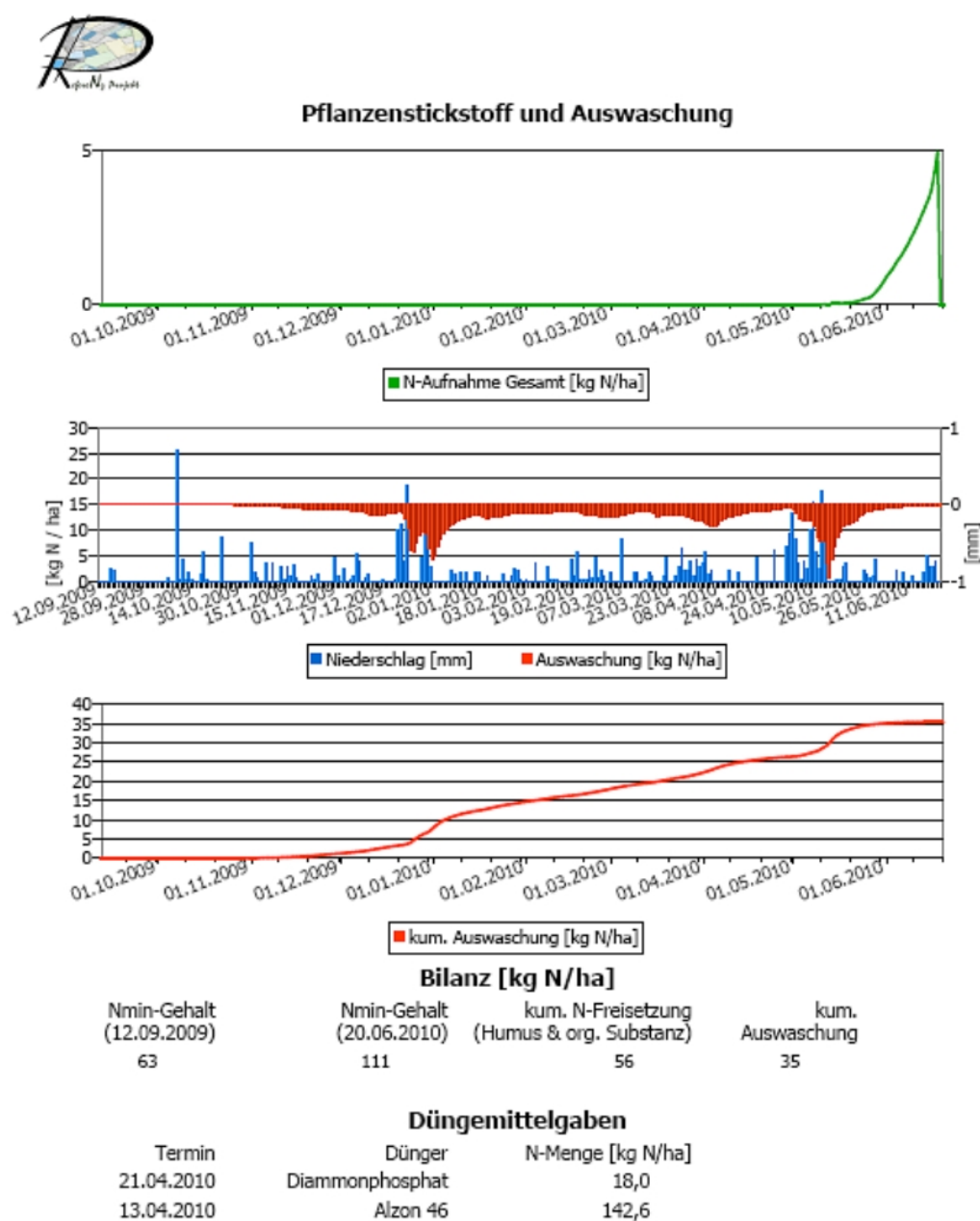


Abbildung 8.19 Berichtsformat Stickstoff/ Nitrat (2/2)

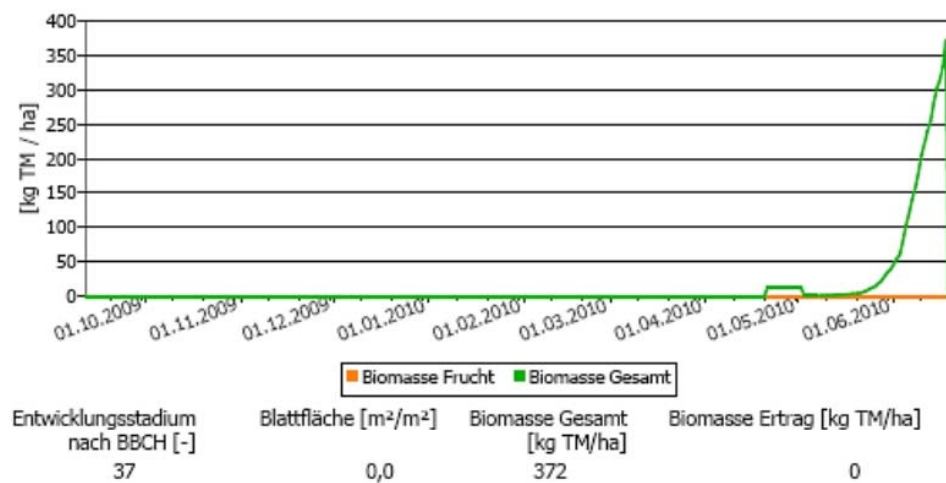


Expert-N Modelllauf - Pflanzendaten -

Standort

Gemarkung	Schlag	Flurstück(e)	Erstelldatum
Hausen		1735-0; 1734-0; 1736-0	22.06.2010
Bew.-jahr	Vorfruchternte (Modellstart)	Saat (Hauptfrucht)	Ernte (Modellende)
2010	12.09.2009	30.04.2010	20.06.2010
			Hauptfrucht
			Mais, Körner

Biomasse & Pflanzenentwicklung



Stickstoffeinlagerung der Pflanze

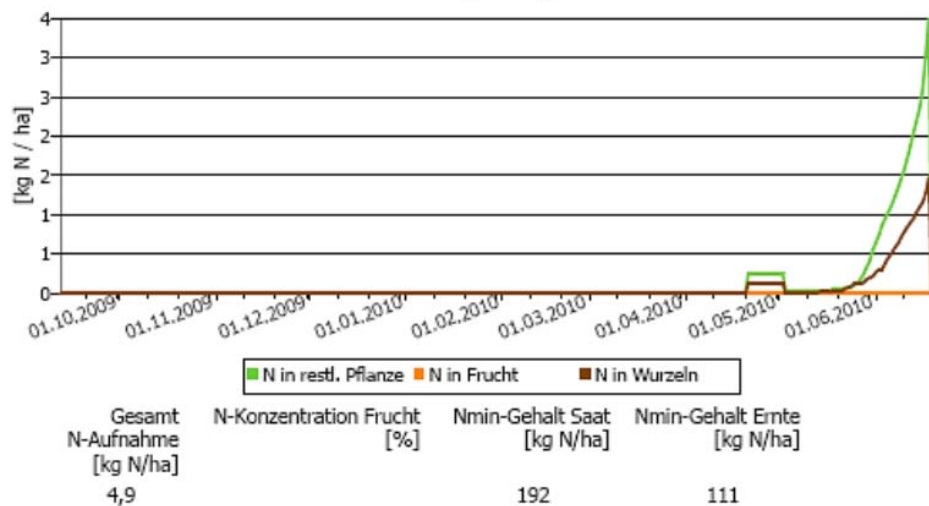


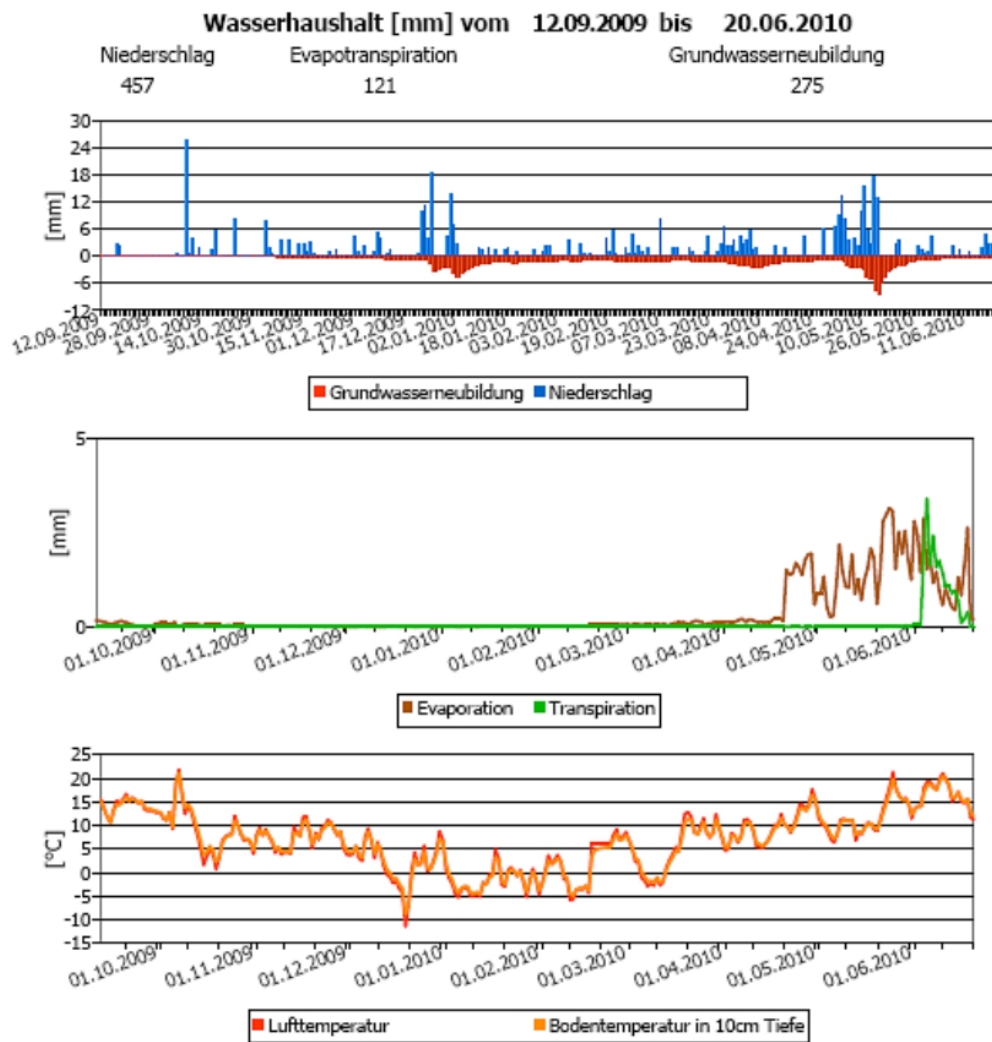
Abbildung 8.20 Berichtsformat Pflanzen



Expert-N Modelllauf - Wasser -

Standort

Gemarkung	Schlag	Flurstück(e)		Erstelldatum
Hausen		1735-0; 1734-0; 1736-0		22.06.2010
Bew.-jahr	Vorfruchternte (Modellstart)	Saat (Hauptfrucht)	Ernte (Modellende)	Hauptfrucht
2010	12.09.2009	30.04.2010	20.06.2010	Mais, Körner



- Seite 1/2 -

Abbildung 8.21 Berichtsformat Wasser- und Klima (1/2)

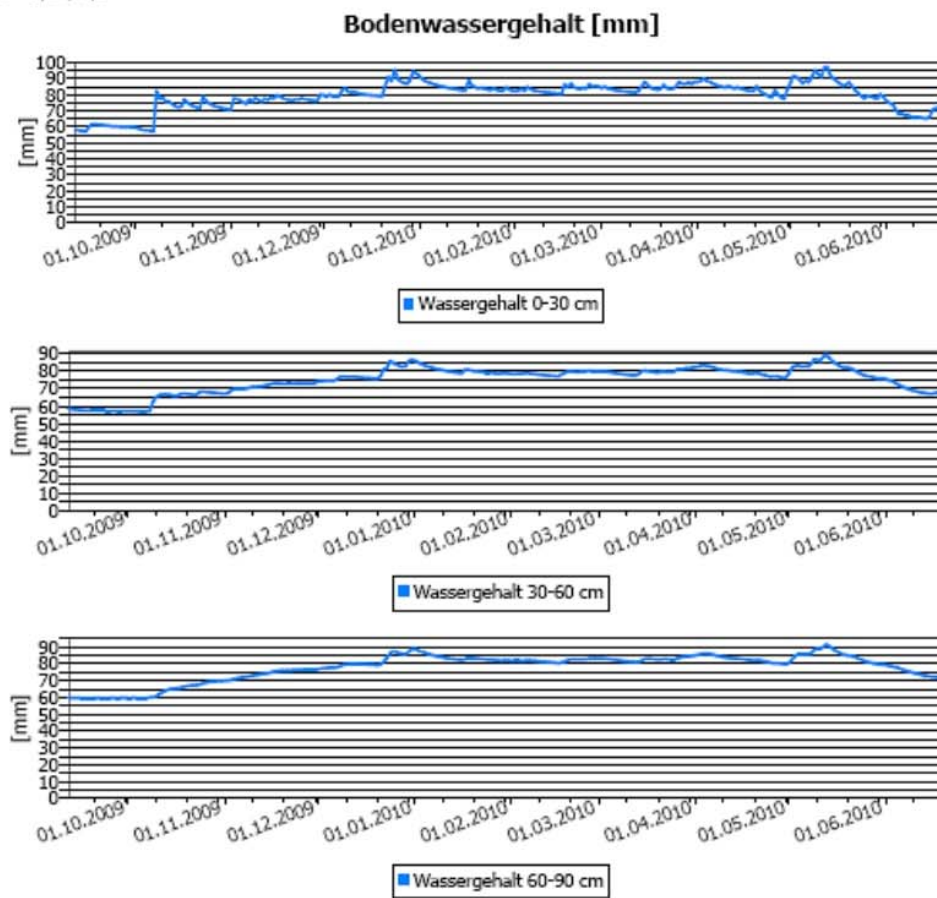


Abbildung 8.22 Berichtsformat Wasser- und Klima (2/2)

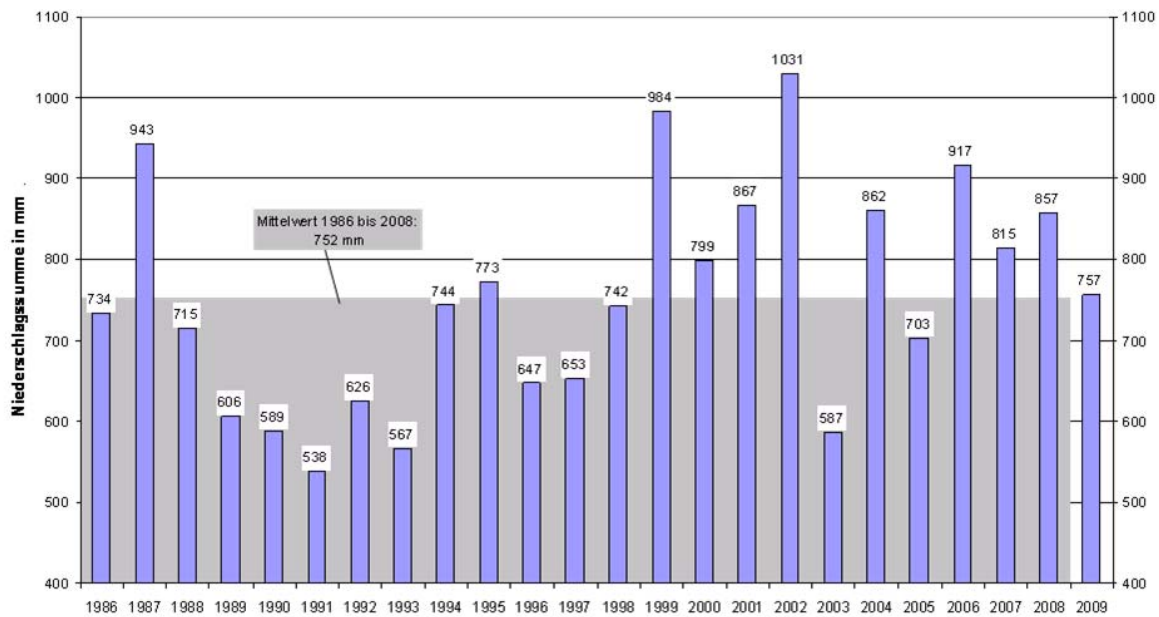


Abbildung 8.23 Jahres-Niederschlagssummen seit 1986 für das Projektgebiet bei der Niederschlagsstation am Wasserwerk Hausen der badenova (Quelle: Ball TZW Karlsruhe).

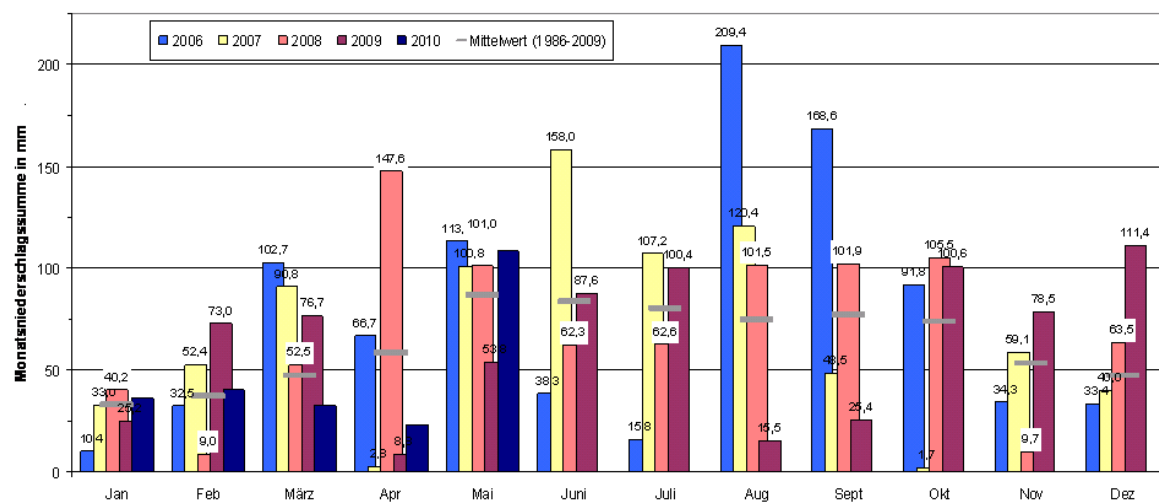


Abbildung 8.24 Monats-Niederschlagssummen im Projektgebiet von 1/2006 bis 5/2010 und langjährige Mittel (graue Linie) am Wasserwerk Hausen der badenova (Quelle: Ball, TZW Karlsruhe).

So berechnen Sie Ihren N-Düngebedarf für Ackerkulturen nach § 3 Düngeverordnung

Verfahren zur Berechnung des gesamten Stickstoff-Düngebedarfs:

N-Bedarf =
N-Entzugswert in kg N/dt Erntegut (Tab.1) x Ertragserwartung in dt/ha + Zuschlag für nicht erntefähige Restpflanze (Raps 50 kg N/ha, restliche Ackerkulturen 20 kg N/ha)
abzüglich: • pflanzennutzbarer Nitratstickstoffvorrat des Bodens im Frühjahr (Nmin-Untersuchung, NID) • pflanzennutzbare N-Lieferung aus: • Boden (Tab. 2 und Tab. 3) • Ernteresten der Vorfrucht (Tab. 4) • Zwischenfrüchten und N-Düngung ab Ernte Vorfrucht (Tab. 5) • langjähriger organischer Düngung (Tab. 6)
= gesamter Stickstoff-Düngebedarf nach guter fachlicher Praxis (organisch und mineralisch)

Begrenzung durch **Höchstdüngemenge** (Tab. 1) beachten.

Zulässige und empfohlene **Minstdüngemenge** für Mineralboden 30 kg N/ha.

Die unteren Landwirtschaftsbehörden an den Landratsämtern geben weitere Auskünfte zu Fragen der Düngeverordnung.



Abbildung 8.25 Schema zur Berechnung des Düngerbedarfs bei Ackerkulturen nach guter fachlicher Praxis (LTZ, 2010) .

8.15 Öffentlichkeitsarbeit:

Projektbegleitend und zum Abschluss des Projektes fanden mehrere Präsentationen und Veranstaltungen statt, auf denen Ziele, Zwischenergebnisse und Resultate des Projektes vorgestellt wurden.

Datum	Aktivität
Juli 2006	Präsentation des Projektes vor ca. 30 Teilnehmern der jährlichen Fachexkursion der AGRIDEA, der Schweizerischen Vereinigung für die Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raums in Bad Krozingen
06.03.2007	Projektpräsentation des Projektes und erster Ergebnisse für Landwirte, Vertreter des Regierungspräsidiums, des TZW Karlsruhe, des LTZ Augustenberg (Nitratinformationsdienst) und des Institut für Grenzüberschreitende Zusammenarbeit ITADA /Colmar in Bad Krozingen-Hausen.
24.10.2008	Vorstellung und Referenz-Funktionen und von Simulationen in der praktischen Anwendung vor Vertretern der Agrarforschung des Landes Baden-Württemberg beim Landwirtschaftlichen Technologiezentrum (LTZ) in Karlsruhe-Forchheim.
26. 03.2009	Workshop mit Vorstellung des Referenz-Werkzeugs für die Pilotanwendung 2009/2010 mit Landwirten, Obmännern der Wasserschutzgebiete und Vertretern aus Agrarverwaltung und Gewässerschutz in Bad-Krozingen Hausen
11.-13.09.2009	EUROMAIs 2009, Ostheim Elsass, Präsentation des Referenz –Projektes mit Postern in französischer und deutscher Sprache. http://www.anna-consult.de/transfer/Poster_Referenz_Franz_EUROMAIS_2009.pdf http://www.anna-consult.de/transfer/Poster_Referenz_deutsch_EUROMAIS_2009.pdf
15/16. 03.2010	Vorstellung des Referenz-Werkzeugs auf den Obmännertreffen des Wasserschutzgebiete Hausen und Ebnet.
28. 06.2010	Abschlusskolloquium zum Projekt mit 36 Teilnehmern aus Landwirtschaft, Agrarverwaltung, Agrarforschung, Umweltforschung, Gewässerschutz bei der badenova in Freiburg. Tagungsprogramm und Beiträge unter Adresse : http://www.anna-consult.de/transfer/Referenz_Abschlusskolloquium_28_06_2010.doc
28.-30.09.2010	Präsentation der Projektergebnisse und des Referenz-Werkzeugs im Rahmen der 53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., vom 28.09.–30.09.2010 in Stuttgart-Hohenheim Poster: http://www.anna-consult.de/transfer/Poster_GPW_29_09_2010_end.pdf Text Tagungsband : http://www.anna-consult.de/transfer/Referenz_Poster_Text_2010_09_29_end.pdf