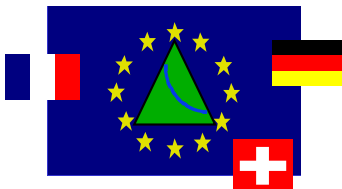


ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



1996-1999

Abschlussbericht zum Projekt A1.3

Wechselwirkungen zwischen Stickstoff und Beregnung bei Mais: Optimierung und Begrenzung der Risiken

Projektleiter:	F. Juncker-Schwing (AGPM)	Colmar	F
	D. Lasserre (ITCF)	Colmar	F
Projektpartner:	F.J. Kansy (IfUL)	Müllheim	D
Weitere Beteiligte:	ARAA, INRA, Lycée Agricole de Rouffach (F), ALLB Freiburg (D) Freiburger Elektrizitäts- und Wasserversorgungs AG (FEW) (D)		

Projekt gefördert durch die EU-Gemeinschaftsinitiative INTERREG II 'Oberrhein Mitte-Süd'

Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM)
Institut Technique des Céréales et des Fourrages, Colmar (ITCF)
Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim (IfUL)
Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA)
Institut National pour la Recherche Agronomique, Colmar (INRA)
Regierungspräsidium Freiburg (RPFR)

ITADA-Sekretariat: 2 allée de Herrlisheim, F-68000 COLMAR
Tel.: 00333 89 22 95 50 Fax: 00333 89 22 95 59 eMail: itada@wanadoo.fr

INHALTSVERZEICHNIS

Problemstellung	5
Zielsetzung	5
Methoden	
1. Beschreibung des Versuchsstandorts	6
1.1 Geographische Lage	6
1.2 Bodeneigenschaften	6
1.2.1 Bestimmung der Feldkapazität des Bodens	7
1.2.2 Bodenuntersuchung und Bodenprofil	7
2. verwendete Materialien	8
2.1 Pflanzenmaterial	8
2.2 Wahl der Tensiometer	9
2.3 Beregnungseinrichtung	9
3. Versuchsanlage	9
3.1 Die 4 Beregnungsvarianten	9
3.2 Die 6 Düngungsvarianten	9
4. Die Entscheidungsregeln der Beregnungssteuerung	11
4.1 Das Steuerungsmodell I1	11
4.2 Das Steuerungsmodell I2	12
4.3 Das Steuerungsmodell I3	13
5. Die durchgeführten Messungen	12
5.1 Stickstoffbilanz	12
5.1.1 Nmin-Werte des Bodens	12
5.1.2 Stickstoffaufnahme der Pflanzen	12
5.2 Wasserbilanz	12
5.2.1 Bodenfeuchte	12
5.2.2 Bodenwasserspannung	13
5.3 Wasserqualität	13
5.3.1 Während der Vegetationszeit des Mais	13
5.3.2 Während der vegetationslosen Zeit	13
6. Die Merkmale der statistischen Untersuchung	13
6.1 Beschreibung des Versuchsplans	13
6.2 Statistische Auswertung	14

Ergebnisse	15
Die landwirtschaftlichen Ergebnisse von Stickstoff x Beregnung in Rouffach (1996-1998)	
Vorbemerkung	15
1. Beschreibung der Jahreswitterungen	15
1.1 Wasserversorgung	15
1.2 Repräsentativität des Witterungsverlaufs der Sommer 1996, 97 und 98 im Vergleich mit dem Durchschnittsklima	20
2. Entwicklung der Bodenwasserversorgung	23
2.1 Entwicklung der nutzbaren Feldkapazität	23
2.2 Tensiometermesswerte	28
2.2.1 in den einzelnen Jahren	28
2.2.2 Wasserdefizit und Tensiometerspannung	36
3. Die landbaulichen Ergebnisse des Jahres 1996	40
3.1 Ertrag, Biomasse und Stickstoffaufnahme	40
3.1.1 Ertrag	41
3.1.2 Biomasse	42
3.1.3 Stickstoffaufnahme	42
3.2 Nmin-Werte	43
3.2.1 Theoretische Nmin-Werte	43
3.2.2 Gemessene Nmin-Werte nach der Ernte	45
3.2.3 Vergleich von theoretischen und gemessenen Nmin-Werten bei der Ernte	46
4. Die landbaulichen Ergebnisse des Jahres 1997	47
4.1 Ertrag, Biomasse und Stickstoffaufnahme	47
4.1.1 Ertrag	47
4.1.2 Biomasse	48
4.1.3 Stickstoffaufnahme	49
4.2 Nmin-Werte	50
4.2.1 Theoretische Nmin-Werte	50
4.2.2 Gemessene Nmin-Werte nach der Ernte	51
4.2.3 Vergleich von theoretischen und gemessenen Nmin-Werten bei der Ernte	52
5. Die landbaulichen Ergebnisse des Jahres 1998	53
5.1 Ertrag, Biomasse und Stickstoffaufnahme	53
5.1.1 Ertrag	53
5.1.2 Biomasse	54
5.1.3 Stickstoffaufnahme	55
5.2 Nmin-Werte	55
5.2.1 Theoretische Nmin-Werte	55
5.2.2 Gemessene Nmin-Werte nach der Ernte	57
5.2.3 Vergleich von theoretischen und gemessenen Nmin-Werten bei der Ernte	58
6. Wechselwirkung zwischen Wasser und Stickstoff in den 3 Jahren	59
6.1 Die Korrelationsgraphiken: Einführung	59
6.2 Die Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von der N-Düngung. Die Ausnutzung des Düngerstickstoffs.	59
6.3 Ertrag und Biomasse in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme.	62
6.4 TKG und Kornzahl/m ² in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme	65
6.5 Zusammenfassende Übersichtstabelle	67

Simulation der Auswaschung an den Standorten Rouffach und Hausen	69
1. Abschätzung der Auswaschungsmengen über Sommer	69
1.1 Das Modell	69
1.2 Die Ergebnisse	70
1.3 Die Grenzen des Modells	70
2. Simulation der Auswaschung über Winter mit LIXIM	71
2.1 Simulation im Winter 1997/98 in Rouffach	71
2.1.1 Anpassung des Modells	71
2.1.2 Ergebnisse der Simulation	72
2.1.2.1 Ergebnisse zur kumulierten Stickstoffmineralisierung	72
2.1.2.2 Die Auswaschungsergebnisse	72
2.2 Simulation in Hausen	74
2.2.1 Zusammenfassende Vorstellung des Versuchs in Hausen	74
2.2.1.1 Stickstoffdüngung	75
2.2.1.2 Berechnungssteuerung	75
2.2.2 Anpassung des Modells	76
2.2.2.1 Winter 95/96	76
2.2.2.2 Winter 1996/97	77
2.2.2.3 Winter 97/97	77
2.2.3 Ergebnisse der Simulation	77
2.2.3.1 Winter 1995/96	77
2.2.3.1.1 Ergebnisse zur kumulierten Stickstoffmineralisierung	77
2.2.3.1.2 Ergebnisse zur Auswaschung	78
2.2.3.2 Winter 1996/97	80
2.2.3.2.1 Ergebnisse zur kumulierten Stickstoffmineralisierung	80
2.2.3.2.2 Ergebnisse zur Auswaschung	81
2.2.3.3 Winter 1997/98	82
2.2.3.3.1 Ergebnisse zur kumulierten Stickstoffmineralisierung	82
2.2.3.3.2 Ergebnisse zur Auswaschung	84
Schlußfolgerung: Zusammenfassung der Ergebnisse in Hausen u. Rouffach	86
Wirtschaftlichkeit der Berechnung in Rouffach und Hausen	87
Allgemeine Schlußfolgerung	88
Anhang	
Anhang 1: Temperatursummen	89
Anhang 2: Bodennitratgehalte	90
Anhang 3: LIXIM-Simulation Rouffach	93
Anhang 4: LIXIM-Parameter	94
Anhang 5: LIXIM-Simulation Hausen	95
Anhang 6: Chronologie der Versuchsarbeiten	99
Bibliographie	101

Problemstellung

Mais ist eine bedeutende Kultur in der Oberrheinebene, die die Standortbedingungen dieser Region gut verwertet.

Wenn die Maisanbaufläche in den letzten 30 Jahren ständig gewachsen ist, so liegt das aber auch am Ausbau der Beregnung. In der Tat hat diese ursprünglich aus den Tropen stammende Pflanze einen hohen Wasserbedarf im Sommer und das im Oberrheingraben reichlich vorhandene und leicht erschließbare Grundwasser hat viel zu diesem Erfolg beigetragen. Im Elsaß werden rund 50% der Maisfläche in der Ebene und 30% der gesamten Maisfläche beregnet. Besonders bedeutsam ist sie in der Hardt, auf kiesigen und durchlässigen Ablagerungen des Rheins, die früher mit wenig fruchtbaren trockenen Wiesen bedeckt waren.

Die Beregnung ist ein wichtiges Instrument zur Ertragssteuerung. Mit ihrem Ausbau ging eine Intensivierung, vor allem was die Stickstoffdüngung anlangt, einher. Deshalb wird häufig unterstellt, daß sie die Gefahr der Nitratauswaschung ins Grundwasser erhöht.

Sowohl im Elsaß als auch in Baden-Württemberg ist der Schutz der Grundwasserqualität vor Nitratbelastung mit einer besseren Bemessung der Stickstoffdüngung und einer besseren Beregnungssteuerung verknüpft. Letztere muß sich nach dem Bedarf der Kultur, dem Witterungsverlauf und der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens richten. Vor allem darf sie am Anfang, solange der Bedarf der Pflanzen gering ist, nicht zu hoch sein.

Die Wechselwirkung zwischen Nährstoff- und Wasserversorgung ist stark und spielt sich auf verschiedenen Ebenen ab:

- Erhöhung des Ertragspotentials,
- Beeinflussung der Stickstoffmineralisierung im Boden (Rhythmus, Stärke),
- Gefahr erhöhter Auswaschung bei übermäßiger Beregnung.

Von daher ist es notwendig, die Aufwandmenge dieser beiden Produktionsfaktoren zu optimieren und so gleichzeitig die Entwicklung der Erträge als auch die der Nmin Gehalte im Boden zu kontrollieren.

Zielsetzung

Die im Elsaß und in Baden-Württemberg von 1996 bis 1998 angestellten Versuche hatten zum Ziel, verschiedene Kombinationen von Stickstoff und Beregnungseinsatz zu vergleichen, um die Risikofaktoren für die Umwelt abzuklären und den besten Kompromiss zu ermitteln, bei dem das Einkommen des Landwirts gesichert ist.

Versuch zur Stickstoffdüngung und Beregnung in Rouffach (F)

Ziel des Versuches von Rouffach war es, verschiedene Kombinationen von Beregnung und Stickstoffdüngung zu prüfen, um die besten Lösungen auf technischer (Ertrag), wirtschaftlicher (Deckungsbeitrag, Anbausystem) und ökologischer (Begrenzung der Nitratauswaschung) Ebene zu ermitteln.

Vor Beginn dieses Versuchs war im Jahr 1995 vom ITADA bereits ein anderer Versuch angelegt worden, um die Beregnungssteuerung zu verbessern und dadurch eine Auswaschung von Stickstoffdünger in die Tiefe zu vermeiden. Er umfasste 5 Düngungsstufen und 4 Beregnungsmethoden.

Die Neuheit der vorliegenden Untersuchung besteht darin, daß die Qualität des Dränwassers, das den Wurzelraum verlässt und somit das Grundwasser erreichen kann, gemessen wird.

Auf diesen Aspekt wurde von den Geldgebern besonderer Wert gelegt. Derartige Versuche gibt es in Frankreich nur wenige. Meist beschränkt man sich auf die Messung der Nitratwerte im Boden.

Eine weitere Besonderheit dieses Projekts liegt darin, daß es sich über drei Jahre erstreckt. Eine mehrjährige Untersuchung ermöglicht eine Erfassung der Variabilität zwischen den Jahren und führt somit zu abgesicherten Ergebnissen.

Dieses Vorhaben erlaubt:

- Stickstoff- und Wasserbilanzen zu erstellen und diese den Produktionsdaten (Ertrag, Ertragsbildung) gegenüberzustellen,
- Stickstoff-Ertragskurven für verschiedene Berechnungsverfahren zu erstellen,
- die Entwicklung der Nitratgehalte im Boden zu verfolgen, auch unter nachfolgender Zwischenfrucht und über den Winter,
- die Stickstoffnachlieferung des Bodens bei verschiedenen Berechnungsverfahren festzustellen,
- den Umfang der Nitratauswaschung so genau wie möglich zu berechnen, um die praktischen Auswirkungen der geprüften Verfahren auf die Qualität des Sickerwassers zu erfahren.

Methodik

1. Beschreibung des Versuchsstandorts

a) Elsaß

1.1 Geographische Lage

Der Versuch fand auf einem Schlag des Agrargymnasiums Rouffach, in der elsässischen Rheinebene statt. In diesem Gebiet des Elsass wird normalerweise Körnermais mit Beregnung angebaut. Der Nitratgehalt des Grundwassers liegt in diesem Gebiet bei einem Mittelwert in der Größenordnung von 25 mg/l.

1.2 Bodeneigenschaften

Es handelt sich um eine hydromorphe alluviale Braunerde, die man am gesamten Fuß der oberelsässischen und auch eines Teils der unterelsässischen Vogesen findet. Diese Böden gelten als auswaschungsgefährdet.

Bodentypen und Nitratauswaschungsgefahr im Elsaß

Bodentyp	Stufe der Nitratauswaschungsgefahr	Grundwasserstand	Nutzbare Feldkapazität
Schluffböden	Stufe 1: sehr geringe Gefahr	durchschnittlich 2 – 6 m tief	220 mm
Hydromorphe Schluffböden im Überschwemmungsbereich der III	Stufe 4: Erhöhte Gefahr	Überschwemmungsgebiet mit Grundwasseranstieg	110 mm
hydromorphe tonig-sandige Böden des Rhein-Rieds	Stufe 4: Erhöhte Gefahr	0,5 bis 1m tief mit Grundwasseranstieg	105 mm
Alluvionen der Vogesenbäche	Stufe 4: Erhöhte Gefahr		
sL – IS – Böden	Stufe 4: Erhöhte Gefahr	geringer Grundwasserabstand von 2 – 3 m	80 mm
sehr sandige Böden des Rheinufer	Stufe 5: stark erhöhte Gefahr	geringer Grundwasserabstand von 2 – 3 m	55 mm
kiesiges braunes Ried	Stufen 2 bis 5: geringe bis stark erhöhte Gefahr	geringer Grundwasserabstand von 1 – 3 m	50-160 mm

Quelle: Führer der Böden des Elsass, zentralelsässische Ebene, ARAA.

1.2.1 Bestimmung der Feldkapazität des Bodens

Die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) sowie der leicht verfügbaren Wasserreserven (lnFK) erfolgte mit Hilfe der folgenden Formel:

$$nFK = (H_{cc} - H_{pf}) \times d_a \times z$$

wobei

H_{cc} = Wassergehalt bei Feldkapazität, Mittelwert der auf der Fläche gemessenen Wassergehalte nach einem Niederschlagsereignis und nach Ablauf des Dränwassers.

H_{pf} = Äquivalenter Wassergehalt am Welkepunkt, versuchsmäßig bestimmt vom INRA Colmar mit einer Membranpresse.

d_a = offensichtliche Dichte der Feinerde, versuchsmäßig gemessen vom INRA Colmar.

z = durchwurzelbare Bodenschicht; bestimmt am Bodenprofil der ARAA im Jahre 1991.

Die leicht verfügbare Wasserreserve wird mit folgender Formel berechnet:

$$lnFK = 2/3 \text{ nFK von } 0 - 60 \text{ cm Durchwurzelungstiefe}$$

$$lbFK = 1/2 \text{ nFK von } 60 - 90 \text{ cm}$$

$$lnFK = 1/3 \text{ nFK über } 90 \text{ cm}$$

Unter Verwendung der vorstehenden Werte und wenn man davon ausgeht, daß die durchwurzelbare Bodenschicht 1 m beträgt, so führt die Rechnung zu einer nFK von 142 mm und zu einer leicht nutzbaren FK von 81 mm bei einem Meter Durchwurzelungstiefe

Schicht (cm)	offensichtliche Dichte (d_a)
0-30 cm	1,25
30-45	1,55
45-70	0,93
70-80	1,16
80-115	1,09

1.2.2 Bodenuntersuchung und Bodenprofil

Es handelt sich um einen tonig-sandigen Schluffboden, der, unterhalb von 50 cm beige, sandig-schluffig wird, mit einigen Rostflecken, und dann, unterhalb von 110 cm, sandig-kiesig und dann orange-grau.

b) Baden-Württemberg

Der Versuchsstandort befindet sich in Baden-Württemberg in der Gemeinde Bad Krozingen auf der Gemarkung Hausen an der Möhlin. Er liegt auf der Niederterrasse des Rheins auf 202 m ü. NN. Aus mittelkiesigem Sand haben sich mäßig tiefe Parabraunerden entwickelt. Die vorherrschende Bodenart wird als sandig lehmiger Schluff bezeichnet mit einer mittleren Lagerungsdichte des Bodens von 1,57. Die Feldkapazität (FK) liegt bei 295 l/m² in einer 0 - 90 cm Bodenschicht und die nutzbare Feldkapazität (nFK) bei 160 l/m². Das Totwasservolumen je 10 cm Bodenschicht beträgt 15%. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 9,7 °C. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 644 mm wobei rund 400 mm davon in der Vegetationszeit zwischen 1. März und 30. November fallen.

Die Boden-Grunduntersuchungen zu Beginn (Herbst 1995) und nach Beendigung [Herbst 1998] des Projektes weisen die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse (Mittelwerte über alle Versuchsvarianten) aus:

Humusgehalt: 3,1% [2,9]; pH-Wert: 6,5 [6,3]; Phosphor (P_2O_5 in mg/100 g): 10 [11]; Kalium (K_2O in mg/100 g): 16 [13]; Magnesium (Mg in mg/100 g): 8,5 [13]; Gesamt-N (%): 0,17 [0,16]; C/N-Verhältnis: 11 [10,7]. (Werte der Einzelparzellen siehe Anhang).

Eine Kalkung mit jeweils 20 dt Branntkalk pro Hektar erfolgte erstmals am 15. Februar 1993 und dann vor Beginn des Projektes am 26. Januar 1996.

Die detaillierten Ergebnisse der oben genannten Grunduntersuchungen sind in der Anlage beigefügt.

2 verwendete Materialien

2.1 Pflanzenmaterial

Sorten: 1996 = Pactol, 1997 und 1998 = Anjou 285

Reifekategorie: mittelfrüh

Vertrieb: Mais Angevin

Verwendungszweck: Körnermais

Bestandesdichteziel b.-d. Ernte: 110.000 Pflanzen/m²

Anjou 285 ist eine der im Elsaß am meisten angebauten Sorten, da sie recht robust und gegenüber kurzzeitigem Wasserstress nicht allzu anfällig ist.

2.2 Wahl der Tensiometer

Im Jahr 1996 hat das ITCF Tensiometer und Tensionics eingebaut, um deren Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Diese Untersuchung hat ergeben, daß der Tensionic den Messungen des herkömmlichen, seit Jahren bewährten Tensiometers folgt und diese manchmal noch verfeinert. In den beiden Folgejahren wurde deshalb die Nutzung der Tensionics fortgeführt.

Außerdem erlauben die Tensionics Proben der Bodenlösung zu entnehmen und so indirekt die Werte der Nitratkonzentration im Boden zu ermitteln.

Das Funktionsprinzip ist folgendermaßen: Eine auf ein Zugangsrohr geklebte poröse Keramik wird in den Boden gesteckt, dessen Bodenlösung entnommen werden soll. Diese Entnahme wird ermöglicht durch eine 'Haut Flux'-Keramik, die dank ihrer extrem feinen Poren (3 – 6 µm) einen Transport der Bodenlösung ohne Unterdruck ermöglicht. Für den Einbau der Saugkerze im Feld muß vorher ein Loch mit passender Tiefe und Durchmesser gebohrt werden.

Das Modell 'Tensionic' erlaubt auf einfache und nicht-destruktive Weise das Wasserpotential zu erfassen. Das Meßgerät wird hierfür von Rohr zu Rohr umgesetzt. Mit einer Nadel wird der Verschlußpfropfen durchstoßen, so daß der Unterdruck im Rohr gemessen werden kann. Der Unterdruck wird durch die Nadel zum Geber übertragen und durch die weiter oben in der Sonde befindliche Meßzelle gemessen. Die Meßsonde ist so konzipiert, daß selbst mehrere Einstiche in ein und dasselbe Rohr den Unterdruck im Rohr praktisch nicht sinken lassen.

So ist es möglich, die Entwicklung des Saugspannungspotentials der Bodenmatrix zu verfolgen. Es gibt jedoch eine zeitliche Verschiebung zwischen der Druckveränderung im Boden und der Reaktion des Tensiometers. Dies ist zurückzuführen auf den hydraulischen Widerstand der Saugkerze und auf die Qualität des Kontakts zwischen dieser und dem Boden.

Der größte Nachteil des Tensionics liegt in der begrenzten Druckspanne, in der er funktioniert. So sind die Poren jenseits eines Drucks von 0,8 bis 1 bar (atmosphärischer Druck) nicht mehr gesättigt und es kann Luft in das Geräteinnere eindringen, was dazu führt, daß sich die Drücke auf das Niveau der Atmosphäre angleichen.

2.3 Beregnungseinrichtung

Beim Beregnungsgerät handelt es sich um eine frontale Rampenberegnung aus dem Gartenbau mit 24 m Breite und einer Bewegungsmöglichkeit in der Länge von 175 m. Sie setzt sich zusammen aus 4 Abschnitten von je 6 m Länge, die mittels Elektrobventilen separat angesteuert werden können. Der Strahl ähnelt einem Gies-Vorhang und erlaubt eine sehr gleichmäßige Beregnung. Die Öffnungen befinden sich in einem Abstand von 5 mm und erlauben eine maximale Wassermenge von 3m^3 / Stunde.

Die frontale Rampenberegnung ist abgeleitet aus einer Kreisberegnung, von der sie die Zentralstrebe und die Ausleger übernommen hat. Während der Beregnung wird sie von einem Zentralantrieb verschoben. Die Wasserversorgung erfolgt mit einer in 12 m Tiefe ins Grundwasser eintauchenden Tauchpumpe, die einen Druck von 12 bar aufbaut. Die Frontalrampe ist ein zuverlässiges System, das eine gute Anpassung an die gängige Parzellenaufteilung sowie eine sehr gute Qualität und Präzision der Beregnung bis in die Ecken hinein ermöglicht. Sie ist außerdem wenig windanfällig.

Da es sich beim Beregnungswasser um Grundwasser handelt, wird damit auch zusätzlicher Mineraldünger ausgebracht. Eine Berechnung zeigt aber, daß diese Mengen vernachlässigbar sind.

Nehmen wir den Extremfall: Die höchste Beregnungsstufe (5 mm/Tag) und das Jahr 1998, wo in 8 Beregnungsgängen 280 mm Wasser verabreicht wurden. Rechnen wir weiter mit einer Nitratkonzentration von 25 mg/l, was dem in Rouffach am Versuchsort gemessenen Wert entspricht. Unter diesen Bedingungen bringen 280 mm Wasser mit 25 mg Nitrat/l auf den ha 84 kg Nitrat, d.h 16 kg N/ha. Die mit der Beregnung ausgebrachte Stickstoffmenge liegt demnach unter 20 kg N/ha und kann folglich vernachlässigt werden, zumal dann, wenn sie im Sommer nach dem Eintrocknen der Narbenfäden ausgebracht wird, wo die Maispflanze nur noch wenig Stickstoff aufnimmt.

3 Versuchsanlage

3.1 Die 4 Beregnungsvarianten

Die Beregnungsvariante I1 ist während der ganzen Zeit durch Tensiometer gesteuert und kann als ordnungsgemäß gelten. Die Beregnungsmenge beträgt 3,5 mm/Tag entsprechend 25 mm/Woche.

In der Beregnungsvariante I2 werden über den ganzen Beregnungszeitraum 5 mm/Tag, entsprechend 35 mm/Woche verabreicht, was anfänglich sicher zu viel ist und später auch noch, wenn man die Ergebnisse früherer Versuche im Elsaß zu Rate zieht.

In der Beregnungsvariante I3 werden 2 mm/Tag, entsprechend 14 mm/Woche gegeben. Gemäß den Ergebnissen früherer Versuche im Elsaß sollte das zu wenig sein.

Die Variante I4 ist ohne künstliche Beregnung, nur mit natürlichen Niederschlägen.

3.2 Die 6 Düngungsvarianten

Die Versuchsanlage sieht 4 Wiederholungen jeder Variante (Beregnung x Düngung) vor. Es werden 16 unterschiedliche Kombinationen in einer mehrfaktoriellen Blockanlage geprüft. Das bedeutet jedoch, daß nicht alle der 24 möglichen Kombinationen geprüft werden.

Beregnung	Düngung	Null-N	X - 100	X - 50	X	X + 50	X + 50 +
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
3,5 mm/d	I 1			1	2	3	
5 mm/d	I 2	4		5	6	7	8
2 mm/d	I 3	9	10	11	12	13	
0 mm	I 4	14	15	16			

- Die optimale Kombination liegt sicher in dem durch fette Schrift hervorgehobenen Quadrat.
- Auf den unberechneten Flächen liegt der Ertrag auf jeden Fall niedriger. Deshalb werden nur niedrigere Düngungsstufen geprüft.
- Auf den Parzellen 4, 9 und 14 wird die Stickstofflieferung des Bodens gemessen. Auf die Prüfung der Beregnungsvariante 3,5 mm/Tag wird hier verzichtet, da dies nicht erforderlich scheint.
- Die Parzellen 8 und 10 wurden eingerichtet, da es sich um die Extreme handelt.

Jede Parzelle umfaßt 8 Maisreihen von 10 m Länge.

Die 6 Düngungsvarianten sind die folgenden:

F1: keine Stickstoffdüngung (Kontrolle)	
F2: X - 100 kg N/ha (50 + X - 150 kg N/ha)	suboptimal
F3: X - 50 kg N/ha (50 + X - 100 kg N/ha)	suboptimal
F4: X (50 + X - 50 kg N/ha)	Ferti-Mieux Empfehlung = OGL
F5: X + 50 kg N/ha (50 + X kg N/ha)	Variante mit Überschuß
F6: X + 50+ kg N/ha (100 + X - 50 kg N/ha).	auf leichten Böden zu vermeiden

X = die berechnete Düngung für ordnungsgemäße Landbewirtschaftung (OGL)

Das Verfahren zur Berechnung der Düngungshöhe X wurde im Elsaß nach drei Versuchsjahren im Jahr 1990 festgelegt und seither validiert. Sie wird im Rahmen der Beratungsaktion Ferti-Mieux eingesetzt. Die Versuchsfläche liegt im Aktionsgebiet 'Hardt Eau vive', das 1993 von der nationalen Kommission anerkannt (labellisiert) wurde.

Im Elsaß verwendete Bilanzmethode:

$$\text{Pflanzenbedarf} = \text{Lieferung des Bodens} + \text{Düngung}$$

$$\text{Ertragsziel (dt/ha)} \times 2,3 \text{ kg N/dt} + \text{unvermeidl. Nmin-Rest n. d. Ernte} = \text{Bodenlieferung} + X$$

Ertragsziel: Wird festgelegt, ausgehend von einem Mittelwert der Erträge der letzten 5 Jahre auf demselben Schlag (= 110 dt/ha).

Unvermeidl. Nmin-Rest n. d. Ernte: Nicht verwertbarer Stickstoff (regionsspezif. Wert) = 10.

Bodenlieferung: Regionsspezifische Tabelle auf der Grundlage der Stickstoffaufnahme von Mais auf 1-jährig ungedüngten Parzellen (= 90 kg N/ha) (s. nachstehende Tabelle).

X: Auszubringende Stickstoffdüngung.

Für Rouffach lautet die Gleichung wie folgt:

$$X = 110 \text{ dt/ha} \times 2,3 \text{ kg N/dt} + 10 \text{ kg N/ha} - 90 \text{ kg N/ha} = 173 \text{ kg N/ha.}$$

Tabelle der Stickstofflieferung des Bodens und der unvermeidlichen Nmin-Reste nach der Ernte für Mais im Elsaß (nach ARAA)

Mais nach Mais oder Winterweizen; ohne Wirtschaftsdüngereinsatz

Oberflächen-formation	Bodentyp	Stickstofflieferung des Bodens (kg N/ha)		unvermeidlicher Nmin-Gehalt im Boden nach der Ernte
		berechnet	unberechnet	
Alluvionen der Rheinterasse	flachgründige Hardt	60		10
	tiefgründige Hardt	100		10
	braunes Ried im Zentralelsaß (kiesige Terrassen)	105		10
Alluvionen des Rhein-Tiefgestades	tiefgründige hydromorphe Sande	100		20
	gut drainierte kiesige Sande	100		20
III-Alluvionen in der Ebene	Lehme der III oberhalb von Colmar (Illebene)	90	60 wenn Parzelle zum Saattermin überschwemmt, sonst 100	10
	zentralelsässisches schwarzes Ried			20
	zentralelsässisches graues Ried			20
	schwarzes Ried nördl. v. Strasbg.		150	20
Alluvionen der Vogesenbäche	Sande der Moder		70	10
	tiefgründige ausgewaschene Sand-Lehm-Tonböden		100	25
	Kiesböden des Ochsenfelds	70		10
Loess und Loesslehm	Loess (außer Sundgau)		130	25
	Lehme des Unterelsaß		90	25
	Loesslehme		100	25
	Loess (Sundgau)		100	25
	Lehm (Sundgau)		90	25

4. Entscheidungsregeln für die Steuerung der Beregnung

Die Beregnung beginnt nicht vor dem 10-Blatt-Stadium des Mais und nicht vor dem 15. Juni.

4.1 Beregnungsvariante I1

Die Beregnung wird mit Hilfe von Tensiometern gesteuert. Die Beregnung startet, wenn die Spannung im ersten Tensiometer (30 cm) schnell ansteigt (> 50 centibar). Die weitere Steuerung folgt der Regel von 25 mm/Woche, wenn es nicht regnet. Nach einem Regen beginnt die Beregnung spätestens wieder nach einer Woche (auch wenn es mehr als 25 mm geregnet hat). Steigt der Tensiometer in 50 cm Tiefe jedoch über 40 centibar, wird bereits früher wieder beregnet.

4.2 Berechnungsvariante I2

Ab dem 10-Blatt-Stadium wird jede Woche mit 35 mm beregnet, sofern es die letzten 10 Tage nicht richtig geregnet hat. Regnet es mehr als 10 mm, so wird die nächste Beregnung um die Anzahl Tage des Wertes Niederschlag : 5 verschoben. So verschiebt ein Regen von 15 mm die nächste Beregnung um 3 Tage. Die Beregnung beginnt jedoch spätestens eine Woche (entsprechend 35 mm Wasserreserve) nach dem Regen wieder, da die Wasserreserve wieder voll aufgefüllt werden muß.

4.3 Berechnungsvariante I3

Der Start der Beregnung richtet sich nach denselben Kriterien wie bei I1. Je Woche werden jedoch nur 14 mm verabreicht. Dasselbe gilt bei Niederschlägen: 15 mm verschieben die Beregnung um 3 Tage. Es gelten dieselben Entscheidungsregeln wie bei I2, um den Ertrag nicht zu gefährden.

5. Messungen

5.1 Stickstoffbilanz

Ziel ist die Erfassung der Stickstoffdynamik und die Erstellung der Stickstoffbilanz der Parzelle.

5.1.1 Nmin-Werte des Bodens

Die Messung der Nmin-Gehalte des Bodens erfolgte während folgender Zeitabschnitte:

1996: 3 Termine – zur Saat, Silomaisernte und nach Winter

1997: 3 Termine – Silomaisernte, **Retention** und nach Winter

1998: 2 Termine - **Retention** und nach Winter

Es wurden jeweils 3 Schichten (0-30, 30-60 und 60-90 cm) beprobt. Von den 4 Wiederholungen wurde jeweils eine Durchschnittsprobe im Labor für landwirtschaftliche Untersuchungen der SADEF in Aspach-le-Bas (F-68) untersucht.

5.1.2 Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen

Diese Messungen wurden im Stadium der Siloreife (bei 35% TS) vorgenommen. Es wurde unterschieden nach Stickstoffgehalt in den Stengeln, Blättern und Kolben. Die Pflanzenproben wurden bei der SADEF untersucht. Von jeder Variante gibt es zwei Werte (Blöcke I + II, Blöcke III + IV)

5.2 Wasserbilanz

Das ursprüngliche Ziel war, die Wasserbilanz der 3 Berechnungsvarianten zu erstellen und den Beginn der Wasserversickerung zu bestimmen.

5.2.1 Bodenfeuchte

Die Messungen wurden jedes Jahr mit 8 Bohrstockbeprobungen bei den Varianten der Parzellen 2, 8 und 11, insgesamt also an 24 Bohrkernen durchgeführt. Nachdem die obersten 10 cm Boden verworfen wurden, erfolgte die Bestimmung in Abschnitten à 15 cm durch 24-stündige Trocknung bei 105°C.

5.2.2 Wasserspannung im Boden

Die Tensiometer wurden während der gesamten Vegetationsperiode des Mais 3 Mal wöchentlich abgelesen.

Anzahl installierter Tensiometer

Parzelle N° / Tiefe des Tensiometers	25 cm	50 cm	80 cm
2	2	2	2
8	2	2	2
11			2

5.3 Wasserqualität

5.3.1 Während der Vegetationsperiode des Mais

Die Entnahme von Wasserproben aus den Tensionics erfolgte zu folgenden Terminen:

01. Mai, 01. Juni, 20. Juni, 10. Juli, 30. Juli 20. August und 10. September und dann jeden Monat bis zur **Retention**. Je Variante und Schicht (25, 50, 80, 100 cm) kamen 8 Tensionics zum Einsatz (2/Parzelle x 4 Wiederholungen). Es wurden jedoch nur die Varianten der Parzellen 2, 8 und 11 untersucht. Die Wasserentnahmen erfolgten in allen Schichten.

Die Bestimmung der Nitratkonzentrationen erfolgte mit Nitrathek (Merck-Teststäbchen).

5.3.2 In der Periode zwischen den Maiskulturen

Ab dem **Retentionsdatum** wurde alle 2 Wochen beprobt.

Anzahl installierter Tensiometer

Einbautiefe der Tensiometer	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm
Parzelle N°				
2	1	1	1	2
8	1	1	1	2
11			1	2

Präparation der Tensionics für den Winter:

Alkohol-Wasser-Gemisch mit 5% Brennspritus (denaturierter Äthylalkohol) und 95% entgastes und entmineralisiertes Wasser.

Schutz der Rohre (Schaumstoff-Isolierung, Aluminium-Klebeband und PVC-Glocke).

Abb. (Foto)

6. Die Merkmale der statistischen Auswertung

6.1 Beschreibung des mehrfaktoriellen Versuchsplans

Die Kombinationen der verschiedenen Varianten der beiden Faktoren wurden in jedem Block zufällig verteilt. Die Anzahl der zu untersuchenden Kombinationen entspricht der Multiplikation der Stufen der beiden Faktoren.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Die Heterogenität zwischen den Blöcken wird teilweise erfasst und ihr Einfluss wird eliminiert - Optimale Präzision für den Vergleich der beiden Faktoren und ihrer Interaktionen - Leicht anzulegen und zu besichtigen 	<ul style="list-style-type: none"> - Begrenzte Kontrolle der Heterogenität, denn wenn die Blöcke zu unterschiedlich sind, steigt die Interaktion der Behandlungen x Blöcke und die Tests verlieren an Aussagekraft - Gefahr des Verlusts an Aussagefähigkeit, wenn die Blöcke völlig homogen sind (Blockeffekt = 0)

Statistischer Vorteil, aber praktischer Nachteil:

Bei der faktoriellen Blockanlage müssen Stickstoff und Beregnung Parzelle für Parzelle ausgebracht werden.

Bei Split-Plot und Criss-Cross-Anlagen kann der Stickstoff in allen Unter-Blöcken in einem Arbeitsgang ausgebracht werden. Daraus resultieren ein Arbeitszeitgewinn sowie eine erleichterte Durchführung (Beregnung), aber normalerweise tritt ein Verlust an Präzision bei der Untersuchung der Faktoren im Unterblock ein.

Deshalb wurde bei diesem Versuch die Gewähr für genaue Ergebnisse den Erleichterungen in der praktischen Durchführung vorgezogen.

Es handelt sich um eine mehrfaktorielle Versuchsanlage mit 4 Blöcken, wobei jeder Block 16 Modalitäten, d.h. 16 Mikroparzellen umfaßt.

- Diese Anlage erlaubt die 4-fache Wiederholung jeder Kombination Beregnung x Düngung. 16 Behandlungen werden in einer mehrfaktoriellen Blockanlage untersucht.
- Die maximale Beregnungsfläche der Beregnungsrampe beträgt 24 m x 180 m.
- Ursprünglich sah der Versuchsplan 24 Kombinationen (6 Düngungsstufen x 4 Beregnungsstufen) vor.
- Bei einer Breite von 24 m (2x6) lassen sich 4 Kleinparzellen von 6 x 10 m anordnen.
- Es können also nur 64 Kleinparzellen angelegt werden. Diese sind in 4 gleiche Blöcke aufzuteilen, um dem im Versuchsplan festgelegten Prinzip der 4 Wiederholungen gerecht zu werden. (Anhang 19).
- Es mußten also 16 Kombinationen aus 24 ausgewählt werden.

6.2 Die statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm 'Statitcf'. Der Versuchsplan ist ein Plan mit zufällig angeordneten Blöcken. Ausserdem ist er unvollständig, da nur 16 von den 24 möglichen Kombinationen geprüft werden. Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wird für alle Auswertungen auf 5% festgelegt.

Für den Vergleich der Mittelwerte werden der Newman-Keuls Test mit 5% und in Sonderfällen gelegentlich die Kontrastmethode angewendet.

Eine genauere Auswertung durch Eliminierung von Faktorstufen wurde nur bei 9 Kombinationen vorgenommen:

	120 kg N/ha	170 kg N/ha	220 kg N/ha
3,5 mm/d	1	2	3
5 mm/d	4	5	6
2 mm/d	7	8	9

Dieser Ansatz wurde gewählt für die Auswertung der Kornerträge, Ganzpflanzenerträge und Stickstoffaufnahme in jedem der drei Jahre. Die Ergebnisse sind jedoch enttäuschend, da man dieselben homogenen Gruppen erhält, wie bei der Auswertung der Daten aller Kombinationen. Die Standardabweichung ist insgesamt etwas geringer, aber die Ergebnisse bringen keine zusätzliche Genauigkeit.

Die statistische Auswertung wurde auch mit einem faktoriellen Plan zur Untersuchung der beiden Faktoren (Stickstoffdüngung und Beregnung) und deren Interaktion im komplett ausgeglichenen Kreuzungsmodell (siehe vorstehende Tabelle) vorgenommen. Diese Auswertung erstreckte sich auf die drei Jahre, ohne daß irgendeine statistisch relevante Interaktion zwischen den beiden Faktoren nachgewiesen werden konnte. Diese Auswertung erbrachte keinerlei zusätzliche Information, so daß die bereits vorliegenden Ergebnisse bestätigt wurden.

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Versuche zu Stickstoffdüngung und Beregnung in Rouffach (1996 – 1998)

Vorbemerkung

Der über drei Jahre am Landwirtschaftsgymnasium Rouffach durchgeführte Versuch hatte zum zentralen Gegenstand die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Wasser und Stickstoff bei Mais in Monokultur. Die Analyse der verschiedenen agronomischen Variablen kann hingegen nicht erfolgen, ohne die möglichen Nachwirkungen der Düngung zu vernachlässigen oder wenigstens mitzuteilen. Da der Versuchsplan in allen drei Jahren gleich blieb, besteht die Möglichkeit, daß zum Zeitpunkt der Aussaat noch vorhandene Düngerrückstände vom Vorjahr die Untersuchung beeinflussen können.

So erhalten wir also keine Ertragszuwachskurven ('Düngungs-Ertragskurven') im eigentlichen Sinn, da jede Kleinparzelle jedes Jahr dieselbe Dünger- und Wassermenge erhält. So ist zu Beginn des Jahres 1999 die Kleinparzelle, die 3 Jahre lang jedes Jahr 220 kg N/ha erhalten hat stärker gedüngt als diejenige, die im Jahr nur 120 kg N/ha erhalten hat.. Dieser Nachwirkungseffekt ist bei der späteren Auswertung zu berücksichtigen.

Um zu erfahren, ob dieser Effekt bei der Analyse zu berücksichtigen oder aber vernachlässigbar ist, genügt es die Stickstoffauswaschung in den Zeiten ohne Vegetation zu kennen: Sind die ausgewaschenen Mengen ausreichend groß, kann man den Nachwirkungseffekt der Düngung vernachlässigen. Ist dies nicht der Fall, muß der unterschiedliche N_{min}-Wert zur Saat zwischen ungedüngter und wie auch immer gedüngter Kleinparzelle bei der späteren Analyse der agronomischen Parameter berücksichtigt werden.

Die Anbauverfahren der 3 Versuchsjahre sind in Anhang 6 beschrieben.

1. Beschreibung der Jahreswitterung

1.1 Wasserversorgung

Tabelle der Feuchteverhältnisse siehe nächste Seite:

Im Jahr **1996** gibt es keine ausgeprägte Trockenperiode: Die 22 trockensten Tage des Jahres weisen immerhin noch 25 mm Niederschlag auf (rechte Spalte). Die in diesem Zeitraum ausgebrachte Beregnungsmenge ist bei den Bewässerungsvarianten 3,5 und 5mm/d gleich, obwohl die Gesamtmenge der Beregnung zwischen diesen beiden Varianten natürlich verschieden ist. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich die Beregnung in der Variante 5 mm/d über einen deutlich längeren Zeitraum erstreckt. Im Jahr 1996 besteht ein deutlicher Unterschied nur zwischen der Variante 2 mm/d einerseits und den Varianten 3,5 und 5 mm/d andererseits.

Im Jahr **1997** unterscheiden sich die Varianten 3,5 und 5 mm/d deutlich, sowohl was die Beregnungsstärke als auch was die Gesamtmenge der Beregnung angeht (liegt bei 5mm um 120 mm höher). Dagegen liegen die Varianten 2 und 3,5 mm/d ziemlich nahe beieinander, insbesondere in Trockenperioden und die Gesamtmenge der Beregnung ist in Variante 3,5 mm/d nur 41 mm höher.

Im Jahr **1998** ergibt sich während der Vegetationsperiode eine klare Abstufung zwischen den drei Beregnungsvarianten. Außerdem sind die Gesamtwassermengen der drei Parzellen gut verteilt: 80 mm mehr in Variante 5 gegenüber Variante 3,5 mm/d und 88 mm mehr in Variante 3,5 gegenüber Variante 2. Die Tabelle am Ende der Seite gibt die Gesamtdüngung, die Gesamtwassergabe sowie die Niederschlagsmenge für jede der drei Beregnungsvarianten an. Auf diese drei Zeiträume wird später bei der Interpretation der Darstellungen der Tensiometerdaten Bezug genommen. Sie bauen auf drei aufeinanderfolgenden Phasen auf, welche im allgemeinen auf drei aufeinanderfolgenden Phasen beruhen, die aufbauen auf den Temperatursummen und den Entwicklungsstadien von Mais.

So kann die Aufteilung auf die drei Phasen mit bei den Varianten 2 und 5 mm/d jeweils erhöhten Aufwandmengen in der dritten Phase.

Merkmale der angewandten Berechnungsverfahren:

1996

Beregnungsgabe / Tag	Datum der ersten Beregnung	Datum der letzten Beregnung	Gesamtmenge der Beregnung (mm)	Beregnungsmenge /Tag tatsächlich	mm Niederschlag + Beregnung/Tag	mm Beregnung/Tag in Trockenperiode	mm Niederschläge in der Trockenperiode
						Vom 29/7/96 bis 19/8/96	
2 mm	24/07/96	20/08/96	42	1,08	2,58	1,01	25 mm -- 22 Tage
3,5 mm	22/07/96	20/08/96	100	2,68	4,21	1,93	25 mm -- 22 Tage
5 mm	01/07/96 (2. Gabe)	21/08/96	175	2,10	5,76	1,94	25 mm -- 22 Tage

1997

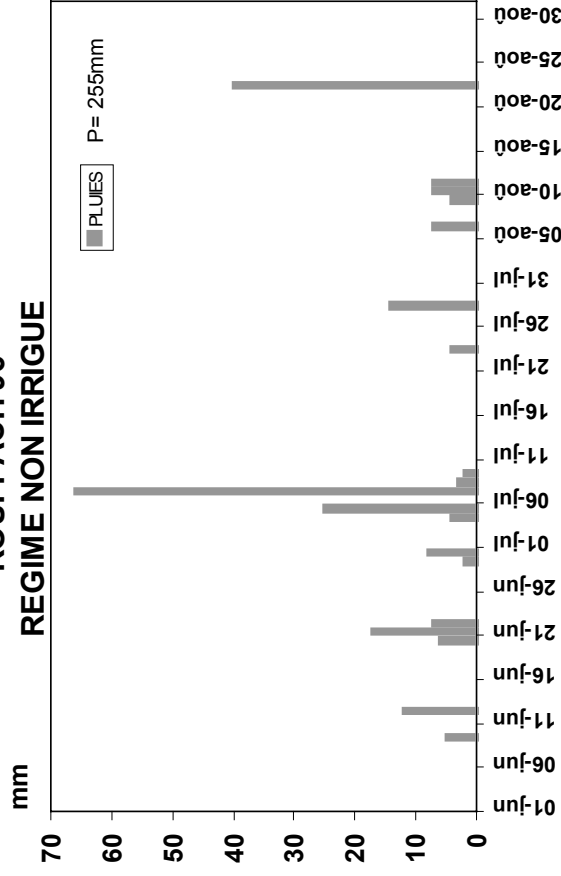
Beregnungsgabe / Tag	Datum der ersten Beregnung	Datum der letzten Beregnung	Gesamtmenge der Beregnung (mm)	Beregnungsmenge /Tag tatsächlich	mm Niederschlag + Beregnung/Tag	mm Beregnung/Tag in Trockenperiode	mm Niederschläge in der Trockenperiode
						Vom 18/7/97 bis 5/8/97	
2 mm	18/07/97	26/08/97	84	1,84	3,32	2,1	24 mm -- 19 Tage
3,5 mm	18/07/97	26/08/97	125	2,63	4,11	2,6	24 mm -- 19 Tage
5 mm	10/07/97	27/08/97	245	4,47	6,02	5	24 mm -- 19 Tage

1998

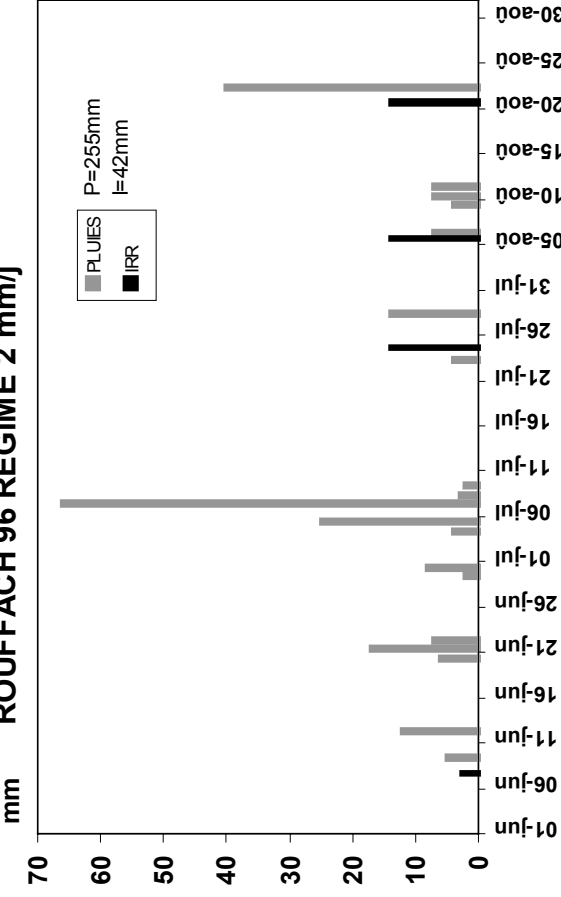
Beregnungsgabe /Tag	Datum der ersten Beregnung	Datum der letzten Beregnung	Gesamtmenge der Beregnung (mm)	Beregnungsmenge /Tag tatsächlich	mm Niederschlag + Beregnung/Tag	mm Beregnung/Tag in Trockenperiode	mm Niederschläge in der Trockenperiode
						Vom 23/6/98 bis 23/7/98	
2 mm	23/06/98	21/08/98	112	1,69	2,74	1,81	8,5 mm -- 31 Tage
3,5 mm	23/06/98	26/08/98	200	2,78	3,91	3,23	8,5 mm -- 31 Tage
5 mm	24/06/98	21/08/98	280	4,30	5,37	4,52	8,5 mm -- 31 Tage

	Phase 1	Vom 17/6 bis 5/7	28	1,33	1,95
2 mm	Phase 2	Vom 6/7 bis 5/8	42	1,35	2,61
	Phase 3	Vom 6/8 bis 25/8	42	2,10	3,33
	Phase 1	Vom 17/6 bis 5/7	50	2,38	3,00
3,5mm	Phase 2	Vom 6/7 bis 5/8	75	2,42	3,68
	Phase 3	Vom 6/8 bis 25/8	50	2,50	3,73
	Phase 1	Vom 17/6 bis 5/7	70	3,33	3,95
5 mm	Phase 2	Vom 6/7 bis 5/8	105	3,39	4,65
	Phase 3	Vom 6/8 bis 25/8	105	5,25	6,48

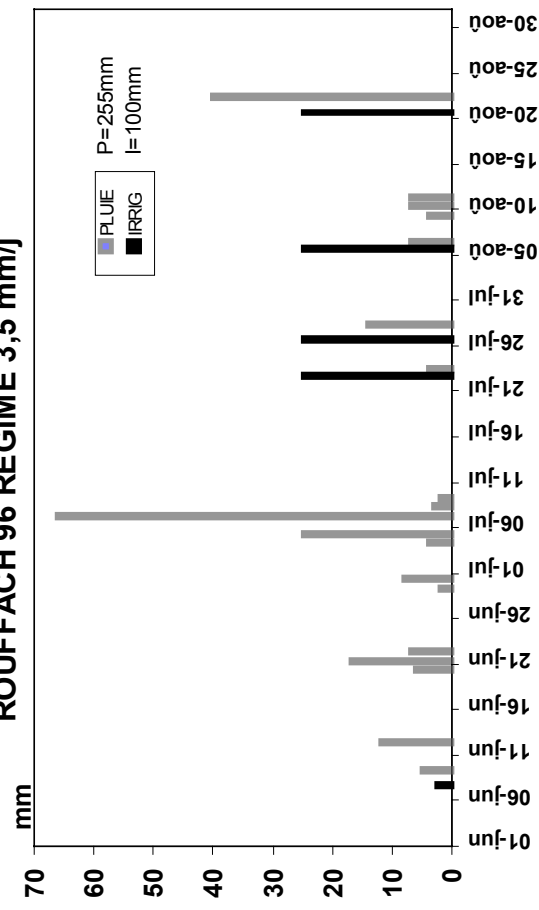
ROUFFACH 96 REGIME NON IRRIGUE



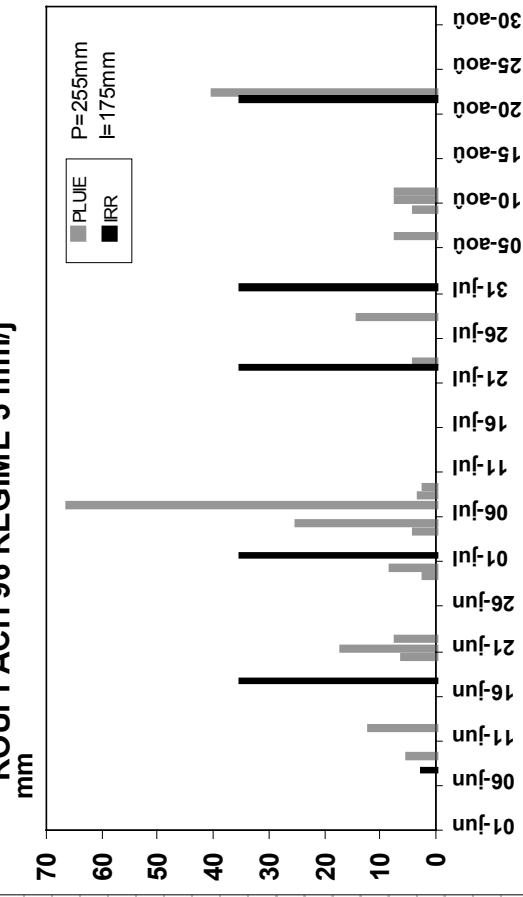
ROUFFACH 96 REGIME 2 mm/j



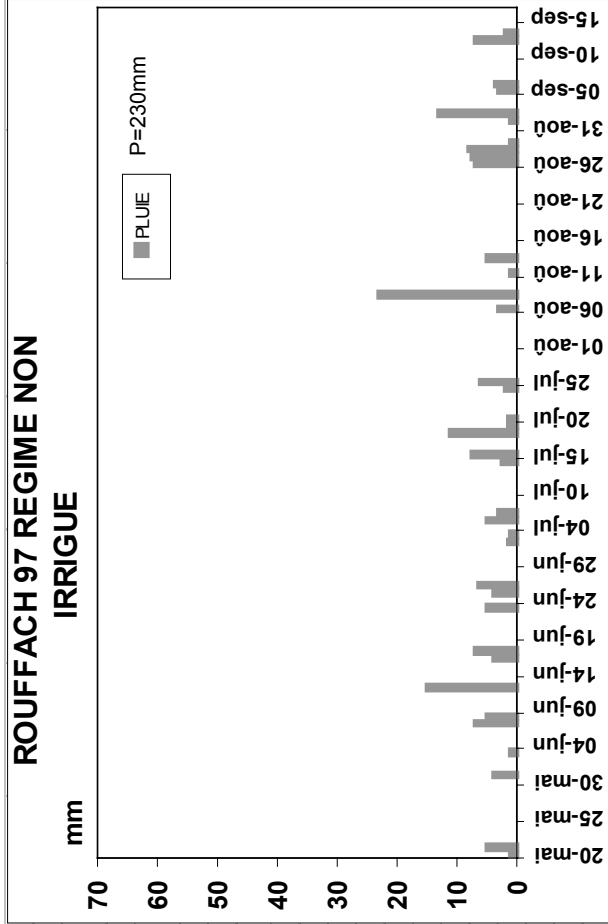
ROUFFACH 96 REGIME 3,5 mm/j



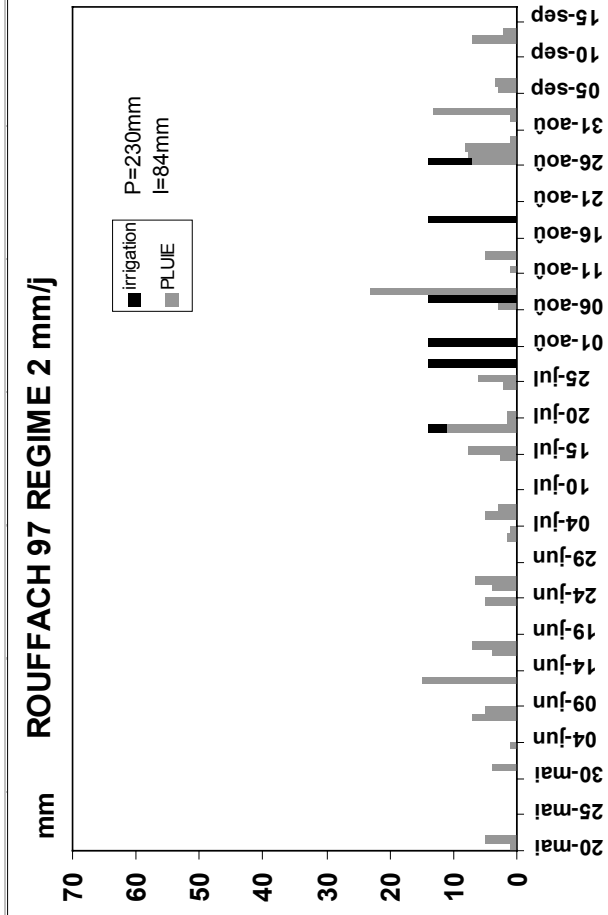
ROUFFACH 96 REGIME 5 mm/j



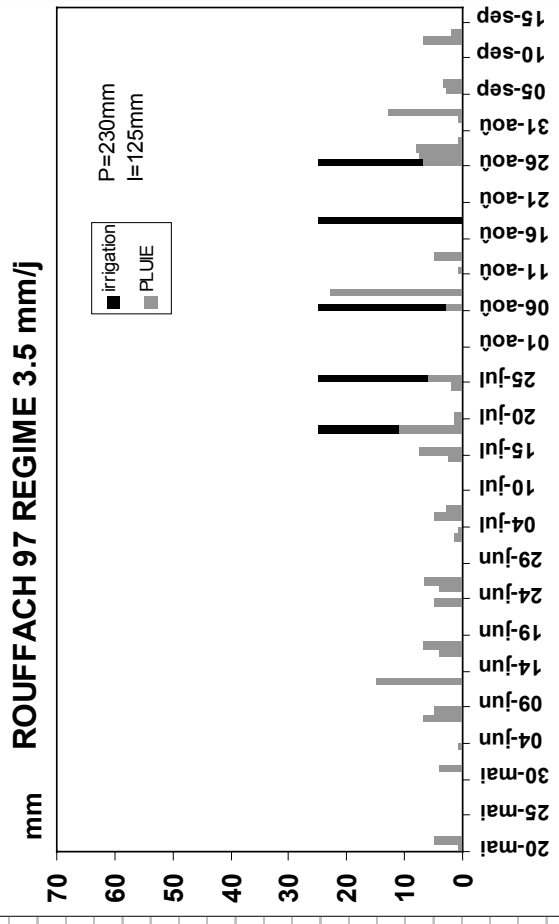
ROUFFACH 97 REGIME NON IRRIGUE



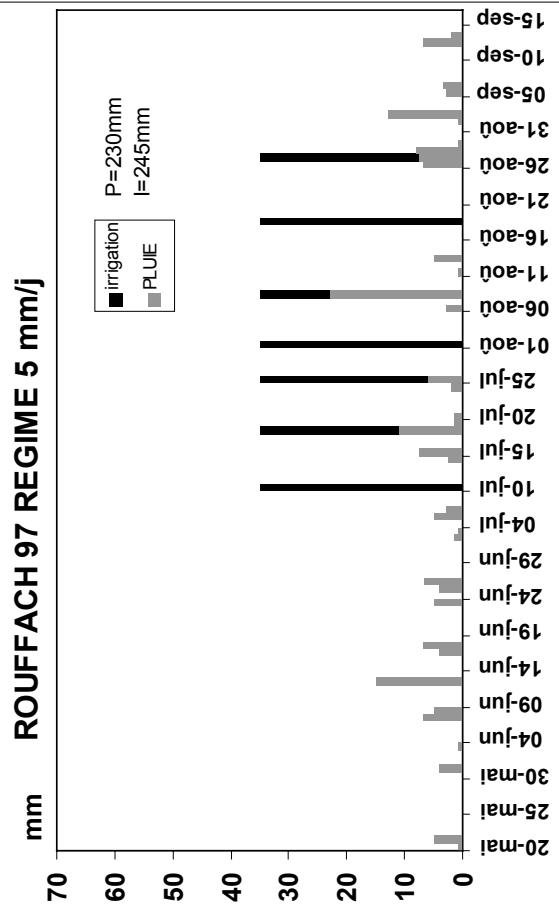
ROUFFACH 97 REGIME 2 mm/j



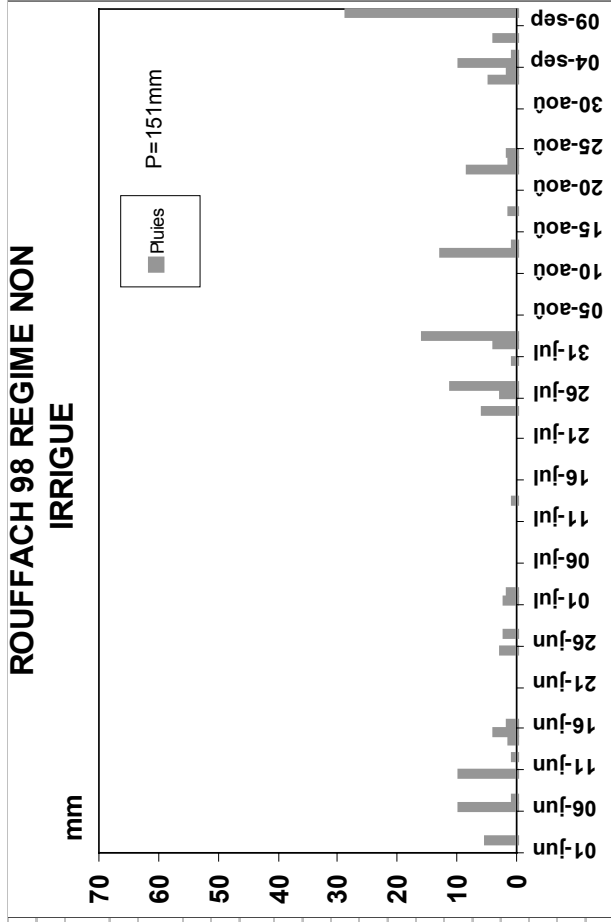
ROUFFACH 97 REGIME 3.5 mm/j



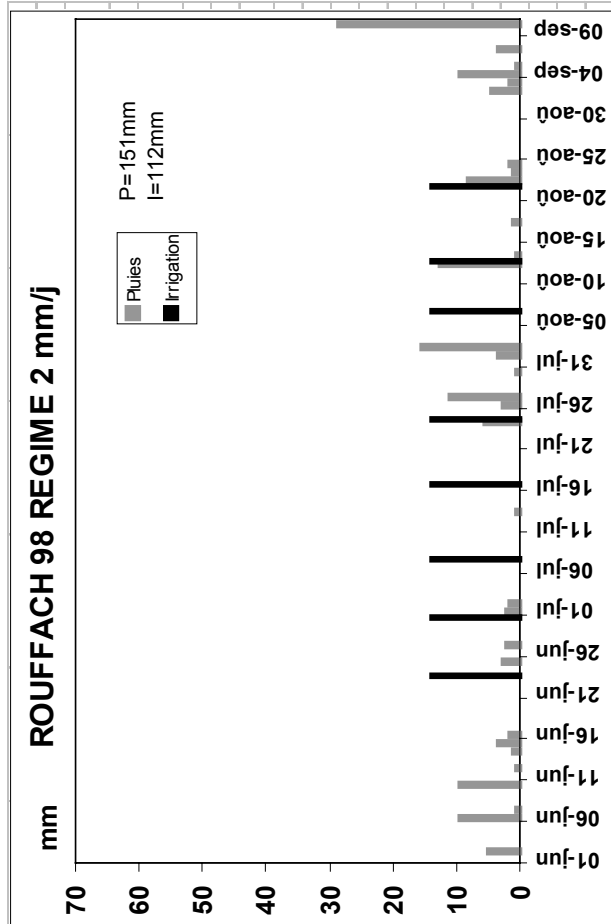
ROUFFACH 97 REGIME 5 mm/j



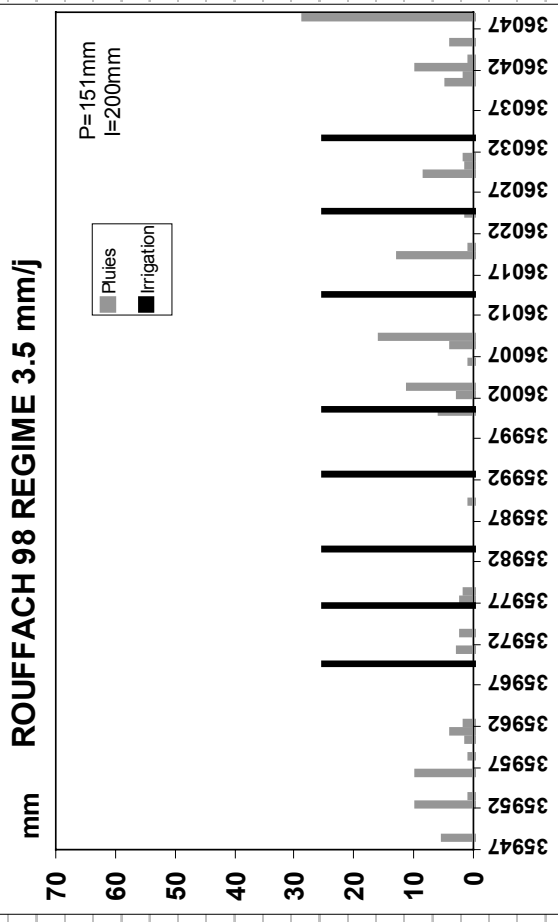
ROUFFACH 98 REGIME NON IRRIGUE



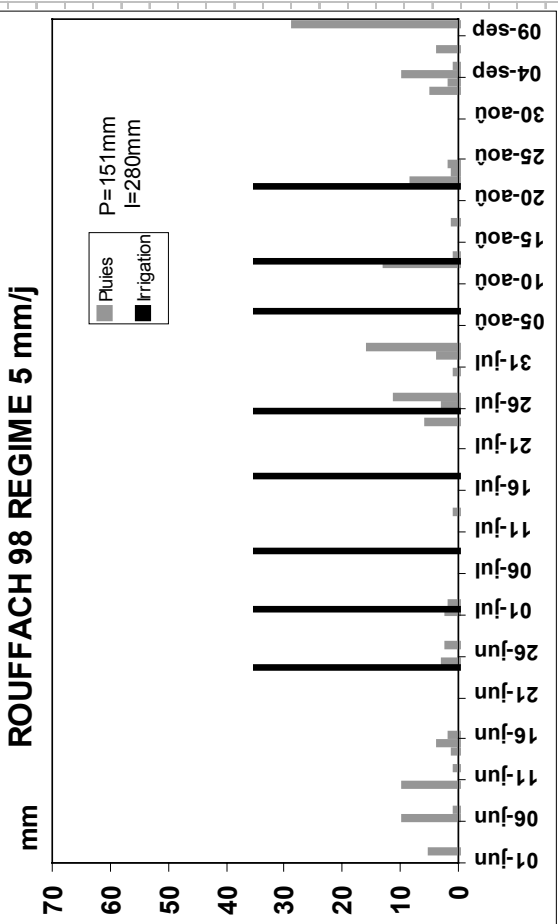
ROUFFACH 98 REGIME 2 mm/j



ROUFFACH 98 REGIME 3.5 mm/j



ROUFFACH 98 REGIME 5 mm/j



1.2 Repräsentativität der Sommer 1996, 1997 und 1998 in Bezug auf das mittlere Klima

Die in der Tabelle auf der Folgeseite enthaltenen Zahlen stellen die kumulierten Tageswerte der Evapotranspiration abzüglich der Niederschläge (k^*ETP-P) zum Ende jedes Monats (Juni, Juli, August) sowie für die beiden Monate Juni+Juli bzw. für die drei Monate insgesamt. Sie wurden mit den Daten der Wetterstation Meyenheim berechnet, die etwa 10 km östlich von Rouffach liegt. Meyenheim wurde gewählt, weil dort Daten seit 1957 verfügbar sind.

Im Jahr 1996 scheint der Juni etwas trockener als im Durchschnitt zu sein. Der Monat Juli ist dagegen niederschlagsreicher und zählt aufgrund der großen Regenmengen zu Monatsbeginn zu den 20% der feuchtesten Julimonate der letzten 40 Jahre. Der Monat August liegt im Bereich des Mittelwerts. Die 3 Monate des Sommers 1996 waren insgesamt niederschlagsreicher als das Medianklima dieses Ortes, wobei besonders die Periode Juni - Juli sehr naß war.

Mit Ausnahme des Monats Juni, der feuchter war als der Median, war der Sommer 1997 klimatisch insgesamt durchschnittlich mit Werten in der Nähe des Medians.

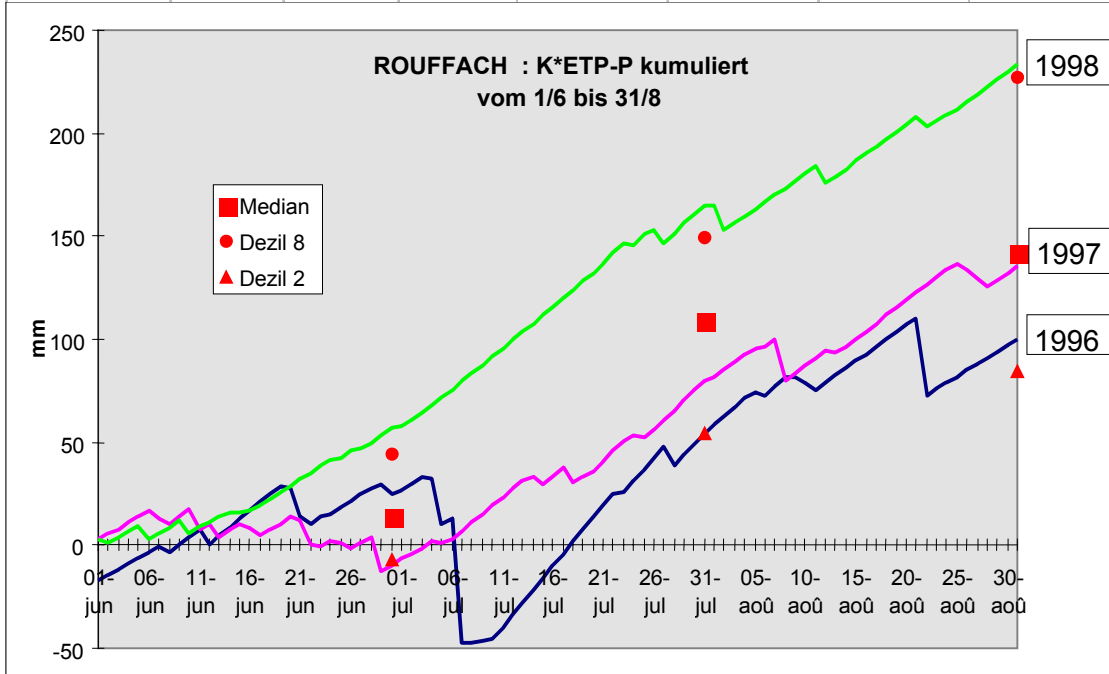
Die 3 Sommermonate des Jahres 1998 waren trockener als das Medianklima. Insbesondere der Monat Juni zählt zu den 20% trockensten Junimonaten der Beobachtungsperiode. Dies gilt auch für den Juli. Der August war zwar auch trockener als der Median, erreicht aber nicht mehr die Extremwerte der beiden Vormonate. Insgesamt waren die 3 Monate des Sommers 1998 deutlich trockener als der Durchschnitt mit einer ausgeprägten 2-monatigen Trockenperiode im Juni und Juli, die zu den 20% trockensten der letzten 40 Jahre zählt.

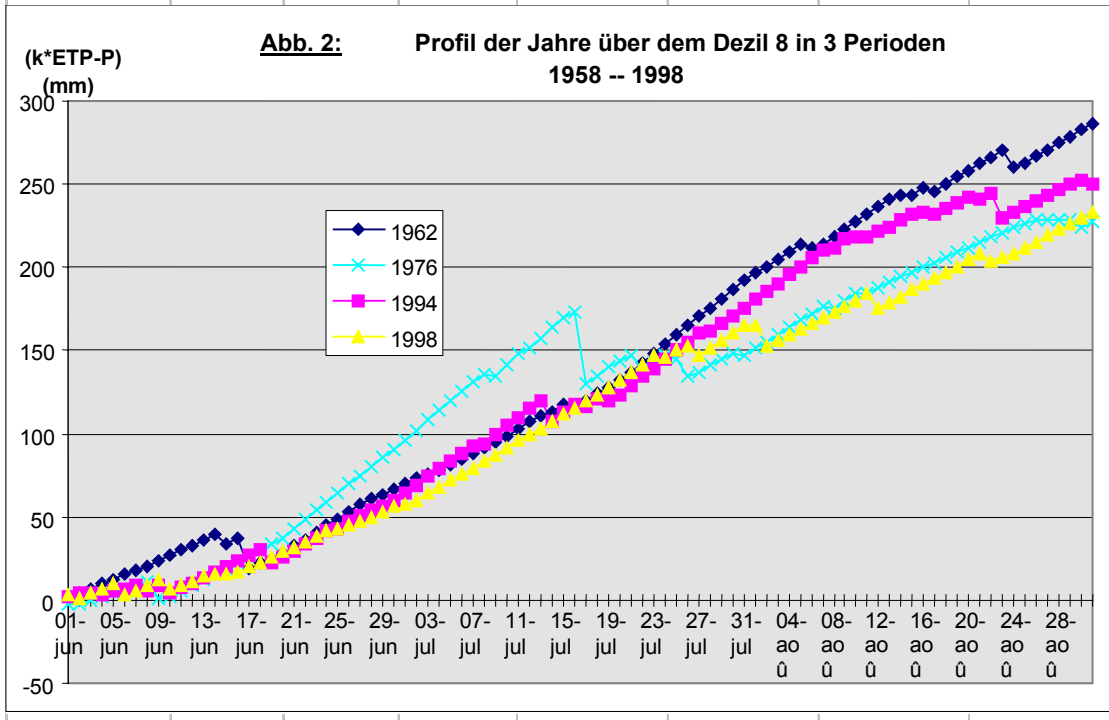
Betrachtet man Abbildung 2, so gab es in den Wetteraufzeichnungen der letzten 40 Jahren nur 3 Jahre, in denen die Werte der 3 Termine (30.06.;31.07. und 31.08.) übertroffen wurden, was den ausgesprochen trockenen Charakter hinsichtlich Intensität und Dauer dieses Sommers unterstreicht, insbesondere im Zeitraum 20. Juli, wo die kumulierten (k^*ETP-P)-Werte die sehr hohen Werte der drei trockensten Jahre dieser Wetteraufzeichnungen erreichen.

Tabelle und Abbildungen zur Kennzeichnung der Sommer 1996 - 1998

Evapotranspiration abzüglich Niederschläge (k^*ETP-P) von Mais in Meyenheim (1957-1998)

	1996	1997	1998	Durchschnitt	Median	Dezil 2	Dezil 8
1/6 bis 30/6	24.6	-9.9	56.6	17.9	14.5	-7.3	43.8
1/7 bis 31/7	29.5	89.5	108.5	86.7	96.2	52.2	116.5
1/8 bis 31/8	45.9	55.7	68.2	46.1	46.8	10.7	84.4
1/6 bis 31/7	54.1	79.7	165.2	104.7	109.0	54.1	149.8
1/6 bis 31/8	100.0	135.3	233.3	150.7	142.2	84	227





2. Entwicklung der Bodenwasserversorgung

2.1 Entwicklung der nutzbaren Feldkapazität

Die Abbildungen betreffend die Entwicklung der nutzbaren Feldkapazität des Bodens wurden auf Grundlage des folgenden Modells erstellt:

$$R_j = R_{j-1} + P_j + I_j - ETR_j$$

wobei: R_j = nutzbare Feldkapazität des Bodens am Tag j (mm)
 R_{j-1} = nutzbare Feldkapazität des Bodens am Vortag $j-1$ (mm)
 P_j = Niederschläge am Tag j (mm)
 I_j = Beregnung am Tag j (mm)
 ETR = tatsächliche Evapotranspiration am Tag j (mm)

Der Wert R_j kann den Höchstwert der maximalen nutzbaren Feldkapazität des Standorts nicht überschreiten.

ETR wird folgendermaßen berechnet

$$ETR = k'' \cdot ETP$$

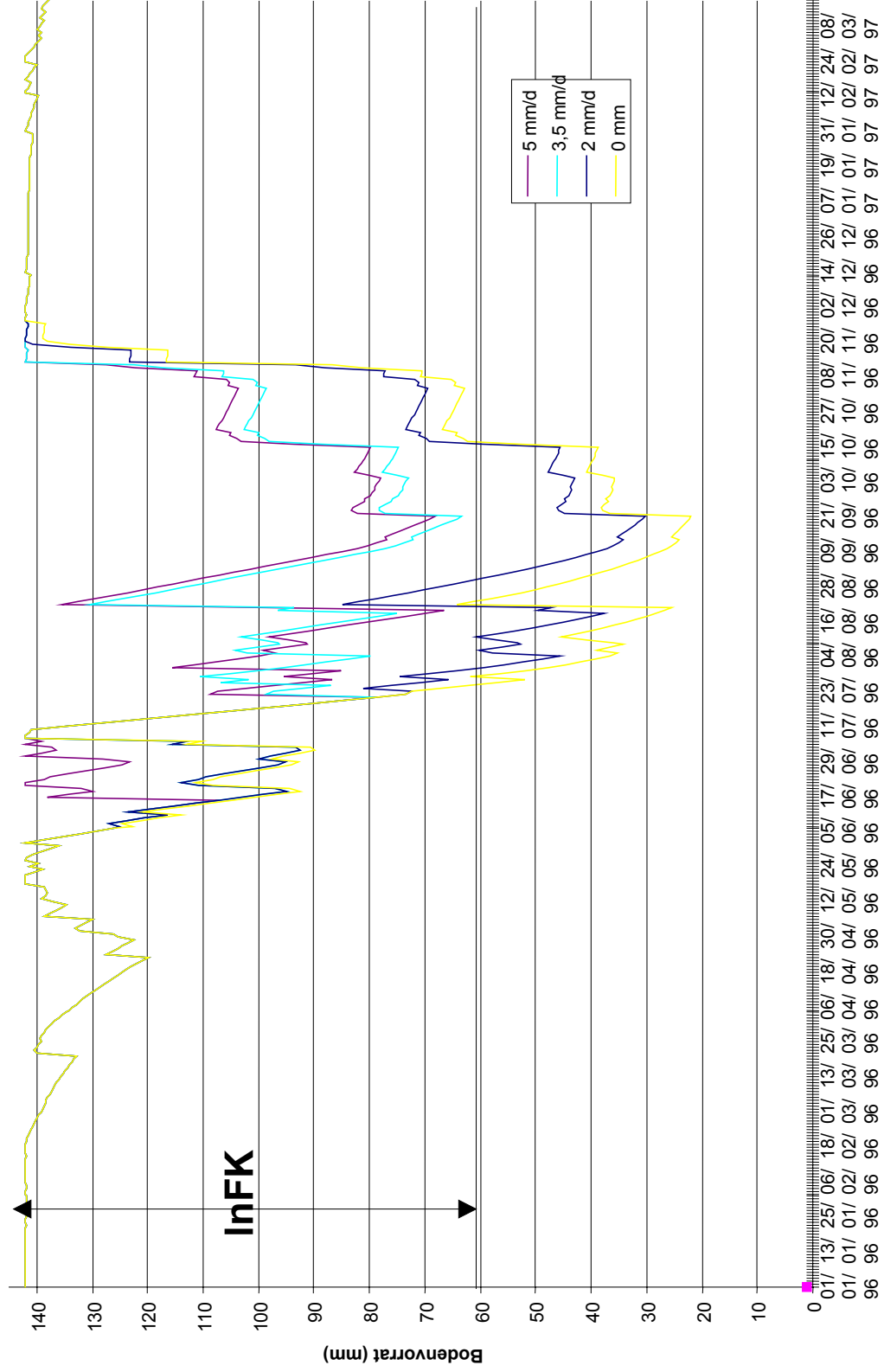
wobei $k'' = k$ (kulturartspezifischer Koeffizient), wenn $R_j > RU - RFU$
 und
 $k'' = (R_j) / (RU - RFU) \cdot k \cdot ETP$, wenn $R_j < RU - RFU$

Sinkt der Bodenwassergehalt auf die Überlebensreserve (schwer verfügbares Wasser), behält die Pflanze ihre Stomata nicht offen, um weniger zu verdunsten. Diesem Effekt wird durch einen mit abnehmendem Wasservorrat zunehmend reduzierten Verdunstungsfaktor Rechnung getragen.

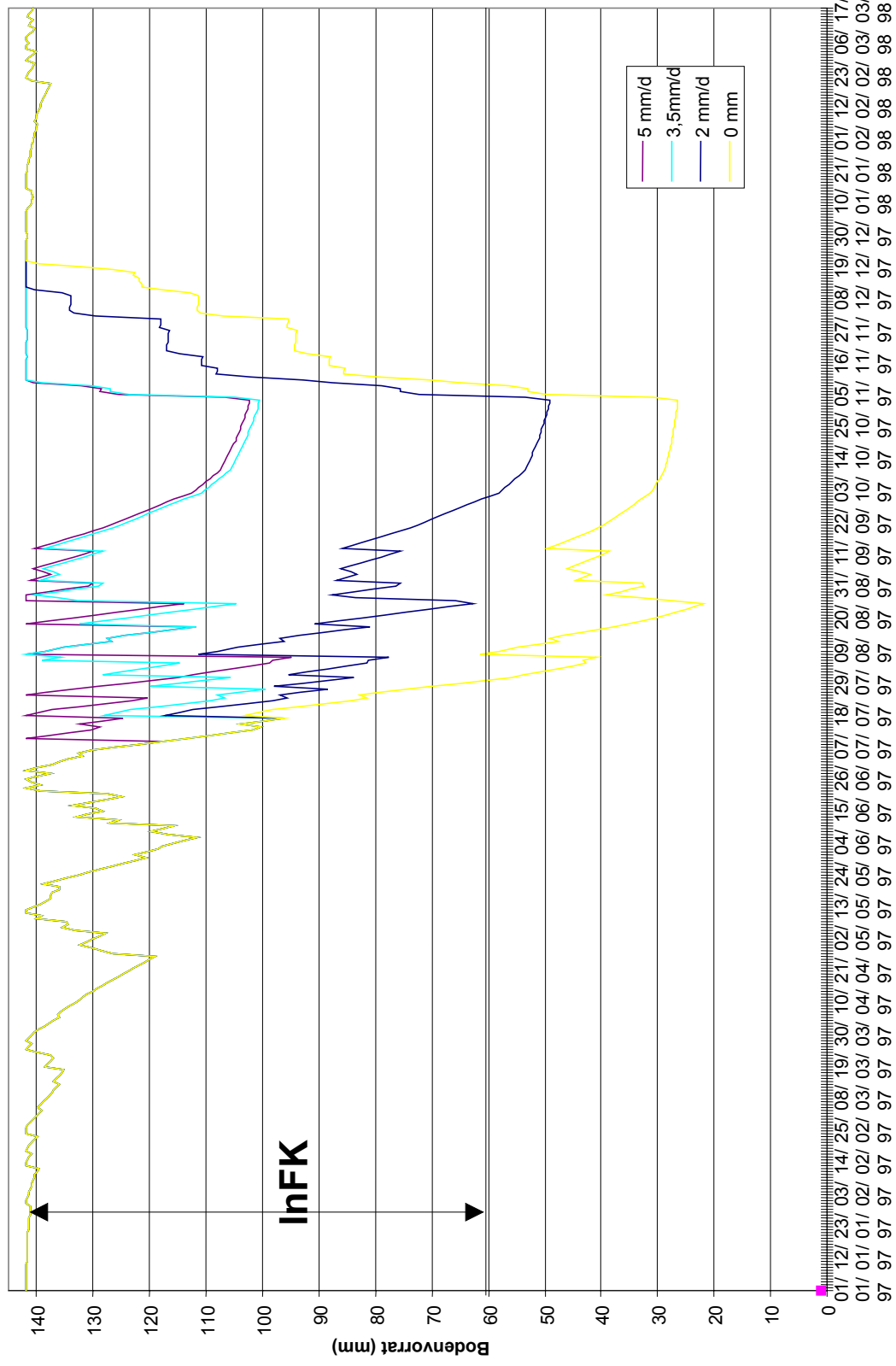
Die nutzbare Feldkapazität (RU) beträgt 142 mm, davon leicht verfügbar (RFU) 81 mm (Berechnung siehe Kapitel 'Material und Methoden'). Die Werte der Evapotranspiration (ETP) werden dekadenweise angegeben und stammen von der Wetterstation Meyenheim.

Nachstehend folgen 3 Abbildungen zur 'Entwicklung der Feldkapazität am Standort Rouffach in den Jahren 1996, 1997, 1998:

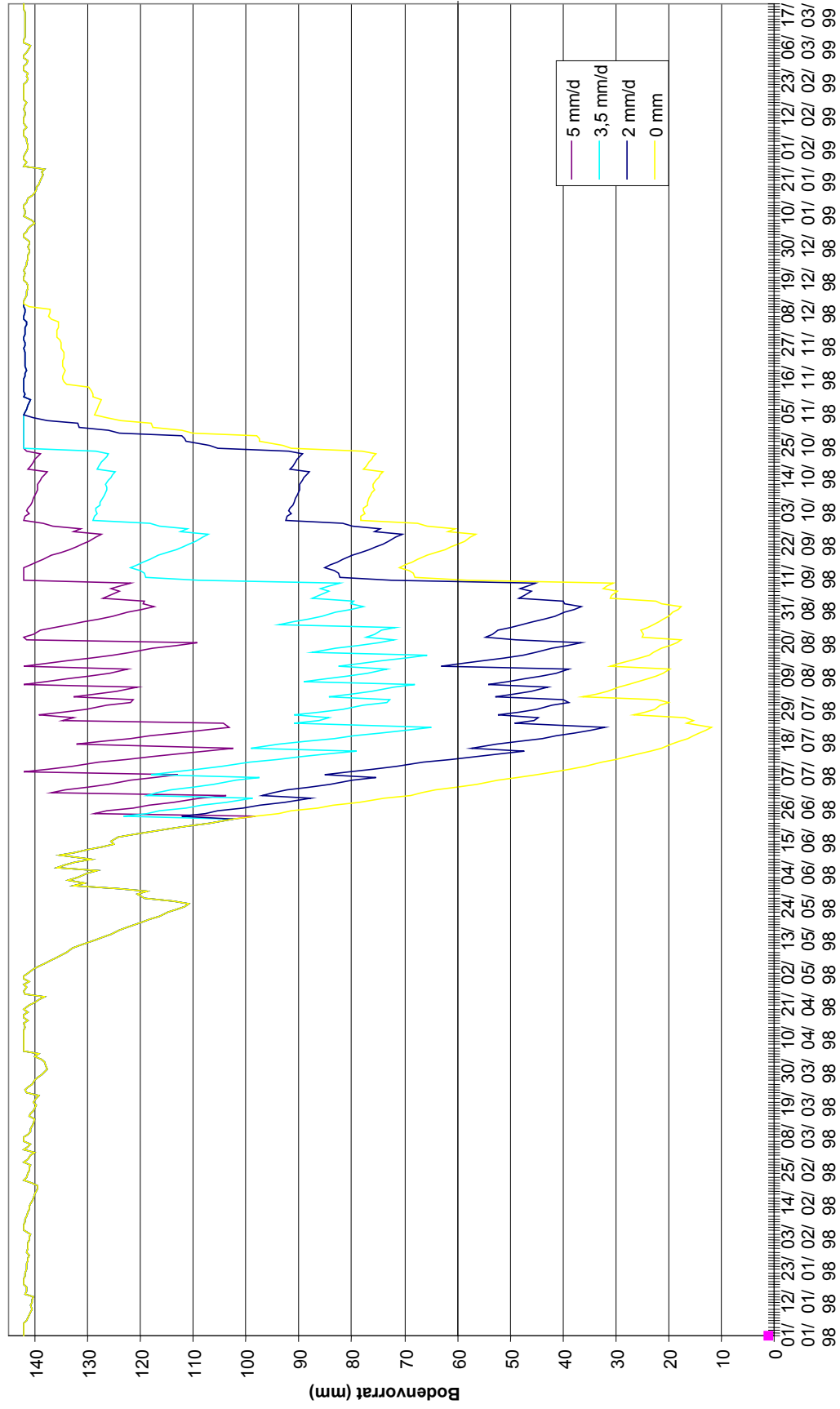
Entwicklung des Bodenwasservorrats - ROUFFACH 1996 - nFK = 142 mm



Entwicklung des Bodenwasservorrats - ROUFFACH 1997 - nFK = 142 mm



Entwicklung des Bodenwasservorrats - ROUFFACH 1998 – nFK = 142 mm



Die aus Tabelle 1.1 mit den Berechnungsverfahren im Jahr 1996 gezogenen Schlußfolgerungen ließen annehmen, daß die beiden Varianten 3,5 und 5 mm/d in Wirklichkeit nicht weit auseinander lagen. Die Bestätigung hierfür liegt vor: Die Kurven der beiden Varianten liegen oberhalb von 60 mm, was der Grenze der leicht verfügbaren Wasservorräte entspricht, und nahe beieinander. Bei beiden Varianten leidet die Pflanze nicht unter Wasserstress.

Die Variante mit 2 mm/d scheint die Kultur während zweier Perioden beeinträchtigt zu haben: Zum einen etwa 3 Wochen lang Anfang August und zum anderen während 1 ½ Monaten ab Anfang September. Etwa zwei Wochen nach der weiblichen Blüten gelangt der Bestand in den Bereich der Überlebens-Wasserreserve, was zu einer Begrenzung des Ertrags führt. Die unberegnete Variante weist die selben Tendenzen mit einigen deutlichen Akzentuierungen auf.

Hypothese: Im Jahr 1996 erscheint eine Beregnung mit 3,5 mm/d notwendig zu sein.

Im Jahr 1997 bleiben die beiden Varianten 3,5 und 5 mm/d während der gesamten Vegetationszeit bei weitem im Bereich der leicht verfügbaren Wasservorräte. Die Variante 5 mm/d erscheint sogar übertrieben in dem Sinn, daß der Boden manchmal nahe an die Grenze der Wassersättigung kommt. Bei der Variante 3,5 mm/d bleibt noch etwas Luft für den Fall von Gewittern. Die Variante 2 mm/d gerät erst im Oktober in den Mangelbereich, was keine Auswirkungen auf den Ertrag mehr hat. In der unbewässerten Kontrolle beginnt der Wassermangel Ende Juli. Er dauert bis zur Ernte an.

Hypothese: Im Jahr 1997 erweist sich eine Beregnung mit 2mm/d als erforderlich.

Im Jahr 1998, dem trockensten von allen, lassen sich deutliche Unterschiede im Kurvenverlauf der nutzbaren Feldkapazität der drei Varianten erkennen, welche mit den Schlußfolgerungen aus Tabelle 1.1 gut übereinstimmen. Der Bodenwassergehalt bei der Variante 5mm/d bleibt weit oberhalb des Totwasserbereichs. Auch die 3,5mm Kurve bleibt in diesem Bereich. Die Pflanzen sind also während ihrer gesamten Entwicklung ausreichend mit Wasser versorgt. Die beiden Varianten 2 mm/d und vor allem die unberegnete Kontrolle führen während eines langen Zeitraums zu Beeinträchtigungen des Wachstums: Bei der weiblichen Blüte (17. Juli) beträgt die Bodenwasserreserve bei Variante 2 mm/d gerade noch 40 mm bzw. 20 mm ohne Beregnung.

Hypothese: Im Jahr 1998 erscheint die Beregnung mit 3,5 mm/d optimal.

2.2 Auswertung der Tensiometerdaten

2.2.1 Nach Versuchsjahren

Das nachstehende Auswertungsschema für die Tensiometerdaten unterscheidet 3 Entwicklungsphasen von Mais und ordnet diesen Phasen Schwellenwerte für Tensiometerspannungen für verschiedene Bodentiefen zu, jenseits denen die Pflanzen unter Wassermangel leiden. Die Grenzen dieser Phasen werden von Temperatursummen (Basis 6°C; Kappung bei 30°C) bestimmt. Diese Schwellenwerte wurden bei ähnlichen Versuchen des ITCF von Experten festgelegt.

Auswertung der Tensiometerkurven

			Phase 1		Phase 2		Phase 3	
Maisbestand	Saat	10-Blatt		10-12 Blatt + 20 Tage		weibl. Blüte + 20 Tage		45% Wasser
Temperatursumme (Basis 6°C; gekappt bei 30°C)	0	400		700		1200		1500
Datum 1996	20.04.	15.06.		05.07.		10.08.		01.09.
Datum 1997	17.04.	10.06.		01.07.		10.08.		01.09.
Datum 1998	05.05.	17.06.		05.07.		05.08.		25.08.

Tensiometerspannungen, die nicht überschritten werden dürfen

Bodentiefe	Phase 1	Phase 2	Phase 3
25 cm	800 mbar	> 800 mbar	> 800 mbar
50 cm	500 mbar	600-700 mbar	800 mbar
80 cm			

Auf Wasserstress wird geschlossen, wenn die Tensiometerwerte in den drei Bodentiefen alle drei die genannten Schwellenwerte überschreiten.

Die Darstellungen des Verlaufs der Tensiometerspannungen folgen auf den nächsten Seiten.

1996:

- Variante 5 mm/d: Die Tensiometerwerte in 80 cm Tiefe bleiben den ganzen Sommer über stabil und überschreiten nicht die 200 mbar. Die Werte bei 50 und 25 cm Tiefe liegen im Juli höher, übersteigen aber nicht die 500 mbar. Diese Werte signalisieren ein schwach ausgeprägtes Wasserdefizit. Man kann also sagen, daß, unter Berücksichtigung der Schwellenwerte, die Pflanzen während der ganzen Vegetationszeit nicht unter Wasserstress gelitten haben.
- Variante 3,5 mm/d: Wenn die Werte für 80 cm Tiefe infolge eines stärkeren Versorgungsbeitrags des Unterbodens auch etwas stärker Schwanken als bei der 5 mm/d-Variante, so bewegen sich die Werte für 50 und 25 cm Tiefe doch in denselben Grenzen wie bei der 5 mm/d-Variante. Das bestätigt uns in der Auffassung, daß die beiden Varianten 3,5 und 5 mm im Jahre 1996 ähnlich sind und keinen Wasserstress zur Folge hatten.
- Variante 2mm/d: Hierfür liegen nur die Werte von 80 cm Tiefe vor. Diese sind deutlich höher als bei den beiden anderen Varianten, vor allem im August, was auf Wassermangel hinweist. Der Schwellenwert für Phase 2 liegt bei 200 mbar. Während den 10 ersten Julitagen (innerhalb der kritischen 2 Wochen nach der Blüte) erreichen die Werte jedoch 400 mbar.

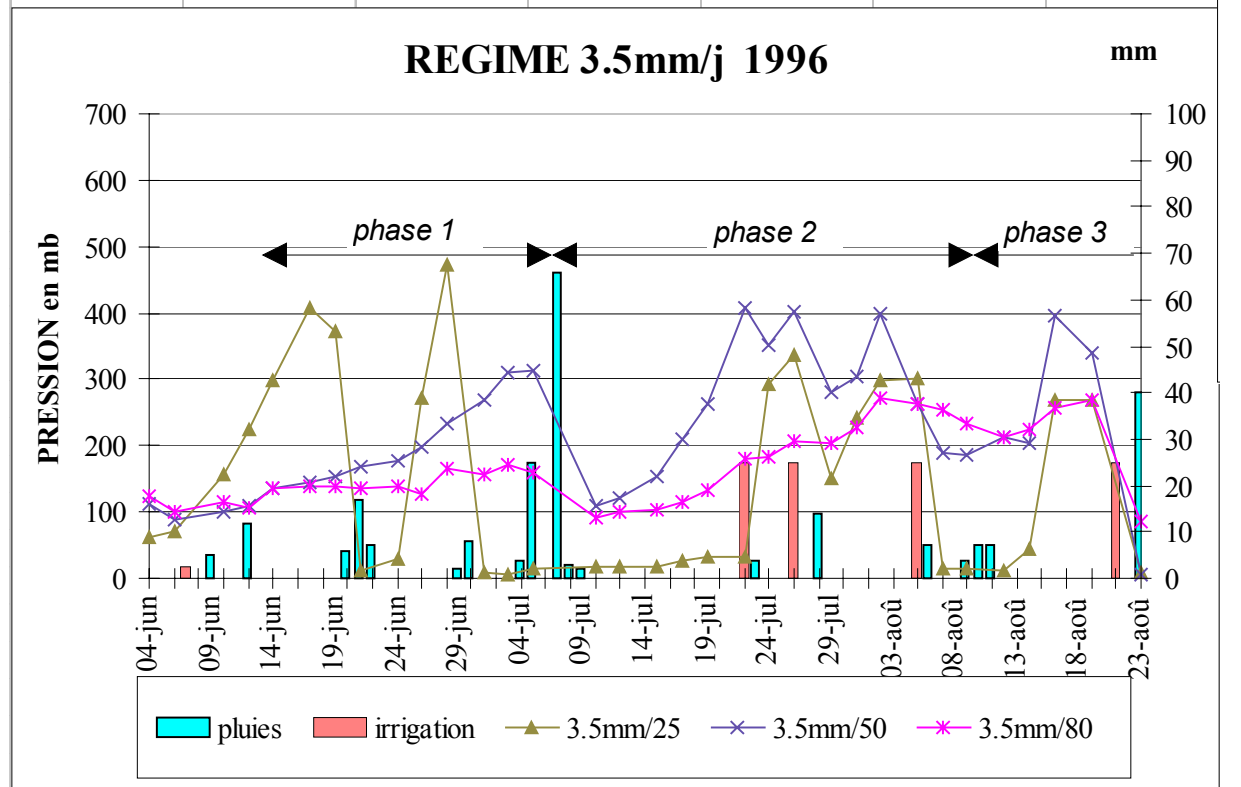
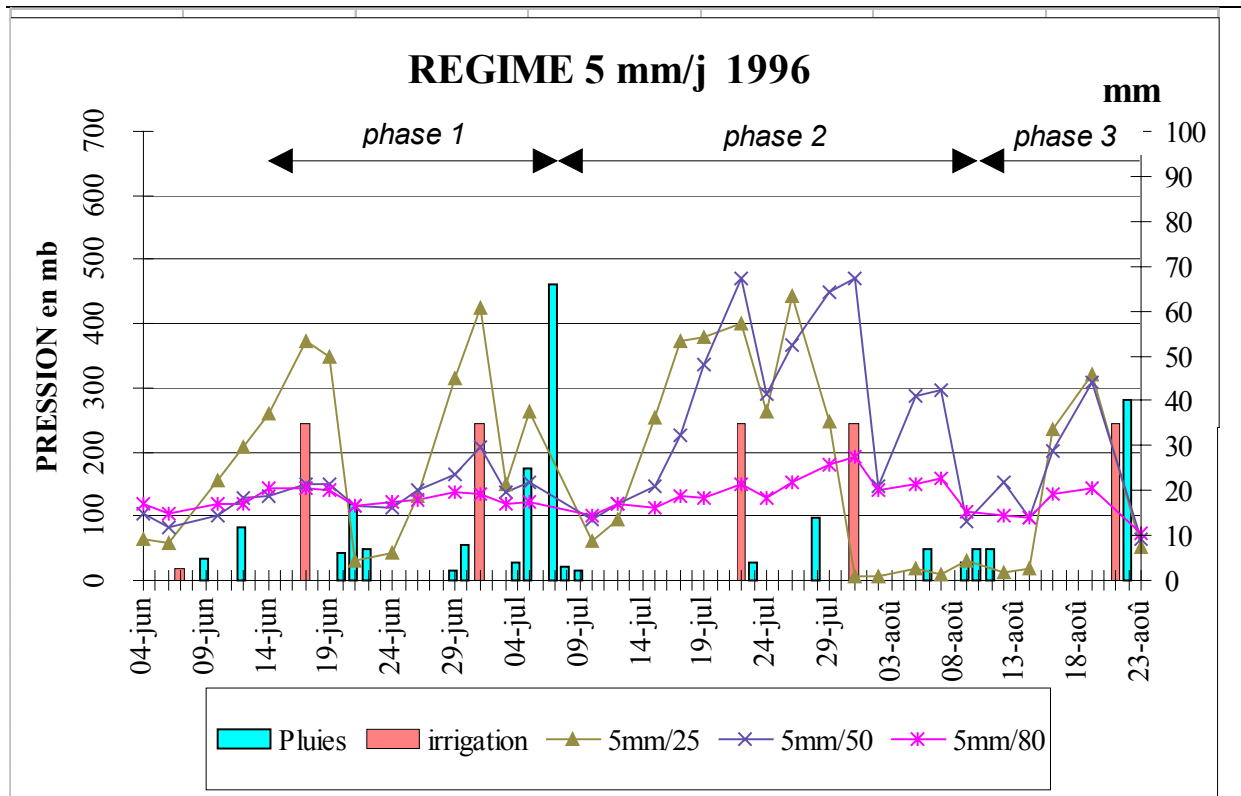
1997:

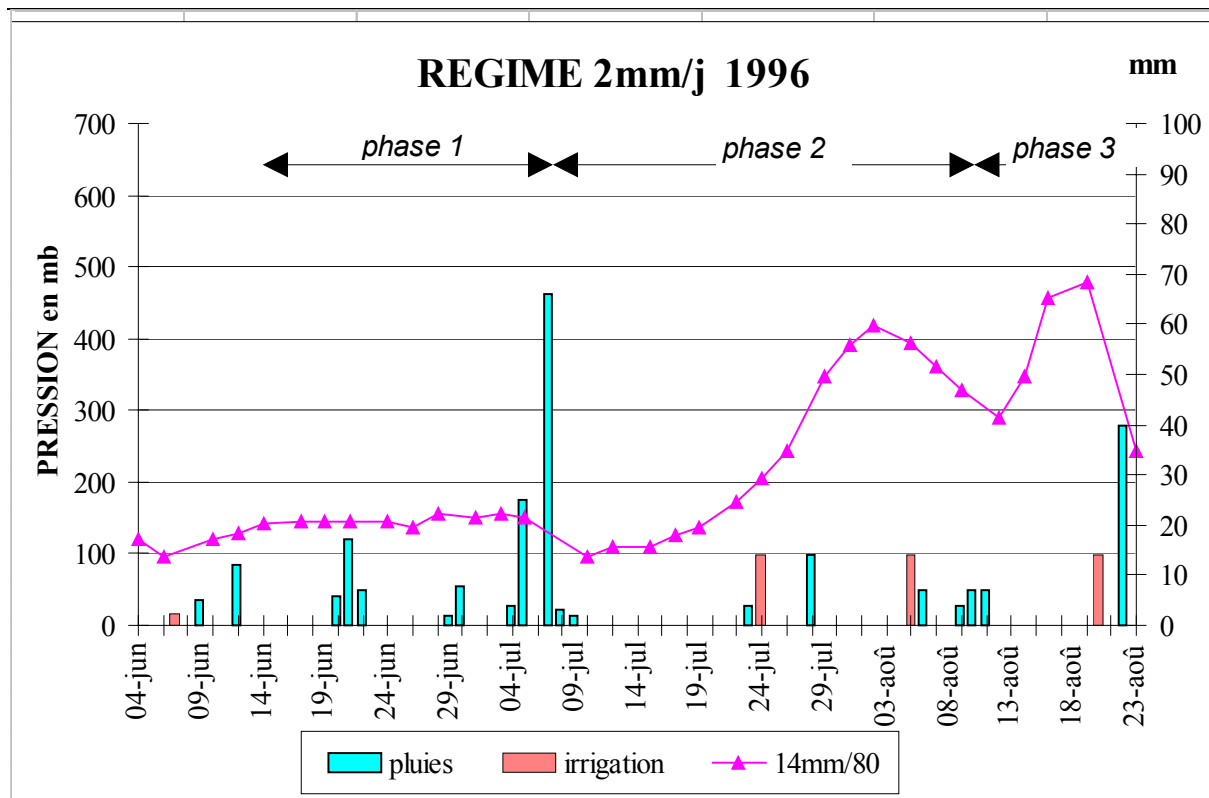
- Variante 5 mm/d: Das Jahr 1997 ist dem Jahr 1996 recht ähnlich, wobei die Werte für 25 cm Tiefe allerdings ganz vereinzelt die 500 mbar-Schwelle überschreiten. Dies läßt sich mit geringeren Niederschlägen im Juli 1997 erklären. Wasserstress tritt in keiner der 3 Phasen auf.
- Variante 3,5 mm/d: Gleicher Kommentar wie bei 5 mm/d. Nach diesen Abbildungen und denen zum Verlauf der Feldkapazität kann man sagen, daß die Varianten 3,5 und 5 mm/d auch 1997 recht ähnlich sind. In beiden Varianten kam es nicht zu Wasserstress.
- Variante 2 mm/d: Im Jahr 1997 überschritten die Werte Ende Juli die 300 mbar anstelle von 200 mm Schwellenwert. Die Variante mit 2 mm/d hat die Pflanzen jedoch nicht so stark unter Wasserstress leiden lassen wie 1996: Während der gesamten Vegetationszeit werden 400 mbar nicht überschritten.

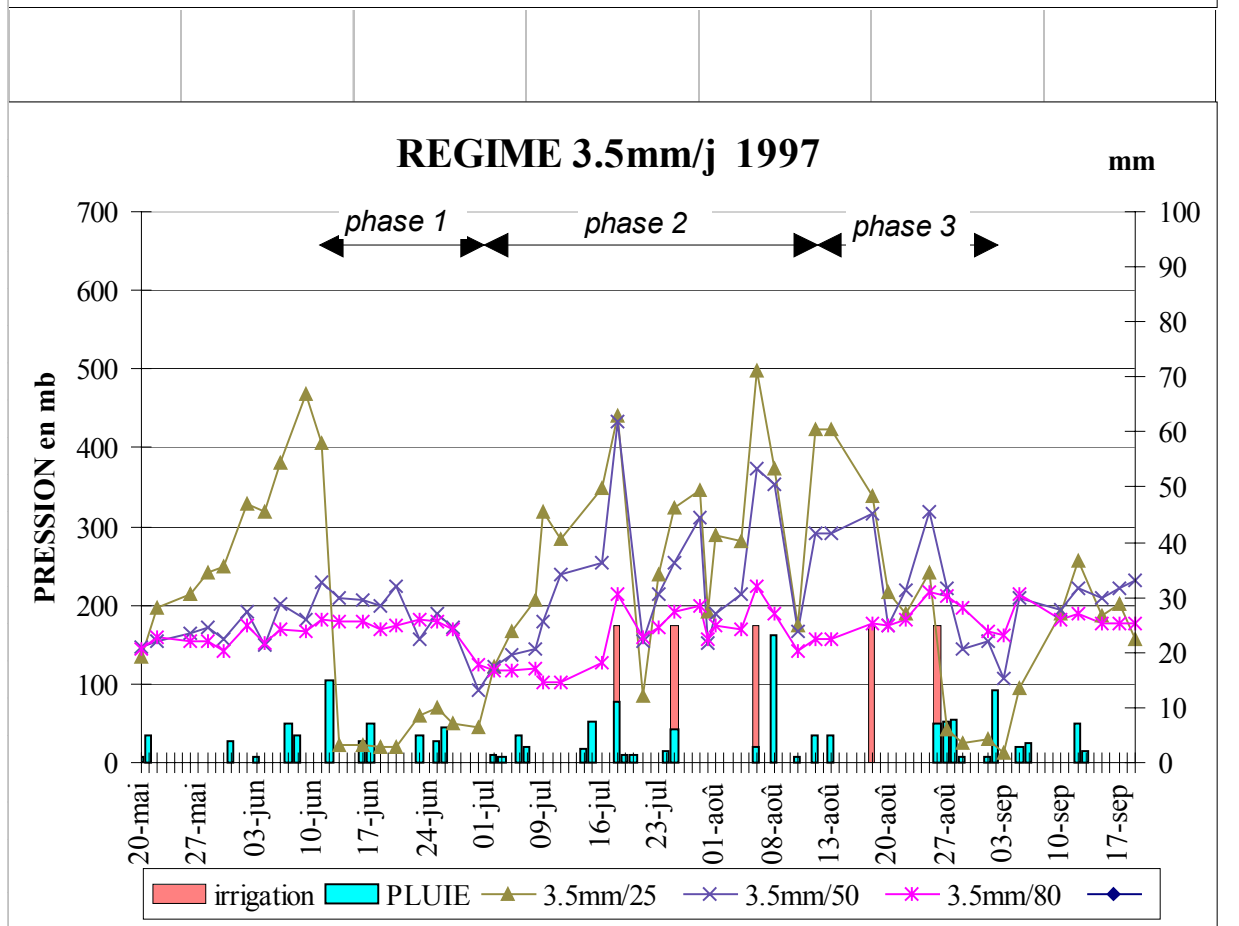
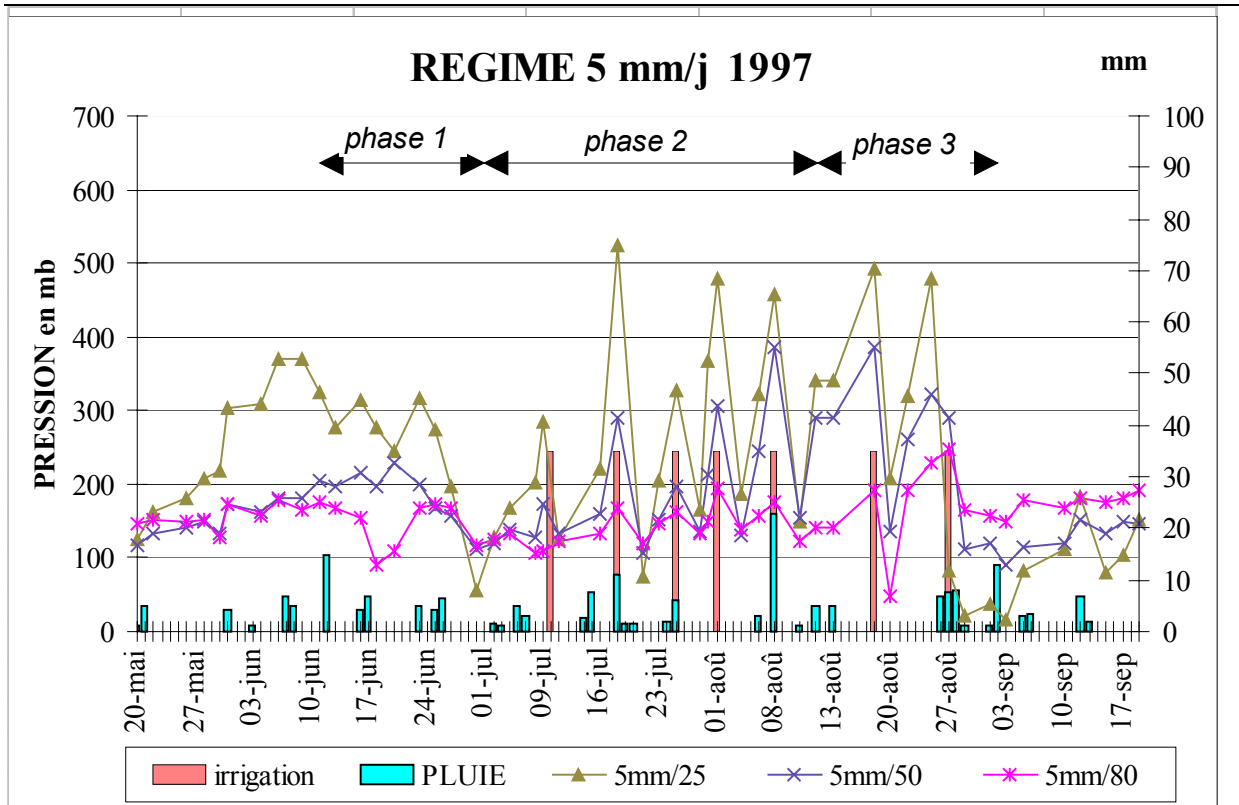
1998:

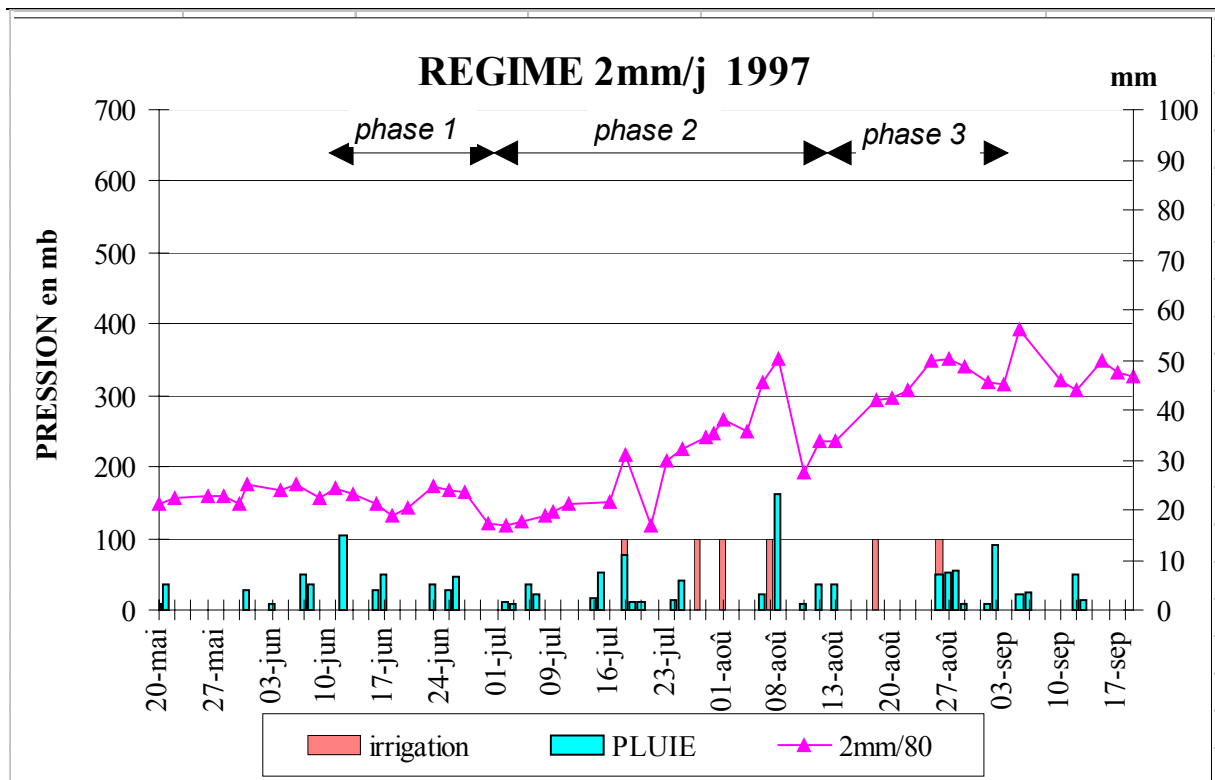
- Die Tensiometermessungen wurden in diesem Jahr beeinträchtigt durch das Aussetzen von mehreren Tensionics (die Niederschlagssumme der Monate Juni+Juli+August belief sich auf 102 mm gegenüber 200 anno 1997 und 275 anno 1996). Die Aussetzer traten vor allem im Juli und bis Mitte August auf, vor allem bei 30 cm Tiefe. Der Boden ist trocken und sehr rissig, so daß der Kontakt zwischen Keramikspitze und Boden unterbrochen wird.
- Variante 5 mm/d: Während der Zeiträume des Aussetzens der Tensionics kann man sich Spannungen über 600 mbar bei 25 cm Tiefe vorstellen. Die beiden anderen Tensionics weisen in diesem Zeitraum steigende Werte auf, doch lediglich derjenige in 80 cm Tiefe erreicht den kritischen Wert für Phase 2. Insgesamt leiden die Pflanzen während der ganzen Vegetationszeit nicht.
- Variante 3,5 mm/d: Die Spannungen liegen etwa 100 mbar höher als bei 5 mm/d. Die Geräte setzen häufiger aus. Die Spannungen in den verschiedenen Tiefen liegen nahe bei den Schwellenwerten, übersteigen sie jedoch nie alle drei gleichzeitig. Die Entwicklung der Pflanzen und der Ertrag dieser Variante dürften deshalb von der Wasserversorgung nicht beeinträchtigt worden sein.
- Variante 2 mm/d: Bereist in Phase 1 beeinträchtigt die Wasserversorgung des Mais. Das gilt auch noch für Phase 2, was auf eine große Bodenaustrocknung hinweist. Die Erträge dürften stark beeinträchtigt worden sein.

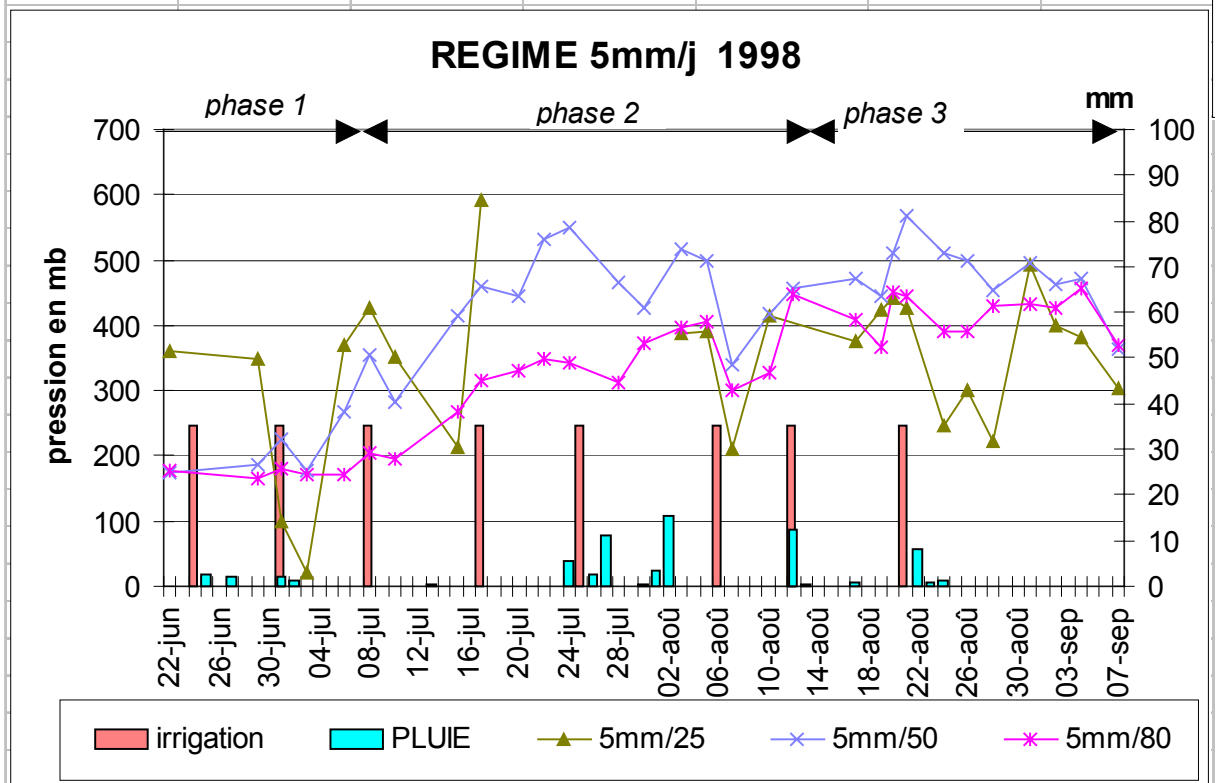
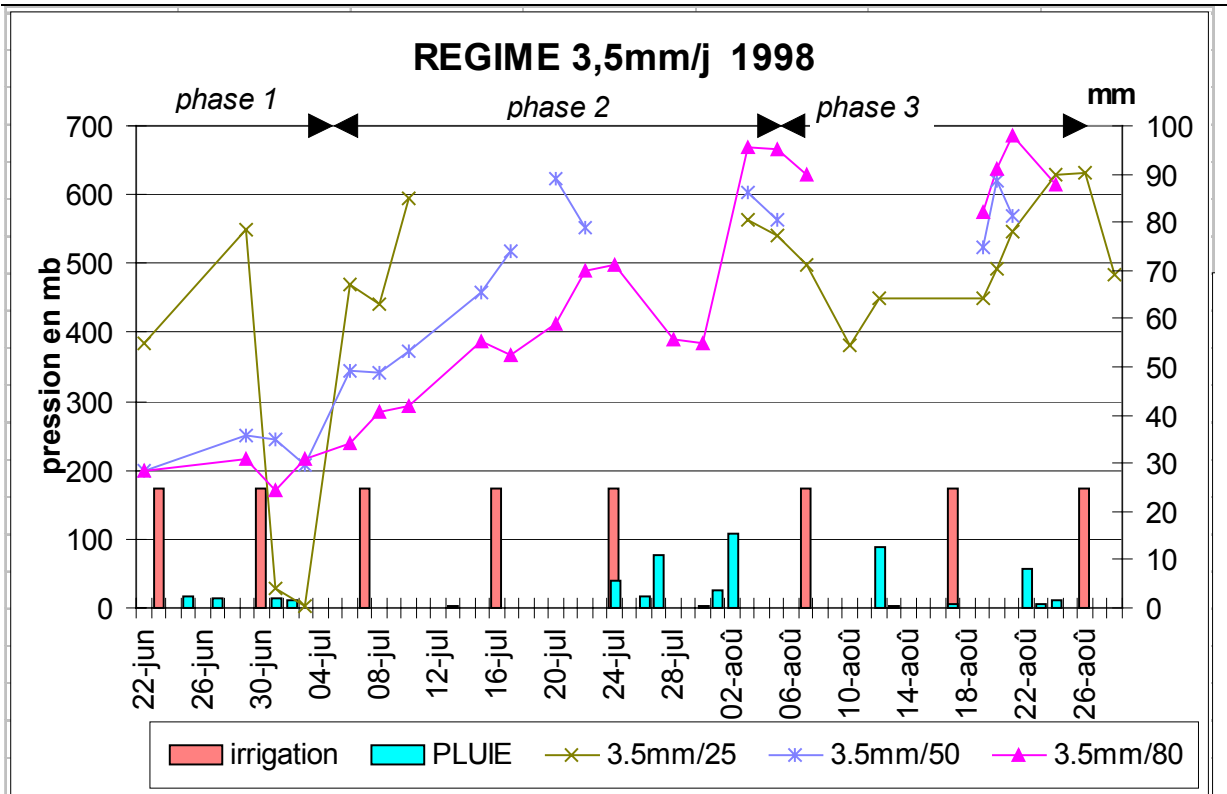
Es folgen 9 Abbildungen zu Niederschlägen, Beregnung und Tensiometerspannung in drei Bodentiefen

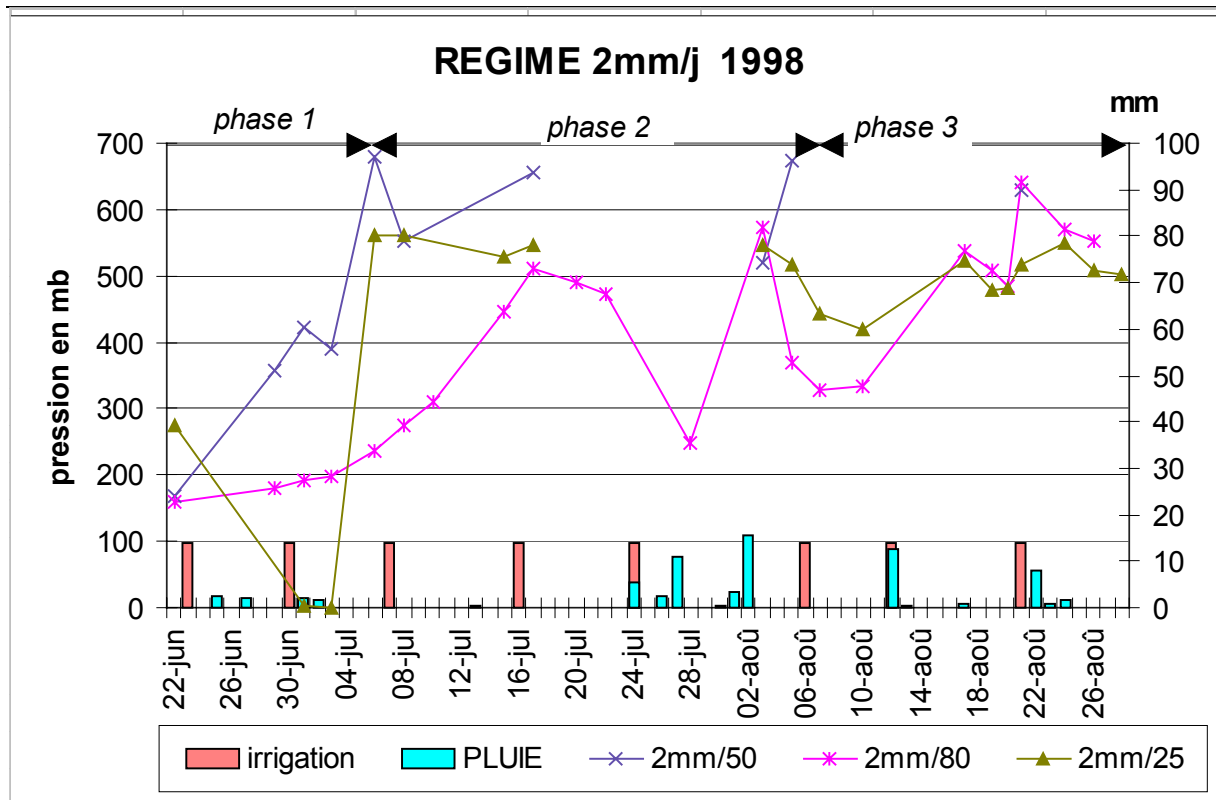












2.2.2 Wasserdefizit und Tensiometer-Spannungssumme

Die folgenden Graphiken zeigen auf derselben Zeitachse einerseits die Summe der Tensiometerspannungen der drei Tiefen und andererseits das berechnete Wasserdefizit in Bezug auf die Feldkapazität. Dies gestattet eine Beurteilung der Übereinstimmung zwischen den abgelesenen Tensiometerwerten und den Entwicklungstendenzen des berechneten Wasserdefizits.

In den Jahren 1996 und 1997 läßt sich insgesamt eine ziemlich gute Übereinstimmung zwischen dem berechneten Wasserdefizit und den Tensiometerangaben. Die Kurven weisen denselben Verlauf auf, auch wenn man gelegentlich leichte zeitliche Verschiebungen erkennen kann. Diese Erscheinung läßt sich erklären durch das Einsickern des zugeführten Wassers. So kann man sich vorstellen, daß 25 mm Wasser nicht in jedem Fall 25 cm Boden gut durchfeuchten.

Tensiometerangaben und Berechnungen der Entwicklung des Wasservorrats sind also zwei Größen, auf die wir uns bei der Interpretation der weiteren agronomischen Ergebnisse stützen werden.

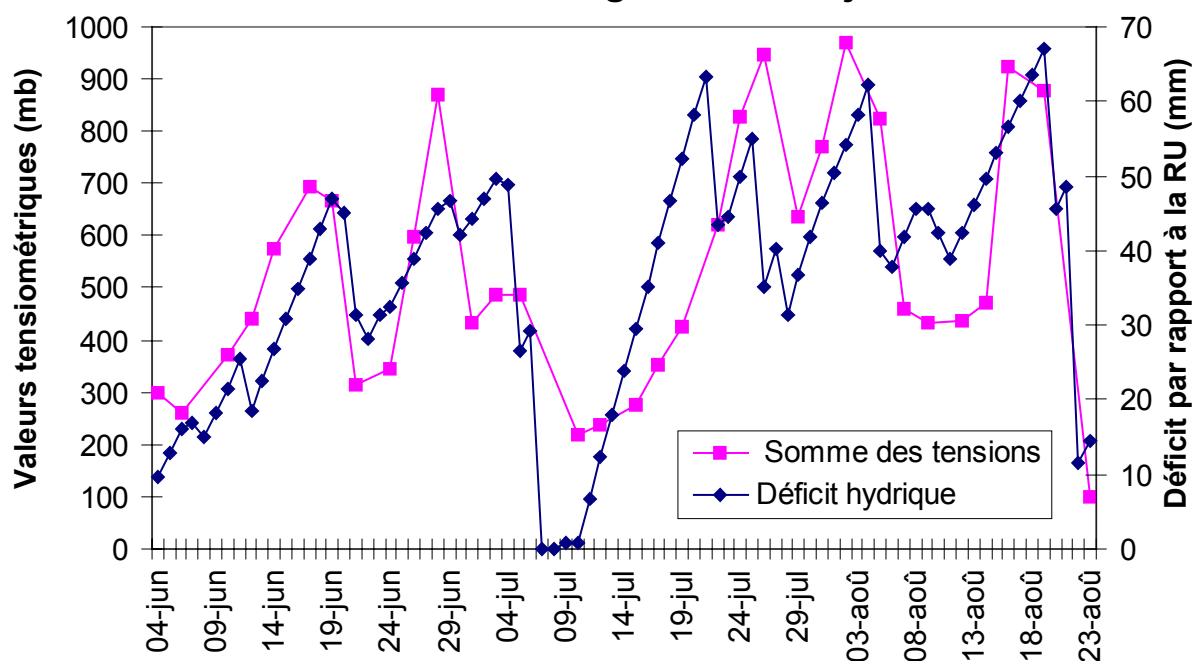
Im Jahr 1998 zeigte sich trotz fehlender Werte infolge des Ausfalls mehrerer Tensionics, daß die akzeptierten Meßwerte insgesamt mit den berechneten Werten korrelierten. Bei der Variante 5 mm/d ergaben sich jedoch einige bedeutende Abweichungen, die wohl auf falsche, anomal erhöhte Meßwerte zurückzuführen sind.

So wird es bei Variante 5 mm/d für gewisse Zeitabschnitte (Anfang Juli bis Ende August) besser sein, anstelle der abgelesenen Tensiometerwerte die Graphik der berechneten Werte der Feldkapazität zu benutzen. So erweisen sich die Graphiken der Entwicklung der Feldkapazität als Lösung für das Problem der fehlenden Daten infolge des Ausfalls von Tensionics.

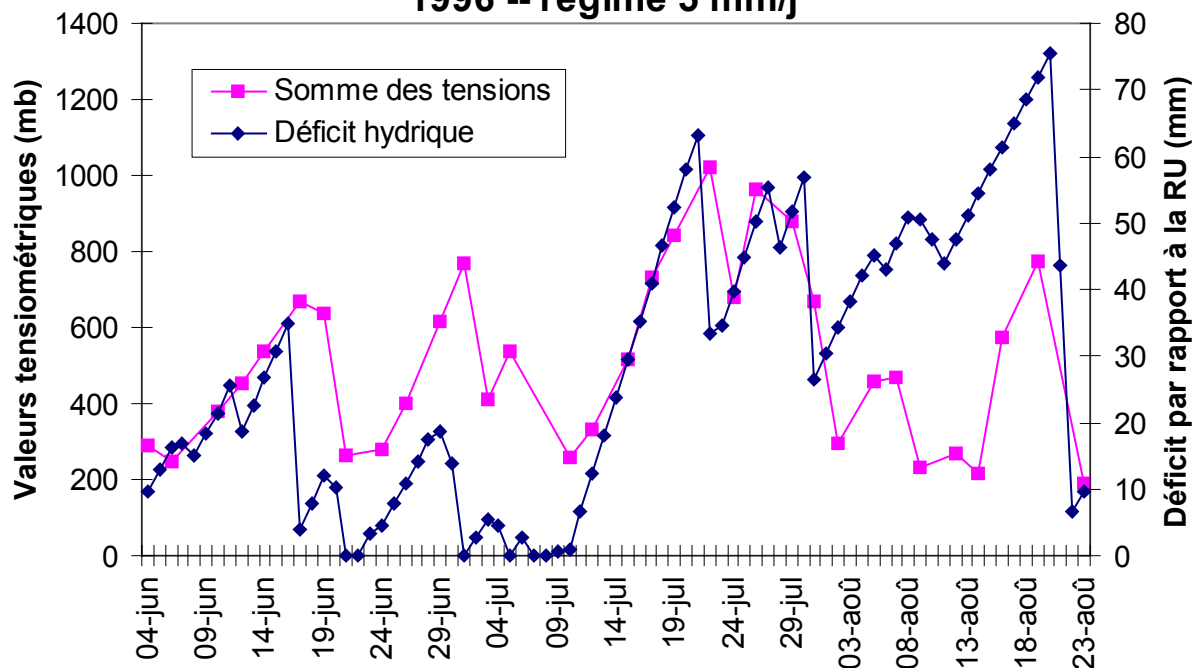
Es folgen 6 Abbildungen zur Darstellung der Übereinstimmung vom berechneten Wasserdefizit und der Summe der Tensiometerspannungen in 3 Bodentiefen für die Berechnungsvarianten 3,5 und 5 mm/Tag in den Jahren 1996, 1997 und 1998.

Auf der y-Achse sind links die Tensiometerwerte (mbar) und rechts das Wasserdefizit (mm) in Bezug auf die Feldkapazität angegeben.

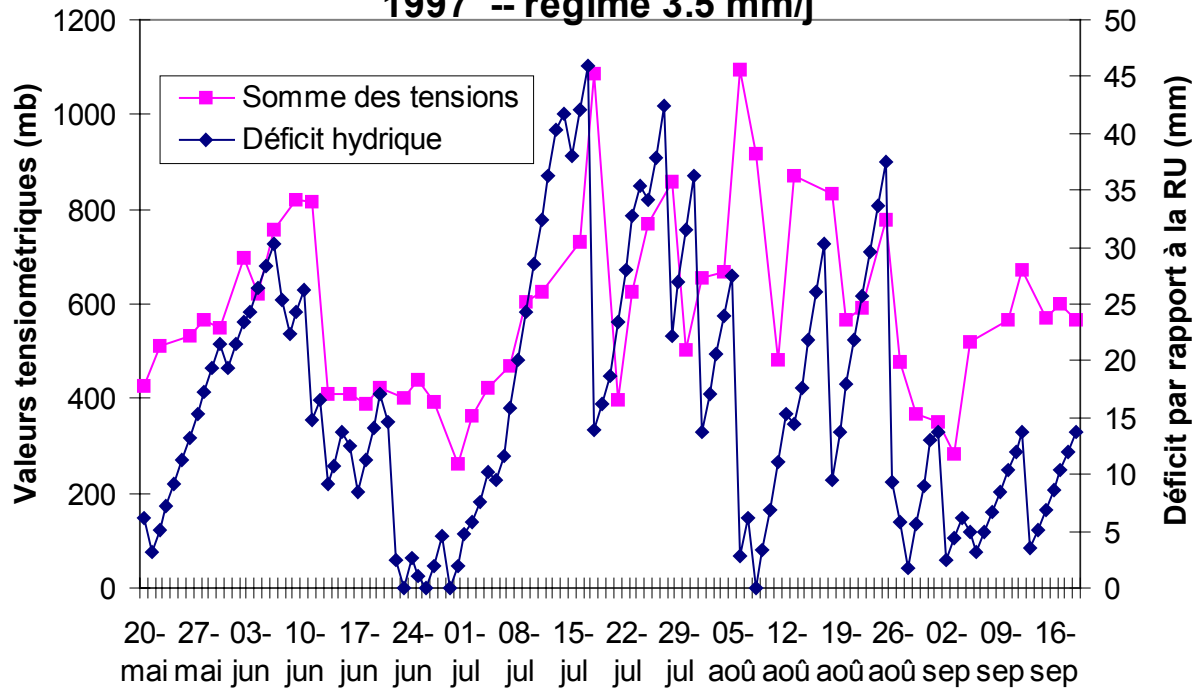
**Concordance du déficit hydrique avec la somme
des relevés tensiométriques aux 3 profondeurs
1996 -- régime 3.5 mm/j**



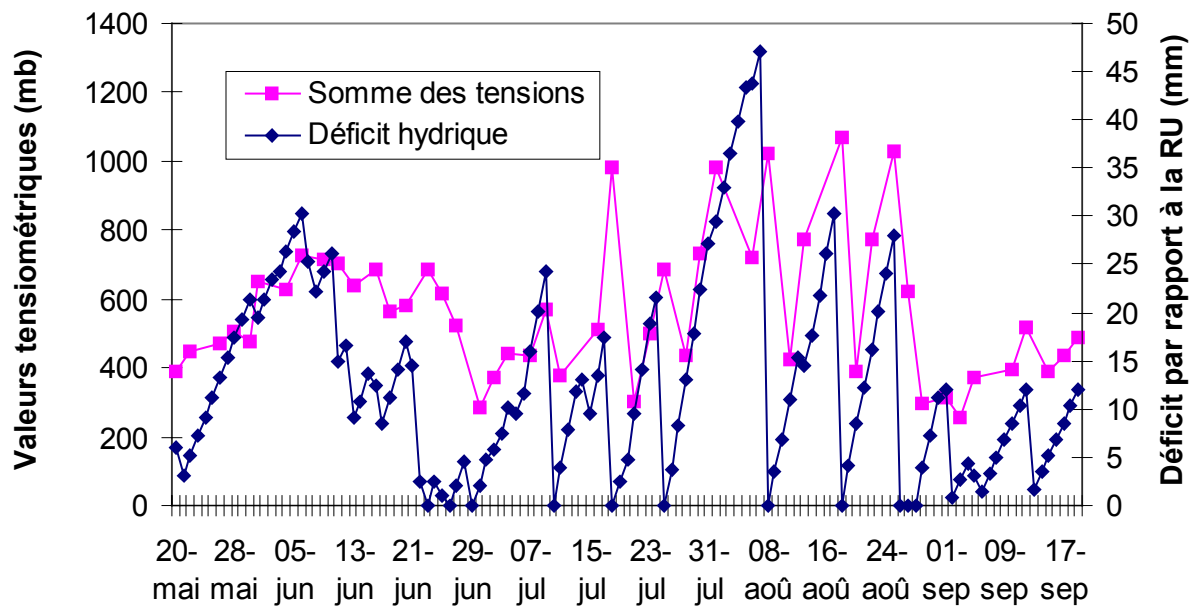
**Concordance du déficit hydrique avec la somme
des relevés tensiométriques aux 3 profondeurs
1996 -- régime 5 mm/j**

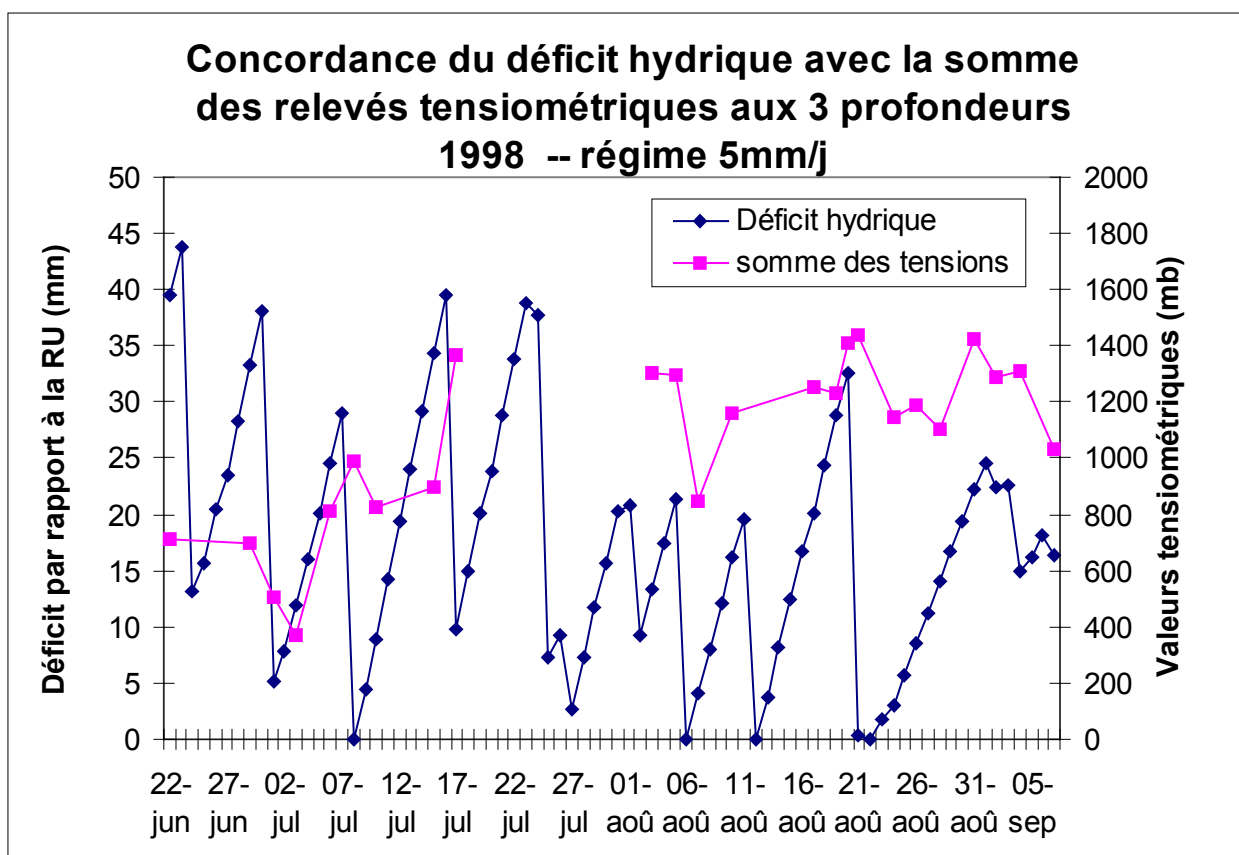
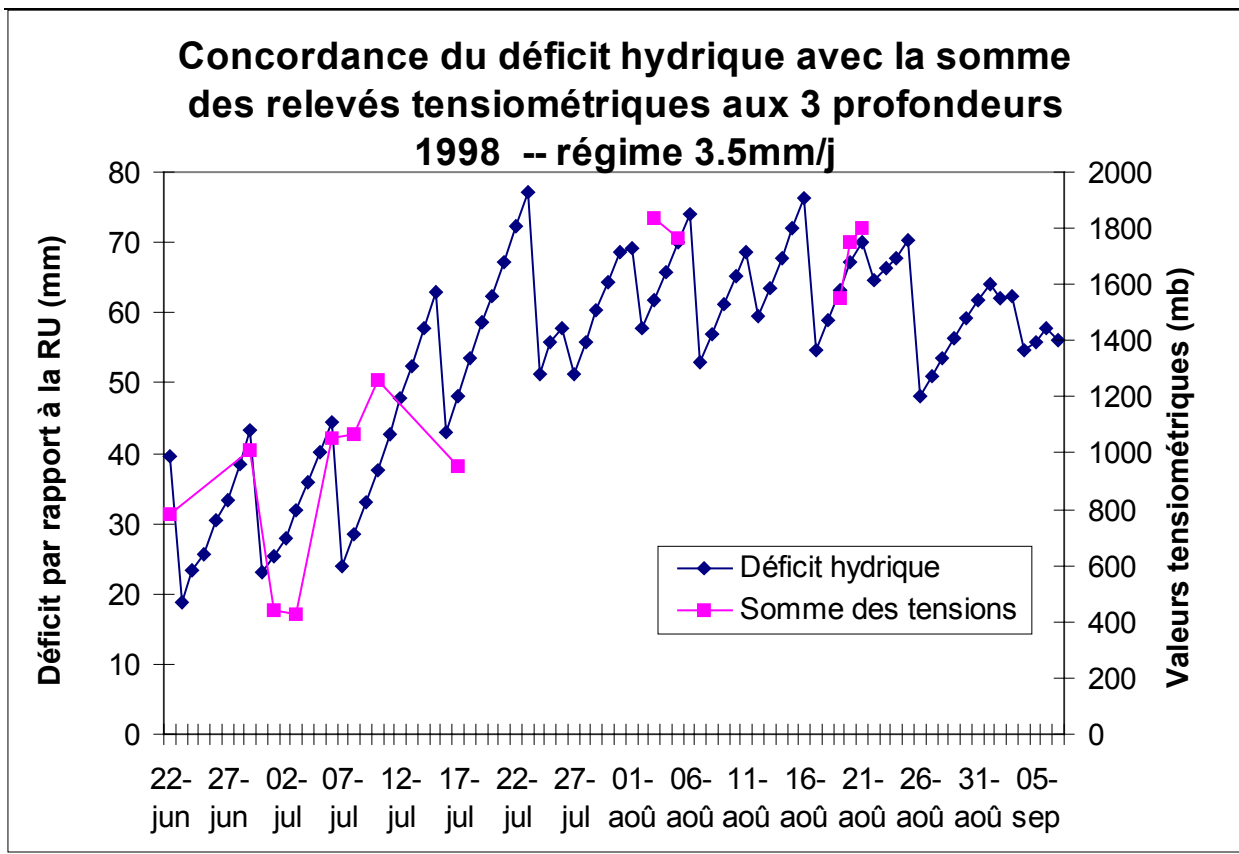


**Concordance du déficit hydrique avec la somme
des relevés tensiométriques aux 3 profondeurs
1997 -- régime 3.5 mm/j**



**Concordance du déficit hydrique avec la somme
des relevés tensiométriques aux 3 profondeurs
1997 -- régime 5 mm/j**





3. Agronomische Ergebnisse des Jahres 1996

3.1 Ertrag, Biomasse und Stickstoffaufnahme

3.1.1 Ertrag

Der Höchstertrag liegt bei 114 dt/ha. Er wurde mit 220 kg N/ha und 3,5 mm/d Beregnung erzielt. Dieses Ertragsergebnis von 114 dt/ha erscheint jedoch nicht sehr kohärent mit den anderen Messungen: Biomasse, Stickstoffaufnahme und vor allem mit dem Ernteindex (s. später). Mit Ausnahme dieses Wertes ist das Ertragsniveau von etwa 100 dt/ha im Jahr 1996 ziemlich schwach im Vergleich zum ursprünglich festgelegten Zielertrag von 110 dt/ha.

Die Erträge der beiden Varianten 3,5 und 5 mm/d liegen ähnlich, was übereinstimmt mit den Analysen der Wasserbilanzen. Der begrenzende Faktor im Jahr 1996 war die Stickstoffdüngung. Außerdem gibt es bei den Düngungsstufen 120 und 170 kg N/ha keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Varianten (2; 3,5 und 5 mm/d). Die optimale Stickstoffdüngung lag in der Nähe von 170 kg N/ha. Bei 120 kg N/ha liegen die Ertragswerte zwar in der selben statistisch homogenen Gruppe, jedoch mit einer Tendenz nach unten, was von einem Vergleich der Ertragswerte mit der Kontrastmethode ($P = 0,02$) bestätigt wird.

Der erwartete Abstand der Variante 2mm/d ist nicht deutlich. Trotz des mit der Entwicklung der Feldkapazität und den Tensiometerwerten dargelegten Wassermangels werden mit 97 dt/ha noch ganz ansehnliche Erträge erreicht. Der einzige statistisch gesicherte Ertragsunterschied ergibt sich bei 220 kg N/ha, die bei dieser bescheidenen Wasserversorgung nicht wie in den beiden anderen genutzt werden kann.

Abbildung: Erträge 1996 (dt/ha) in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung

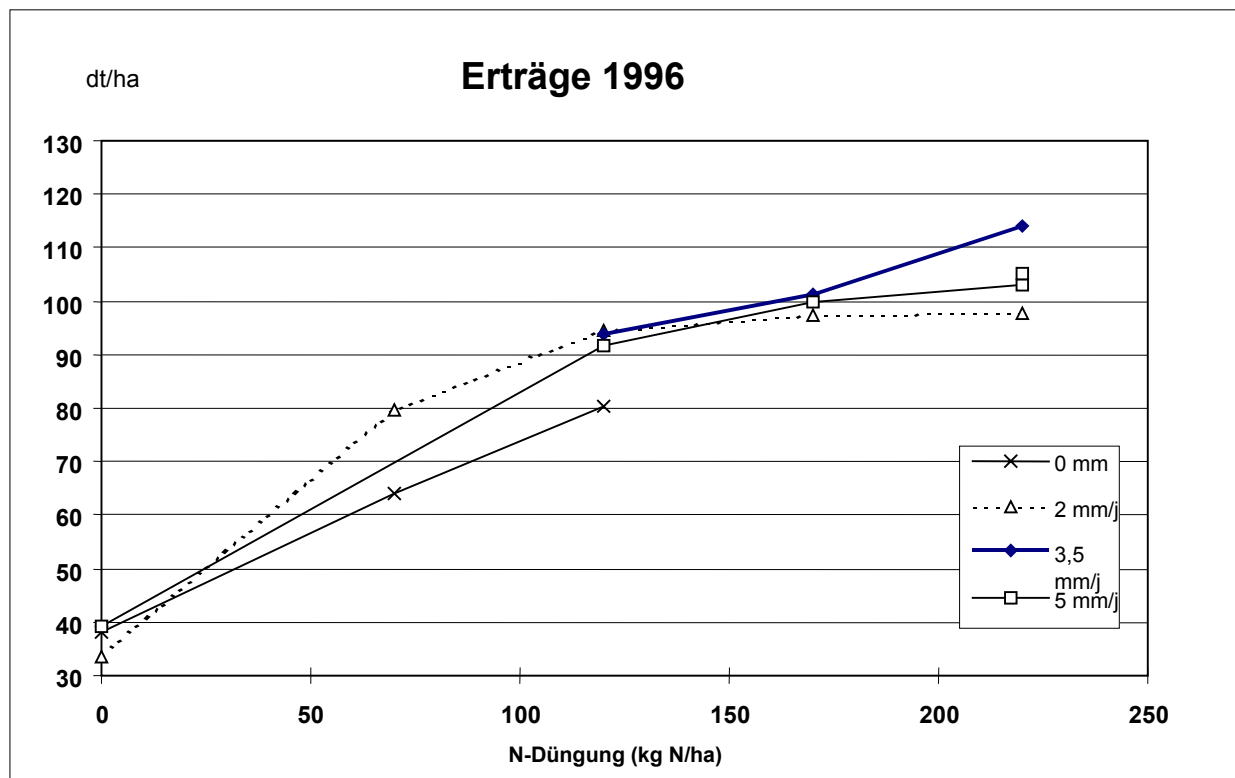


Tabelle: Erträge in Abhängigkeit von Beregnungs- und Düngungsstufen 1996

		N-Düngung						
		1996	0	70	120	170	220	220+
Beregnung	3.5 mm/d				93.9 B	101.4 B	114.1 A	
	5 mm/d	39.1 E			91.8 B	99.9 B	103.2 AB	105.1 AB
	2 mm/d	33.5 E	79.8 C		94.5 B	97.4 B	97.6 B	
	0 mm	38.2 E	64.2 D		80.5 C			

Standardabw.: 6.59 dt

Variationskoeff.: 7.9%

Die Ernteindices

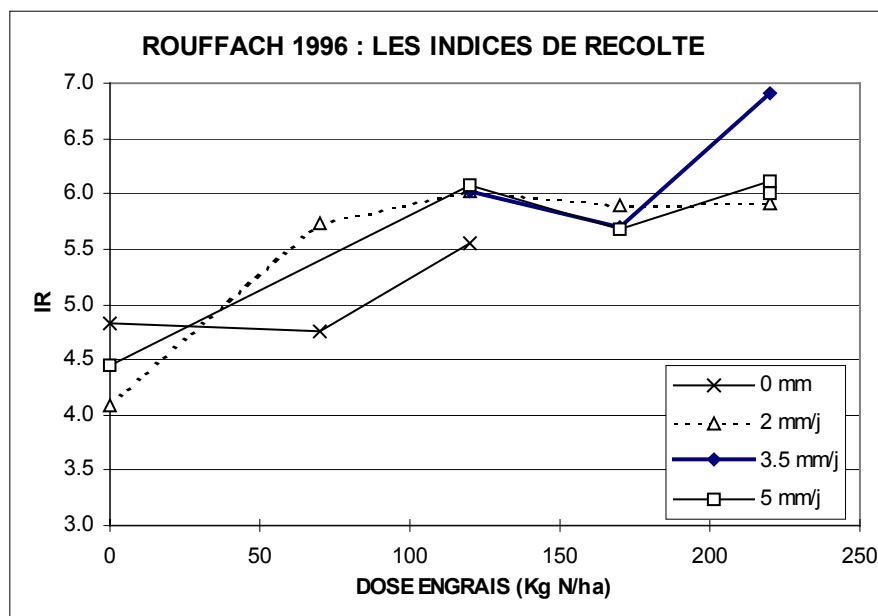
Die Ernteindices für die drei Jahre wurden folgendermaßen berechnet:

$$\text{Ernteindex IR} = (\text{Korntrockenmasse}) / (\text{Gesamttrockenmasse})$$

d. h. $\text{IR} = (\text{Ertrag in dt/ha}) / (\text{Biomasse in t/ha})$

Die Berechnung dieser Indices bringt wenig Zusatzinformationen zur agronomischen Analyse, erlaubt jedoch zweifelhafte Werte zu identifizieren, die mit Vorsicht zu betrachten sind.

Abbildung: Ernteindices von Körnermais – Rouffach 1996



Es wird deutlich, daß der IR-Wert für die Kombination 220 kg N/ha x 3,5 mm/d im Jahre 1996 suspekt ist.

3.1.2 Biomasse

Die Steigerung der Stickstoffdüngung von 170 auf 220 kg N/ha führt nicht zu einer Zunahme der Trockenmasseproduktion, was die Festlegung der berechneten Optimaldüngung auf 170 kg N/ha bestätigt.

Abbildung: Trockenmasseproduktion von Körnermais – Rouffach 1996

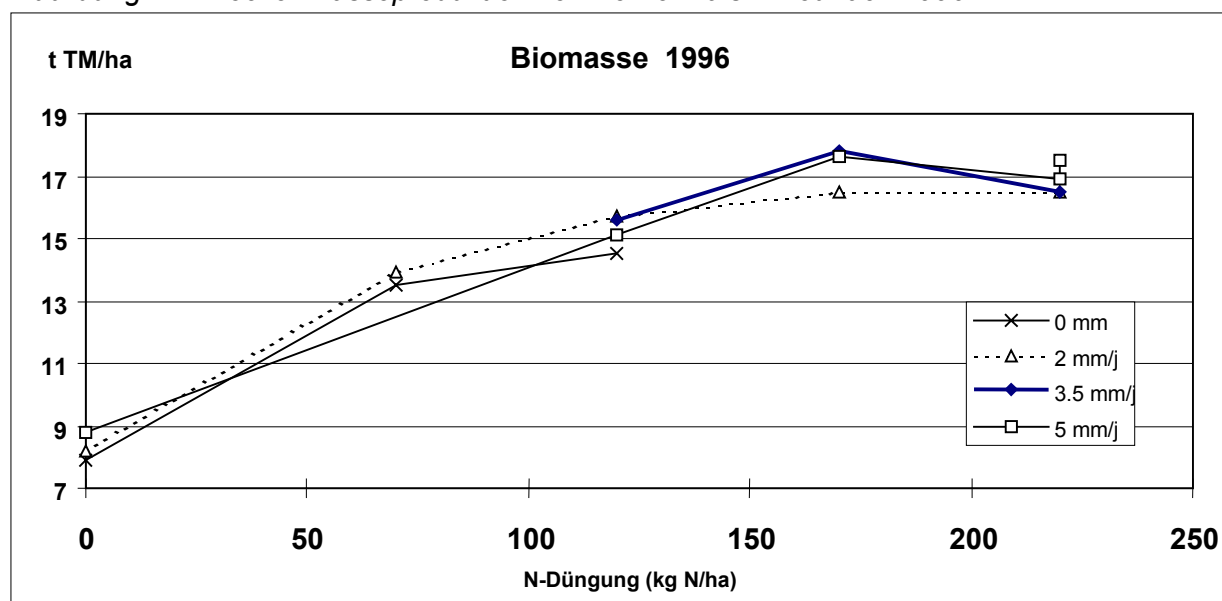


Tabelle: Trockenmasseproduktion von Körnermais in Abhängigkeit von Stickstoffdüngung und Beregnung – Rouffach 1996

3.2 Die Nmin-Werte im Boden

3.2.1 Die theoretischen Nmin-Werte bei der Ernte

Die theoretischen Nmin-Werte wurden folgendermaßen berechnet:

$$E_{\text{Nmin}_{\text{Ernte}}} = N_{\text{min}_{\text{Ausgang}} (\text{April}) + N_{\text{Dünger}} + N_{\text{Mineralisierung}} - N_{\text{Aufnahme}} - N_{\text{Abgasung}} - N_{\text{Auswaschung}} - N_{\text{Festlegung}}$$

Die Stickstoffabgasung, -Auswaschung und -Festlegung wird gleich 0 gesetzt. Außerdem wird angenommen, daß der ausgebrachte Dünger vollständig in die mineralische Form umgewandelt wird. Der mineralisierte Stickstoff schließlich wird mit folgender Formel geschätzt:

$$N_{\text{min}} = \text{Bodenlieferung (Mittel der 3 Werte der ungedüngten Kontrollparzelle)} + (N_{\text{min-Ausgangswert der gedüngten}} - N_{\text{min-Ausgangswert der ungedüngten Parzelle}}) - N_{\text{min-Ausgangswert der gedüngten Parzelle}}$$

Die Verwendung des Mittelwerts der 3 unterschiedlich berechneten Nullparzellen ist zulässig, weil diese drei Werte in derselben statistisch homogenen Gruppe liegen und auch die Kontrastmethode keine signifikanten Unterschiede aufzeigte.

Beregnung	N-Aufnahme der Pflanzen	Kontrast-Koeffizient	
5 mm/d	73,7	1	1
2 mm/d	68,2	0	-1
0 mm/d	72,1	-1	0

Wahrscheinlichkeit = 0,22 und 0,69 = nicht signifikant

Standardabweichung = 5,76

Variationskoeffizient = 8,1%

Von daher ergibt sich:

$$N_{\text{min}_{\text{Ernte}}} = N_{\text{Dünger}} + \text{Bodenlieferung (Nullparzelle)} - N_{\text{Aufnahme}} + \text{Differenz des Frühjahrs-NminWerts zwischen gedüngt und Nullparzelle}$$

Dieser Unterschied der Frühjahrs-Nmin-Werte zwischen gedüngt und Nullparzelle kann mit Hilfe der festgestellten Werte ermittelt werden. Im Jahr 1996 liegen nur Nmin-Werte vom 2. Mai vor, d.h. 12 Tage nach der Saat (vor der ersten N-Düngung).

Tabelle: Nmin-Werte (kg N/ha) am 02.05.96 in Abhängigkeit von Düngung und Beregnung

1996	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			79,6	84,2	95,8	
5 mm/d	65,3		101,9	101,8	85,2	96,8
2 mm/d	62,6	89,5	91,3	96,7	82,4	
0 mm/d	72,5	102,2	89,7			

Die einzigen klaren Unterschiede ergeben sich zwischen den gedüngten und den ungedüngten Varianten. Beispielsweise gibt es zwischen den Varianten 120 und 220 kg N/ha keine signifikanten Unterschiede. Damit sind wir in der Lage, die Differenz zum Zeitpunkt der Saat abzuschätzen, in dem wir die Differenz zwischen dem Nmin-Mittelwert der gedüngten und der ungedüngten Varianten nehmen. Es ergibt sich: $92,1 - 66,8 = 25,3$.

Von daher lautet die Formel:

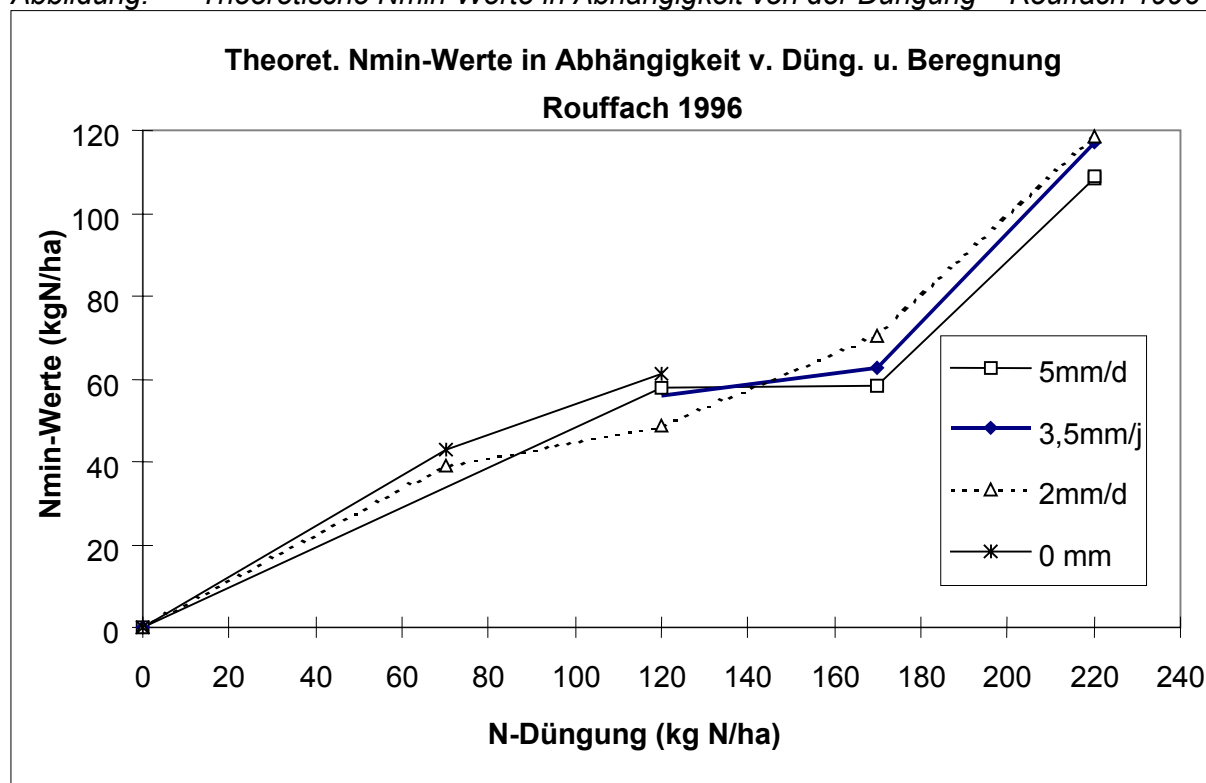
$$N_{\text{min}_{\text{Ernte}} (\text{theoretisch})} = N_{\text{Dünger}} + \text{Bodenlieferung (Nullparzelle)} - N_{\text{Aufnahme}} + 25,3$$

Die statistische Analyse der Werte von $N_{\text{min}_{\text{Ernte}}}$ wurde durchgeführt, indem für jede Kombination (beregnung x Düngung) die 4 Werte der Stickstoffaufnahme zur Berechnung der Nmin-Werte aus den 4 Wiederholungen verwendet wurden. Die in den Tabellen angegebenen Werte wurden berechnet, indem für die Bodennachlieferung das Mittel der 3 Nullparzellenwerte ge-

nommen wurde.. Die homogenen Gruppen der statistischen Auswertung beruhen auf leicht abweichenden Werten, , da für jede Berechnungsvariante der Wert der betreffenden Nullparzelle herangezogen wurde, mit Ausnahme der Variante 3,5 mm/d, für die das Mittel der 3 Werte verwendet wurde Diese Abbildung beruhen ausschließlich auf den Werten der Stickstoffaufnahme.

Ab der Stufe der berechneten Düngung von 170 N (= ordnungsgemäß) mit etwa 60 kg N/ha steigen die Nmin-Werte in den drei berechneten Varianten rapide an.

Abbildung: Theoretische Nmin-Werte in Abhängigkeit von der Düngung – Rouffach 1996



$$N_{\text{min}_{\text{ente (theoretisch)}}} = N_{\text{Dünger}} + \text{Bodenlieferung (Nullparzelle)} - N_{\text{Aufnahme}} + 25,3$$

1996	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			56,0	62,8	117,2	
5 mm/d			57,6	58,5	108,5	108,7
2 mm/d		39,0	48,6	70,5	118,4	
0 mm/d		42,7	61,0			

N-Lieferung des Bodens: 71,33 kg N/ha

Bemerkung zur Stickstofflieferung des Bodens:

Wie wir auf der letzten Seite gesehen haben, wurden die Stickstofflieferungen des Bodens durch den Mittelwert der Stickstoffaufnahme der drei Nullparzellen geschätzt.. Es erscheint zulässig, den Mittelwert zu verwenden, da die statistische Analyse die Einzelwerte nicht unterscheidet: 73,7 kg N/ha bei 5 mm/d und 72,1 kg N/ha bei 0 mm/d.

Die Stickstofflieferung des Bodens ist also unabhängig von der Beregnung. Dies gilt auch für die anderen Jahre, wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich wird:

	0 mm/d	2 mm/d	5 mm/d	Mittel
1996	72,1	68,2	73,7	71,3
1997	85,8	81,8	99,1	88,9
1998	92,2	81,7	92,2	88,1
Mittel	83,4	77,2	88,3	83,0

Die statistische Beurteilung mit der Kontrastmethode zeigt folgende Ergebnisse:

1996

Beregnung	N-Aufnahme der Pflanzen	Kontrast-Koeffizient	
5 mm/d	73,7	1	1
2 mm/d	68,2	0	-1
0 mm/d	72,1	-1	0

Wahrschl. = 0,22 und 0,69 = nicht signif. Standardabw. = 5,76 Variationskoeff. = 8,1%

1997

Beregnung	N-Aufnahme der Pflanzen	Kontrast-Koeffizient	
5 mm/d	99,1	1	1
2 mm/d	81,8	-1	0
0 mm/d	85,8	0	-1

5 mm \neq 2 mm Wahrschl. = 0,04 = signif.

5 mm \neq 0 mm Wahrschl. = 0,09 = signif. Standardabw. = 9,49 Var.koeff. = 10,7%

1998

Beregnung	N-Aufnahme der Pflanzen	Kontrast-Koeffizient	
5 mm/d	73,7	1	1
2 mm/d	68,2	0	-1
0 mm/d	72,1	-1	0

5 mm \neq 2 mm Wahrschl. = 0,02 = signif.

5 mm \neq 0 mm Wahrschl. = 0,02 = signif. Standardabw. = 5,19 Var.koeff. = 5,8%

Diese Analyse zeigt gleiche Kontraste im Jahr 1996, unterschiedliche anno 1997 und unterschiedliche, aber nicht kohärente im Jahr 1998.

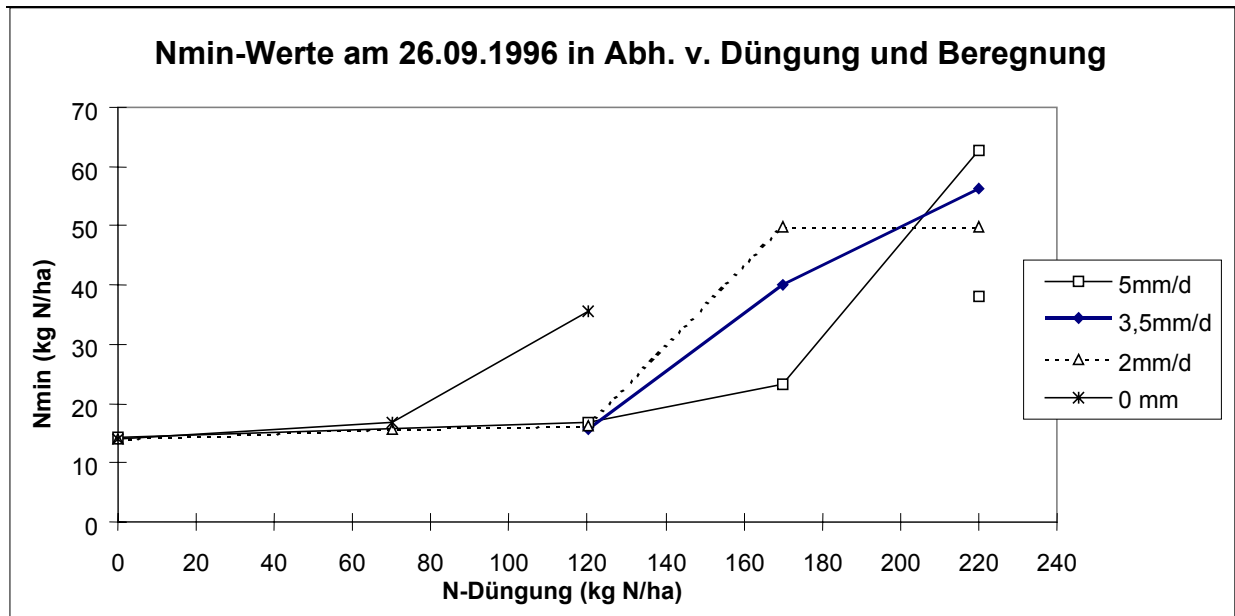
Man stellt fest, daß es keine Klassifizierung der Werte nach Beregnungsvarianten gibt und die Stickstofflieferung des Bodens folglich vom Feuchtezustand des Bodens unabhängig sind. Die Stickstofflieferungen des Bodens sind in den Jahren 1997 und 1998 höher (um 15 – 20 kg N/ha, obwohl die Nullparzellen dann schn 2 bzw. 3 Jahre lang an derselben Stelle liegen), zwei Jahre, in denen die Durchschnittstemperaturen in derselben Größenordnung und höher als 1996 lagen (s. Anhang 21). Die Bodennachlieferung scheint also von der (für die Mineralisierung günstigen) Temperatur, nicht jedoch vom Wassergehalt des Bodens abzuhängen.

3.2.2 Die tatsächlich gemessenen Werte bei der Ernte

Es wurde festgestellt, daß die Düngungsstufe 220 kg N/ha, aufgeteilt in zwei Gaben von 100 und später 120 kg N/ha bei der Beregnungsvariante 5 mm/d niedrigere Nmin-Werte hinterlässt als dieselbe Gabe aufgeteilt in 50 und dann 170 kg N/ha. Man kann meinen, daß der Stickstoffüberschuß im ersten Fall vorher ausgewaschen wurde, so daß Ende September ein Nmin-Wert von lediglich 35 kg N/ha vorgefunden wurde. Bei den Beregnungsvarianten 2 und 3,5 mm/d stellt man einen starken Anstieg ab der Düngungsstufe 120 kg N/ha, bei der Beregnungsvariante 5 mm/d erst ab der Düngungsstufe 170 kg N/ha fest.

Der starke Anstieg der Werte (um 15 bis 35 kg N/ha) im Falle der unberegneten Variante beginnt bereits bei der Düngungsstufe 120 kg N/ha. Tatsächlich verwertet der uberegnete Mais eine N-Düngung von 120 kg N/ha schlecht: Von den 50 zusätzlich ausgebrachten kg N/ha finden sich 20, die nicht von der Pflanze aufgenommen wurden im Boden wieder.

Abbildung: Am 26.09.96 gemessene Nmin-Werte in Abhängigkeit von der N-Düngung

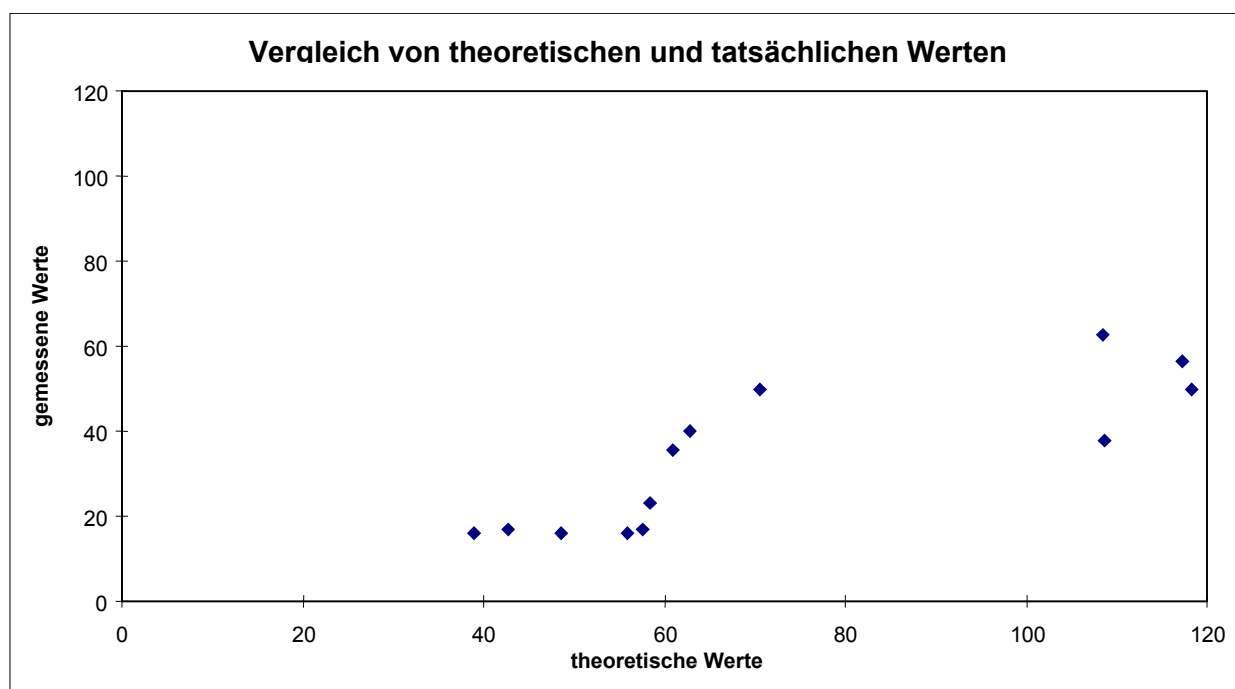


1996	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			15,8	40,1	56,4	
5 mm/d	14,2		16,8	23,3	62,8	38,0
2 mm/d	14,0	15,8	16,2	49,9	49,7	
0 mm/d	14,0	16,9	35,5			

3.2.3 Vergleich von theoretischen und gemessenen Nmin-Werten bei der Ernte

Im Vergleich zur ersten Diagonalen stellt man fest, daß die theoretischen Werte höher liegen als die gemessenen, insbesondere bei hohen theoretischen Werten. Dies läßt sich mit den zahlreichen vereinfachenden Annahmen, die für die Berechnung der theoretischen Werte erforderlich waren erklären. So könnten die nicht berücksichtigten Verluste durch Abgasung, Auswaschung und Festlegung diese Überschätzung (um 40 bis 70 kg N/ha) bei den hohen Stickstoffgaben erklären.

Abbildung: Vergleich von theoretischen und tatsächlichen Nmin-Werten nach der Ernte



4. Die agronomischen Ergebnisse des Jahres 1997

4.1 Kornertrag, Biomasseproduktion und Stickstoffaufnahme

4.1.1 Kornertrag

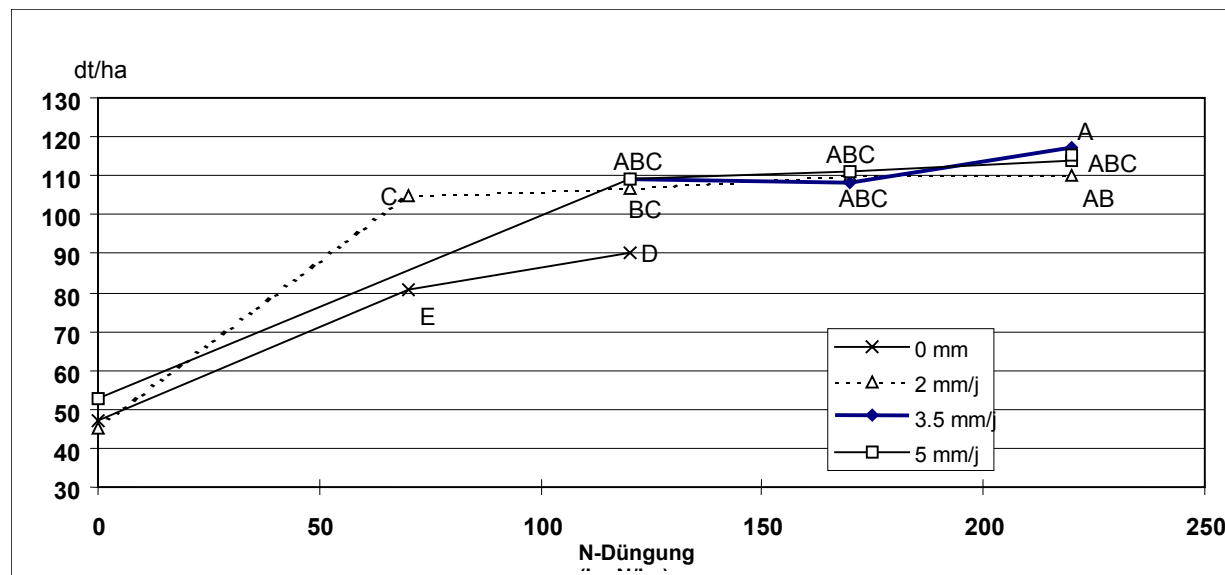
Unter Berücksichtigung der Ernteindices (s. Anhang 20) erscheinen zwei Ertragswerte in der Tabelle abnormal erhöht: Zum einen die Kombination 70 kg N/ha x 2 mm/d und zum anderen die Kombination 120 kg N/ha x 0 mm/d. Der Ertrag der Kombination 220 N x 3,5mm lag mit 117,1 dt/ha an der Spitze. Wie schon 1996 bestätigen die anderen agronomischen Messungen (Biomasse, N-Aufnahme und TKG (s. Anhang 22) diese Überlegenheit nicht.

Unter Berücksichtigung dieser Fehler wird der Optimalertrag für die Berechnungsvarianten 2, 3,5 und 5 mm/d mit einer Stickstoffdüngung von 120 kg N/ha erreicht. Er liegt auch im Bereich des Ertragsziels (109 und 107 dt/ha). In der unberechneten Variante wird das Optimum von 81 dt/ha bereits mit 70 kg N/ha erreicht.

Wie bereits 1996 gibt es zwischen den drei Berechnungsvarianten keine klaren Unterschiede: Bei der Düngungsstufe 170 kg N/ha (berechnet für OGL) gibt es zwischen 3 Varianten keine signifikanten Unterschiede. Der begrenzende Faktor ist hier immer noch der Stickstoff, da es keine abweichenden Ertragskurven gibt, außer zwischen 0 und 2 mm/d. Diese Feststellungen stimmen überein mit der Analyse des Kurvenverlaufs der Feldkapazität, wonach die optimale Beregnung bei 2 mm/d liegt.

Vergleicht man 1996 und 1997, so findet man 1997 systematisch höhere Erträge als 1996 (um 10 – 25 dt/ha), obwohl 1996 ein geringfügig feuchteres Jahr als 1997 war. Eine Erklärung liegt wohl in den für die Maisentwicklung günstigeren Temperaturen des Jahres 1997, insbesondere während der Kornfüllungsphase (s. Anhang 1).

Abbildung: Körnermaiserträge (dt/ha) 1997 in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung

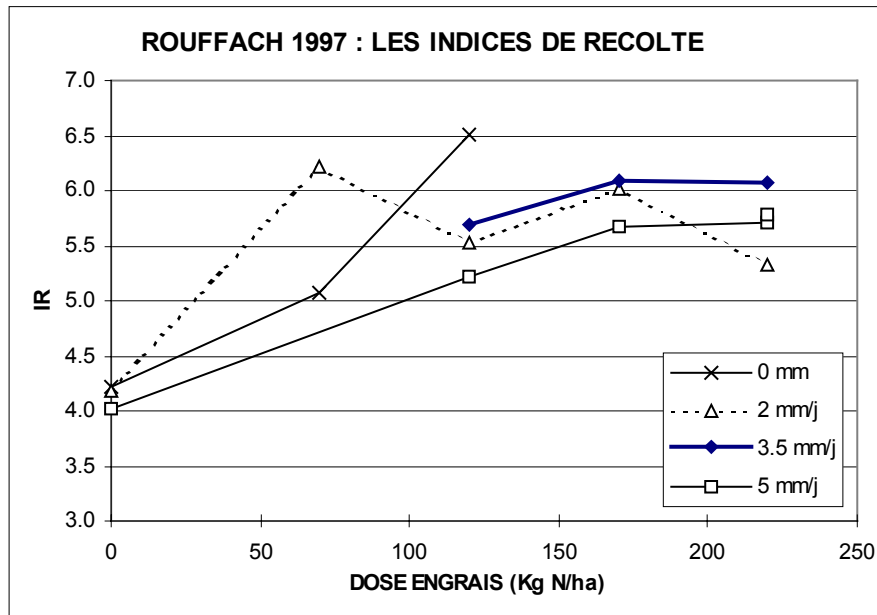


1997	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			109,3 ABC	108,3 ABC	117,1 A	
5 mm/d	52,6 F		109,1 ABC	111,2 ABC	113,7 ABC	115,2 AB
2 mm/d	45,1 G	105,1 C	106,8 BC	110,0 ABC	110,1 ABC	
0 mm/d	49,9 G	80,7 E	90,4 D			

Stad.abw. = 3,95

Var.koeff. 4,1%

Abbildung: Ernteindices – Rouffach 1997

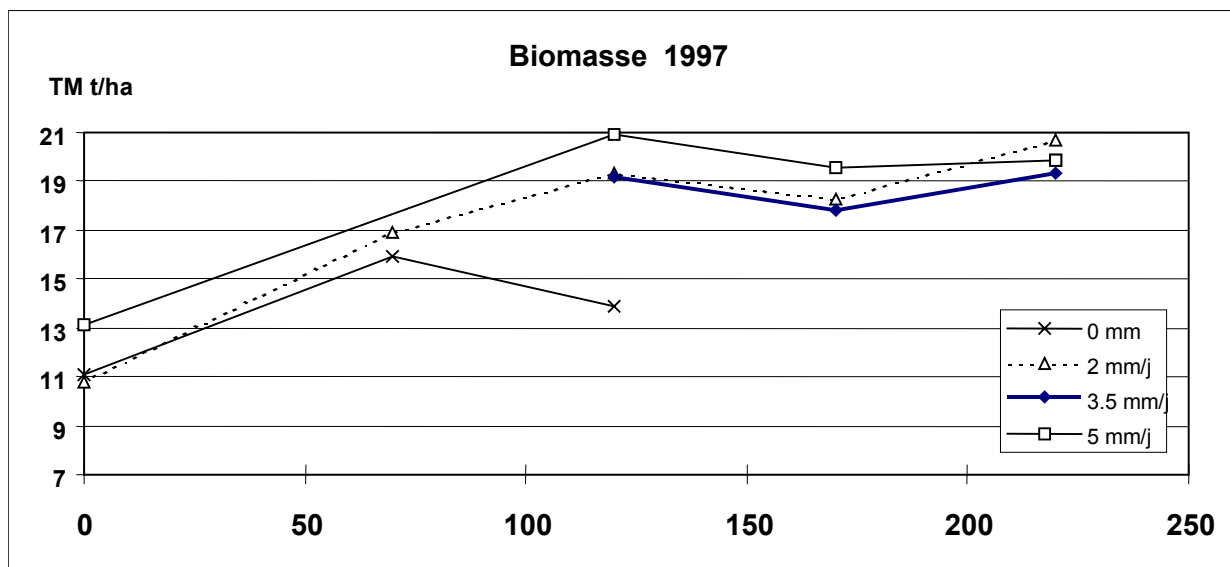


Die Werte der Kombinationen 70 kg N/ha x 2 mm/d und 120 kg N/ha x 0 mm/d sind im Jahr 1997 mit großer Vorsicht zu betrachten.

4.1.2 Biomasse

Die Biomasseergebnisse des Jahres 1997 scheinen mit den Ertragsergebnissen gut korreliert zu sein. Der höchste Biomasseertrag wird jedoch in der Kombination 120 kg N/ha x 2 mm/d erzielt, bei der nur ein B-klassiger Ertrag gemessen wurde. Die statistische Analyse der Ertragsergebnisse erscheint jedoch nicht sehr präzise zu sein (Standardabweichung = 4 dt/ha).

Abbildung: Biomasse (t/ha) 1997 in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung.



1997	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			19,2 ABC	17,8 ABC	19,3 ABC	
5 mm/d	13,1 EF		20,9 A	19,6 AB	19,9 AB	19,9 AB
2 mm/d	10,8 F	16,9 BC	19,3 ABC	18,3 ABC	20,7 A	
0 mm/d	11,1 F	15,9 CD	13,9 DE			

Stand.abw. = 1,57 t

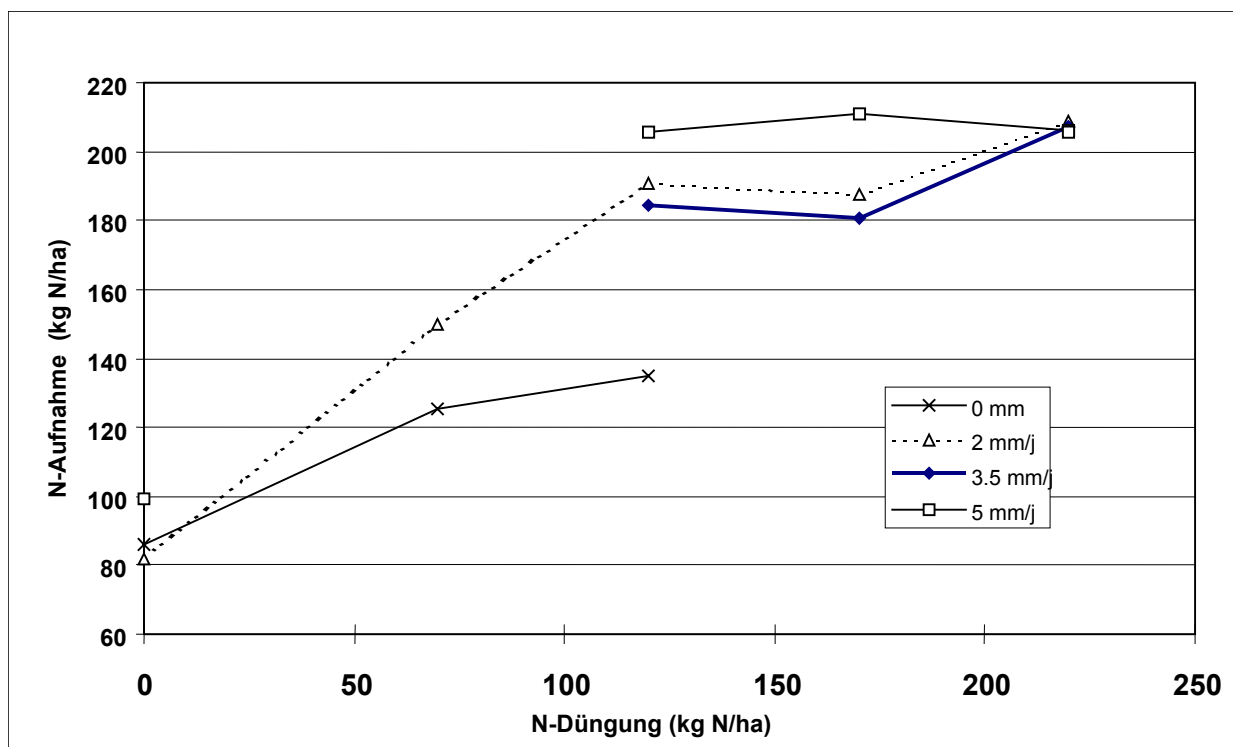
Var.koeff. = 9,1%

4.1.3 Stickstoffaufnahme

Auch ergibt die statistische Auswertung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Im Gegensatz zu 1996 liegt die optimale Düngung jedoch bei 120 kg N/ha (OGL – 50 kg). Das führt zu der Aussage, daß die Pflanzen im Jahr 1997 den Stickstoff bei niedrigeren Düngergaben besser verwertet haben.

Es läßt sich kein Luxuskonsum feststellen: In der Berechnungsvariante 5 mm/d nimmt die Pflanze bei 120 kg N/ha genausoviel Stickstoff auf wie bei einer Düngung von 220 kg N/ha. Die optimale Düngungsstufe liegt 1997 bei 120 kg N/ha, während sie 1996 bei 170 kg N/ha lag. Man kann die Hypothese aufstellen, daß die günstigeren Witterungsbedingungen von 1997 (höhere N-Mineralisierung infolge günstigerer Temperaturen) die Ertragsziele bereits mit einer Stickstoffdüngung von 120 kg N/ha erreichen liessen.

Abbildung: Stickstoffaufnahm 1997 in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung



1997	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			184,5 A	180,8 A	207,5 A	
5 mm/d	99,1 C		205,9 A	211,1 A	206,1 A	205,9 A
2 mm/d	81,8 C	149,8 B	190,9 A	187,7 A	208,7 A	
0 mm/d	85,8 C	125,5 B	134,9 B			

Stand.abw. = 15,47

Var.koeff. = 9,3%

4.2 Die Nitratgehalte im Boden

4.2.1 Die theoretischen Nitratgehalte

Um zu wissen, ob die Nachwirkung der Düngung von 1996 im Jahr 1997 berücksichtigt werden muß, wurden am 17. Februar 1997 Proben gezogen. Zwischen überdüngten und unterdüngten Flächen wurden zwar Unterschiede festgestellt. Mit 20 kg N/ha sind sie jedoch gering. Im übrigen sind es vom 17.02. bis zur Saat am 17.04. noch zwei Monate und man kann annehmen, daß sich die Unterschiede durch Auswaschung noch weiter verwischt haben. Aus diesem Grund wurde bei der Berechnung der theoretischen N_{min}-Werte angenommen, daß die Nachwirkungen der Düngung keinen nennenswerten Einfluß auf die Werte mehr ausüben und somit vernachlässigbar sind.

1997 gilt deshalb: $N_{\text{min}_{\text{ente}} (\text{theoretisch})} = N_{\text{Dünger}} + \text{Bodennachlieferung (Nullparzelle)} - N_{\text{Aufnahme}}$

Dagegen erscheinen die Unterschiede bei der Stickstofflieferung des Bodens zwischen den verschiedenen Berechnungsvarianten nach der Kontrastmethode (s. vorstehend) als signifikant, weshalb jeweils die spezifischen Werte jeder Variante eingesetzt werden.

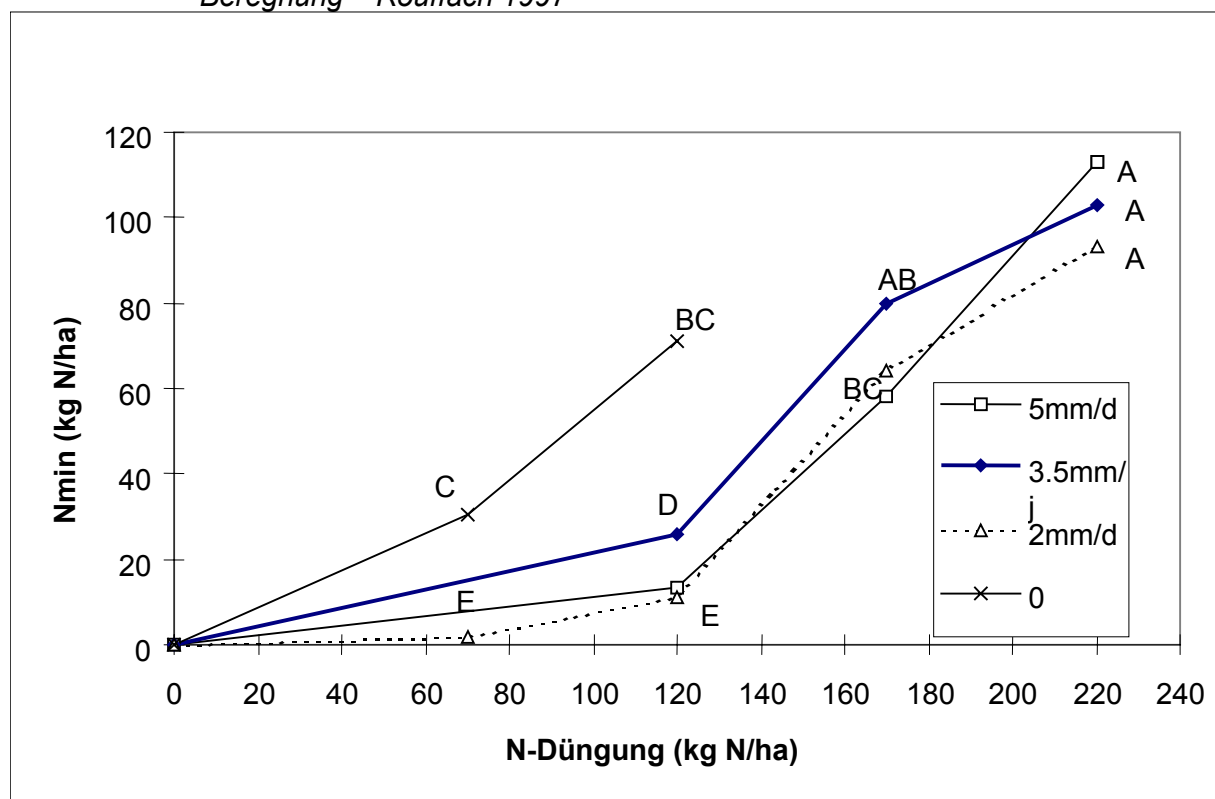
Berechnungsvariante (mm/d)	Stickstofflieferung des Bodens 1997 (kg N/ha)
0	85,8
2	81,8
3,5	90,5
5	99,1

Die Bodennachlieferung für die Berechnungsvariante 3,5 mm/d wurde berechnet unter Verwendung des Mittels der Bodennachlieferung der Varianten 2 und 5 mm/d.

Die plötzliche Zunahme der N_{min}-Werte, die 1996 von der Düngungsstufe 170 kg N/ha an beobachtet wurde setzte 1997 bereits ab der Stufe 120 kg N/ha ein. Nachdem sich die Berechnung der theoretischen N_{min}-Werte auf die Stickstoffaufnahme der Pflanzen stützt ist es normal, daß es zu einem Anstieg ab der Stufe 120 kg N/ha kommt, da die Pflanze ab dieser Düngung keinen zusätzlichen Stickstoff mehr aufnimmt (s. Abb. N-Aufnahme).

Außerdem gibt es bei der unberechneten Variante deutlich höhere N_{min}-Werte als bei den berechneten Varianten. Dies war 1996 nicht der Fall.

Abbildung: Theoretische N_{min}-Werte nach der Ernte in Abhängigkeit von Düngung und Beregnung – Rouffach 1997



1997	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			26,0	79,7	103	
5 mm/d			13,2	58	113	113,2
2 mm/d		2,0	10,9	64,1	93,1	
0 mm/d		30,3	70,9			

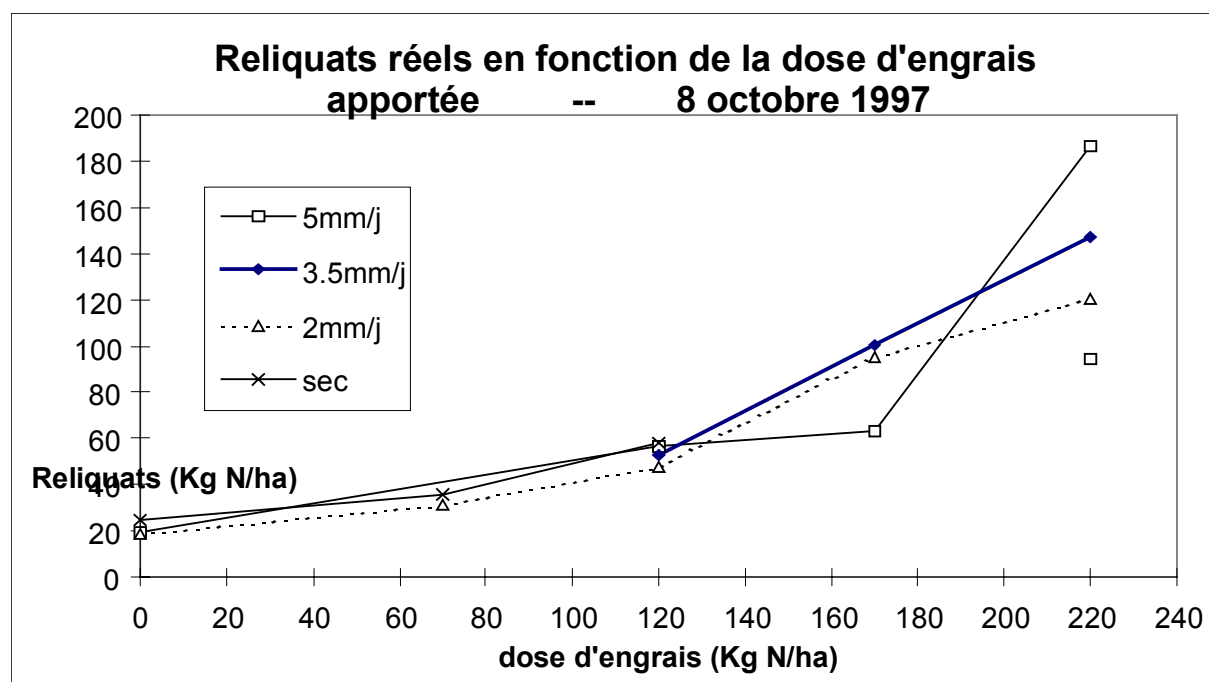
N-Lieferung Boden: 0 mm/d = 85,8 kg N/ha 2 mm/d = 81,8 kg N/ha
 3,5 mm/d = 90,5 kg N/ha 5 mm/d = 99,1 kg N/ha

4.2.2 Die tatsächlich gemessenen Boden-Nmin-Werte bei der Ernte

Die Unterschiede zwischen den tatsächlich gemessenen Nmin-Werten der verschiedenen Berechnungsvarianten sind weniger deutlich wie 1996.

Wie 1996 weist die Variante 5 mm/d bei der Düngungsstufe 170 kg N/ha niedrigere Werte auf wie die anderen.

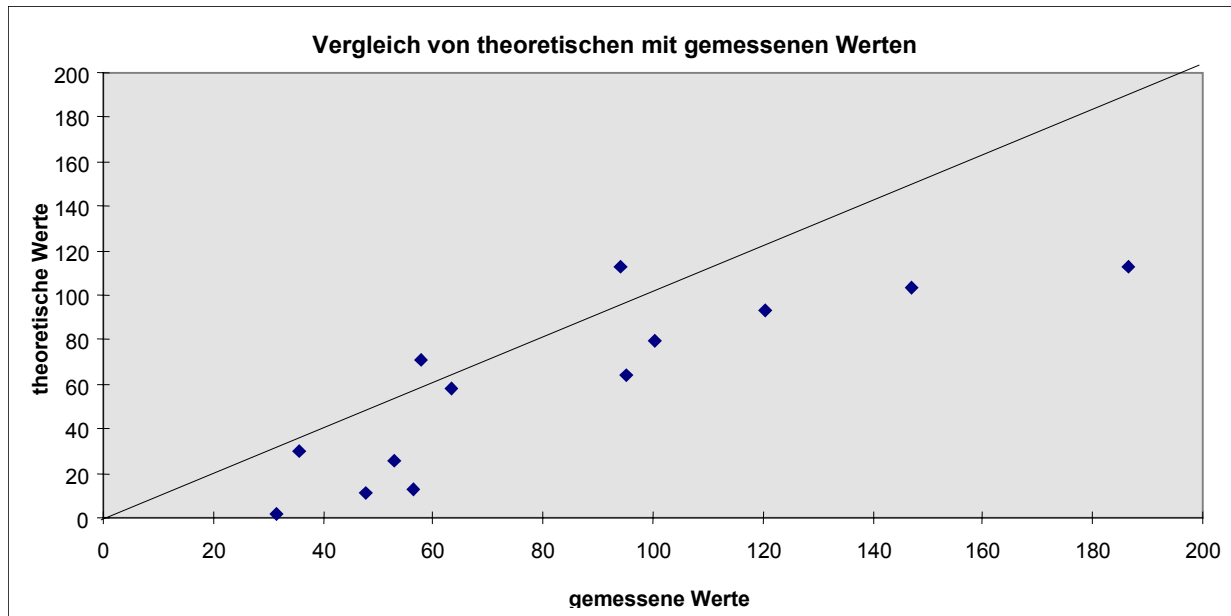
Abbildung: Tatsächliche Nmin-Werte nach Körnermais (kg N/ha) in Abhängigkeit von Stickstoffdüngung und Berechnung am 08. Oktober 1997.



08.10.1997	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			53,0	100,3	147,0	
5 mm/d	19,7		56,4	63,2	186,6	94,1
2 mm/d	18,9	31,4	47,7	95,1	120,4	
0 mm/d	24,7	35,7	57,9			

4.2.3 Vergleich von theoretischen und tatsächlich gemessenen Nmin-Werten bei der Ernte

Der Herbst war gekennzeichnet durch sehr hohe Temperaturen, was die Mineralisation des organischen Stickstoffs begünstigt hat. Dies könnte die am 08. Oktober gemessenen erhöhten Nitratwerte sowie die festgestellte Unterschätzung erklären.



5. Die agronomischen Ergebnisse des Jahres 1998

5.1 Kornertrag, Biomasseproduktion und Stickstoffaufnahme

5.1.1 Kornertrag

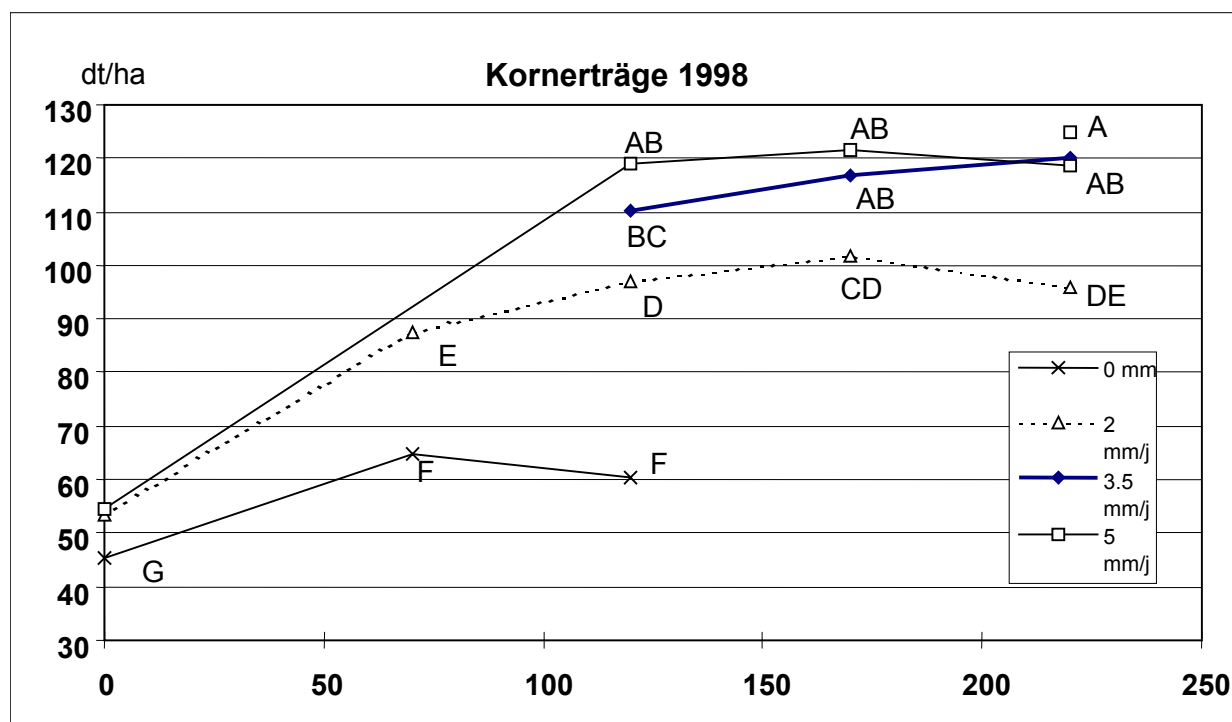
Die Unterscheidung von homogenen Gruppen nach dem Newman-Keuls-Test für die beiden Ertragsergebnisse der Kombinationen 120 N x 3,5 mm/d und 170 kg N/ha x 3,5 mm/d wird von der Kontrastmethode ($P = 0,2$) nicht bestätigt. Dies bewegt uns zu der Aussage, daß das Ertragsoptimum bei den berechneten Flächen mit einer Düngung von 120 kg N/ha erreicht wurde (110 dt/ha mit 3,5 mm/d Beregnung).

Für ein und dieselbe Stickstoffgabe kann man weitaus markantere Unterschiede zwischen den einzelnen Beregnungsvarianten entdecken, trotz einer Standardabweichung von 6,5 dt. Der begrenzende Faktor scheint in diesem Jahr die Wasserversorgung zu sein: So findet man zwischen den 3 N-Düngungsstufen 120, 170 und 220 kg N/ha bei der Beregnungsstufe 5 mm/d keine signifikanten Unterschiede. Signifikante Unterschiede ergeben sich jedoch für jede Stickstoffdüngungsstufe zwischen den Beregnungsstufen 2 und 3,5 mm/d.

Der mit der Kombination 0 mm/d und 70 kg erzielte Ertrag von 64,7 dt erscheint abnormal hoch, was durch die Ernteindices (s. Anhang 20) bestätigt wird.

Im Jahr 1998 unterscheiden sich die Ergebnisse der Beregnungsstufe 2 mm/d signifikant von den Stufen 3,5 und 5 mm/d, was die Auswertung der Tensiometerdaten bestätigt. Die beiden letztgenannten bringen vergleichbare Ergebnisse, außer bei 120 kg N/ha, wo eine intensivere Beregnung erforderlich wäre.

Abbildung: Körnermaiserträge (dt/ha) in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung 1998

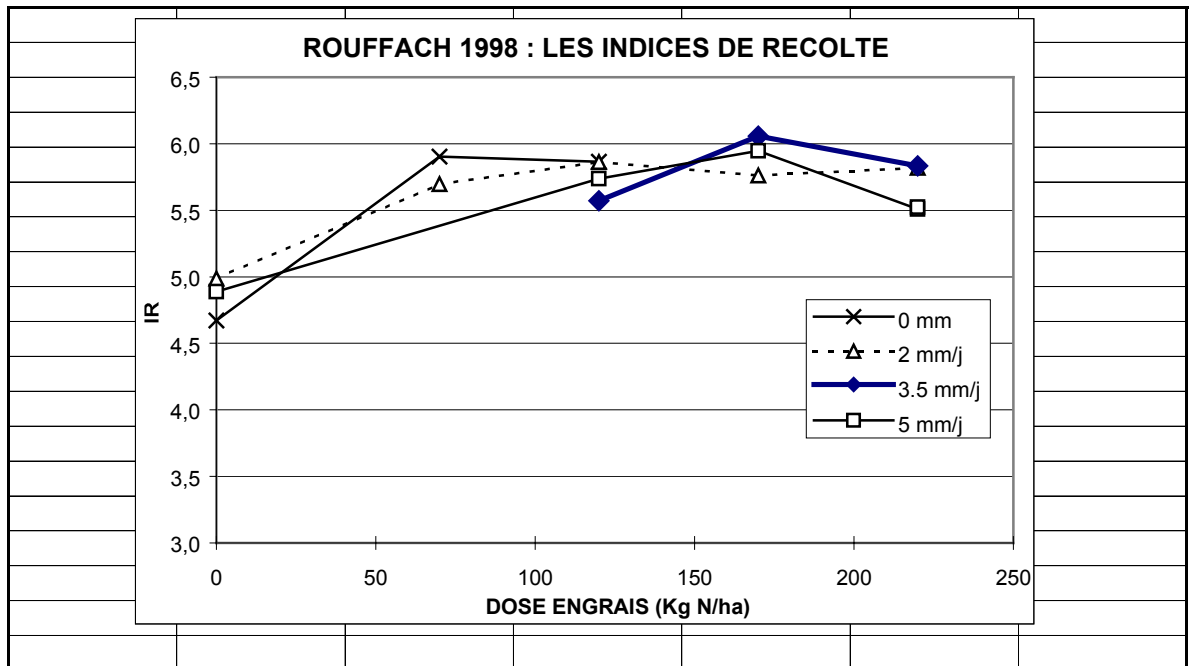


1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			110,2 BC	116,8 AB	120,0 AB	
5 mm/d	54,4 FG		118,9 AB	121,6 AB	118,7 AB	124,8 A
2 mm/d	53,4 FG	87,5 E	97,2 DE	101,8 CD	95,8 DE	
0 mm/d	45,5 G	64,7 F	60,4 F			

Stand.Abw. = 6,46 dt

Var.koeff. = 6,9%

Abbildung: Ernteindizes von Körnermais in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung – Rouffach 1998

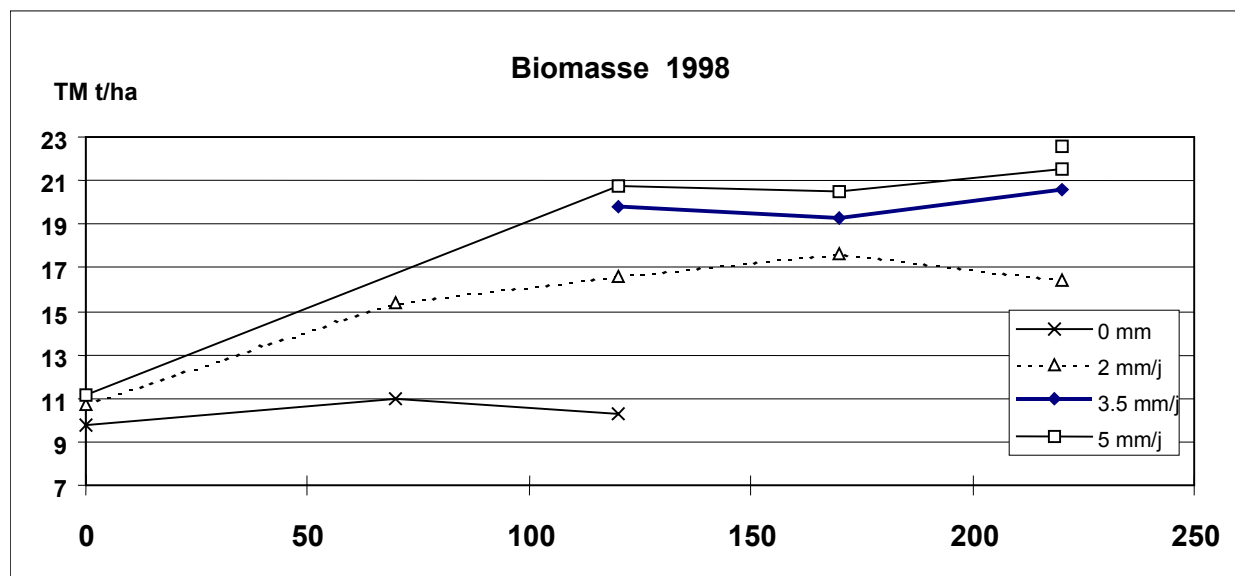


5.1.2 Biomasseertrag

Auch hier scheinen die Ergebnisse gut mit den Ergebnissen des Kornertrags korreliert zu sein. Im Gegensatz zu den beiden anderen Jahren unterscheidet die statistische Auswertung stärker zwischen den verschiedenen Varianten.

Wir können deshalb folgende Hypothese zur Erklärung der signifikanten Differenz zwischen den Ganzpflanzenerträgen bei 170 und 220 kg N-Düngung/ha der Beregnungsvariante 2 mm/d aufstellen: Die zu hohe Düngung mit 220 kg N/ha fördert die vegetative Entwicklung und folglich der Verdunstungsfläche, was einen stärkeren Wasserstress nach sich zieht. Wie die Kurven der Feldkapazität und der Tensiometerspannungen erkennen lassen, war hat die Beregnung mit 2 mm/d im Jahr 1998 die Entwicklung des Maisbestands begrenzt.

Abbildung: Ganzpflanzenertrag (t TM/ha) in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung – Rouffach 1998



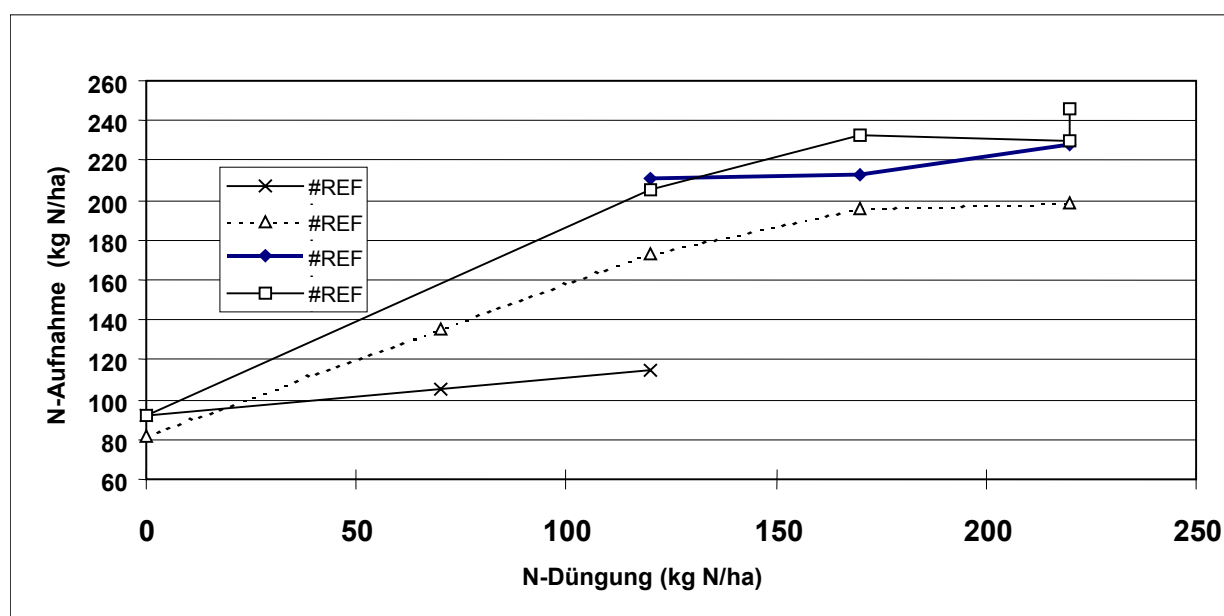
1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			19,78 ABC	19,35 ABC	20,57 AB	
5 mm/d	11,13 E		20,72 AB	20,45 AB	21,55 AB	22,59 A
2 mm/d	10,71 E	15,36 D	16,58 CD	17,67 BCD	16,46 CD	
0 mm/d	9,74 E	10,96 E	10,3 E			

Std.abw. 1,79 t Var.koeff. 10,8%

5.1.3 Stickstoffaufnahme

Zwischen den Berechnungsvarianten 3,5 und 5 m/d gibt es keine signifikanten Unterschiede. Ab 170 kg N/ha N-Düngung steigt die Stickstoffaufnahme der Pflanze mit steigender N-Düngung nicht mehr an. Die für OGL berechnete Düngung von 170 kg N/ha erscheint damit dem Bedarf der berechneten Bestände zu entsprechen.

Abbildung: Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von N-Düngung und Berechnung – Rouffach 1998



1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			210,5 B	212,4 AB	228,3 AB	
5 mm/d	92,2 E		205,3 B	232,5 AB	229,9 AB	245,5 A
2 mm/d	81,7 E	135,6 D	173,3 C	196,1 BC	199,0 BC	
0 mm/d	92,2 E	105,2 E	114,9 DE			

Std.abw. 16,55 kg N Var.koeff. 9,6%

5.2 Die Bodennitratgehalte

5.2.1 Die theoretischen Werte

Für die Bewertung der Nachwirkung liegen Nmin-Untersuchungen vom 20. Februar 1998, d.h. 2 ½ Monate vor der Aussaat am 05. Mai 1998 vor. Es sind erhebliche Unterschiede (50 – 60 kg N/ha) zwischen den Varianten festzustellen.

Es ist schwierig zu sagen, ob die Nitratauswaschung in den zweieinhalb Monaten bis zur Aussaat ausgereicht hat, um die Nmin-Werte auf dieselbe Größenordnung zu nivellieren.

Die Berechnung der theoretischen Werte für das Jahr 1998 erfolgte jedoch wie in den beiden anderen Jahren, d.h. unter Vernachlässigung einer Nachwirkung der früheren N-Düngung. Die Berechnung könnte dadurch jedoch beeinträchtigt werden.

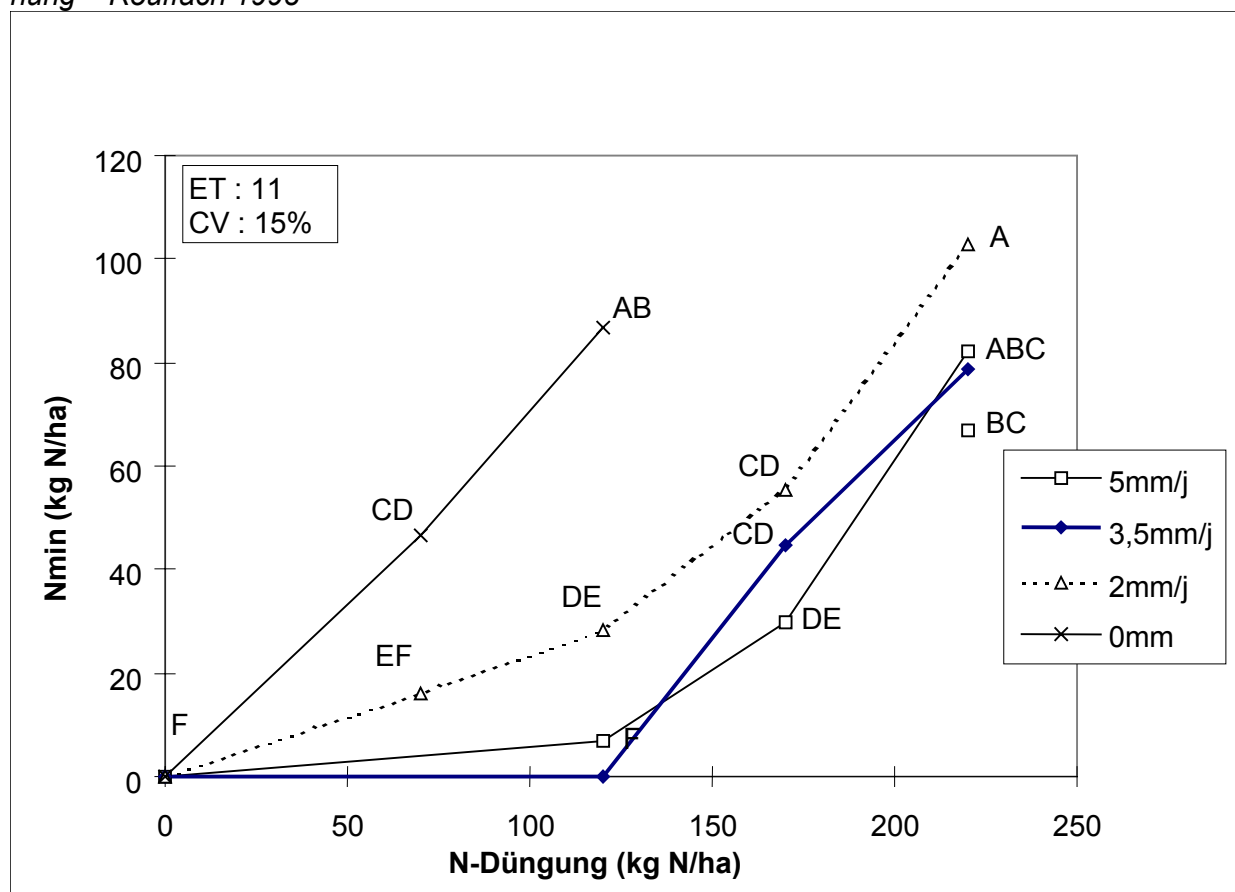
Wie im Jahr 1997 sind die Werte der Stickstofflieferung des Bodens nach der Kontrastmethode signifikant verschieden. Deshalb werden die spezifischen Werte der einzelnen Varianten verwendet.

Berechnungsvariante (mm/d)	Stickstofflieferung des Bodens 1997 (kg N/ha)
0	81,7
2	81,7
3,5	87,0
5	92,2

Der gemessene Wert der unberechneten Nullparzelle beträgt 92,2 kg N/ha, was falsch erscheint. Deshalb wurde derselbe Wert wie bei Berechnungsvariante 2 mm/d genommen. Die Bodennachlieferung für die Variante 3,5 mm/d wurde berechnet durch Bildung des Mittelwerts der Varianten 2 und 5 mm/d.

Die Unterschiede zwischen den drei Berechnungsvarianten sind 1998 weitaus deutlicher als 1996 und 1997. Dies ist zurückzuführen auf die weitaus signifikanteren Unterschiede bei der Stickstoffaufnahme zwischen den Berechnungsvarianten 0, 2 und 3,5 mm/d.

Abbildung: Theoretische N_{min}-Werte (kg N/ha) in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung – Rouffach 1998



1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			0	44,6	78,7	
5 mm/d	0		6,9	29,7	82,3	66,7
2 mm/d	0	16,1	28,4	55,6	102,7	
0 mm/d	0	46,5	86,8			

N-Lieferung Boden: 0 mm/d = 81,7 kg N/ha 2 mm/d = 81,7 kg N/ha
 3,5 mm/d = 87,0 kg N/ha 5 mm/d = 92,2 kg N/ha

5.2.2 Die gemessenen Nmin-Werte nach der Körnermaiserte

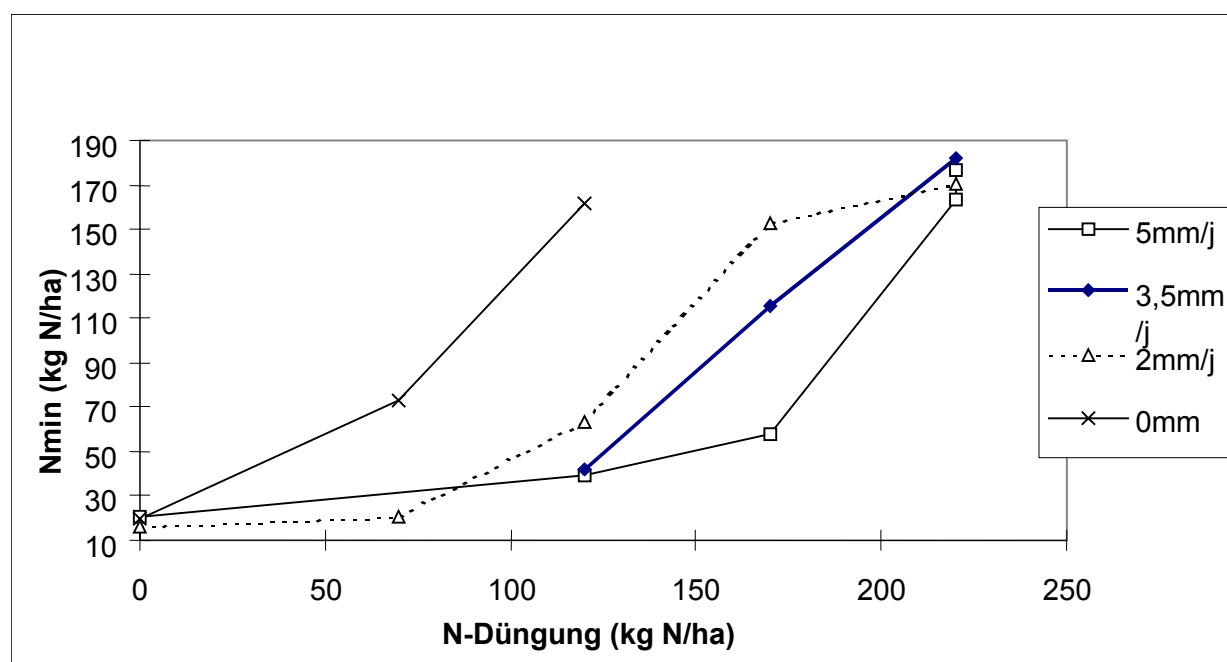
Für die Nmin-Werte vom 02. November 1998 wurden 2 Kurven gezeichnet. Eine über das gesamte Profil 0-90 cm mit einigen geschätzten Werten für die oberste Schicht 0-30 cm, da die Laborwerte falsch waren und eine zweite für den Bereich 30-90 cm mit komplett unveränderten Werten. Beide Kurven haben einen ähnlichen Verlauf. Die Ergebnisse der verschiedenen Varianten sind logisch nachvollziehbar.

Die Nmin-Werte sind hoch (160 kg N/ha) bei einer N-Düngung von 120 kg N/ha, wenn der Mais nicht beregnet wird. Bei den Beregnungsvarianten 2 und 3,5 mm/d steigen die Nmin-Werte ab der Düngungsstufe 120 kg N/ha an und weisen in der Variante 2 mm/d die höchsten Werte auf (110 bzw. 150 kg N/ha bei 3,5 bzw. 2 mm/d und N-Düngung von 170 kg N/ha). Bei der Variante 5 mm schließlich steigen die Nmin-Werte erst ab der Düngungsstufe 170 kg N/ha (bei 170 kg N/ha ist Nmin = 50 kg N/ha).

Von den beiden Varianten mit dem Optimalertrag (120 kg N/ha x 5 mm/d und 170 kg N/ha x 3,5 mm/d) erscheint die erstere für die Umwelt günstiger (40 kg N/ha gegenüber 120 kg N/ha).

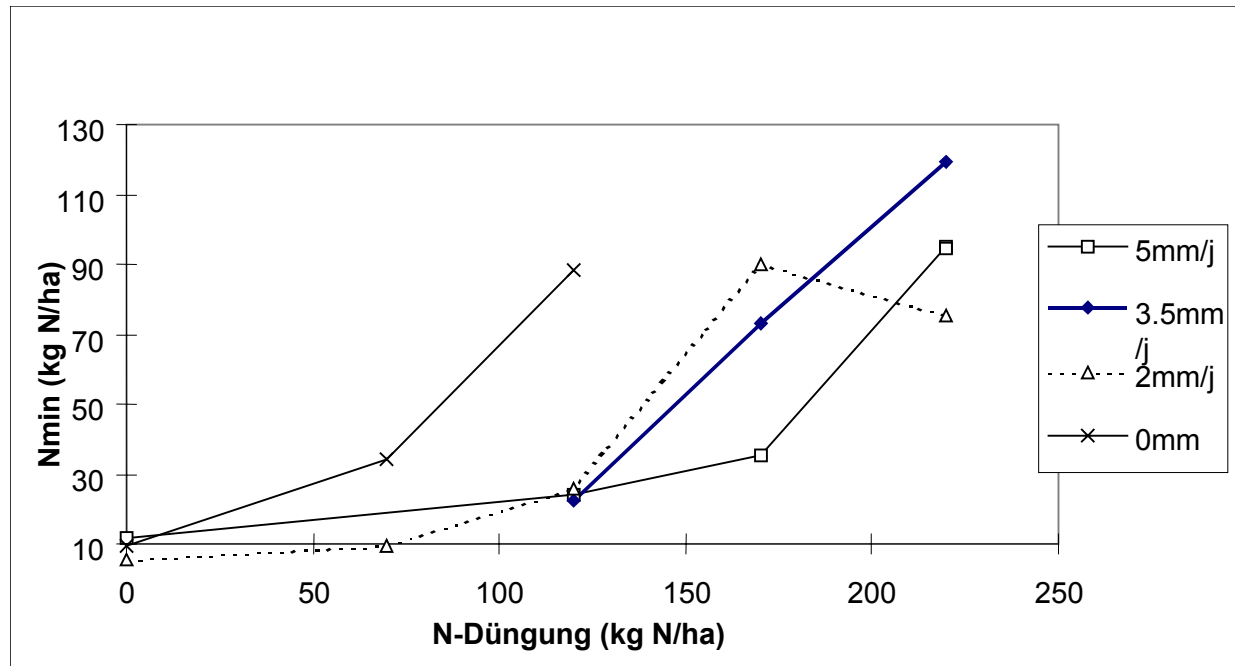
Eine zu starke Beregnung kann jedoch zu einer Wassersättigung des Bodens und infolgedessen zu einer Nitratauswaschung aus dem Wurzelraum führen. Nach den Darstellungen des Verlaufs der Feldkapazität kann man sehen, daß diese in allen drei Jahren (vor allem 1997 und 1998) kurzzeitig aufgefüllt ist. Von daher ist nicht klar, ob die niedrigen Herbst-Nitratwerte der Variante 5 mm/d und der Düngungsstufe 170 kg N/ha auf eine bessere Stickstoffaufnahme durch den Mais oder aber auf eine wiederholte geringe Stickstoffauswaschung in der Vegetationsperiode zurückzuführen ist.

Abbildung: Gemessene Nmin-Werte am 02. November 1998
in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung – Horizont 0-90 cm



1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			41,8	115,5	181,8	
5 mm/d	21		39,7	57,6	163,7	176,9
2 mm/d	16,5	20,3	62,8	153,1	170,2	
0 mm/d	19,5	73,2	161,3			

Abbildung: Gemessene Nmin-Werte am 02. November 1998 in Abhängigkeit von N-Düngung und Beregnung – Horizont 30-90 cm



1998	0 N	70 N	120 N	170 N	220 N	220 N +
3,5 mm/d			22,4	72,9	119,2	
5 mm/d	11,9		23,9	35,5	95,1	94,4
2 mm/d	5,7	9,5	25,9	90,0	75,1	
0 mm/d	9,7	34,5	88,4			

5.2.3 Vergleich von theoretischen und gemessenen Nmin-Werten nach der Körnermaisernte

Die berechneten Nmin-Werte liegen insgesamt zu tief. Die relativ warmen Temperaturen zu Beginn des Herbstes 1998 können Ursache für eine intensive Mineralisation wie 1997 sein, was diese Unterschätzung erklären würde.

Diese Unterschätzung kann auch auf die bei der Berechnung der theoretischen Werte nicht berücksichtigte Düngernachwirkung zurückzuführen sein.

Die Bodennitratgehalte der anderen Zeitabschnitte befinden sich im Anhang 2.

6. Wechselwirkungen Stickstoff – Wasser in den drei Jahren

Dieses Kapitel hat zum Ziel, die Wechselwirkungen zwischen Beregnung und Stickstoffdüngung zu untersuchen, durch den Vergleich von Graphiken für jedes der drei Jahre.

6.1 Die Korrelationsdarstellungen: Einführung

Es lassen sich verschiedene Interaktionen zwischen Stickstoffdüngung und ... darstellen: Ertrag, Biomasse, N-Aufnahme. Dies drei Darstellungen für die einzelnen Jahre führen zu denselben Schlussfolgerungen bezüglich der Interaktion zwischen Beregnung und Düngung. So liegen die 4 mit den 4 Beregnungsvarianten korrespondierenden Kurven im Jahr 1996 sehr nahe beieinander, so daß sich keinerlei Interaktion zeigen läßt (s. S. 113?).

Im Jahr 1997 läßt sich hingegen eine schwache Interaktion zwischen Beregnung und Stickstoffdüngung zeigen: Die Kurven der beregneten und die der unberegneten Variante zeigen nicht denselben Verlauf (s. S. 118).

Im Jahre 1998 schließlich zeigt sich eine deutliche Interaktion: Bei derselben Stickstoffdüngung verwertet die mit 3,5mm beregnete Pflanze den Stickstoff besser als die mit 2 mm beregnete und diese verwertet ihn wiederum besser als die in der unberegneten Variante. Zwischen den beiden Beregnungsvarianten 3,5 und 5 mm gibt es jedoch keinen Unterschied bei der Interaktion (s. S. 122).

Im Allgemeinen lassen sich in feuchten Jahren wie 1996 keine Interaktionen zwischen der Höhe der Beregnung und der Stickstoffdüngung aufzeigen: Bis zu einer Dosis von 120 Kg N/ha ist sie unnötig. In einem Jahr wie 1997 mit Witterungsdaten nahe am Median, verwertet der Mais den Stickstoff besser, wenn er mit 2 mm/d beregnet wird als wenn er nicht beregnet wird. Auf der anderen Seite genügt eine Beregnung von 2 mm/d, damit die Pflanze die N-Düngung, unabhängig von deren Höhe. Schließlich ist in sehr trockenen Jahren eine Beregnung von 3,5 mm/d erforderlich, damit die Pflanze den Düngerstickstoff bestmöglich verwertet. Im Jahr 1998 ist die Interaktion zwischen Beregnung und Stickstoffdüngung am ausgeprägtesten.

Schauen wir uns die diese, je nach Jahr mehr oder weniger ausgeprägte Interaktion erklärenden Parameter etwas näher an:

6.2 Die Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung: Die Düngerausnutzungskoeffizienten (CAU)

Die Bestimmung der 'Offensichtlichen Düngerausnutzungskoeffizienten' CAU erfolgt geometrisch, ausgehend von den Darstellungen der Stickstoffaufnahme in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung. Je nach Datenlage wurden zwei oder drei Punkte ausgewählt, um eine Gerade für jede Beregnungsvariante zu ziehen. Der CAU einer jeden Beregnungsvariante entspricht der Steigung dieser Geraden.

Im Jahr 1996 verlaufen die Geraden der 4 Beregnungsvarianten praktisch parallel mit Steigungen zwischen 0,7 und 0,85. Die CAU liegen in diesem Jahr also zwischen 70 und 85%, je nach Beregnungsvariante. Der Düngerstickstoff wird, egal ob beregnet oder nicht, nahezu gleich gut verwertet.

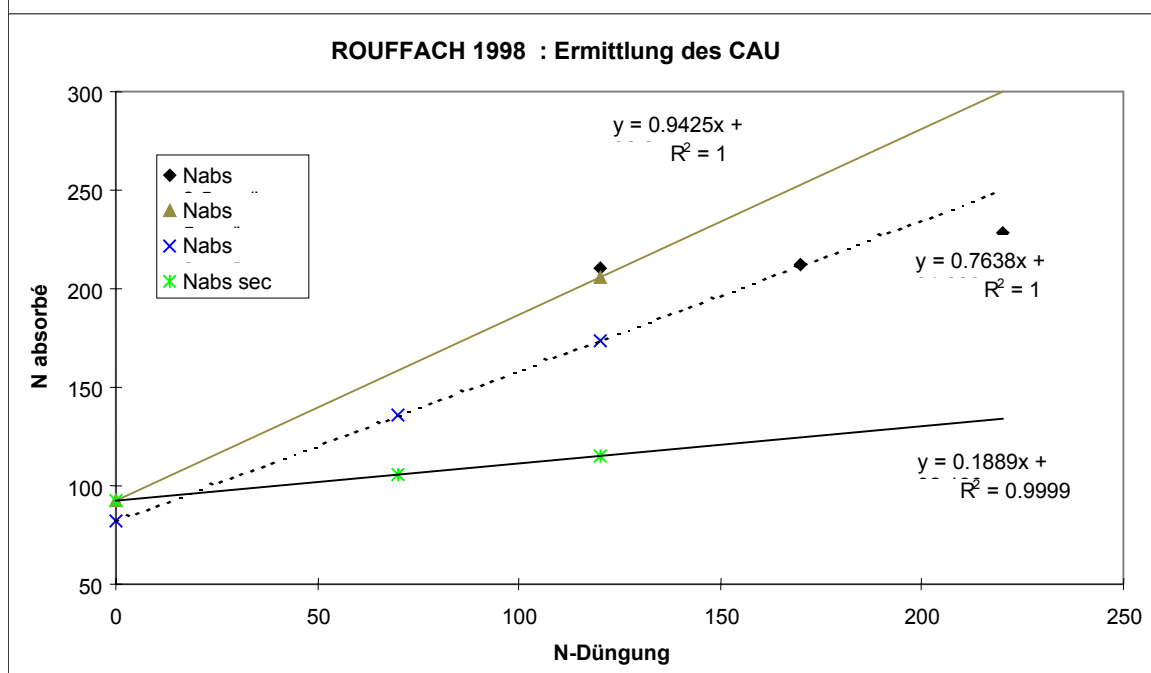
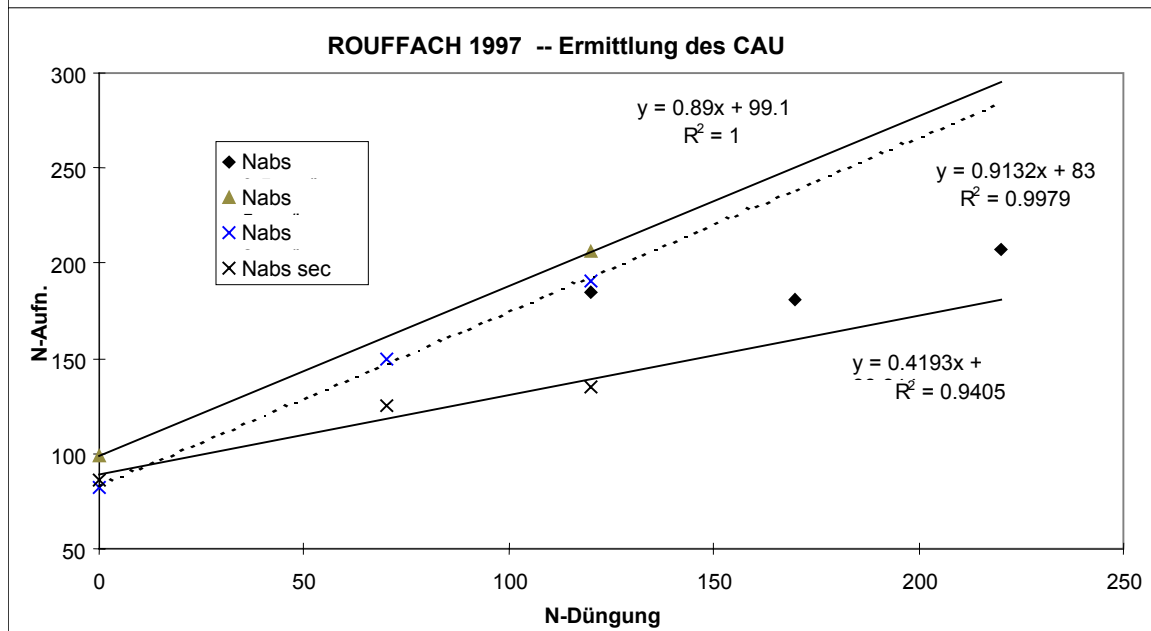
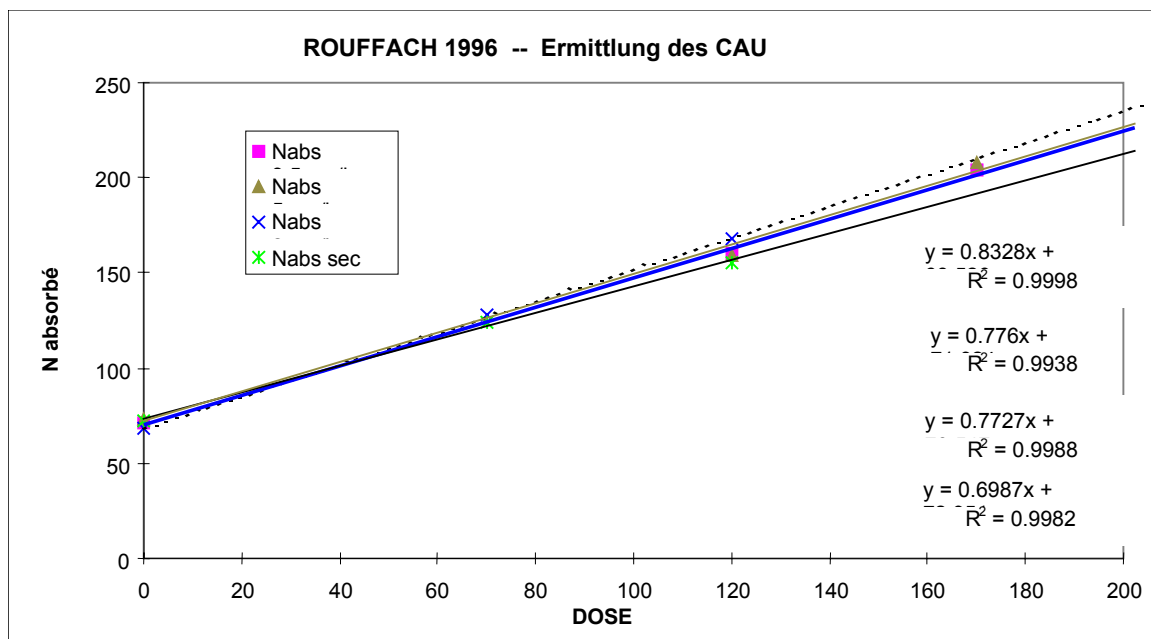
Im Jahr 1997 findet man zwei unterschiedliche CAU: Einen CAU von 90% für die beregneten Varianten und einen CAU von 60% für die unberegnete Variante.

Im Jahr 1998 treten die Unterschiede noch stärker zu Tage: 20% bei unberegnet, 75% bei 2mm/d und 95% bei 5 mm/d. Der Wert für 3,5 mm/d ist nicht direkt verfügbar, wegen fehlender Werte bei niedriger Düngung (70 und 0 kg N/ha). Wenn man jedoch annimmt, daß die Bodennachlieferung in allen Varianten etwa gleich hoch ist, dann verläuft die Gerade, die durch denselben Punkt bei 0 N und den verfügbaren bei 120 N geht in etwa parallel zu derjenigen von 5 mm/d.

Aus diesen Abbildung läßt sich ganz klar die Schlußfolgerung ziehen, daß die Ausnutzung des Düngerstickstoffs mit abnehmender Wasserversorgung abnimmt. Im Jahr 1996 kommt dies nicht zur Geltung, da es häufig regnet. 1997 wird es bei der unberechneten Parzelle deutlich und im Jahr 1998 darüberhinaus auch bei der mit 2 mm/d gering berechneten Parzelle. Dies unterstreicht die obigen Schlußfolgerungen.

Außerdem sind die maximalen CAU 1998 höher als 1997 und diese wiederum höher als 1996 (95, 90 und 80%). So wird der Düngerstickstoff bei guter Berechnung also 1998 besser ausgenutzt als 1997 und 1997 besser als 1996. Diese Unterschiede bei der Stickstoffverwertung durch die Pflanzen zwischen den genannten Jahren lassen sich mit den unterschiedlichen Temperaturen dieser drei Jahre erklären (s. Anhang 21).

Abbildungen: Bestimmung der Düngerausnutzungskoeffizienten Rouffach 1996, 1997, 1998



6.3 Ertrag und Biomasse in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme

Die Auswertung der Abbildungen zu Korn- und Biomassertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme gibt Auskunft über die Wirksamkeit des von der Pflanze aufgenommenen Stickstoffs.

1996

Der Verlauf der Korrelationskurven in der Abbildung (Korn-)Ertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme kann als illusorisch erscheinen, insbesondere bei der Variante 5 mm/d, wo drei der fünf Punkte an derselben Stelle liegen. Die Kurven wurden nur für die Varianten 2 und 5 mm/d gezeichnet, weil bei diesen beiden Kurven am meisten Werte (5) vorlagen. Bei Variante 2 mm/d zeigt sich ab 180 kg N/ha eine Abflachung der Kurve. Dieser Wert scheint bei 5 mm/d höher zu liegen. Die Interpretation für die Variante 3,5 mm/d erscheint wegen einem anomal erhöhten Wert schwieriger zu sein.

Die Punkte der drei 3 Beregnungsvarianten liegen insgesamt ziemlich nahe beieinander und zeigen damit, dass die Erträge 1996 von der Wahl der Beregnungsvariante nur wenig beeinflusst werden.

Die Abbildung, die die Biomasseproduktion in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme zeigt, bestätigt diese Interpretation: Im Jahr 1996 hat sich die Beregnung nicht auf die Stickstoffeffizienz ausgewirkt.

1997

Betrachtet man die Ertragskurve in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme, so stellt man fest, daß bei einer Beregnung von 2mm/d ab einer Stickstoffaufnahme von 170 kg N/ha der Ertrag nicht mehr ansteigt. Wie schon 1996 ergibt sich bei 3,5 mm/d ein höherer Punkt, der schwer erklärlich ist. Die Punkte liegen, wie schon 1996, relativ nahe beieinander und zeigen damit, daß sich das Beregnungsregime weniger auf den Ertrag auswirkt, als die Stickstoffdüngung. Dies wird bestätigt durch die Abbildung der Biomasse. Wie 1996 wirkt sich die Beregnung nicht auf die Stickstoffeffizienz aus.

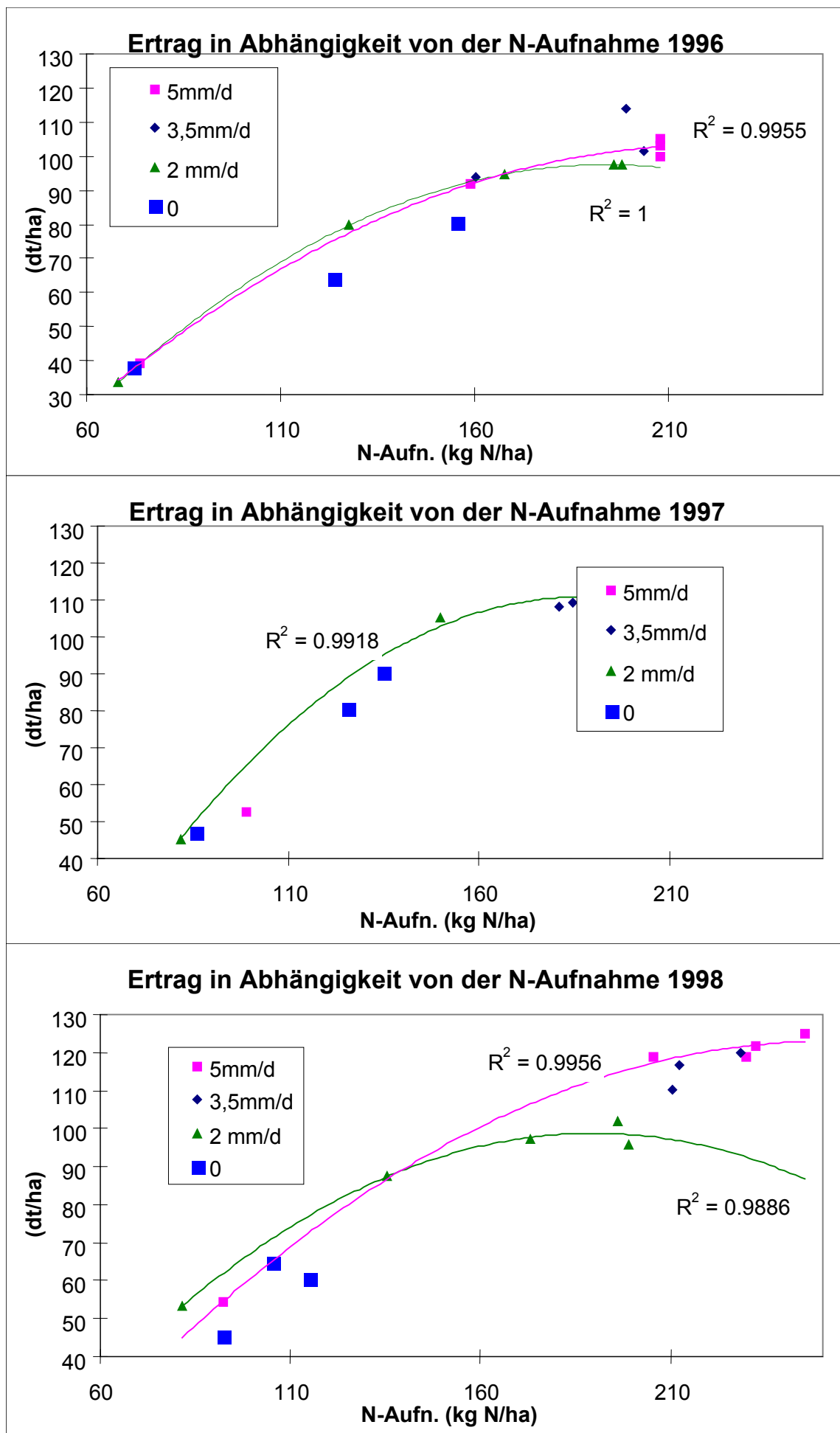
1998

Der Biomasseertrag in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme ist für die beiden Beregnungsregimes (3,5 und 5 mm/d) sehr ähnlich. Diese Beregnungen gestatten der Pflanze eine gute Stickstoffausnutzung. Zwischen den Regimes 3,5 und 5 mm/d einerseits und 2 mm/d andererseits zeigt sich ein deutlicher Unterschied, der in den anderen Jahren nicht auftrat.

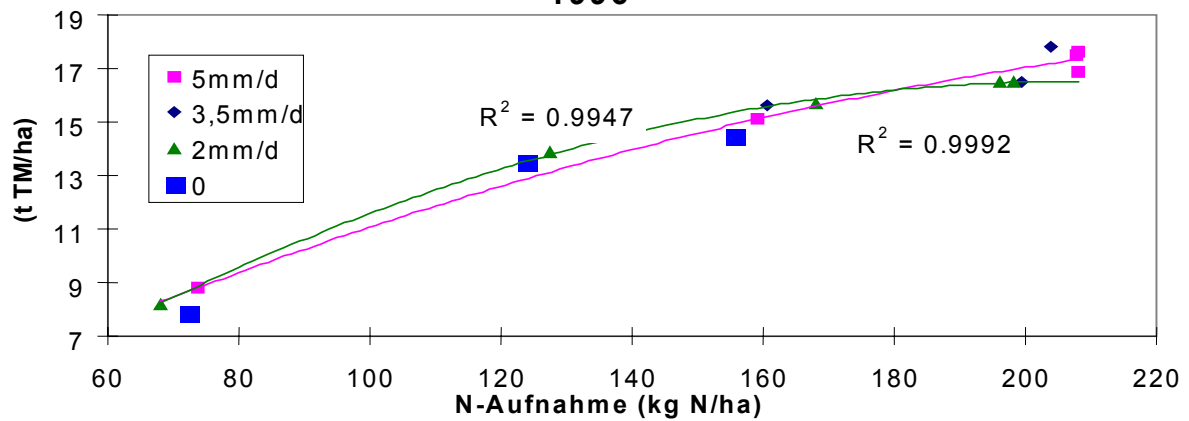
Bei einer Stickstoffaufnahme von mehr als etwa 150 kg N/ha unterscheiden sich die Erträge der beiden Beregnungsvarianten 2 und 5 mm/d bei gleicher N-Aufnahme deutlich. Die Effizienz des aufgenommenen Stickstoffs ist demnach besser, wenn die Beregnung den Ertrag nicht begrenzt.

Die Beregnung mit 2mm/d erlaubt nur die Ernährung einer begrenzten Biomasse, das heißt bis zu 150 kg N/ha Stickstoffaufnahme.

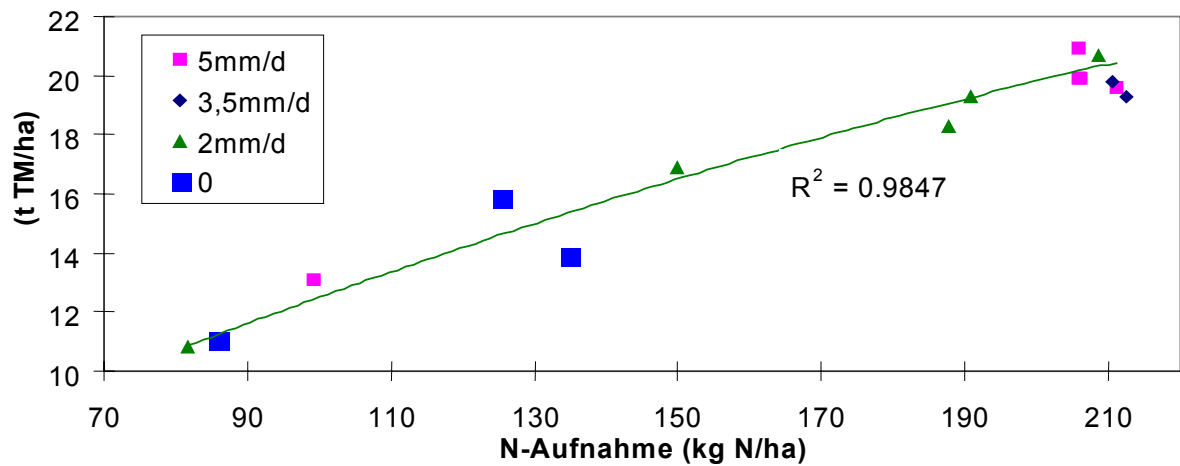
Im Jahr 1998 kommt es zu unterschiedlichen Effizienzen bei den ertragsbegrenzenden Varianten 0 und 2 mm/d einerseits und den Varianten 3,5 und 5 mm/d, bei denen der Mais eine gute Stickstoffeffizienz aufweist andererseits.



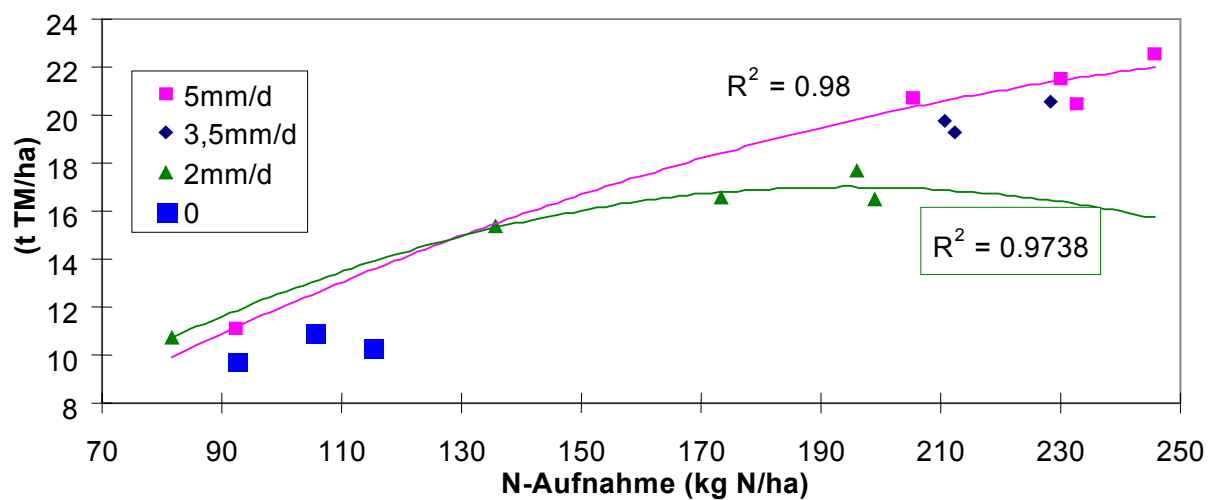
Biomasseproduktion in Abhängigkeit von der N-Aufnahme 1996



Biomasseproduktion in Abhängigkeit von der N-Aufnahme 1997



Biomasseproduktion in Abhängigkeit von der N-Aufnahme 1998



Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, daß sich 1996 und 1997 der Wassermangel bei den verschiedenen Berechnungsvarianten nicht auf die Stickstoffernährung auswirkt. Im Jahr 1998 dagegen ist der Stickstoffernährungszustand in den unberechneten bzw. unterberechneten (2 mm/d) Varianten deutlich schlechter als bei 3,5 und 5 mm/d Berechnung. In den Jahren 1996 und 1997 wurde die Trockenperiode durch einige Regenfälle unterbrochen, die dazu beigetragen haben, die Verfügbarkeit des im Oberboden konzentrierten Stickstoffs zu erhalten. 1998 trocknete der Boden tiefer aus (s. die Abbildung zum verfügbaren Wasservorrat und die Tensiometerwerte), so daß die Pflanzen das Wasser aus den tieferen Schichten aufnehmen mussten, während sich der Stickstoff hauptsächlich im Oberboden befindet.

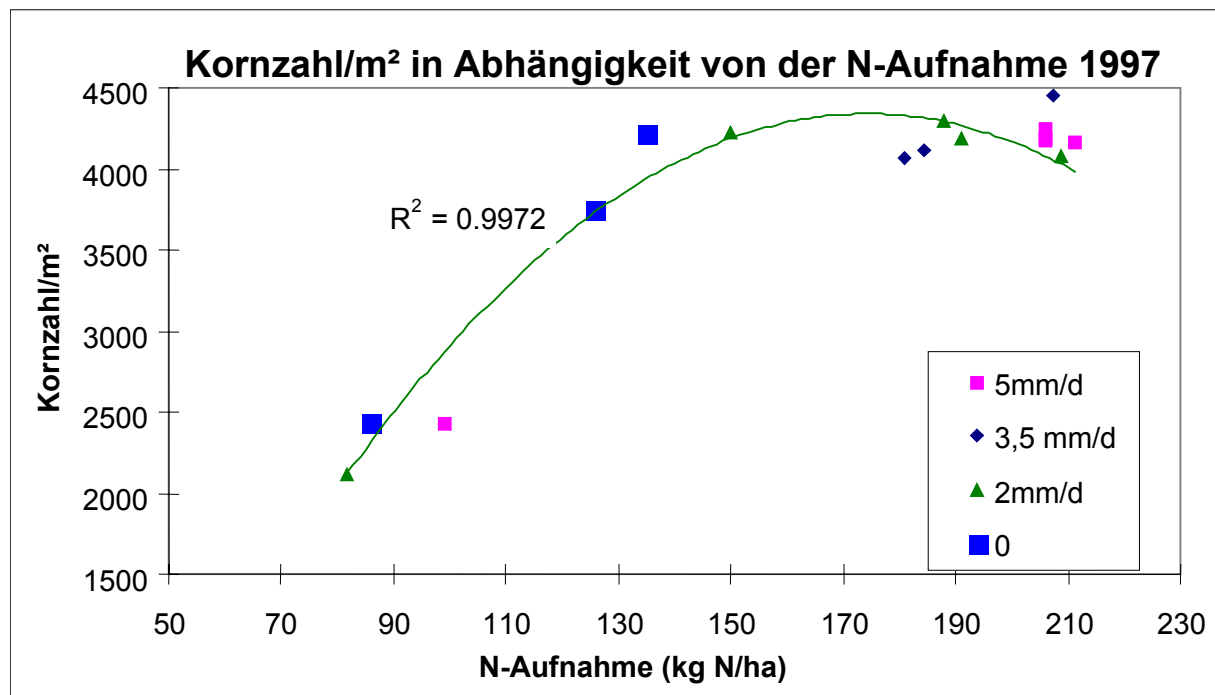
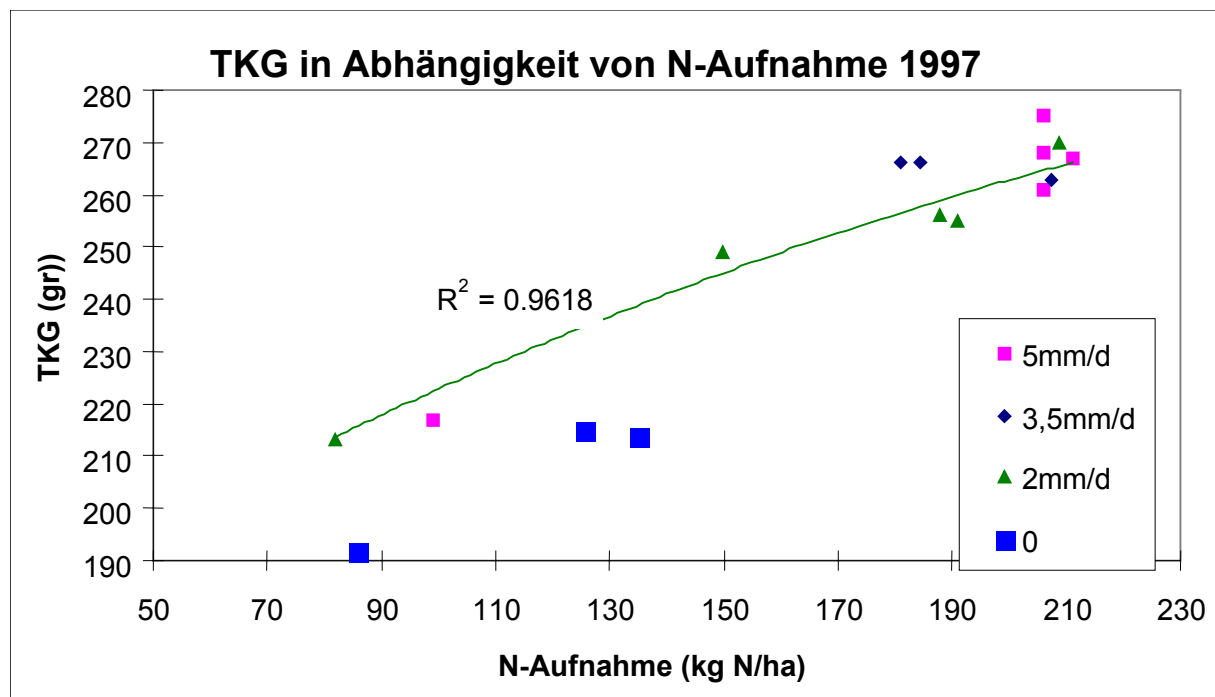
Diese beiden Situationen führen zu ganz verschiedenen Effizienzen der Wasserverwertung: Solange die Pflanzen das Wasser vorwiegend aus dem Oberboden aufnehmen, wo die Konzentration an mineralischem Stickstoff hoch ist, ist die Effizienz der Wassernutzung bei berechneten und unberechneten Flächen ähnlich. Sind die Pflanzen jedoch gezwungen, bei restriktiver Berechnung (2 mm/d) das Wasser aus den unteren Bodenschichten aufzunehmen, in denen die Stickstoffkonzentration gering ist, wird die Effizienz der Wassernutzung verschlechtert, wegen durch Trockenheit indizierten Stickstoffmangels (*Lemaire und Denoix, 1987*).

6.4 Tausendkorngewicht (TKG) und Anzahl Körner/m² in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme.

Die Auswertung des Kurvenverlaufs von TKG und der Kornzahl/m² in Abhängigkeit von der Stickstoffaufnahme erlaubt uns, die im vorigen Abschnitt aufgezeigten Ergebnisse genauer zu erklären, indem wir auf die Erscheinungen bei den Ertragskomponenten eingehen. Leider ist diese Auswertung der Kurven nur 1997 und 1998 möglich, da die Daten für das Jahr 1996 nicht ausreichen.

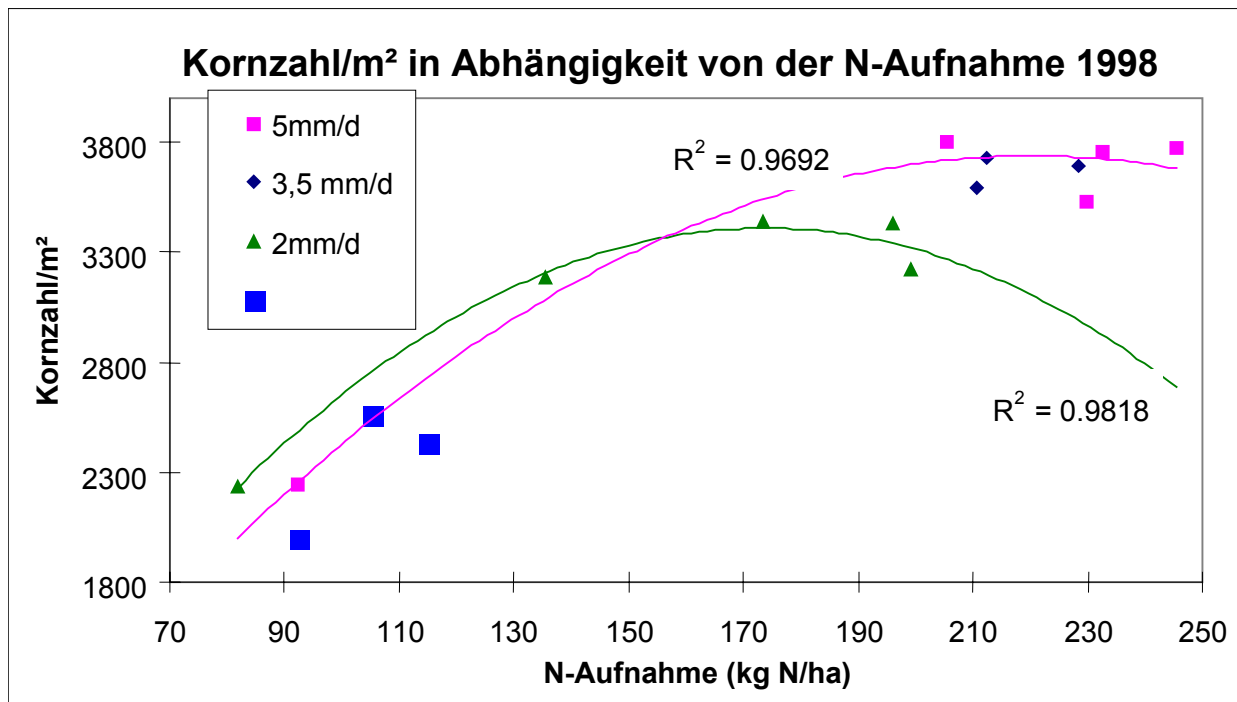
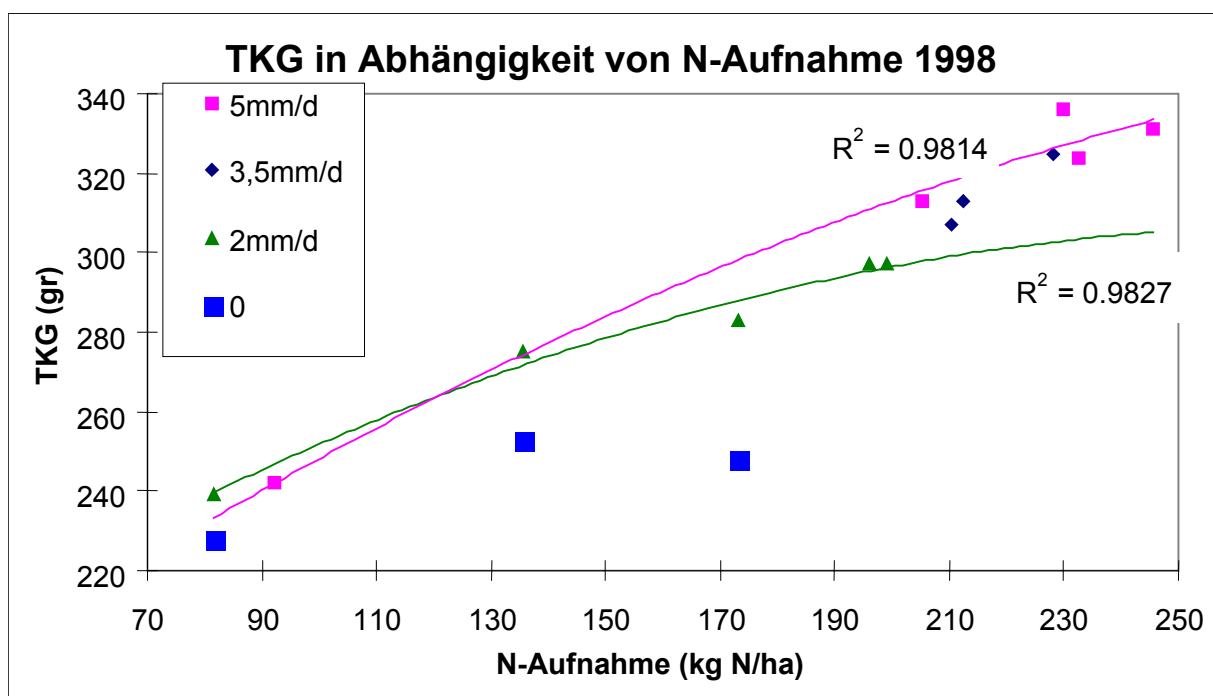
1997

Die im vorigen Abschnitt aufgezeigten Effizienzdefizite wirken sich hauptsächlich auf das TKG aus. Dagegen ist die Kornzahl/m² bei der unberechneten Variante nahe bei den Werten der berechneten Varianten. Die Kornzahl/m² scheint also durch eine ertragsbegrenzende Wasserversorgung mit der Folge von geringen Stickstoffaufnahmen nicht beeinträchtigt zu werden. Der Ertragsrückgang in der unberechneten Variante bei gleich hoher Stickstoffaufnahme ist auf ein reduziertes Korngewicht zurückzuführen.



1998

Wie schon 1997 wurde in den Berechnungsvarianten 0 und 2 mm/d auch im Jahr 1998 die Ertragskomponente TKG durch eine schlechtere Effizienz des aufgenommenen Stickstoffs beeinträchtigt. Die Kornzahl/m² scheint durch die schlechtere Wasserversorgung und Stickstoffaufnahme nicht reduziert worden zu sein. Ab einer Stickstoffaufnahme von 150 kg N/ha bleibt die Kornzahl/m² in der Variante mit 2 mm/d gegenüber den Varianten 3,5 und 5 mm/d zurück.



Daraus läßt sich schlußfolgern, daß die schlechte Stickstoffeffizienz bezüglich Korn- und Ganzpflanzenertrag auf Wasserstress zurückzuführen ist, der das TKG beeinträchtigt hat, egal wieviel Stickstoff aufgenommen wurde. Darüberhinaus beeinträchtigt der Wasserstress auch die Kornzahl/m², wenn der Stickstoff weniger begrenzend wirkt (ab 150 kg N-Aufnahme/ha).

6.5 Zusammenfassende Übersicht

untersuchte Beziehung	Schlussfolgerungen
Stickstoffaufnahme / Stickstoffdüngung	Wirkung des Beregnungsregimes auf die Ausnutzung des Düngerstickstoffs (CAU) 1996: keine Wirkung 1997: Verschlechterung bei 0 mm/d 1998: Verschlechterung bei 0 und 2 mm/d
Ertrag / Stickstoffaufnahme	Wirkung des Beregnungsregimes auf die Effizienz des aufgenommenen Stickstoffs 1996: keine Wirkung 1997: keine Wirkung 1998: Verschlechterung bei 0 und 2 mm/d
TKG bzw. Kornzahl/m² / Stickstoffaufnahme	Erklärung von Auswirkungen auf die Ertragskomponenten (nur 1997 und 1998) - Auswirkung auf das TKG - Auswirkung auf die Kornzahl/m ² ab einer Stickstoffaufnahme von 150 kg N/ha

Die Interpretation der in obiger Tabelle zusammengefassten Ergebnisse erlaubt, das Phänomen folgendermaßen zu erklären:

Die Beregnungsintensität hat direkte Auswirkungen auf die Bodenfeuchte, welche die Verfügbarkeit des Stickstoffs für die Pflanzen bestimmt. Andererseits beeinflusst die Beregnung das Funktionieren der Pflanzen, insbesondere die Entwicklung von Wurzeln und Blättern. Eine ausreichende Wasserversorgung ermöglicht ein gutes Wurzelwachstum mit entsprechender Stickstoffaufnahme. Reicht die Beregnung nicht aus, so verschlechtert sich die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs. Der über die Wurzeln aufgenommene Stickstoff wird für das Blattwachstum verwendet und bestimmt damit die Effizienz des aufgenommenen Stickstoffs. Über die Photosynthese in den Blättern drückt sich die Stickstoffeffizienz schliesslich in Ertrag aus.

Wir konnten also sehen, welches die miteinander gekoppelten Wirkungen von Stickstoffdüngung und Beregnung auf das Pflanzenwachstum sind, und wie sich ihre Wechselwirkungen auf die Ertragsbildung auswirken. Als Schlussfolgerung lässt sich ziehen, daß Stickstoffdüngung und Beregnung nicht getrennt betrachtet werden können, sondern gleichrangig und im Zusammenspiel mit dem Standort gesehen werden müssen, wenn dieser Betriebsmitteleinsatz des Landwirts die beste Wirkung erzielen soll. Besteht ein Ungleichgewicht zwischen Pflanzenbedarf und Betriebsmitteleinsatz, so wird auch die Umwelt belastet, insbesondere durch Auswaschung, welche das Grundwasser durch stark mit Nitrationen angereicherterem Sickerwasser belastet. Dies wird im folgenden Kapitel deutlich.

Simulation der Auswaschung an den Standorten Rouffach und Hausen

1. Abschätzung der Auswaschungsmengen über den Sommer

1.1 Erläuterung des Modells

Das Prinzip des verwendeten Modells beruht auf der tageweisen Berechnung der Wasservorräte auf der Grundlage von Wetterdaten und dem Vergleich der solchermaßen ermittelten Werte mit den berechneten Wasservorräten auf der Grundlage von mittels Bohrstockbeprobungen erstellten Profilen der Bodenfeuchte. Durch einen periodenbezogenen Vergleich dieser beiden Werte lassen sich die Sickerwassermengen (in mm) und die Mengen an ausgewaschenem Mineralstickstoff abschätzen, dank Messungen der Nitratkonzentration mittels Saugkerzen in 80 cm Bodentiefe.

Gemessener Bodenwasservorrat (mm) = $H_p \times d_a \times e$

wobei:

- H_p :** mittels Bohrstockbeprobung ermittelte Bodenfeuchte (Gewichts%)
 d_a : Volumengewicht der Feinerde
 e : Horizontmächtigkeit (dm)

Für jeden Horizont von 10 – 20 cm Mächtigkeit kann somit der vorhandene Wasservorrat ermittelt und für die Bodenschicht 0 – 80 cm aufsummiert werden.

Dieser Wert wird verglichen mit:

Berechneter Bodenwasservorrat (mm) am Tag j = Vorrat des Vortags ($j-1$) – $k \cdot \text{ETP} + P + I$

wobei:

- k :** Kulturkoeffizient (an der Wetterstation Meyenheim)
ETP: Evapotranspiration (dekadenweise – von der Wetterstation Meyenheim)
 P : Niederschläge (mm)
 I : Beregnung (mm)

Ausserdem wird ein Vertrauensbereich IC berechnet:

$$IC = [T (\text{Student bei Risiko } \alpha = 5\%) \times \text{Standardabweichung}] / \sqrt{(\text{Anzahl Wiederholungen})}$$

wobei die Anzahl Wiederholungen der Feuchtigkeitsmessungen = 8 ist.

Wenn für eine gegebene Zeitspanne der gemessene Wasservorrat niedriger ist als der berechnete +/- dem Vertrauensbereich, dann kam es zu Wasserverlusten, d. h. das Wasser ist in Bereiche unterhalb von 80 cm Tiefe versickert. Ist der gemessene Wasservorrat höher als der berechnete +/- Vertrauensbereich, so kam es zu kapillarem Wasseraufstieg. Wenn die Unterschiede kleiner oder gleich dem Vertrauensbereich sind, so wird angenommen, daß es weder zu Auswaschung noch zu kapillarem Aufstieg kam.

Wenn es in einer Zeitspanne zu Auswaschung gekommen ist, läßt sich die Menge an ausgewaschenem Mineralstickstoff mittels folgender Formel abschätzen:

$$L = D \times [NO_3^-]$$

wobei:

- L :** Auswaschungsmenge
 D : Sickerwassermenge (mm)
 $[NO_3^-]$: mittlere Nitratkonzentration von 8 Saugkerzenproben aus 80 cm Bodentiefe im fraglichen Zeitraum

1.2 Ergebnisse

Im Jahr 1996 wurde die Berechnung für 4 Termine zwischen dem 18.06.96 und 13.08.96 und 3 Berechnungsvarianten vorgenommen. Im Jahr 1997 wurde für 5 Messtermine zwischen dem 02.06.97 und dem 04.09.97 sowie die Berechnungsvarianten 3,5 und 5 mm/d gerechnet. Für die Berechnungsvariante 2 mm/d sind 3 Messtermine zwischen dem 16.07. und dem 04.09.97 verfügbar. 1998 wurde für 3 Termine zwischen dem 10.07. und dem 20.08.98 gerechnet.

Nitratauswaschung (kg NO₃/ha) in Abhängigkeit von Beregnungsintensität und Stickstoffdüngung:

Kombination	2 mm/d x 120 kg N/ha	3,5 mm/d x 170 kg N/ha	5 mm/d x 220 kg N/ha
1996	8,1	4,1	11,9
1997	0	2,2	3,7
1998	0,8	0	10,1

Der Vergleich zwischen den Jahren erscheint schwierig und wenig aussagefähig, da in jedem Jahr ein anderer Zeitraum erfasst wurde. Hingegen zeigt ein Vergleich der Auswaschungsmengen zwischen den drei Beregnungsvarianten in den Jahren 1996 und 1998 dieselbe Reihenfolge: Die zu hohe Beregnung von 5 mm/d in Verbindung mit einer überhöhten Stickstoffdüngung (220 kg N/ha = 50 kg über ordnungsgemäß) führt zu einer Auswaschung von rund 10 kg NO₃/ha (also knapp 2 kg N/ha) in eineinhalb Monaten. Die Kombination 3,5 mm/d und 170 kg N/ha scheint die Auswaschung am stärksten zu reduzieren. Die Kombination von 2 mm/d und 120 kg N/ha scheint eine etwas höhere Auswaschung zu begünstigen als die Variante 3,5 mm/d. Die Mengen sind jedoch ebenfalls niedrig.

Die höheren Auswaschungsmengen bei der Kombination 5 mm/d x 220 kg N/ha lassen sich einerseits durch die 50 kg N/ha Überdüngung erklären, welche dazu führt, daß nicht aller Stickstoff durch die Pflanze aufgenommen wird und in die Tiefe verlagert werden kann. Andererseits lässt sich annehmen, daß die starke Beregnung mit 5 mm/d die Feldkapazität zeitweise aufgefüllt hat, was die Versickerung von mit Nitrat belastetem Grundwasser begünstigt. Dies wird vom Verlauf der nutzbaren Feldkapazität in den 3 Jahren, welche nur ganz gelegentlich einmal bis zur Sättigungsgrenze des Bodens ansteigt, bestätigt.

Die Kombination von 3,5 mm/d mit der ordnungsgemäßen Düngung von 170 kg N/ha, welche den Bedürfnissen des Mais in Rouffach am besten zu entsprechen scheint, führt zu weniger Stickstoffauswaschung aus dem Boden während der Vegetationszeit. Tatsächlich wird der Boden nicht mit Wasser gesättigt und es bleibt immer ein Spielraum für die Aufnahme eventuell auftretender Gewitter.

1.3 Die Grenzen des Modells

Es ist zuerst einmal bedauerlich, daß man nicht den Einfluß der Beregnung für sich alleine vergleichen kann sondern immer nur den von Kombinationen (Beregnung x Düngung). Außerdem können die vorstehend aufgeführten Zahlen durch folgende Faktoren beeinflusst werden:

- fehlende Daten für bestimmte Termine und damit einhergehend eine schlechtere Genauigkeit der Ergebnisse (mangels von Wiederholungen)
- der kapillare Aufstieg wird nicht als Quelle für die Nitratbelastung des Wassers angesehen.
- Die Auswaschung wird ab 80 cm Tiefe berechnet, wo die Maiswurzeln zwar schon ziemlich selten sind, aber dennoch existieren.

Wegen den beiden letztgenannten Punkten werden die Zahlen für die Nitratauswaschung tendenziell überschätzt. Dies bestärkt uns in der Ansicht, daß die Auswaschung während der Vegetationszeit von geringer Bedeutung ist, zumindest im Vergleich zur Auswaschung über Winter, die wir in den folgenden Kapiteln näher betrachten wollen.

2. Simulation der Auswaschung über Winter mit LIXIM

Im Rahmen des ITADA-Projekts wurden an zwei Standorten Versuche zur Interaktion Wasser – Stickstoff bei Mais durchgeführt: Rouffach in Frankreich und Bad Krozingen - Hausen a.d.M. in Deutschland, welche sich beide in der Rheinebene befinden.

Ziel dieser Simulationen über die Winterzeit ist die Parametrierung des LIXIM-Modells (Beschreibung s. Literatur) an diesen beiden Standorten, um den Effekt der Beregnungsvarianten und der Höhe der Stickstoffdüngung auf die Mineralisierung, die Versickerung und die Auswaschung sehen zu können.

Wegen fehlender Daten kann die Simulation mit LIXIM in Rouffach nur für den Winter 1997/98 (war ursprünglich nicht vorgesehen) durchgeführt werden. Für Hausen sind die Daten dagegen umfangreicher, so daß die Simulation genauer und über drei aufeinanderfolgende Jahre hinweg erfolgen konnte.

2.1 Simulation in Rouffach – Winter 1997/98

Da Lixim die Auswaschung unter unbedecktem Boden simuliert, sind nur die Nmin-Werte des Winters auswertbar. Im Winter 1996/97 waren jedoch nur die Daten eines, im Winter 1998/99 die von zwei Messterminen verwertbar. Die Simulation für den Winter 1998/99 wurde zwar durchgeführt, die Ergebnisse sind jedoch von geringer Qualität und deren Interpretation erscheint deshalb so unsicher, daß im Weiteren nicht mehr darauf eingegangen wird (Anhang 3).

Für den Winter 1997/98 liegen hingegen Nmin-Werte von drei Messterminen vor, so dass die Simulation durchgeführt werden konnte. Hier die Ergebnisse:

2.1.1 Anpassung des Modells

Es wurden vier aufeinanderfolgende Simulationen durchgeführt, damit die Korrelation zwischen den simulierten und den gemessenen Werten so eng wie möglich ist.

Eine erste Simulation wurde mit den Ausgangswerten gestartet. Die graphische Darstellung der Korrelation zwischen simulierten und gemessenen Feuchtwerten dieser ersten Simulation hat die Ausweisung von fehlerhaften Messwerten erlaubt.

Für eine zweite Simulation wurden diese fehlerhaften Werte korrigiert und so die Qualität der Simulation verbessert. Insgesamt schien die Simulation die Feuchtigkeitswerte gegenüber den gemessenen Werten zu überschätzen. Ausserdem erreichte der simulierte Feuchtigkeitswert bei vielen Varianten die Feldkapazität. Dies hat uns dazu geführt, die ursprünglich angenommenen Feuchtigkeitswerte bei Feldkapazität anzuheben.

So wurde eine dritte Simulation durchgeführt, mit Feuchtwerten bei Feldkapazität von 26 statt 25 im Horizont 0-30 cm und 23 statt 22 im Horizont 30-60 cm. Dadurch verbesserte sich die Korrelation zwischen simulierten und gemessenen Feuchte- und Nmin-Werten. Für den Horizont 0-30 cm ergab sich jedoch noch eine leichte Unterschätzung der Nmin-Werte sowie eine leichte Unterschätzung der Feuchtwerte.

Für die letzte Simulation wurden folglich noch einige Werte verändert:

Der Gewichtungsfaktor für die Feuchte in der obersten Schicht wurde von 2 auf 3 erhöht.

Der Koeffizient der Abnahmeder Verdampfung wurde von 2 auf 1 reduziert.

Die Mächtigkeit der mineralisierenden Schicht wurde von 32 auf 30 cm reduziert.

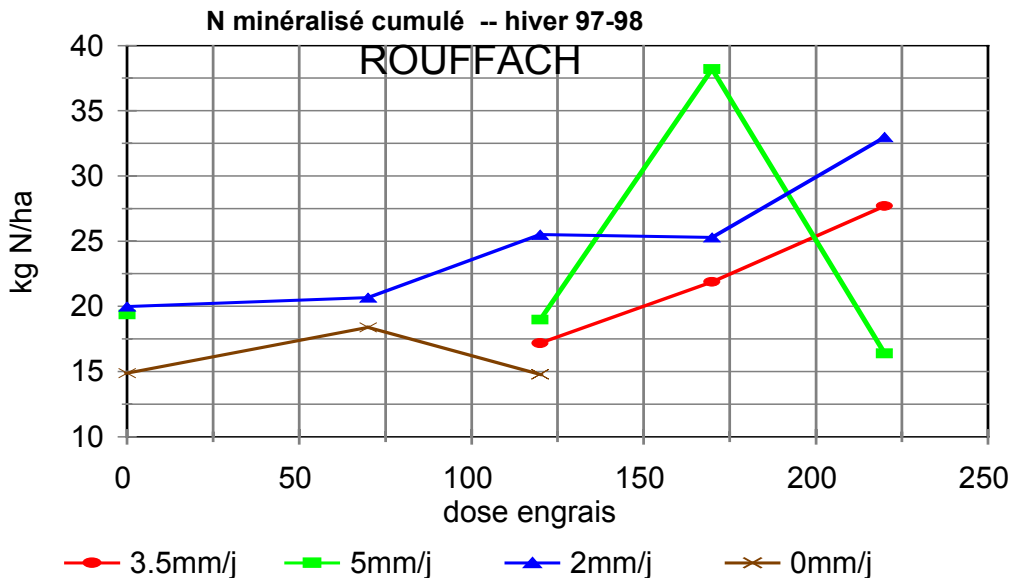
Der Arrhenius-Koeffizient der Temperatur schliesslich wurde von 0,115 auf 0,125 erhöht.

Die letzte Situation, deren Ergebnisse schliesslich akzeptiert wurden, wurde mit diesen geänderten Parametern gerchnet (s. Anhang 4).

2.1.2 Ergebnisse der Simulation

2.1.2.1 Die Ergebnisse zu kumuliertem mineralisiertem Stickstoff

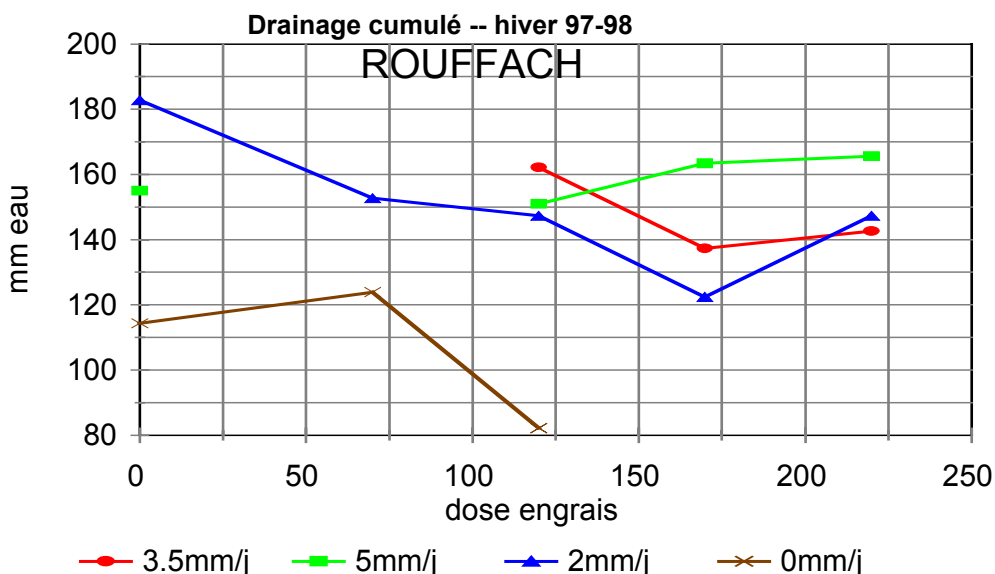
Die Auswertung der während des Simulationszeitraums mineralisierten Stickstoffmengen kann wegen der geringen Anzahl an Beprobungsterminen nur grob sein. So zeigt die Graphik auch nur 16 Geraden, auf denen sich nicht, wie in Hausen, verschiedene Phasen erkennen lassen. Die Auswertung hinsichtlich Entwicklung im Laufe der Zeit ist folglich nicht möglich.



Es lässt sich jedoch feststellen, daß die mit der Stickstoffdüngung konjugierte Berechnungsstärke keinen Einfluss auf die in diesem Zeitabschnitt mineralisierte Stickstoffmenge zu haben scheint. Die grösste Differenz zwischen verschiedenen Varianten beträgt 25 kg N/ha.

2.1.2.2 Die Ergebnisse hinsichtlich der Auswaschung

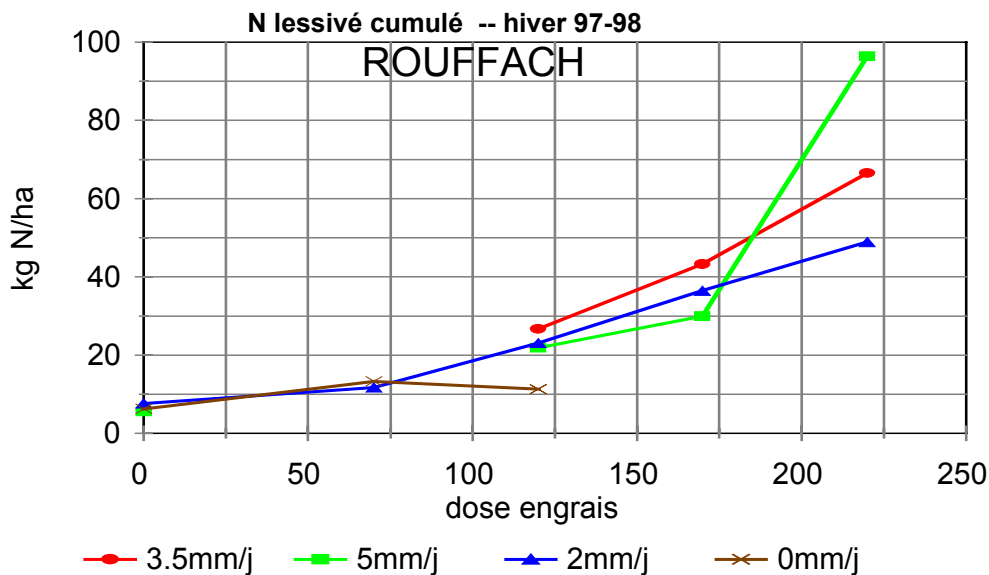
Bevor man zur Untersuchung der eigentlichen Auswaschung kommt, muss erst einmal das damit untrennbar verbundene Phänomen der Sickerwasserbildung untersucht werden. Betrachtet man die Abbildung mit den kumulierten Sickerwassermengen während des Untersuchungszeitraums, so scheint es einen signifikanten Unterschied zu geben, zwischen beregneten und unberegneten Varianten. Tatsächlich liegen die Sickerwassermengen der unberegneten Flächen deutlich unter denen der beregneten Flächen (um 40 – 80 mm). Demnach würde die Beregnung von Mais in der Vegetationszeit die Sickerwassermenge während des Winters erhöhen.



Es besteht Grund zu der Annahme, daß bei Beregnung die Bodenfeuchte schneller auf die Feldkapazität ansteigt als bei einer Fläche ohne Beregnung und die Sickerwasserbildung somit früher einsetzt.

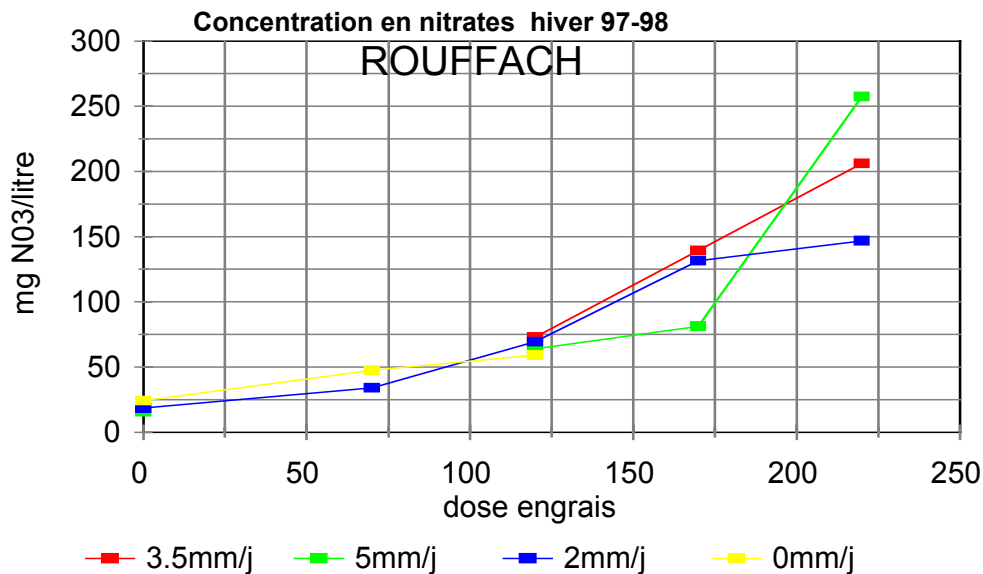
Auf der Darstellung der kumulierten Mengen an ausgewaschenem Mineralstickstoff vom 08. Oktober 1997 bis zum 20 Februar 1998 für die 4 Beregnungsvarianten stellt man fest, daß bei einer Stickstoffdüngung zwischen 0 und 170 kg N/ha (= ordnungsgemäß) die Mengen an ausgewaschenem mineralischem Stickstoff mit 30 – 40 kg N/ha gering bleiben, unabhängig vom verwendeten Beregnungssystem. Jenseits dieser Düngung steigt die Menge an ausgewaschenen Stickstoff schnell an und das umso mehr, wenn zu der überhöhten Stickstoffdüngung noch eine übermäßige Beregnung kommt (z.B. 5 mm/d). In der Variante 5 mm/d x 220 kg N/ha erreicht die Stickstoffauswaschung annähernd 100 kg N/ha. Zu bemerken ist, daß die im Herbst 1997 gemessenen Nitratwerte relativ hoch lagen (rund 150 kg N/ha bei 220 kg N/ha Düngung, s. 4.2.2).

Die Rangfolge der Varianten bei der kumulierten Auswaschung lässt sich einerseits mit der Beregnungsmenge, welche sich auf die Versickerung auswirkt, erklären und andererseits durch die Nmin-Werte vom 08. Oktober, die dieselbe Rangfolge der Varianten aufweist.



Die Überschreitung der ordnungsgemässen Düngung (angepasst an den Bedarf der Pflanzen) wird also immer von einer Erhöhung der Nitratauswaschung begleitet. Ausserdem führt eine übermäßige Beregnung in der Vegetationszeit zu einer erhöhten Auswaschung über Winter.

Die folgende Abbildung zeigt die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für den Winter 1997/98:



Die von LIXIM für Rouffach simulierten Nitratkonzentrationen liegen über der Trinkwassernorm von 50 mg/l, sobald die Düngung 120 kg N/ha (= Optimum im Jahr 1997) übersteigt. Bis zur Düngungsstufe 170 kg N/ha scheint die Beregnungsvariante die Konzentration nicht zu beeinflussen. Darüber steigt der Abstand immer mehr und die Nitratkonzentrationen im winterlichen Sickerwasser sind umso höher, je mehr beregnet wird.

Die Tendenz ist dieselbe wie bei den Frachten: Die zu hoch angesetzten Varianten produzieren ein Wasser mit 150, ja sogar mit 250 mg Nitrat/l und, zumindest in Anbetracht der Ergebnisse des Winters 1997/98 ist die Stickstoffdüngung der bedeutendste Risikofaktor.

Die Variante 170 kg N/ha x 3,5 mm/d, welche einer gängigen Praxis bei den Beregnungslandwirten der Rheinebene entspricht, lässt in puncto Umwelt dennoch Fragen offen, da sie, gemäß dem Modell, ein stark nitratbelastetes Wasser produziert (140 mg/l). Derartige Konzentrationen sind für einen Verantwortungsträger der Wasserwirtschaft natürlich nicht akzeptabel. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass dieser Wert das Ergebnis einer Modellrechnung ist, die mit den Daten nur eines Winters (Oktober 1997 bis Februar 1998) gespeist wurde, welche für eine unzweifelhafte Antwort auch noch unzureichend waren.

Diese Ergebnisse sind deshalb mit Vorsicht zu genießen, da es sich um einjährige Messungen handelt und für die Modellberechnung nur das absolute Minimum an Daten vorlag.

2.2 Simulation für den Standort Hausen

Die Simulation konnte für drei Winter durchgeführt werden. Im Gegensatz zu Rouffach gab es zwei Wiederholungen der Messungen, was uns die Möglichkeit gibt, Standardabweichungen bei den Bodenfeuchtwerten in der Modellrechnung zu berücksichtigen und damit deren Qualität zu verbessern.

2.2.1 Überblick über den Versuch Hausen

Der Versuch von Hausen erlaubt die Kombination von zwei Beregnungsverfahren und drei Stickstoff-Düngungsstufen. Die 6 untersuchten Varianten werden in nachstehender Übersicht präsentiert:

unberegnet	0 N	T1
	X - 20%	T2
	X	T3
beregnet	0 N	T4
	X - 20%	T5
	X	T6

Beim Boden handelt es sich um einen steinfreien sandigen Lehm mit 2,8% org. Subst., pH 5,3 und 180 mm nutzbarer Wasserkapazität, davon leicht verfügbar 120 mm. Der mittlere Nitratgehalt im Grundwasser liegt in Hausen bei 22 mg NO₃/l.

2.2.1.1 Stickstoffdüngung

Die ordnungsgemäße Stickstoffdüngung X (OGL) wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$X = D1 + Z$$

- eine erste Gabe D1 in Höhe von 40 kg N/ha wird zur Saat verabreicht.
- die zweite Gabe Z wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$Z = bY + 20 - R6F - D1/2 - Mh - Mr - Ma - Mci$$

wobei:

Z = N-Mineraldüngung zur 2. Gabe

b = 2,2 kg N / dt Körnertrag

Y = Ertragsziel (dt/ha)

R6F = Nmin bei 6-Blatt-Stadium des Mais

D1/2 = Die Hälfte der zur Saat gedüngten Menge

Mh = Nettomineralisation aus Humus

Mr = Nettomineralisation aus Ernterückständen

Ma = Nettomineralisation aus Wirtschaftsdüngern

Mci = Nettomineralisation aus Zwischenfrucht

Ma = Mci = 0, da weder Wirtschaftsdüngung noch Zwischenfruchtbau

Verschiedene Ausdrücke dieser Gleichung lassen sich in Abhängigkeit von Bodentyp, Termin der Nmin-Messung und Verwertungsrichtung des Mais (Körner- oder Silomais) mit Tabellenwerten auf der Grundlage von mehrjährigen Ergebnissen abschätzen.

In Hausen ergibt sich dabei für die

Nettomineralisation aus Humus (Mh): 40 kg N/ha

Nettomineralisation aus Ernterückständen (Mr): 10 kg N/ha

Das Ertragsziel liegt in Hausen bei 120 kg N/ha; der Nmin-Wert im 6-Blatt-Stadium liegt bei 30 kg N/ha.

Unter diesen Bedingungen beträgt die zu düngende Menge Z der 2. Gabe 180 kg N/ha. Die Gesamtmenge X beträgt folglich 220 kg N/ha.

2.2.1.2 Berechnungssteuerung

Beschreibung der Berechnungsvarianten in den drei Jahren 1995, 1996 und 1997

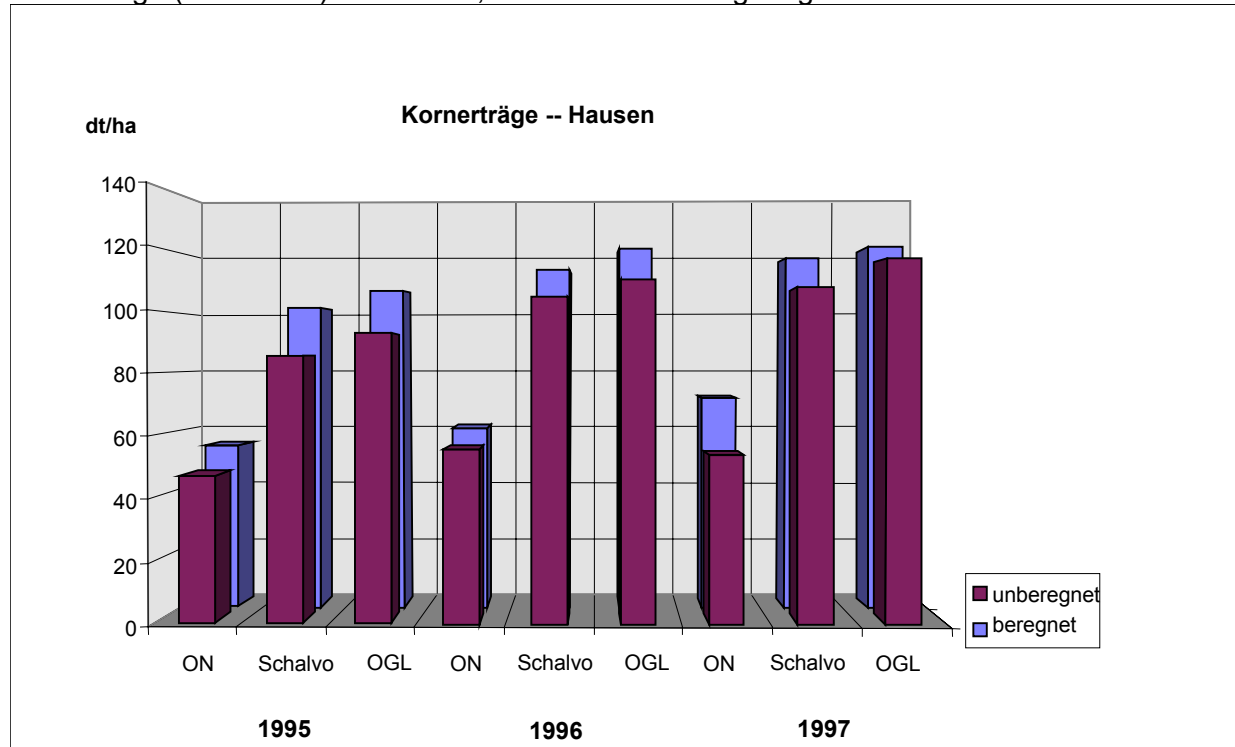
Jahr	Anzahl Gaben	Gesamtmenge (mm)	Tagesmenge (mm/d)	Niederschlag + Beregnung (mm/d)
1995	4	80 mm	3 mm/d	4,4 mm/d
1996	3	80 mm	1,34 mm/d	1,9 mm/d
1997	3	115 mm	5,6 mm/d	5,9 mm/d

Termine der Beregnung

1995	1996	1997
13/7/95	26/7/96	13/8/97
20/7/95	5/8/96	19/8/97
28/7/95	9/8/96	27/8/97
3/8/95		

Die Beregnung wird ausgelöst, wenn die Feldkapazität unter 50% absinkt. Sie wird gestoppt, wenn die Feldkapazität über 80% ansteigt.

Maiserträge (Korn dt/ha) 1995-1997, mit und ohne Beregnung



2.2.2 Anpassung des Modells

2.2.2.1 Winter 1995/96

Die Simulation wurde durchgeführt mit den Daten von 11 Messterminen, was eine wesentlich höhere Genauigkeit als in Rouffach bedeutete. Die Simulation beginnt 15 Tage nach der Ernte 1995 und endet 13 Tage vor der Aussaat 1996. Demnach blieben bei der Simulation 28 potentielle Auswaschungstage unberücksichtigt. Dies ist im weiteren zu berücksichtigen.

Es wurden nacheinander 3 Simulationen durchgeführt:

Eine erste wurde mit den Standardparametern ausgeführt. Sie erbrachte zwei fehlerhafte Feuchtigkeitswerte. Sie hat außerdem eine leichte Überschätzung der Feuchtewerte im Horizont 0-30 cm sowie eine leichte Unterschätzung derselben im Horizont 30-60 cm aufgezeigt. Schliesslich wurden auch noch die Nmin-Werte im Horizont 30-60cm leicht überschätzt.

Deshalb wurden die Feuchtewerte bei Feldkapazität leicht modifiziert: 27 statt 29 beim Horizont 0-30 cm, 22,5 statt 22 bei 30-60 cm und 18,5 anstelle von 18 bei 60 – 90 cm. Ausserdem wurde die Mächtigkeit der Mineralisierungsschicht von 35 auf 30 cm reduziert. Die zweite Simulation ergab keine Abweichungen bei den Schätzungen von Feuchtigkeit und N-Mineralisierung.

Bei der dritten Simulierung wurden die Mittelwerte der Kulturartkoeffizienten bei den verschiedenen Varianten eingesetzt. In der Tat wurden alle Simulationen seit Beginn mit vom Modell angepassten Werten der Kulturartkoeffizienten durchgeführt. Diese Werte wurden also ermittelt und ein Mittelwert der verschiedenen Varianten berechnet. Anschliessend wurden diese Mittelwerte wieder in das Modell eingespeist. Nachstehend die Tabelle der kulturartspezifischen Koeffizienten:

	20/11	5/12	19/12	4/1	30/1	14/2	28/2	13/3	26/3	11/4
T1	0.05	0.05	0.05	0.05	1	1	0.98	0.93	0.55	0.48
T2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.38	0.84	0.88	0.57	0.51
T3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.66	1	0.96	0.46	0.38
T4	0.05	0.05	1	0.07	1	0.26	0.5	0.93	0.28	0.45
T5	1	0.05	0.05	0.05	1	1	0.75	0.93	0.51	0.42
T6	1	0.05	0.05	0.05	0.94	0.9	0.89	0.97	0.48	0.4
Mittel	0.37	0.05	0.21	0.05	0.67	0.7	0.83	0.93	0.48	0.44

In Anbetracht der großen Unterschiede bis zum 30. Januar 1996 zwischen den Varianten (0,05 = minimal und 1,00 = maximal) wurden die Mittelwerte dem Modell ab 14. Februar vorgegeben.

Die Ergebnisse dieser letzten Simulation weichen von denen der vorhergehenden kaum ab und weisen keine erkennbare Verbesserung auf.

Insgesamt sind nur geringe Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten festzustellen (s. Anhang 5).

Abschliessend ist anzumerken, daß die meteorologische Daten für die Klimadatei von LIXIM von der Wetterstation Meyenheim im Elsass, etwa 30 km westlich von Hausen, stammen.

2.2.2.2 Winter 1996/97

Die Simulation wurde durchgeführt mit Daten von 13 Terminen. Sie beginnt 2Tage nach der Ernte 1996 und endet 3 Tage vor der Aussaat 1997. Man kann also davon ausgehen, daß die Simulation die gesamte Zeitspanne ohne Bodenbedeckung umfaßt.

Der Ansatz der Simulation ist derselbe wie vorher. Es werden die gleichen Parameter verwendet.

Insgesamt wurden wenig Unterschiede zwischen gemessenen und simulierten Werten festgestellt (lediglich 1 Wert erschien abweichend).

2.2.2.3 Winter 1997/98

Die Simulation wurde mit den Daten von 11 Meßterminen durchgeführt.. Sie beginnt am Tag der Ernte 1997 und endet zwei Tage vor der Aussaat 1998. Man kann also davon ausgehen, daß die Simulation die gesamte Zeitspanne zwischen den Kulturen abdeckt.

Der Ansatz der Simulation ist derselbe wie vorher. Es werden die gleichen Parameter verwendet.

Insgesamt wurden wenig Unterschiede zwischen gemessenen und simulierten Werten festgestellt (kein abweichender Wert).

2.2.3 Die Ergebnisse der Simulation

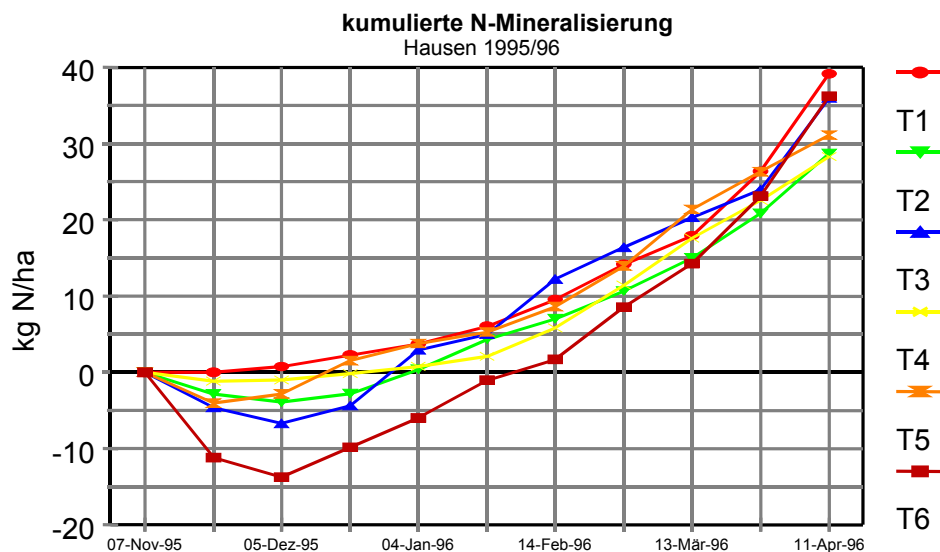
2.2.3.1 Winter 1995- 1996)

2.2.3.1.1 Die Ergebnisse bezüglich des kumulierten mineralischen Stickstoffs. (Nmin)

Die 6 Kurven der verschiedenen Varianten liegen nahe beieinander mit Abweichungen von höchstens 15 kg N/ha Anfang Dezember. Bei den meisten Varianten kommt die Kurve in einer ersten Phase von November bis Januar in den negativen Bereich und widerspiegelt damit den Effekt der Festlegung des mineralischen Stickstoff in organischer Substanz durch die Aktivität von Mikroorganismen. Diese Phase ist bei den verschiedenen Varianten unterschiedlich ausgeprägt. Bei Variante wird sie kaum ersichtlich, bei Variante 6 dagegen sehr deutlich und länger anhaltend (bis zu 13 kg N/ha festgelegt). Diese Erscheinung lässt sich durch die mehr oder weniger große Menge von in den Boden eingearbeitetem Maisstroh erklären. So weist Parzelle 1 einen Ertrag von 46 dt/ha, Parzelle 6 dagegen einen solchen von 107 dt/ha auf, wobei auch die eingearbeitete Biomasse in dieser Variante höher sein müssen. Auch die Parzelle 4 mit 55 dt/ha weist eine zeitlich und vom Umfang her stark begrenzte Reorganisationsphase auf.

Variante		Ertrag (dt/ha)
T1	unberechnet – 0N	46
T2	unberechnet - Schalvo	86
T3	unberechnet - OGL	93
T4	berechnet – 0N	55
T5	berechnet - Schalvo	102
T6	berechnet - OGL	107

Die festgestellten Unterschiede beim Nmin-Gehalt im Boden während dieser Phase der Reorganisation verwischen sich Ende Januar – Anfang Februar. Von da an sind die seit der Ernte freigesetzten Stickstoffmengen bei den verschiedenen Varianten ähnlich.. So scheint die Intensität der Reorganisationsphase die anschließende Mineralisationsphase zu stimulieren.

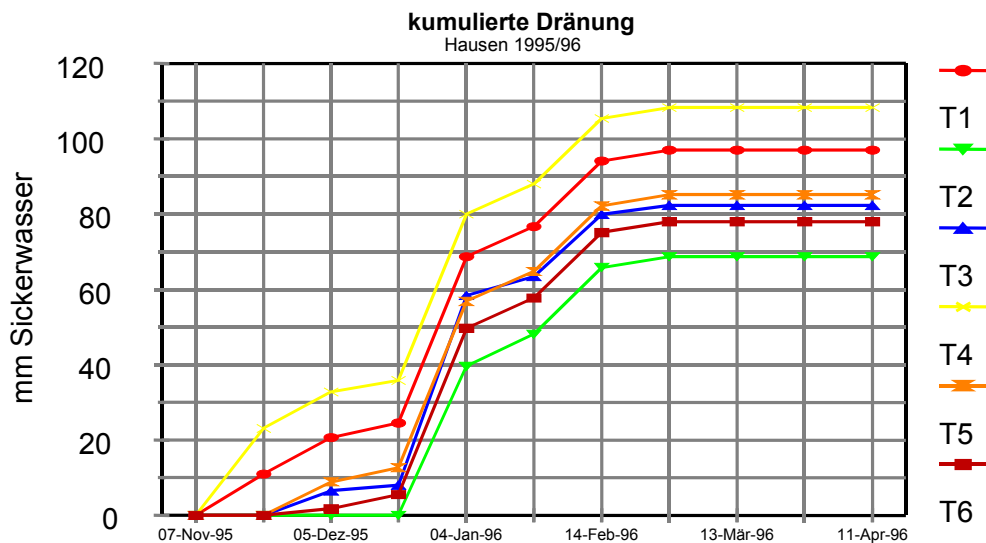


Auf die Phase der Reorganisation folgt eine Phase der Mineralisierung, die umso intensiver ist, je intensiver die Reorganisationsphase war. So weist die Variante 6, bei der die Reorganisation am markantesten auftrat, auch die intensivste Mineralisierung auf, mit dem steilsten Anstieg ab Anfang Dezember. Über Winter baut sich ein Vorrat an organischem Stickstoff auf, der dann mehr mineralisierten Stickstoff freisetzt, sobald die Witterungsverhältnisse des Frühjahrs dies ermöglichen.

Der gekoppelte Effekt von Beregnung und N-Düngung auf die Menge an mineralisiertem Stickstoff ist nur indirekt. Die Varianten der Beregnung und der Düngung wirken über die mehr oder weniger guten Maiserträge. So wird das Ertragsziel des Mais bei günstigen Entwicklungsbedingungen erreicht und die anschließend eingearbeitete Biomasse führt zu einem umso stärkeren Nitratsenke, je größer die Menge ist. Betrachtet man jedoch den ganzen Zeitraum zwischen zwei Kulturen, so sind die Mengen an mineralisiertem Stickstoff bei den einzelnen Varianten ähnlich, wegen der Mineralisierungsphase, welche die Phase der Reorganisation zu kompensieren scheint.

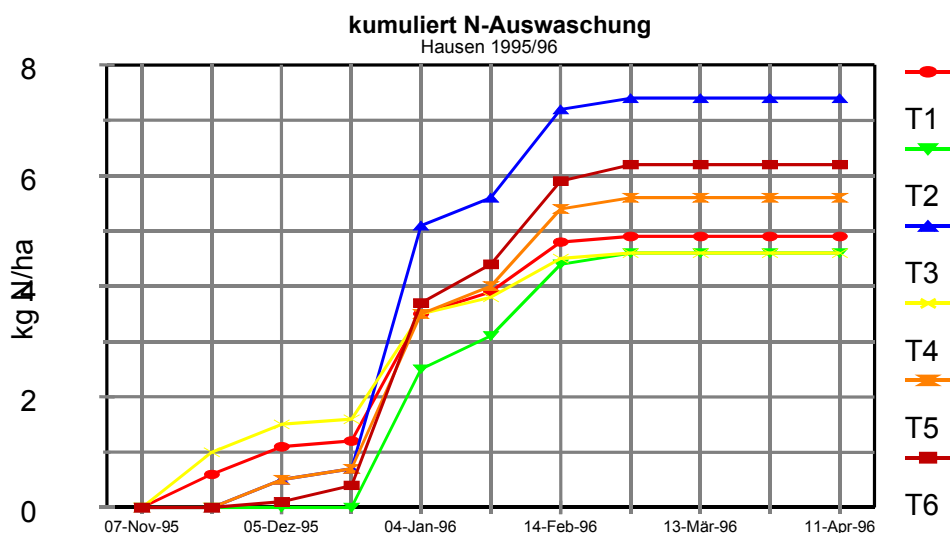
2.2.3.1.2 Die Ergebnisse zur Auswaschung

Was die Auswaschungsmengen im Zeitraum zwischen zwei Hauptfrüchten angeht, so wurden zwischen dem 07. November und dem 19. Dezember, nach dem die 6 Kurven praktisch bis zur nachfolgenden Saat parallel laufen. Während die Varianten 1 und 4 (Nullparzellen) bereits von Anfang an dränen (25 bzw. 35 mm bis 19. Dezember, dräniert die Parzelle 2 in diesem Zeitraum praktisch gar nicht. Die anderen liegen dazwischen, dränen aber nur wenig.



Nachdem der Boden während der ganzen Zeitspann ohne Bewuchs ist, sind die Evaporation und die Niederschläge bei den verschiedenen Parzellen und Varianten gleich. Dies bedeutet, daß die beobachteten Unterschiede bei der Sickerwasserbildung die Folge von unterschiedlichen Feuchteprofilen des Bodens bei der Ernte sind. Im Gegensatz zu den anderen Varianten sind T 4 und T1 ab Anfang November auf Feldkapazität. Nachdem es sich bei T1 und T4 um die O-N-Parzellen handelt und die erreichten Ernteerträge (46 und 55 dt/ha) gering sind werden damit auch die Wasseraufnahme und die Verdunstung begrenzt. Die Versickerung beginnt auf diesen Flächen also früher als auf den für einen höheren Ertrag gedüngten Flächen.

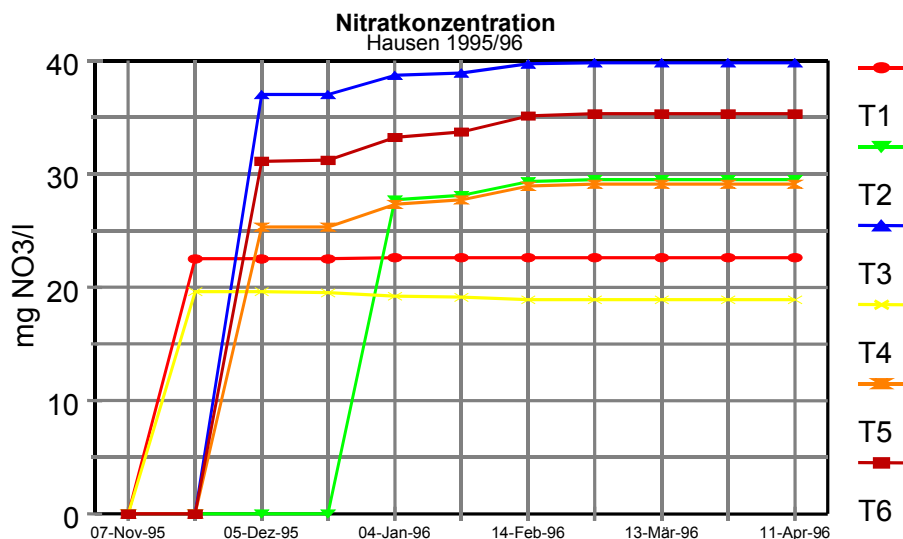
Der maximale Unterschied zwischen den Varianten über den ganzen Zeitraum hinweg beträgt 40 mm Sickerwasser. Die Gesamtmengen bleiben niedrig (um 100 mm), was in Verbindung zu bringen ist mit den geringen Winterniederschlägen dieses Jahres (164 mm in 6 Monaten).



In diesem Winter ist die simulierte N-Auswaschung sehr gering und liegt unabhängig von der Behandlung unter 10 kg/ha. Zurückzuführen ist dies auf die geringe Sickerwasserbildung in diesem Winter.

Im Winter 1995/96 ist die Auswaschung in Variante 3 am höchsten, gefolgt von Variante 6. Die anderen Varianten zeigen ähnliche Werte. Die Varianten 3 und 6 sind die mit der höch-

sten N-Düngung. Die N-Auswaschung liegt aber nur um 3 oder 4 kg /ha über der der ungedüngten Parzellen. Ein Vergleich der Varianten untereinander ist in Anbetracht der geringen Mengen schwierig.



Die im Sickerwasser ab 7. November beobachteten Nitratkonzentrationen stabilisieren sich bald: Ende November / Anfang Dezember. Von da an ändern sie sich bis zur Aussaat praktisch nicht mehr. Insgesamt sind die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser während der Zeitspanne zwischen zwei Kulturen bei gleicher Stickstoffdüngung höher, wenn der Mais nicht beregnet wurde. Der bestimmende Faktor der Nitratkonzentration bleibt jedoch in jedem Fall die Stickstoffdüngung. Die Rangfolge spiegelt exakt die Stickstoffdüngung wider. Die mittlere Nitratkonzentration im Sickerwasser einer ordnungsgemäß gedüngten Maisparzelle bleibt unter 40 mg NO₃/l, auch wenn der Mais nicht beregnet wurde.

2.2.3.2 Winter 1996/97

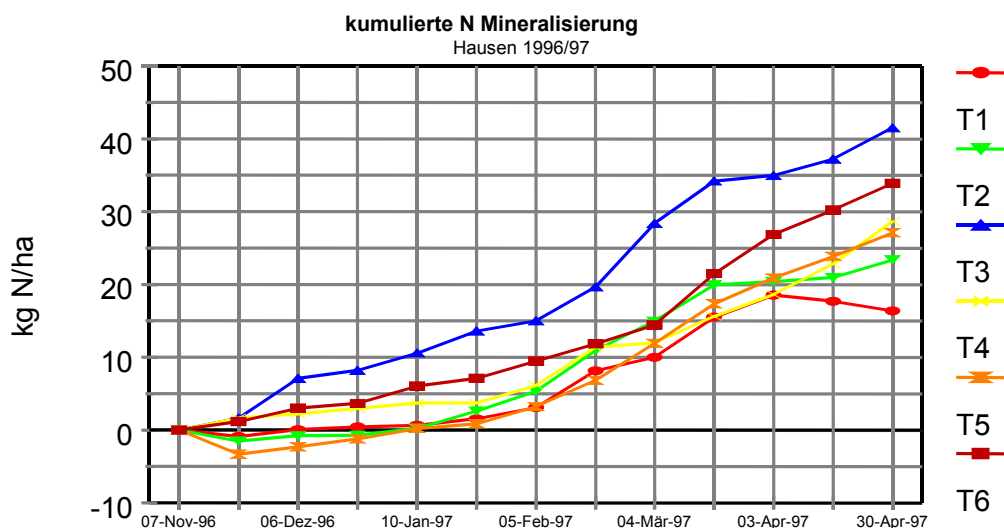
2.2.3.2.1 Die kumulierte Stickstoffmineralisierung

Die Reorganisationsphase, die im Winter 1995/96 sehr ausgeprägt war, ist 1996/97 sehr schwach: Es wurden nur 1 bis 3 kg N/ha in 3 Varianten festgelegt. Nachstehend die Erträge des Jahres 1996:

Variante		Kornertrag (dt/ha)
T1	unberegnet – 0N	56
T2	unberegnet - Schalvo	104
T3	unberegnet - OGL	109
T4	beregnet – 0N	61
T5	beregnet - Schalvo	114
T6	beregnet - OGL	121

Der Kurvenverlauf und die Rangfolge sind nicht gleich wie 1995/96, die Unterschiede sind jedoch insgesamt gering.

Die Stickstofffestlegung, die in diesem Jahr sehr gering war, scheint nicht von der Menge der nach der Ernte eingearbeiteten Ernterückstände abhängig zu sein. Es läßt sich vermuten, daß eine höherer Stickstoffgehalt im Stroh zu einem engeren C/N-Verhältnis geführt hat, was zur Folge hatte, daß nach der Einarbeitung weniger Stickstoff gebunden wurde.

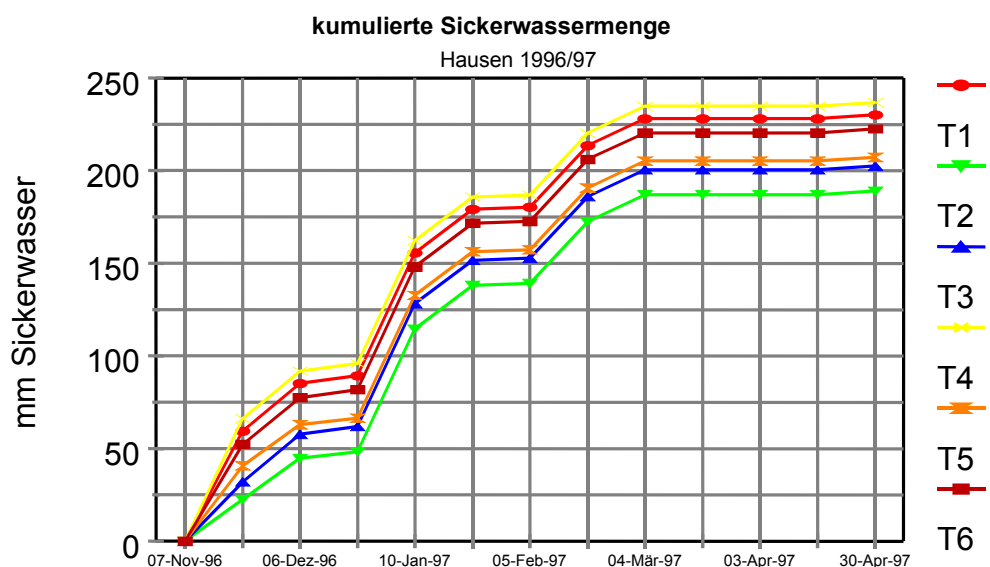


Trotz einer leichten Abfalls der kumulierten Stickstoffmineralisierung bei Variante 1 Anfang April erscheint der Kurvenverlauf bei den verschiedenen Varianten ähnlich zu sein, was uns zu der Aussage verleitet, daß die Düngungs- und Beregnungspraxis zu Mais keine Auswirkung auf den Verlauf der Mineralisation des Bodens über Winter gehabt hat.

2.2.3.2.2 Die Auswaschung

Die Sickerwassermengen im Zeitraum zwischen den Kulturen sind höher als im Vorjahr: 306 mm Niederschläge gegenüber 164 mm 1995/96. Ab Anfang März endet die Versickerung. Insgesamt ergibt sich im Betrachtungszeitraum ein maximaler Unterschied von 50 mm Sickerwasser zwischen den Varianten 2 und 4, bei einer Gesamtversickerung von rund 220 mm im Schnitt aller Varianten.

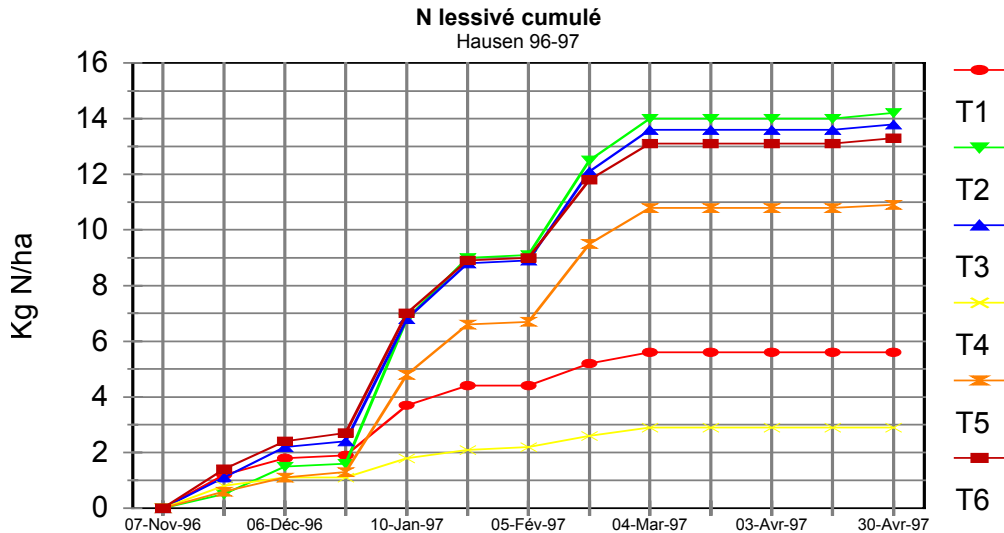
Wie im Vorjahr ist die Versickerung auf ungedüngten Parzellen (T1 und T4) höher, aber die Unterschiede zwischen den Varianten sind deutlich geringer. Die Höhe der Niederschläge hat die Unterschiede nivelliert.



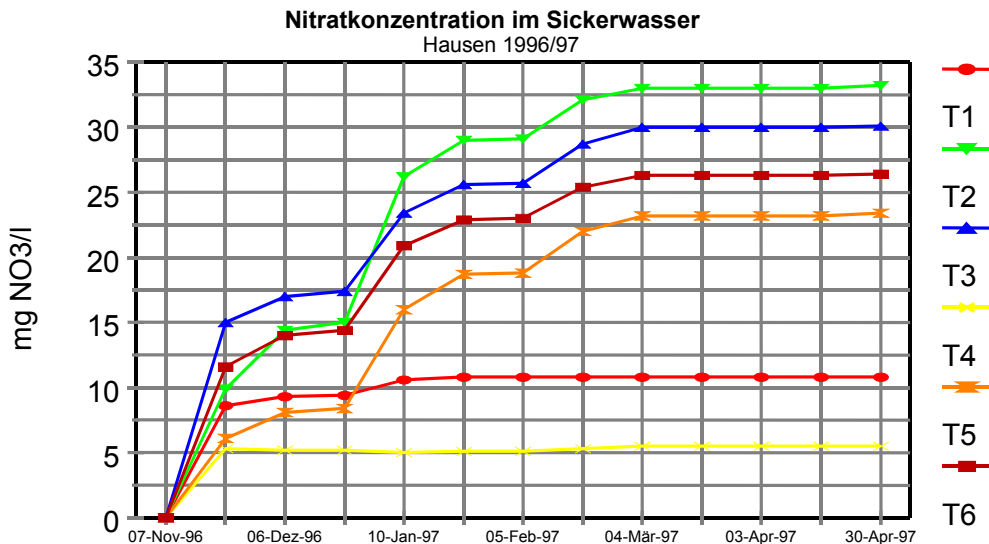
Was die Auswaschung anbelangt, sind die Unterschiede 1996/97 ausgeprägter als im Vorjahr, wo sie zu gering für eine Analyse waren. Bei gleicher Stickstoffdüngung sind die ausgewaschenen Stickstoffmengen höher, wenn der Schlag nicht beregnet wurde. Eine gute Wasserversorgung während der Vegetationszeit erlaubt dem Mais eine bessere Verwertung des verfügbaren Stickstoffs und reduziert die Stickstoffauswaschung über Winter. Die Stick-

stoffauswaschung bei der SchALVO-gedüngten (175 N), unberegneten Parzelle (T2) ist genauso hoch wie bei der OGL-gedüngten (220 N), beregneten (T6). Die Beregnung hat somit ermöglicht, 44 kg N/ha mehr zu verwerten und 17 dt/ha mehr zu produzieren ohne die Stickstoffauswaschung während des Winters zu erhöhen.

Selbst wenn der Schlag ungedüngt bleibt, erlaubt die Beregnung den Pflanzen eine bessere Verwertung des vom Boden mineralisierten Stickstoffs (die beregnete Nullparzelle bringt höhere Erträge als die unberegnete) und damit eine Reduzierung der Nitratauswaschung in der vegetationslosen Zeit.



Die Nitratkonzentrationen im seit 7. November angefallenen Sickerwasser bleiben von Anfang März bis zur Maisaussaat stabil. Die Unterschiede zwischen den Varianten sind deutlicher als 1995/96. Die Rangfolge der Varianten ist dieselbe wie bei der Auswaschungsfracht, mit Nitratkonzentrationen zwischen 5 (T4) und 33 mg NO₃/l (T2) im Durchschnitt des Gesamtzeitraums.



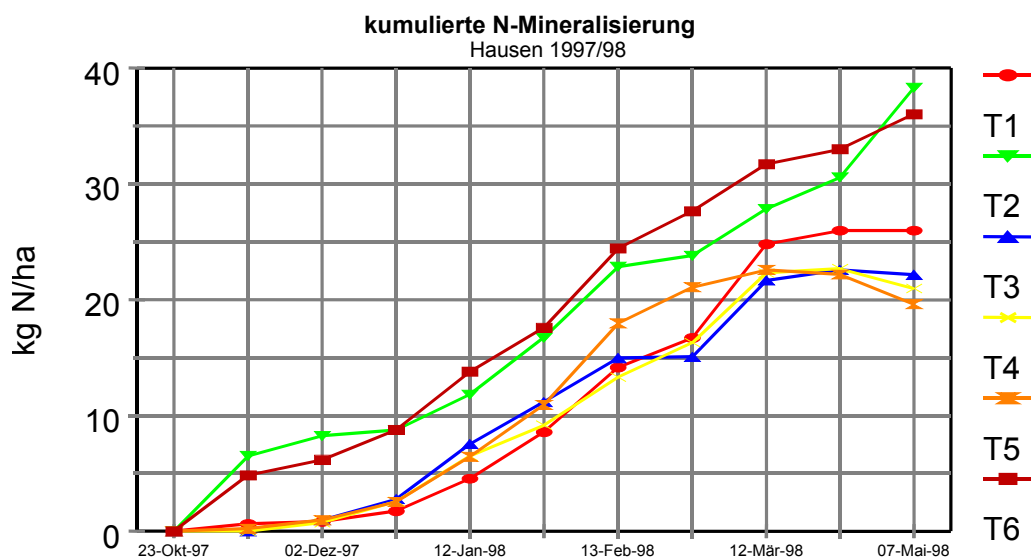
2.2.3.3 Winter 1997/98

2.2.3.3.1 Die kumulierte Stickstoffmineralisierung

Im Gegensatz zu den beiden anderen Jahren fehlt die Reorganisationsphase zu Anfang des Zeitraums völlig. Erklären kann man dies, wie schon 1996, mit dem gegenüber 1995 möglicherweise höheren Stickstoffgehalt im Maisstroh. Nachstehend die Erträge von 1997:

Variante		Kornertrag (dt/ha)
T1	unberechnet – 0N	54
T2	unberechnet - Schalvo	107
T3	unberechnet - OGL	116
T4	berechnet – 0N	71
T5	berechnet - Schalvo	118
T6	berechnet - OGL	122

Die Mineralisationsdynamik der verschiedenen Varianten scheint bis Mitte März ähnlich zu sein. Dann gehen die 6 Kurven auseinander. Eine Abnahme des mineralisierten Stickstoffs, wie sie 1996/97 nur in Variante 1 auftrat, ist im Winter 1997/98 bei den Varianten 3, 4 und 5 zu beobachten. Während in den Varianten 2 und 6 die Mineralisation weiter anhält, stagniert sie bei Variante 1. In den Varianten 3, 4 und 5 nimmt die mineralisierte Stickstoffmenge ab.



Diese unterschiedlichen Entwicklungsverläufe der kumulierten N-Mineralisierung ab Mitte März scheinen nicht auf die Düngung und Beregnung in der vorangegangenen Anbauperiode zurückzuführen sein. Man kann die Hypothese aufstellen, daß bestimmte Bedingungen (die der Varianten 3,4 und 5) Verluste an mineralisiertem Stickstoff durch Denitrifikation begünstigen. Diese Unterschiede zwischen den Varianten lassen sich nur mit Bodenunterschieden der Einzelparzellen erklären (Luftverhältnisse, Bodenverdichtungen, ...).

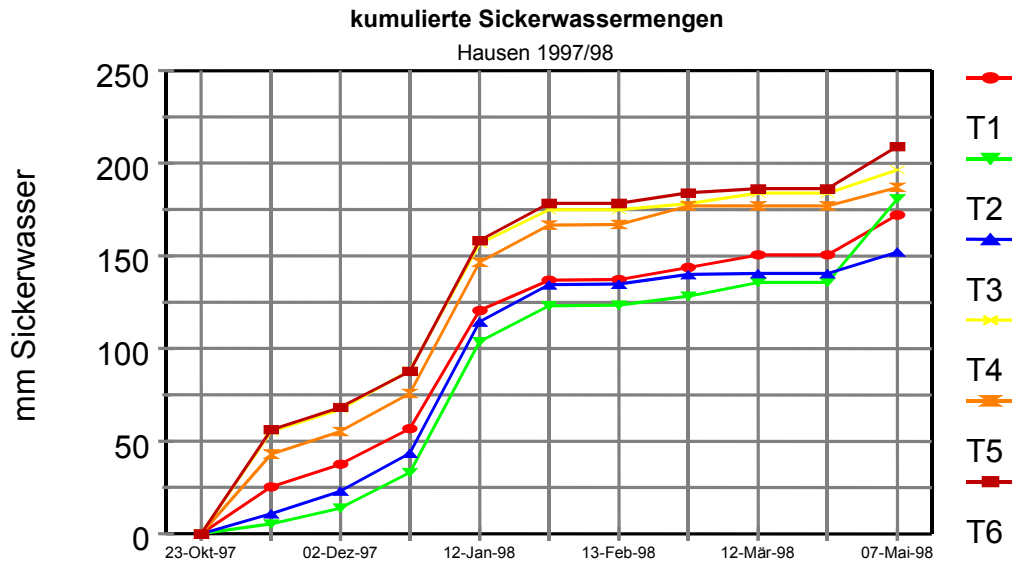
Die im Winter 1996/97 bei einer Variante beobachteten Verluste an mineralisiertem Stickstoff waren im Winter 1997/98 bei drei Varianten zu beobachten und könnten auf die großen Temperaturunterschiede zwischen diesen drei Jahren zurückzuführen sein. Nachstehend die kumulierten Niederschläge sowie die durchschnittlichen Temperatursummen vom 05.11 bis 24.04. in jedem Winter:

Zeitraum	kumulierte Niederschläge	mittlere Temperatursummen
Winter 1995/96	164 mm	182
Winter 1996/97	306 mm	553
Winter 1997/98	332 mm	658

So können erhöhte Temperaturen zu Winterende und Frühjahrsbeginn Mineralstickstoffverluste durch Denitrifikation begünstigen, wenn die Bodenverhältnisse günstig sind (Parzellen 3, 4 und 5 anno 1997/98).

2.2.3.3.2 Ergebnisse zur Auswaschung

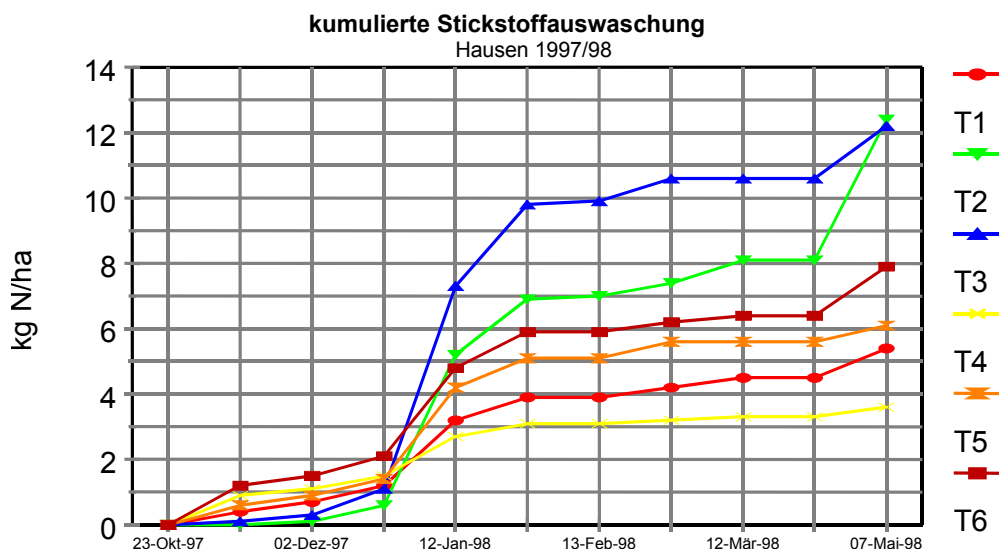
Die Sickerwassermengen über den gesamten Betrachtungszeitraum sind ähnlich wie die 1996/97 beobachteten. Dies läßt sich erklären mit etwa gleich hohen Winterniederschlägen in den beiden Jahren (310 mm 1996/97 und 330 mm 1997/98).



Mit Ausnahme des Zeitabschnitts direkt nach der Ernte, wo sich Unterschiede zwischen den Varianten wie in den beiden Vorjahren beobachten lassen, verlaufen die Kurven praktisch parallel und es läßt sich kein Effekt der Behandlungen auf die Stärke der Sickerwasserbildung ausmachen. Im Gegensatz zu den anderen beiden Jahren lassen die zu Anfang des Zeitraums beobachteten Unterschiede eine abweichende Rangfolge der Varianten erkennen: Auf den drei Parzellen mit Beregnung (T4, T5 und T6) lassen mehr Wasser versickern als die unberegneten (T1, T2 und T3). Man kann annehmen, daß ein Sommer 1997, der trockener als der der beiden Vorjahre war, sogar auf einer ungedüngten Parzelle, die eigentlich weniger Wasser verbrauchen sollte, der Boden zum Zeitpunkt der Ernte stärker ausgetrocknet ist als der der Beregnungspartellen, was zu einer anderen Reihenfolge der Varianten als in den beiden anderen Jahren führt.

Der größte Unterschied zwischen Varianten über die Gesamtdauer hinweg beträgt 60 mm bei einer Gesamtsickerwassermenge von rund 180mm.

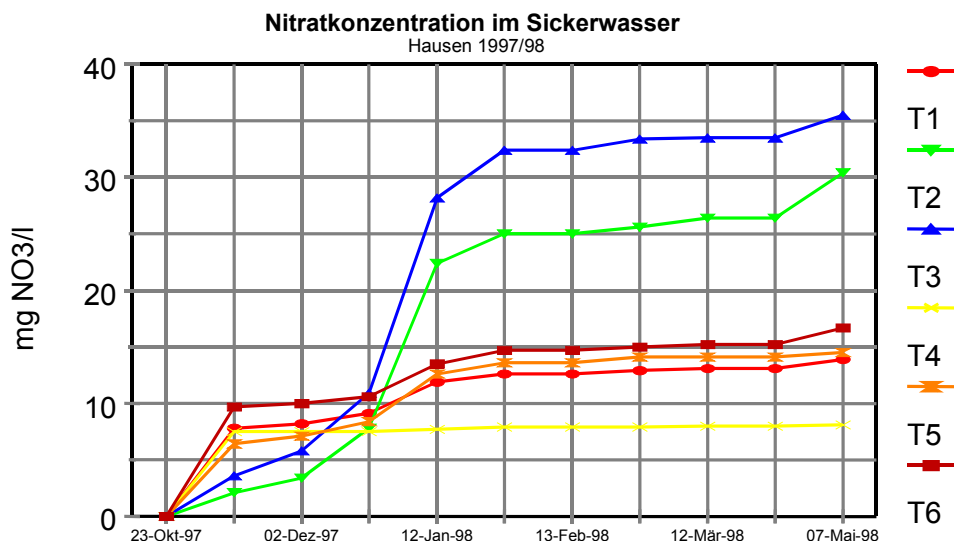
Bezüglich der Stickstoffauswaschung zeigen sich klare Unterschiede zwischen den Varianten. Die zwei unberegneten Varianten (OGL und SchALVO) mit 12 kg N/ha an der Spitze. Die Varianten 6 und 5 (OGL und SchALVO mit Beregnung) folgen mit 8 und 6 kg N/ha. Die ungedüngten Varianten liegen mit weniger als 5 kg N/ha am niedrigsten.



Zwischen den beiden letzten Terminen lässt sich eine starke Zunahme der Auswaschungsmenge beobachten, was auf bedeutende Niederschläge und einen längeren Zeitraum zurückgeführt wird. (150 mm zwischen 25. März und 07. Mai).

Wie bereits die Ergebnisse der beiden vorhergehenden Jahre vermuten lassen, ist die Auswaschung in den Parzellen, die während der Vegetationszeit nicht beregnet wurden, deutlich höher: Sogar bei 20 kg N/ha niedrigerer Stickstoffdüngung ist die ausgewaschene Stickstoffmenge höher als bei Beregnung. Die richtig gesteuerte Beregnung verbessert also die Stickstoffaufnahme der Kultur und führt somit zu niedrigeren Nmin-Werten nach der Ernte und im Folgenden deutlich verringerter Nitratauswaschung.

Die an den Wasserbedarf von Mais angepasste Beregnung reduziert also die Nitratauswaschung.



Wie die vorstehende Abbildung zeigt, weisen die gedüngten, aber nicht beregneten Parzellen höhere Nitratkonzentrationen im Sickerwasser auf als die anderen Varianten. Die Werte bewegen sich in derselben Größenordnung wie in den beiden vorangegangenen Jahren und bleiben immer unter 40 mg NO₃/l Wasser.

Schlussfolgerung: Rekapitulation der Ergebnisse von Hausen und Rouffach

Die Auswertung der Simulationsergebnisse von Hausen zeigt einen Effekt der Beregnung auf den Verlauf der Stickstoffmineralisierung nach der Ernte in Form einer umso stärkeren Stickstofffestlegung, je grösser die eingearbeiteten Strohmenge ist. Betrachtet man jedoch die gesamte Zeitspanne ohne Kultur, so zeigt sich kein Effekt der Beregnung auf die Gesamtmenge an mineralisiertem Stickstoff.

Das Beregnungsregime scheint auf die Auswaschungsmenge zu Beginn der Dränperiode (im ersten Monat nach der Ernte) über zwei Phänomene Einfluss zu haben: Zum einen über den Einfluss auf das Maiswachstum. Die Beregnung führt zu einer erhöhten Wasseraufnahme, so daß der Boden bei der Ernte stärker ausgetrocknet sein kann. Dies könnte man meinen, wenn man die Ergebnisse von Hausen im Jahr 1995 und, in abgeschwächter Form, 1996 anschaut. Andererseits kann die Beregnung die Sickerwasserbildung auch direkt beeinflussen, wenn mehr beregnet wird, als die Pflanze benötigt und die Bodenfeuchtwerte bei der Ernte höher sind. Diese Hypothese kann man aufstellen, wenn man die Ergebnisse von Rouffach und Hausen 1997/98 betrachtet. Insgesamt unterscheiden sich die Sickerwassermengen der verschiedenen Varianten während der ganzen Periode zwischen zwei Kulturen um höchstens 40 bis 50 mm.

Die in Rouffach und Hausen erzielten Ergebnisse belegen deutlich einen gekoppelten Effekt von Düngung und Beregnung auf die ausgewaschene Nitratmenge sowie die Nitratkonzentration im Sickerwasser. Über die drei Jahre hinweg findet man in Hausen dieselbe Rangfolge der Varianten bezüglich der Nitratauswaschung:

	Winter 1995/96	Winter 1996/97	Winter 1997/98	Insgesamt
+		T2	T2=T3	unberechnet - SchALVO
	T3	T3		unberechnet - OGL
	T6	T6	T6	berechnet - OGL
	T5	T5	T5	berechnet - SchALVO
-	T1	T1	T1	unberechnet - 0 N
	T4 = T2	T4	T4	berechnet - 0 N

Lediglich die Variante T2 stimmt im Winter 1995/96 nicht mit den Ergebnissen der beiden anderen Jahre überein, da die Sickerwasserbildung nach der Ernte 1995 sehr spät einsetzte.

Die Ergebnisse zu den durchschnittlichen Nitratkonzentrationen des Sickerwassers unter den verschiedenen Parzellen während der gesamten Periode zwischen zwei Kulturen zeigen in Hausen eine ähnliche Reihung:

	Winter 1995/96	Winter 1996/97	Winter 1997/98
+	T3	T2	T3
	T6	T3	T2
	T2	T6	T6
	T5	T5	T5
	T1	T1	T1
-	T4	T4	T4

In Hausen treten, egal welche Variante, keine Konzentrationen über 40 mg/l auf.

Nach dem LIXIM-Modell ergibt sich für den Standort Hausen, daß die Stickstoffauswaschung und die Nitratkonzentration in den Varianten ohne Beregnung höher sind als in den Varianten, die den Pflanzen das erforderliche Wasser zur Verfügung stellen und wo die Pflanzen aus der Bodenlösung soviel Nitrat wie möglich aufnehmen. Dieses Ergebnis läßt sich in den beiden, klimatisch unterschiedlichen Jahren 1996/97 und 1997/98 feststellen. 1997/98 ist es jedoch deutlicher.

In Rouffach zeigt die Modellrechnung, daß die Beregnung eine Rolle spielt, sobald die ordnungsgemäße Düngung überschritten wird. Dieses Ergebnis ist jedoch mit Vorsicht zu genießen, da die Berechnung für Rouffach nur mit einer begrenzten Anzahl von Daten aus lediglich einem Jahr durchgeführt werden konnte und die Ergebnisse folglich aus methodischer Sicht angreifbar sind.

Wirtschaftlichkeit der Beregnung in Rouffach und in Hausen

Für die beiden Standorte, die sich durch eine relativ hohe Feldkapazität auszeichnen, läßt sich eine schnelle und überschlägige Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Beregnung vornehmen.

In den drei Versuchsjahren, die sich klimatisch deutlich unterscheiden, beträgt der durch Beregnung erzielte Mehrertrag

27,4 dt/ha in Rouffach und
11,2 dt/ha in Hausen.

Multipliziert man diesen Mehrertrag mit dem durchschnittlichen Preis von 70 FF/dt (21 DM) und berücksichtigt man die bei Beregnung gegenüber unberegnetem Mais um 479 FF/ha höhere Anbauprämie (nur in F), so ergeben sich folgende Mehreinnahmen durch Beregnung:

2.397 FF/ha in Rouffach
1263 FF/ha in Hausen.

Von diesen Mehrerlösen sind die Kosten der Beregnung abzuziehen. Diese sind natürlich veränderlich. Im Durchschnitt der Kleinregion Hardt beliefen sie sich jedoch 1998 auf 1350 FF/ha (Werte von der betriebswirtschaftlichen Beratung des Oberelsass).

Nimmt man dies als Grundlage für unsere Berechnung, so bleiben dem beregnenden Landwirt:

2397 FF/ha – 1350 FF/ha = +1047 FF/ha in Rouffach
1263 FF/ha – 1350 FF/ha = - 87 FF/ha in Hausen.

Die Höhe der Kosten ist für Standorte mit guter Wasserspeicherfähigkeit wahrscheinlich zu hoch angesetzt, insbesondere für Hausen. Aber auch wenn man die Kosten auf 1000 FF/ha reduziert, stellt sich in Hausen ernsthaft die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Beregnung. Zu bedenken ist, dass von diesem höheren Deckungsbeitrag noch die Arbeit zu entlohnen ist (Aufbau der Beregnung, Umsetzung des Regners, ...), deren Kosten schwer zu schätzen sind, die jedoch in Anbetracht der manchmal mühsamen Arbeit keinesfalls zu vernachlässigen sind.

Hinzu kommen noch Kosten für zusätzliche Steuern und Sozialabgaben, die umso höher sind, je besser das Ergebnis ist. Von daher stellt sich die Rentabilitätsfrage auch in Rouffach.

Die oben genannten Durchschnittswerte geben einen Anhaltspunkt. Eine jährliche Auswertung von zwei, was die Niederschläge angeht, sehr unterschiedlichen Jahren wie 1996 (feucht) und 1998 (trocken) erlaubt eine präzisere Aussage über die Rentabilität:

Das Beispiel wurde berechnet für Rouffach, weil dort die Beregnung im Schnitt wirtschaftlicher war als in Hausen und weil die Kalkulationsdaten aus elsässischen Betrieben stammen.

Die Ertragsunterschiede durch Beregnung beziehen sich auf die Varianten 3,5 mm/d x 120 kg N/ha. Für 1996 wurde mit variablen Kosten der Beregnung von 1000 FF anstatt von 1350 FF/ha gerechnet.

Jahr	Mehrertrag durch Beregnung	GAP-Prämienzuschlag für Beregnung	Mehreinnahmen	Differenz
1996	13,4 dt/ha	391 FF/ha	1329 FF/ha	+ 329 FF
1998	49,8 dt/ha	562 FF/ha	4048 FF/ha	+ 2698 FF

Diese, auf der Datengrundlage des Versuches von Rouffach aufbauende Rechnung zeigt sehr schön die Unterschiede der Wirtschaftlichkeit der Beregnung in Abhängigkeit von den

Sommerniederschlägen. In feuchten Jahren lohnt sich die Beregnung an diesem Standort kaum oder gar nicht. In trockenen Jahren lohnt sie sich dagegen ganz klar.

Die Landwirte, die sich auf solchen Standorten eine Beregnung anschaffen stellen die Ertragssicherheit in den Vordergrund und glauben, dass sie mehr verlieren, wenn sie in trockenen Jahren nicht beregnen, als wenn sie in nassen Jahren beregnen und keinen Mehrerlös haben.

ALLGEMEINE SCHLUSSFOLGERUNG

Empfohlene Stickstoffdüngung und Beregnung auf tiefgründigen Böden der Rheinebene:

Für sein Wachstum und um dem Landwirt ein Einkommen zu verschaffen braucht der Mais Stickstoff und Wasser.

Diese beiden Wachstumsfaktoren sind eng miteinander verbunden. Ohne Stickstoff ist der Ertrag stark reduziert. Ohne Wasser kann der Mais den im Boden vorhandenen Stickstoff (Mineralisation und Düngung) nicht aufnehmen und verarbeiten, so daß die Gefahr der Nitratauswaschung über Winter erhöht ist.

Übersteigt andererseits die Stickstoffdüngung den Bedarf der Kultur deutlich, ist diese teilweise verloren, da der überschüssige Stickstoff den Ertrag der Pflanze nicht über ein Maximum hinaus anheben kann. Das bedeutet einen wirtschaftlichen Verlust, gleichzeitig aber auch eine Gefahr für die Umwelt, da der nicht verbrauchte Stickstoff ins Grundwasser ausgewaschen wird.

Die Kombination von 170 kg N/ha und 2 mm/d Beregnung scheint am besten angepasst an Jahre mit durchschnittlichen (1997) oder überdurchschnittlichen (1996) Niederschlägen. In trockenen Jahren (1998) erweist sie sich jedoch als ertragsbegrenzend. Für die Standort-situation von Rouffach und Umgebung scheint die Kombination 170 kg N/ha x 3,5 mm/d Beregnung am besten geeignet zu sein, die Produktionskosten zu begrenzen und einen zufriedenstellenden Ertrag zu gewährleisten (117 dt/ha bei 170 N x 3,5 mm im Jahr 1998).

Stimmt die Stickstoffdüngung, so erhöht eine mangelhafte Wasserversorgung die Gefahr der Nitratauswaschung über Winter, wie es die Berechnung mit dem LIXIM-Modell für den Standort Hausen belegt.

In Rouffach werfen die, methodisch angreifbaren (zu schmale Datenbasis), Ergebnisse von Lixim die Frage nach der Qualität des unter einem Maisschlag mit Beregnung gebildeten Sickerwassers auf. Die Auswaschung während der Vegetationsperiode bleibt, unabhängig von der Behandlung, unbedeutend.

Man kann also vernünftigerweise annehmen, daß sich mit einer richtig auf die Bedürfnisse der Kultur abgestimmten Stickstoffdüngung und einer gut gesteuerten Beregnung ein ökonomisches und ökologisches Optimum erreichen läßt. Dieses muß jedoch noch näher bestimmt werden.

Nicht alle beregneten Maisbestände der Rheinebene werden bezüglich dieser beiden Betriebsmittel, Stickstoff und Wasser, so exakt geführt. Der durchgeführte Versuch gibt auch keine Antworten für leichteren und durchlässigeren Böden der flachgründigen Hardt.

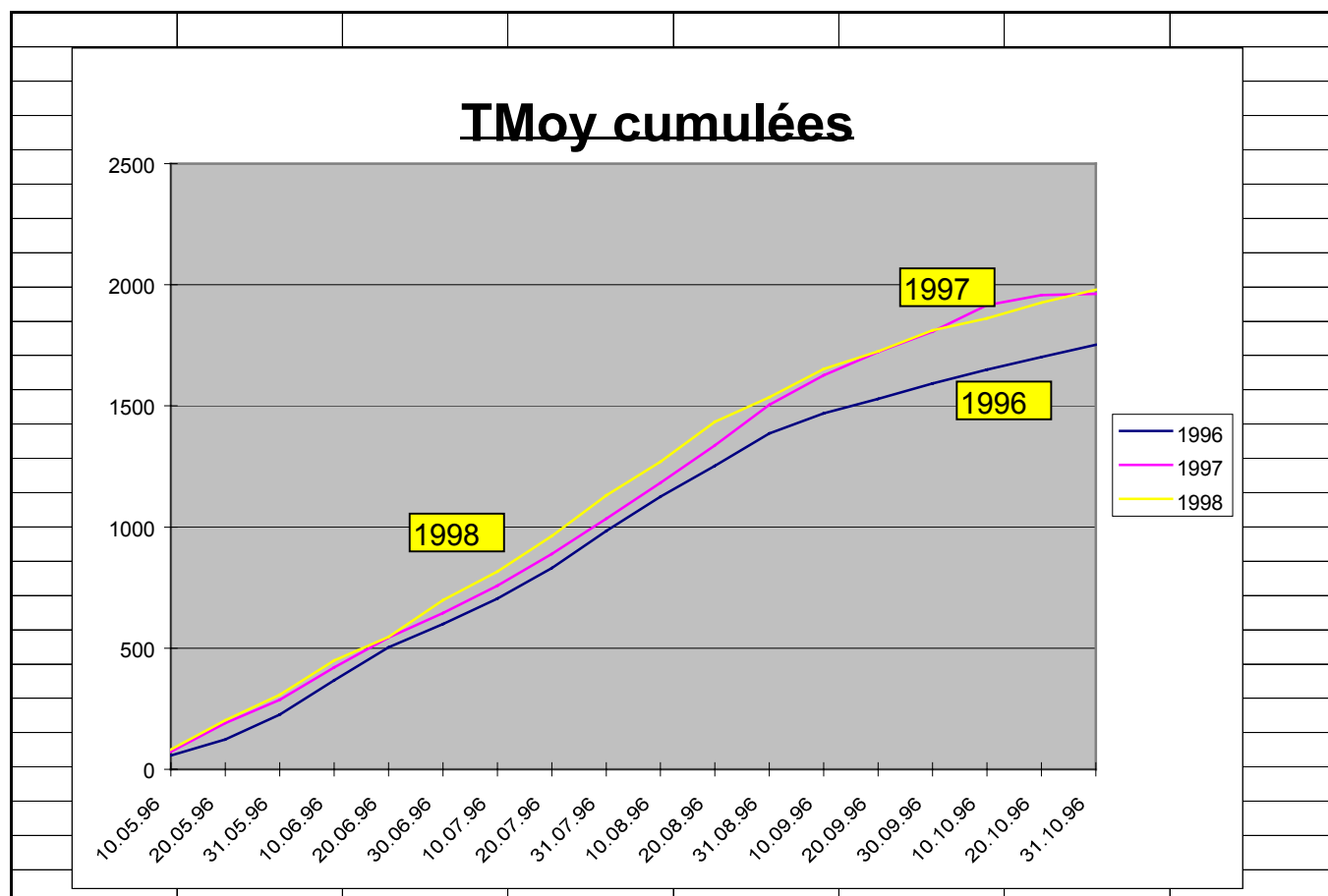
Die Minimallösung würde zweifelsohne darin bestehen, die bereits in Form von Ferti-Mieux-Aktionen und Beregnungshinweisen bestehende Beratung zu verstärken, wahrscheinlich aber auch in einer besseren Ausstattung der Landwirte mit Steuerungsinstrumenten oder in einer Anpassung des Beregnungsmaterials.

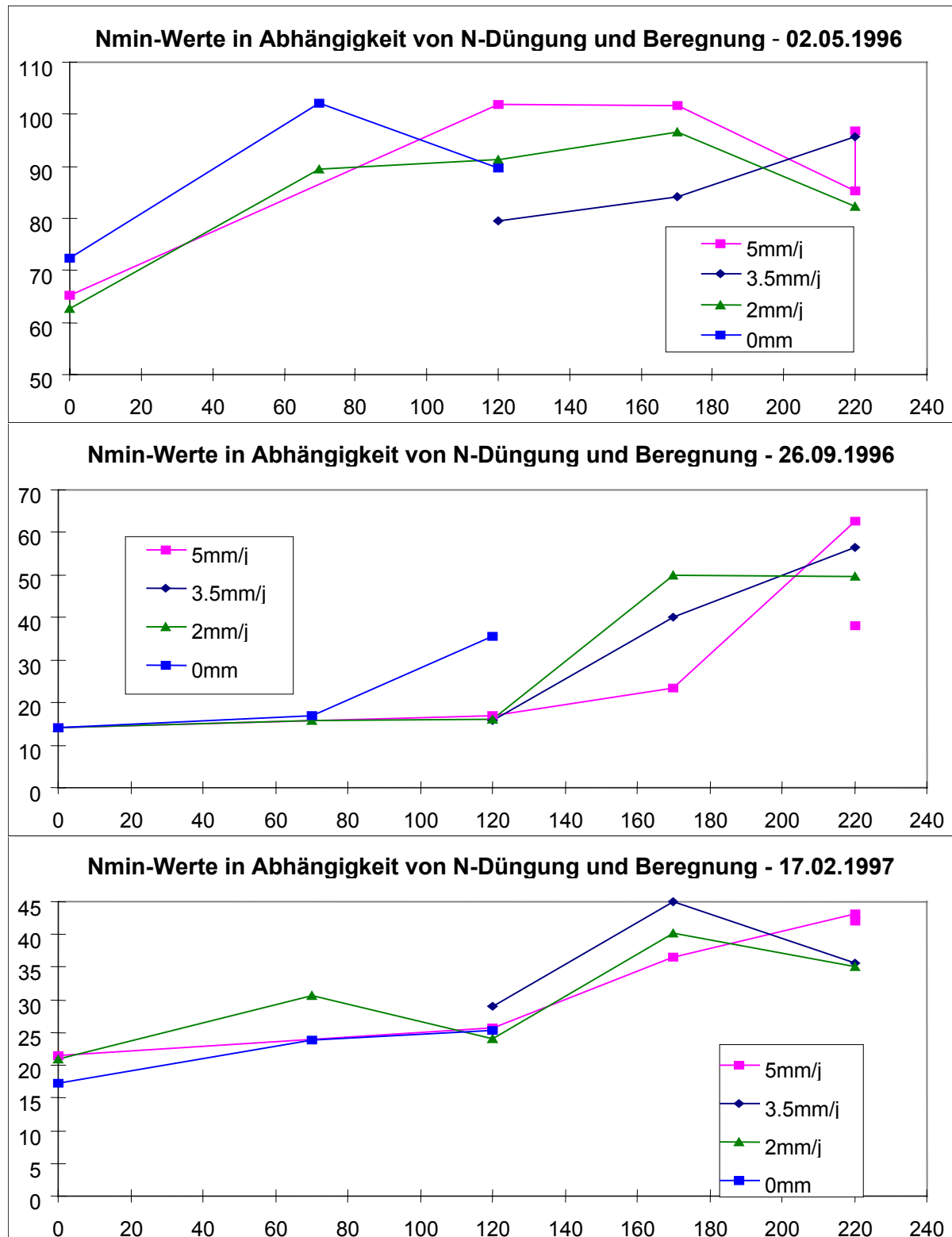
Anhang 1:**Die kumulierten Durchschnittstemperaturen**

01/05/96	30/09/96			1588	°C
01/05/96	31/10/96			1748	°C
01/05/97	30/09/97			1800	°C
01/05/97	31/10/97			1956	°C
01/05/98	30/09/98			1784	°C
01/05/98	31/10/98			1952	°C

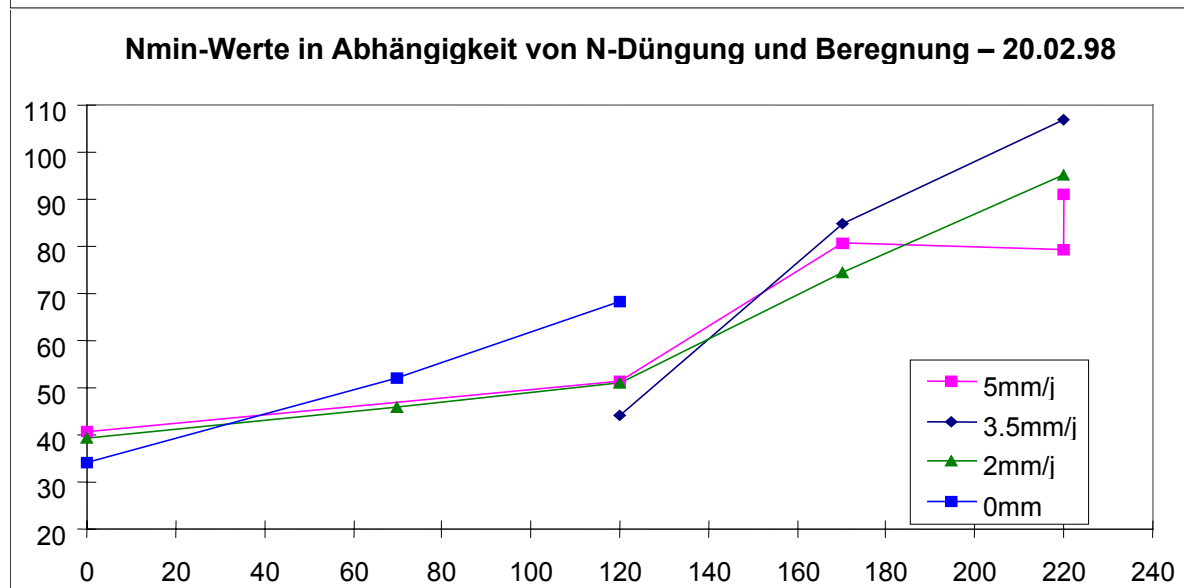
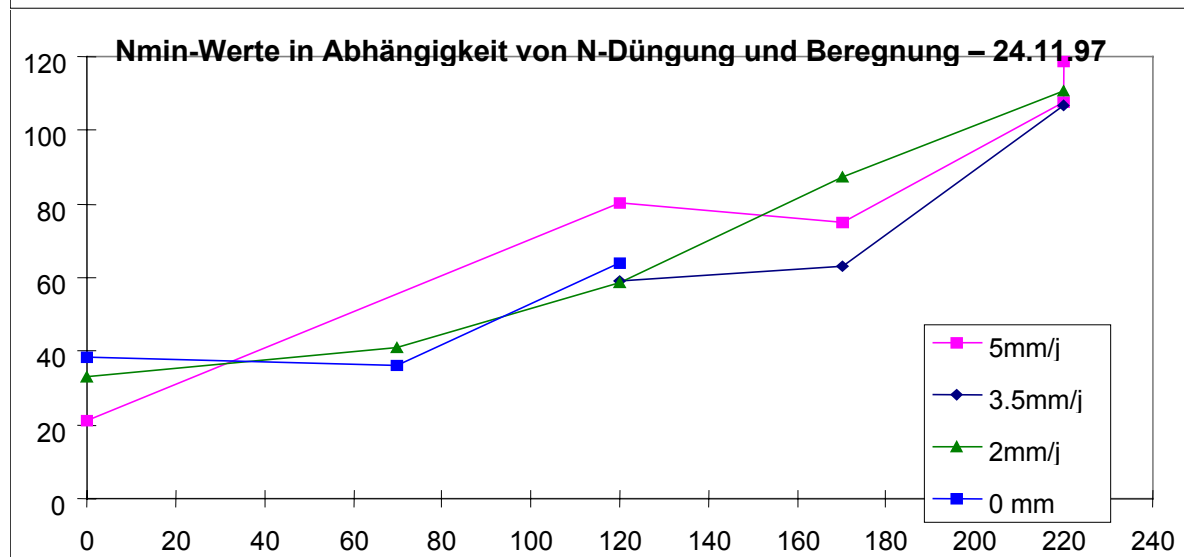
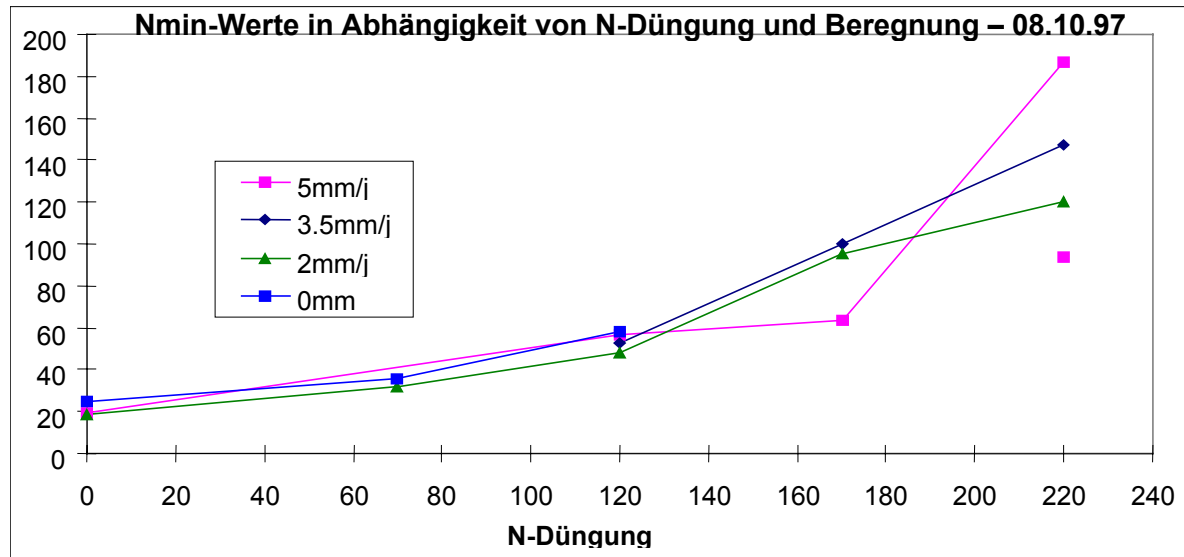
Die obige Tabelle gibt für die Zeitspannen 01.05. bis 30.09. bzw. 01.05. – 31.10. in den drei Jahre 1996, 1997 und 1998 die Summen der Durchschnittstemperaturen (über 6°C und gekappt bei 30°C) an.

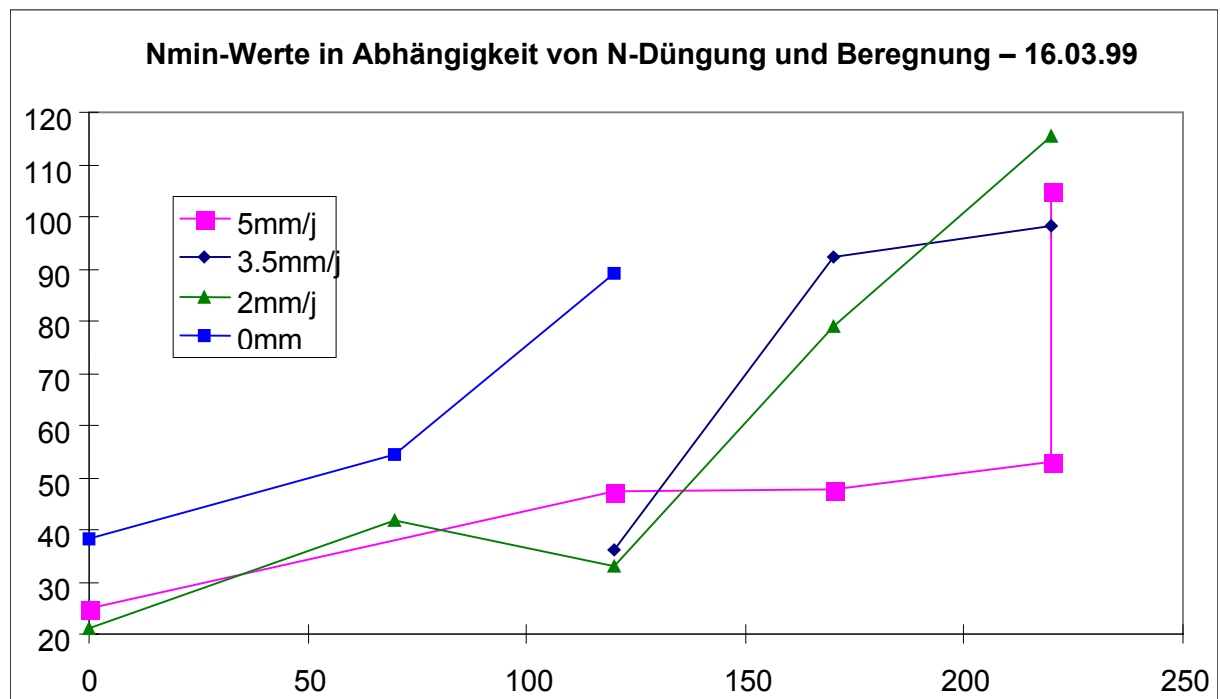
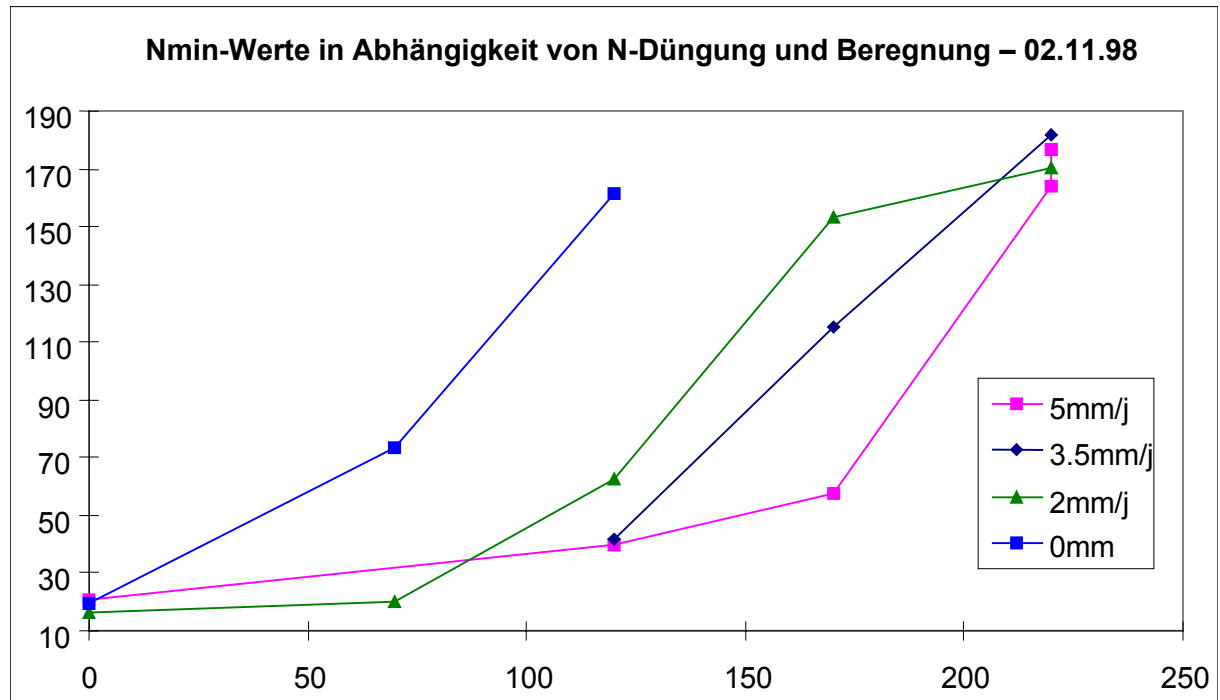
Die nachstehende Abbildung zeigt die kumulierten Werte der klassischen Temperaturmittelwertsummen $(T_{max} + T_{min}) / 2$ vom 10.05. bis 31.10. eines jeden Jahres.



Anhang 2:**Bodennitratgehalte in Rouffach in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung****1996**

Bodennitratgehalte in Rouffach 1997



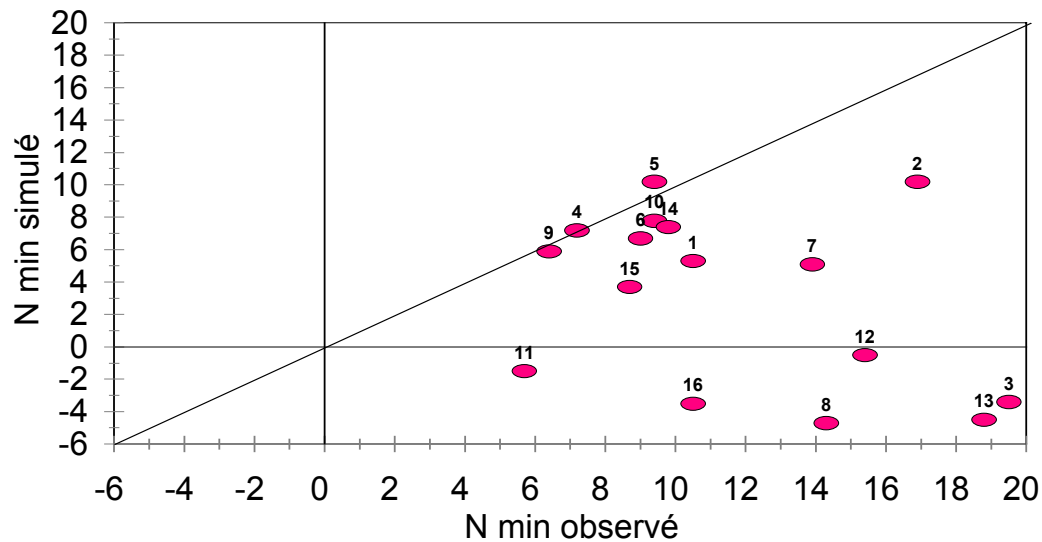
Bodennitratgehalte in Rouffach 1998


Anhang 3:

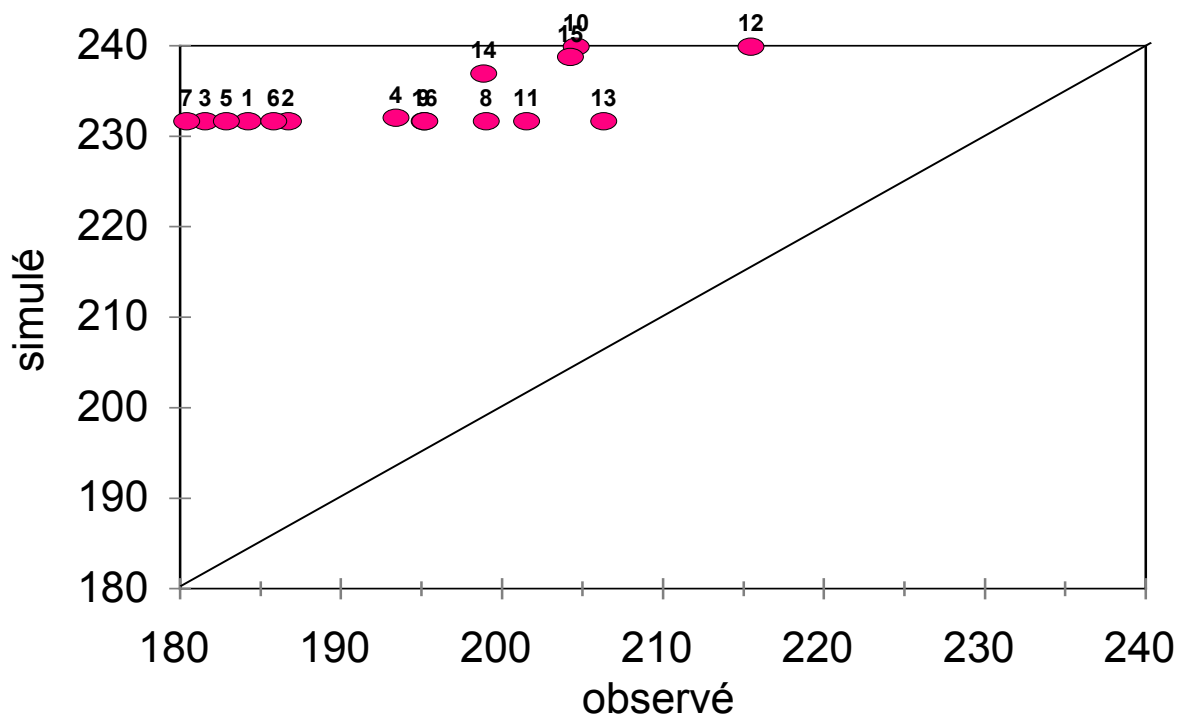
LIXIM-Simulation 1998/99 – Rouffach

Nachstehend zwei vergleichende Abbildungen mit simulierten und tatsächlichen Werten: Man beachte die großen Abweichungen, welche die Zuverlässigkeit der Ergebnisse, zusätzlich zu der geringen Anzahl von Werten, in Frage stellt!

N min 0-30 - Rouffach



Stock d'eau 0-90 Rouffach



Anhang 4:**LIXIM-Parameter**

Für eine Modellrechnung mit LIXIM braucht es drei Eingabeblätter: ein Wetterdatenblatt, ein Datenblatt (s. Anhang 25) und ein Parameterblatt.

Nachstehend die beiden Parameterblätter für die Simulationen in Rouffach und in Hausen. Es handelt sich um die bereits mehrfach korrigierten Endversionen. Das Parameterblatt für Hausen wurde für alle drei Jahre verwendet.

ROUFFACH.

Nombre d'intervalles de calcul (1 ou 2)
2
Coefficient d'Arrhenius de temperature : valeur nominale 0.115
0.125
Temperature de reference : valeur nominale 15
15
Taux de mineralisation a l'humidite minimale : valeur nominale 0.20
0.20
Mode de calcul du profil initial : homogene par horizon (0) ou spline (1)
1
Facteur de ponderation sur l'humidite de la premiere couche (1 a 8)
3
Epaisseur de la couche evaporante (cm) : valeur nominale 60
60
Coefficient puissance de decroissance de l'evaporation : valeur nominale 2
1.
Epaisseur de la couche mineralisante (cm) : valeur nominale 35
30
Concentration moyenne de l'eau de pluie (mgN/l) : valeur nominale 2.0
2.0
Nombre de colonnes du fichier (-2, 2, 3, 4, 5 ou 6)
3
Fraction mobile d'eau
1.00

HAUSEN

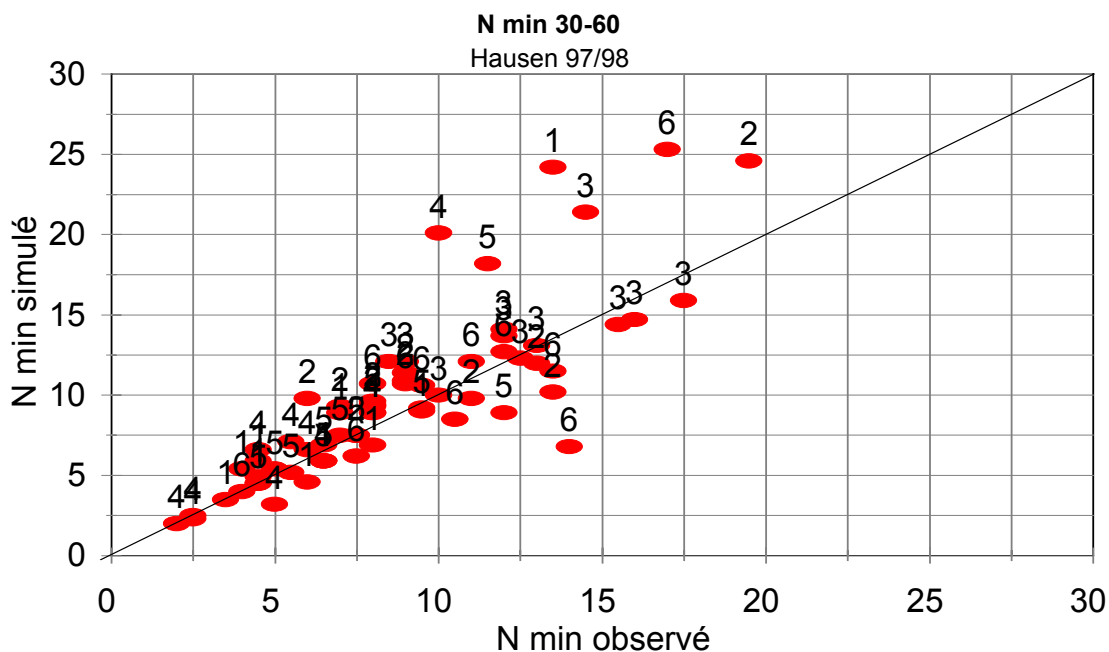
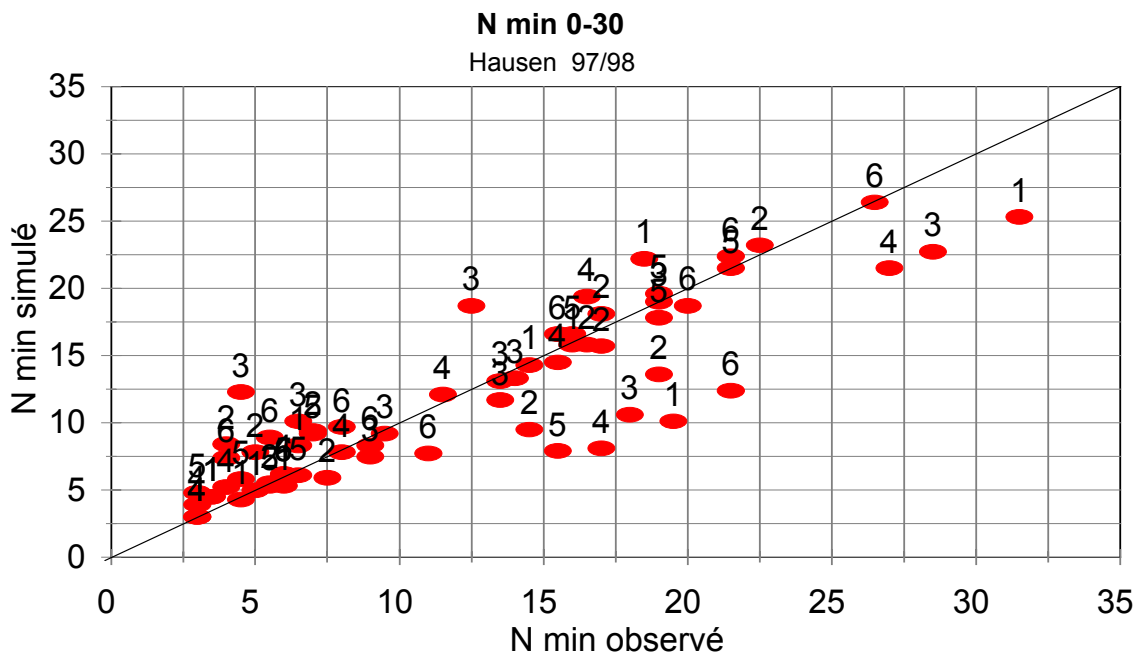
Nombre d'intervalles de calcul (1 ou 2)
2
Coefficient d'Arrhenius de temperature : valeur nominale 0.115
0.115
Temperature de reference : valeur nominale 15
15
Taux de mineralisation a l'humidite minimale : valeur nominale 0.20
0.20
Mode de calcul du profil initial : homogene par horizon (0) ou spline (1)
1
Facteur de ponderation sur l'humidite de la premiere couche (1 a 8)
2
Epaisseur de la couche evaporante (cm) : valeur nominale 60
60
Coefficient puissance de decroissance de l'evaporation : valeur nominale 2
2.
Epaisseur de la couche mineralisante (cm) : valeur nominale 35
30
Concentration moyenne de l'eau de pluie (mgN/l) : valeur nominale 2.0
2.0
Nombre de colonnes du fichier (-2, 2, 3, 4, 5 ou 6)
4
Fraction mobile d'eau 1.00

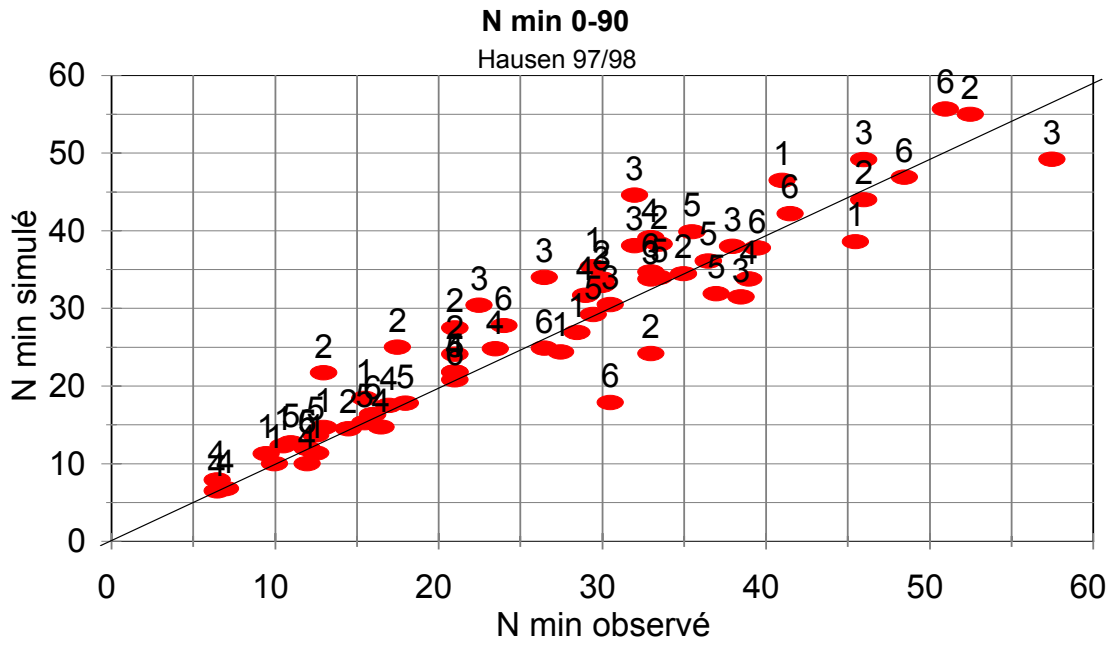
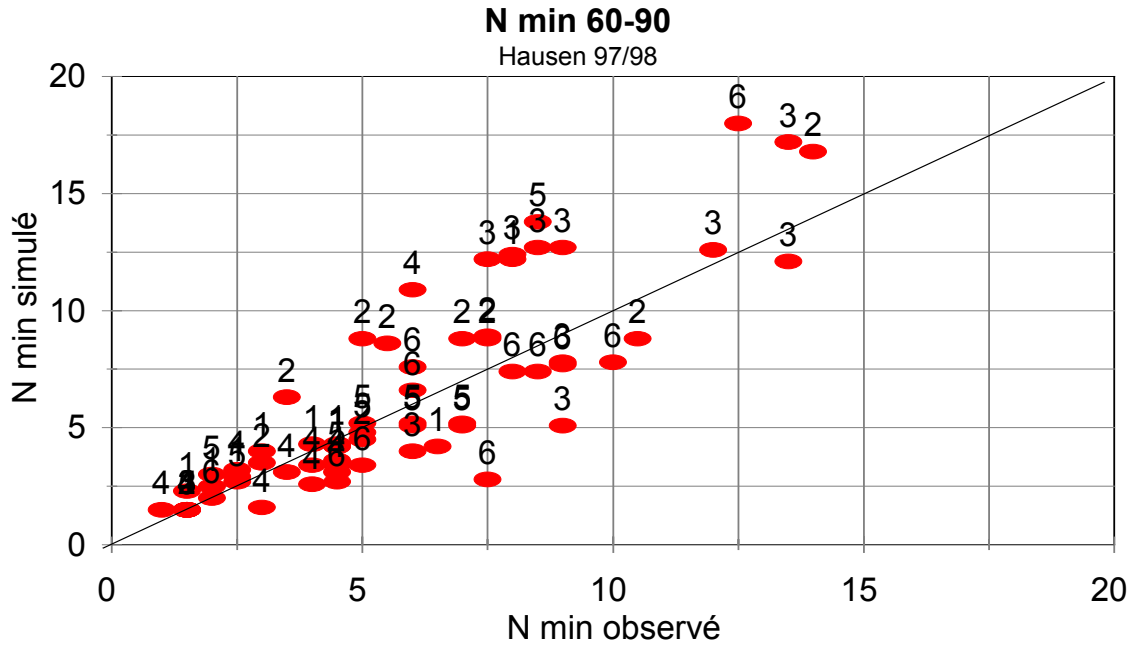
Anhang 5:

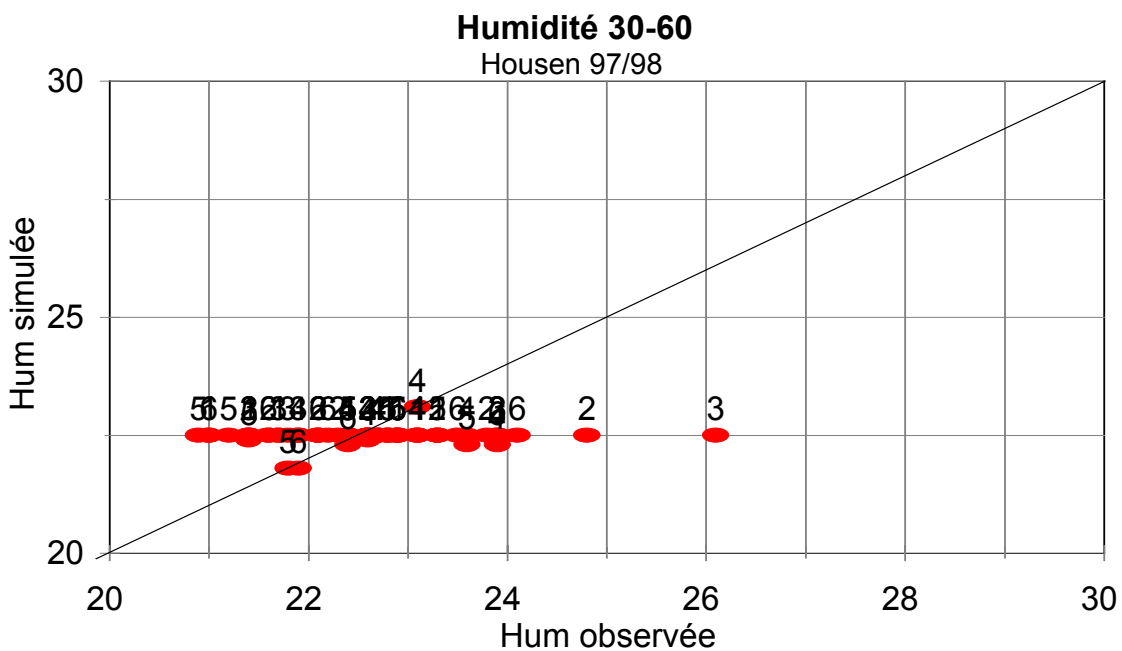
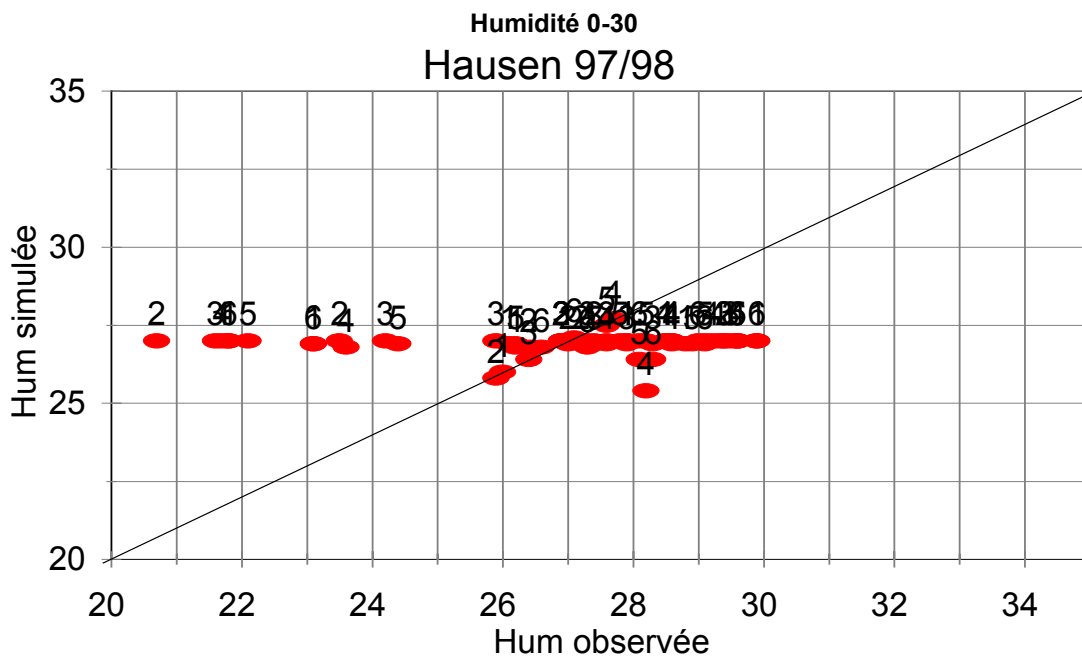
LIXIM – Hausen

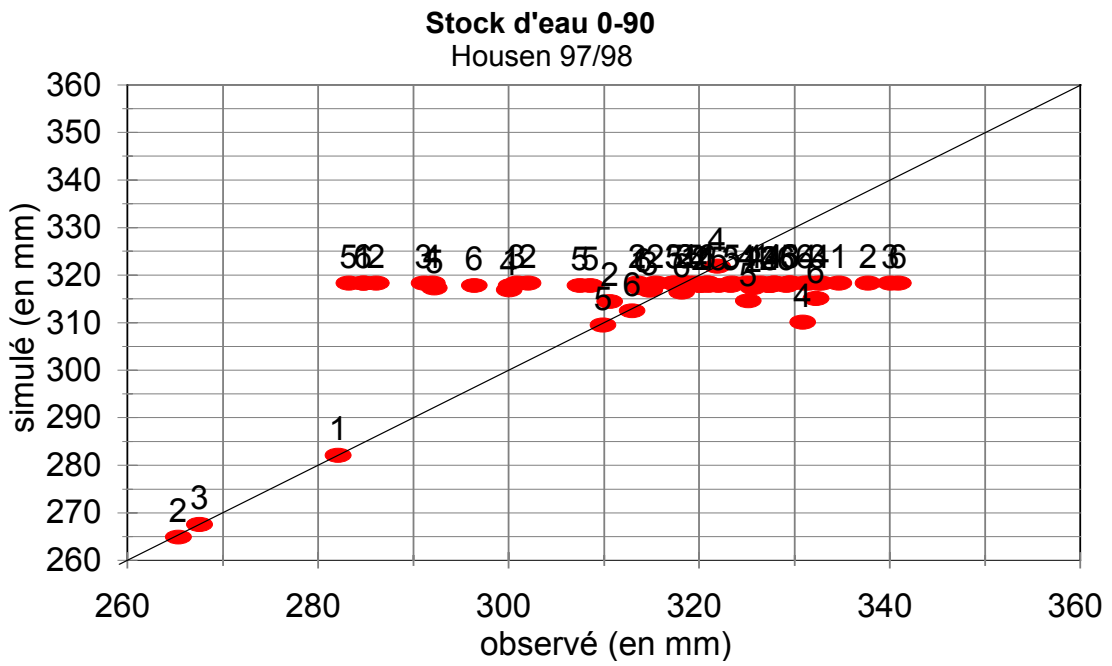
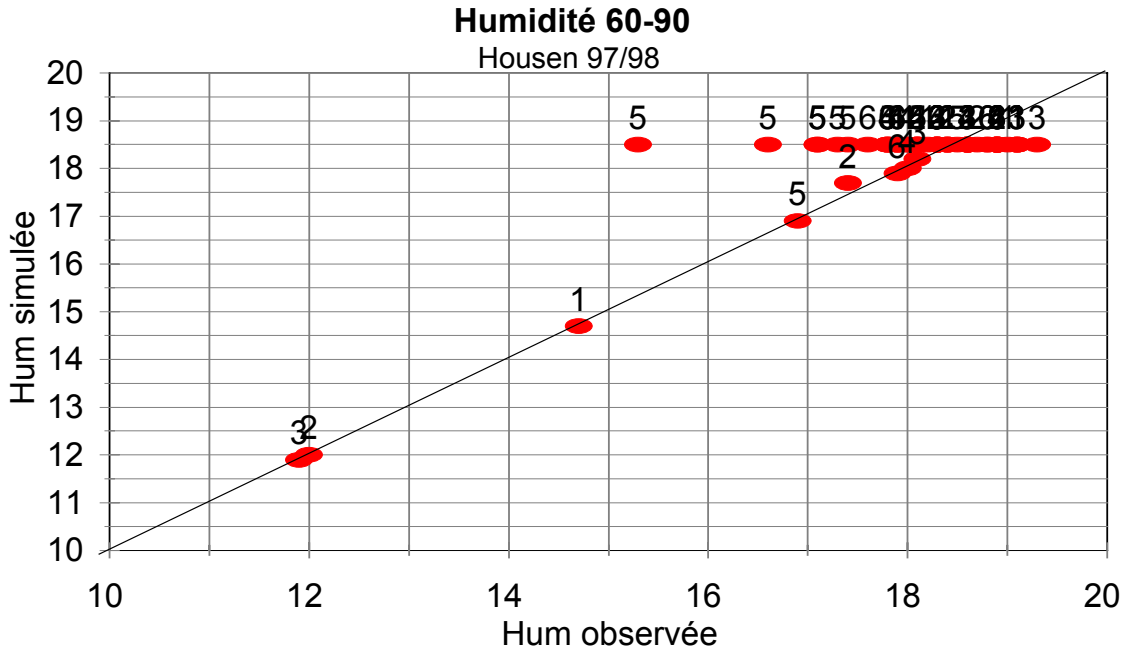
Nachstehend die Abbildungen die der Beurteilung der Qualität der Simulation und daraus folgenden geeigneten Korrekturen zugrunde lagen. Es handelt sich um den Versuch Hausen Winter 1997/98 und die endgültigen, korrigierten Abbildungen.

Die beiden ersten Seiten zeigen die Nmin-Mengen in jedem Horizont und für 0-90 cm in kg N/ha. Die beiden letzten Seiten betreffen die Feuchte in jedem Bodenhorizont sowie den Wasservorrat in 0-90 cm Tiefe.









Anhang 6:**Chronologie der Versuchsarbeitenn****1996**

Datum	Arbeit	Bemerkungen
20.04.96	Aussaat	Pactol
02.05.96	Nmin-Beprobung	
04.05.96	Stickstoffdüngung, 1. Gabe	3-Blatt-Stadium
24.05.96	Einbau der Saugkerzen	
06.06.96	Stickstoffdüngung, 2. Gabe	8-Blatt-Stadium
12.06.96	Vereinzelung	11 Pfl./m ²
18.06.96	Einbau der Neutronensonde	
20.06.96	Berechnungsbeginn	
22.06.96	Beprobung Saugkerzen	
04.07.96	Messung mit Neutronensonde	
20.07.96	weibl. Blüte	
22.07.96	Beprobung Saugkerzen	
24.07.96	Messung mit Neutronensonde	
12.08.96	Messung mit Saugkerzen	
14.08.96	Messung mit Neutronensonde	
06.09.96	Beprobung Saugkerzen	
08.09.96	Messung mit Neutronensonde	
25.09.96	Silomaisernte + N-Gehalt der Pflanzen	
26.09.96	Nmin-Gehalt nach der Ernte	
17.10.96	Beprobung Saugkerzen	
17.10.96	Messung mit Neutronensonde	
28.10.96	Körnermaisernte	

1997

Datum	Arbeit	Bemerkungen
17.02.97	Nmin-Beprobung nach Winter	
01.04.97	Beprobung der Saugkerzen	80 und 100 cm Tiefe
17.04.97	Aussaat	Anjou 285
30.04.97	Installation der Tensionic	
07.05.97	Stickstoffdüngung, 1. Gabe	50 kg N/ha im 3-Blatt-Stadium
30.05.97	Vereinzelung	84 Pfl./ 10m = 10,7 Pfl./m ²
	Eichung der Tensionic	
02.06.97	Beprobung der Tensionic	
	Nmin-Beprobung	Parzellen 2 und 8
03.06.97	Stickstoffdüngung, 2. Gabe	
20.06.97	Beprobung der Tensionic	
	Nmin-Beprobung	Parzellen 2 und 8
16.07.97	Beprobung der Tensionic	
	Nmin-Beprobung	Parzellen 2, 8 und 11
20.07.97	weibl. Blüte	
05.08.97	Beprobung der Tensionic	
	Nmin-Beprobung	Parzellen 2, 8 und 11
04.09.97	Beprobung der Tensionic	
	Nmin-Beprobung	Parzellen 2, 8 und 11
19.09.97	Silomaisernte	
02.10.97	Körnermaisernte	
08.10.97	Nmin-Beprobung nach der Ernte	
24.11.97	N-min-Beprobung zu Beginn der Dränperiode	

1998

Datum	Arbeit	Bemerkungen
20.02.98	Nmin-Beprobung nach Winter	
18.03.98	Beprobung der Tensionic	
05.05.98	Aussaat	Anjou 285
19.05.98	Ausstecken des Versuchs und Stickstoffdüngung, 1. Gabe	
08.06.98	Vereinzelung	80 Pfl./10m = 10.250 Pfl./ha
09.06.98	Stickstoffdüngung, 2. Gabe	
	Hacke	
17.06.98	Einbau der Tensionic in Parzellen 2,8 und 11	10-Blatt-Stadium
23.06.98		11-Blatt-Stadium
03.07.98	Beprobung der Tensionic	
10.07.98	Beprobung der Tensionic	
17.07.98	weibl. Blüte	
31.07.98	Beprobung von Tensionic und Boden	
06.10.98	Silomaisernte	
07.10.98	Körnermaisernte	
02.11.98	Nmin-Beprobung	
13.11.98	Pflügen	
16.11.98	Einbau der Tensionic	
16.03.99	Nmin-Beprobung	

Bibliographie

1 ARTIKEL

◆ ACKERER P. et al., PIREN-Eau/Alsace CNRS, Institut de Mécanique des fluides, Contamination des eaux souterraines par les nitrates dans la plaine d'Alsace. Incidences de l'agriculture, Nitrates-agriculture-eau, International Symposium organized by INA PG Paris -- La Défense, 7 et 8 novembre 1990. Editions : R. CALVET. pp. 245-249. *Nitrates, agriculture, eau*. Paris, 7-8 novembre 1990.

◆ AGPM-Info, n°250, juin 1999 ; n°236, juin 1998 ; n°64, juin 1987 ; n°144, juin 1992 ; n°97, août 1989 ; n°111, août 1990 ; n°126, juillet 1991 ; n°198, décembre 1995 ; n°262, décembre 1994 ; n°274, décembre 1995 ; n°223, juillet 1997 ; n°191, juin 1995 ; hors-série, juin 1994.

◆ BALABANE M., BALESSENT J., INRA Versailles, Medium-term transformations of organic N in a cultivated soil, *European Journal of Soil Science*, 46, pp.497-505. Décembre 1995.

◆ BALLAND D. et DRIEU Y. ITCF, Fertilisation et irrigation du maïs - Essai de Greoux-les-bains, *Perspectives agricoles*, n°75. Novembre 1983.

◆ BENOIT M., SAINTOT D., GAURY F., INRA Mirecourt, Measurements of the losses of nitrates in farmers' fields. Variability under different farming systems and modelling of the water quality of a watershed, *C.R.Acad.Agric.Fr*, n°4, pp. 175-188. Séance du 5 avril 1995.

◆ BOUWER H; et al., U.S. Water Conservation Laboratory, Irrigation management for groundwater quality protection, *Irrigation and drainage Systems* n°4, pp.375-383. 1990.

◆ BRISSON N. et al., INRA Avignon, ITCF, Agrotransfert Poitou-Charentes, STICS : a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. *Agronomie* 18, 311-346, INRA/Elsevier, Paris. 1998.

◆ BRISSON N., VOLTZ M., INRA Avignon et Montpellier, Le compartiment hydrique des modèles de simulation de la culture du maïs, *Physiologie et production du maïs*, Colloque " La vie du maïs " à Pau les 13, 14 et 15 novembre 1990. pp. 373-381.

◆ BRUCKLER L. Transferts hydriques et transferts couplés (eau et chaleur) dans le sol.

◆ COSTA D. et GIOVANARDI R., Italie, Nitrogen fertility and water regime influence on N use efficiency in sunflower and maize, *Proc. 3ème Congrès ESA, Abano-Padova, 1994*.

◆ DEUMIER J.M., ITCF, Conseils pratiques pour l'utilisation des tensiomètres. Réf.Clas : JMD/CC/3/021.

◆ DEUMIER J.M., LACROIX B., BOUTHIER A., ITCF-AGPM, Alimentation en eau du maïs en période préfloraison et élaboration du rendement en grain, *Physiologie et production du maïs*, Colloque " La vie du maïs " à Pau les 13, 14 et 15 novembre 1990. pp. 341-347.

◆ DEUMIER J.M., LACROIX B., ITCF-AGPM, Peut-on faire des économies d'eau sur le maïs? L'irrigation en grandes cultures, Synthèse des acquis et perspectives d'avenir. Recueil des communications de la journée du 9 avril 1992. Chambre régionale d'agriculture Midi-Pyrénées.

◆ DEUMIER J.M., LACROIX B., RENOUX J.P., ITCF, AGPM, Adapter la conduite d'irrigation à la ressource en eau, *Optim'Eau*, Mai 1993. pp.28-35.

◆ DEUMIER J.M., LEROY P., PEYREMORTE P, ITCF, INRA, Société du Canal de Provence, Systèmes irrigués, des outils pour une meilleure maîtrise, *Perspectives agricoles*, n°212, avril 1996.pp. 60-71.

◆ Drôme maïs plus, l'irrigation et sa conduite par le tensiomètre, AGPM, ONIC, ITCF.

◆ EAU, ressources, gestion, qualité. Angers - 42ème congrès 18-19-20 septembre 1991. AGPM.

◆ EVANS R.O., GILLIAM J.W., SKAGGS R.W., Controlled drainage and subirrigation effects on drainage water quality, 14ème congrès, Rio de Janeiro Q.42 R.2, 1990.

- ◆ Fiches techniques, Opération " Maïs 68-Champion " Maïs conseil, Haut-Rhin.
- ◆ FOLLETT R.F. et al., Agricultural Research Service of USDA, NLEAP simulation of residual soil nitrate for irrigated and nonirrigated corn, *Soil and Water Conservation Journal*, n°49 pp.375-382, juillet-août 1994.
- ◆ GISSY M., Pollution préoccupante de la nappe phréatique, *DNA Région*, 30 juin 1998.
- ◆ GOSS M.J., Macaulay Land Use Research Institute, UK, The effects of soil and crop management on the leaching of nitrates, *Nitrates-agriculture-eau*, International Symposium organized by INA PG Paris -- La Défense, 7 et 8 novembre 1990. Editions : R. CALVET. pp. 389-394.
- ◆ GUIRESSE M. et al., INP-ENSAT, Evolution de la qualité des eaux de drainage sous une monoculture de maïs. Bilan des quantités d'azote exporté par le drainage.
- ◆ HUBBARD R.K. et al., USDA-ARS, Shallow groundwater quality beneath an intensive multiple-cropping system using center pivot irrigation, *J.Environ.Quality*, Vol.13, n°1. 1984.
- ◆ ISBERIE C., Cemagref d'Aix-en-Provence -- Division Irrigation , Le tensiomètre, principe, mise en oeuvre, intérêt pour l'irrigation. Février 1985.
- ◆ LACROIX B., AGPM, Axes de travail sur l'irrigation du maïs dans le cadre du programme AGPM-ITCF -- Débit mobilisable et conduite de l'irrigation du maïs.
- ◆ LACROIX B., DEUMIER J.M., AGPM-ITCF, Stratégies de conduite de l'irrigation du maïs, *L'irrigation en grandes cultures, Synthèse des acquis et perspectives d'avenir*. Recueil des communications de la journée du 9 avril 1992. Chambre régionale d'agriculture Midi-Pyrénées.
- ◆ La fertilisation du maïs, ITCF-AGPM, réalisée avec le concours de M. LUBET, INRA Bordeaux, 1989.
- ◆ La nappe phréatique rhénane, Conseil Régional d'Alsace. Edition/Ausgabe 04.1998.
- ◆ LE GALL A., LEGARTO J., PFLIMLIN, A., Institut de l'élevage, Systèmes fourragers laitiers et environnement : incidence de l'équilibre herbe-maïs. 1998.
- ◆ LEFEVRE G., INRA, Transferts d'azote dans le sol, *Cultivar*, n°164, Sept 1983, pp.97-99.
- ◆ LEMAIRE G., CHARRIER X., HEBERT Y., INRA Lusignan, Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions, *agronomie*, 16, pp. 231-246. 1996.
- ◆ LEMAIRE G., MEYNARD J.M., INRA Lusignan, INRA-INA PG, Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data, *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, édition G.LEMAIRE, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997.
- ◆ Les cahiers techniques de France maïs, Bien maîtriser l'irrigation, 2ème série, n°4.
- ◆ LORD E.I., SHEPHERD M.A., UK, Developments in the use of porous ceramic cups for measuring nitrate leaching, *Journal of Soil Science*, 1993, n°44, 435-449.
- ◆ Maïs 4, irrigation, AGPM-ITCF, THEVENET G., DEGOULET A., DEUMIER J.M., le service communication de l'ITCF, Martin Holger Communications consultant, Soft publicité.
- ◆ MARTIN E.C. et al., American Society of Agricultural Engineers, Use of drainage lysimeters to evaluate nitrogen and irrigation management strategies to minimize nitrate leaching in maize production, pp.79-83, 1994.
- ◆ MARY B., BEAUDOIN N., JUSTES E., MACHET J.M., INRA Laon et Reims, Calculation of N mineralization and leaching in fallow soils using a simple dynamic model, soumis à *European Journal of Soil Science*, 1998.
- ◆ MARY B., INRA Laon, Lixim2, 1998.
- ◆ MOREL R., INA PG, Cinétiques relatives de l'azote et du carbone dans le sol.
- ◆ MULLER J.C., INRA Chalons-sur-marne, Le rôle du sol dans les mécanismes d'enrichissement en nitrates des eaux de percolation, *Pollution des eaux par les pesticides et les nitrates*, 18 et 19 mars 1987. n°5. ANPP-COMIFER. 1987.
- ◆ NORMAND B. et al, L.T.H.E., Nitrogen-15 tracers combined with tensio-neutronic method to estimate the nitrogen balance of irrigated maize, *Soil Sci.Soc.Am.J.61*, pp.1508-1518. 1997.

- ◆ PAVARD P., Le tensiomètre : un outil d'alerte, *La France agricole*, 7.05.93, pp. 31.
- ◆ PEYREMONTE P., SCP, Des tensiomètres pour améliorer la conduite des arrosages, *Perspectives agricoles*, n°67, Février 1983.
- ◆ PLANTUREUX S., GIRARDIN P., VINCENT G., INRA-ENSAIA et INRA Colmar, Prise en compte du stress hydrique dans Céréales-maïs, *Physiologie et production du maïs*, Colloque " La vie du maïs " à Pau les 13, 14 et 15 novembre 1990. *Physiologie et production du maïs*, pp. 451-457, 1985 ???.
- ◆ PLENET D., CRUZ P., INRA Villenave d'Ornon, Pointe-à-pitre et Toulouse, Maize and sorghum, *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, édition G.LEMAIRE, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997.
- ◆ POSS R. et al., ORSTOM INRA, Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field, *European Journal of Soil Science*, n°46, pp.667-674. Décembre 1995.
- ◆ PRUNTY L. et MONTGOMERY B.R., US, Lysimeters study of nitrogen fertilizer and irrigation rates on quality of recharge water and corn yield, *Environ. Quality Journal* 20, pp.373-380. 1991.
- ◆ RECOUS S., INRA Laon., Les mécanismes de transformation de l'azote dans le sol, Contrat CIFRE colloque universitaire Lyon I.
- ◆ RITTER W.F. et al., US, Effect of irrigation efficiencies on nitrogen leaching losses, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 111, n°3, September, 1985.
- ◆ S.R., Premier aperçu d'ensemble, *PHR, Actualités*, 12 juillet 1998.
- ◆ SCHENCK C., L'azote coûte cher! L'azote pollue!, INRA, Station d'égronomie Colmar. *L'est agricole et viticole*, 16 janvier 1987. pp. 92, 124.
- ◆ TARDIEU F. et BETHENOD O., INRA de Thiverval Grignon, Quels indicateurs du fonctionnement hydrique des plantes permettent de rendre compte des variations de rendement du maïs?, *Physiologie et production du maïs*, Colloque " La vie du maïs " à Pau les 13, 14 et 15 novembre 1990. pp. 303-312.
- ◆ TAUREAU J.C., DESVIGNES P., ITCF-AGPM, Fournitures du sol et coefficient d'efficacité : deux points clé de la méthode du bilan, *Nitrates-agriculture-eau, International Symposium* organized by INA PG Paris-La Défense, 7 et 8 novembre 1990. Editeur : R.CALVET.
- ◆ TAYOT X. et al., Agrotransfert, INRA Avignon et Lusignan, CRA Poitou-charentes, Le modèle de simulation de culture STICS, *Perspectives agricoles* - n°241, déc 1998.
- ◆ TAYOT X., RUGET F., GUEYE S., RIPOCHE D., Agrotransfert Poitou-charentes, INRA Avignon, COGITO 1.0, Manuel d'utilisation du logiciel, CRAPC (Agrotransfert) - INRA, version provisoire. 1998.
- ◆ URVOY C., Une irrigation bien pilotée n'est pas source de pollution, *La France Agricole*, 10 octobre 1997.
- ◆ VONG P.C., JASQUIN F., ENSAIA INPL, Cinétiques de réorganisation et de minéralisation secondaire d'un engrais azoté apporté à un sol brun lessivé, *C.R. Acad.Agric.Fr.*, 1989, 75, n°1, pp.43-49. Séance du 1er février 1989.
- ◆ WIENHOLD B. et al., USDA-ARS, Yield and nitrogen use efficiency of irrigated corn in the northern great plains, *Agron. Journal*.87 pp.842-846. 1995.
- ◆ YLARANTA T. et al., Finlande, Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters, *Agric.Sci.Finl.n°2*, pp.281-291. 1993.

2 BÜCHER

◆ Guide pratique Irrigation, RNED-HA, 2ème édition, Coédition France agricole -- Cemagref.1992.

◆ La conduite de l'irrigation -- De la stratégie au pilotage de l'irrigation, RNED-HA, Cemagref Editions, 1995. pp.16-25, 21-35, 38-63, 85-90, 109-123.

◆ La recherche aujourd'hui pour mieux agir demain, Institut de recherche sur l'Environnement. IFARE DFIU Edition 1998, pp.90-159.

◆ Mineral Nutrition of Maize, I.ARNON, International Potash Institute Bern/Switzerland, 1975. pp.130-142 .

◆ Nitrogen in crop production ; symposium tenu les 25-27 mai 1982 à Sheffield, Alabama. Publié par American Society of Agronomy ; Crop Science Society of America ; Soil Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 1984. pp250-261 ; 264-272 ; 308-316 ; 335-346 ; 493-505 ; 522-532.

◆ Traité d'irrigation, coordonateur : J.R. Tiercelin. Editions : Lavoisier, Technique et documentation. 1998. pp. 612-625, 199-206, 37-42, 154-161, 163-170, 230-236, 140-142, 447-450, 471-475, 746-757, 794-798, 900-912, 488-491, 54-62, 90-95.

3 BERICHTE UND WISSENSCHAFTLICHE ARBEITEN

- ◆ AGPM, Compte rendu d'expérimentation maïs, Etoile 1997.
- ◆ AGPM, Résultats d'essais campagne 1997, station expérimentale LE RHEU.
- ◆ BOUTHIER A., ITCF, Gestion de l'azote en rotation céréalière sur terres de groies, Synthèse de 4 années d'expérimentation à la station du Magneraud. Sept 1995.
- ◆ CARLOTTI B., Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée des cultures, CORPEN. 1992.
- ◆ Carte du risque de lessivage des nitrates dans les sols, Feuille 6 - HIRTZFELDEN-FESSENHEIM, Commission interministerielle d'étude de la nappe phréatique de la plaine d'Alsace. Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- ◆ COMIFER (Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée), Quelles fertilisations demain. *Premier forum européen de la fertilisation raisonnée*, Strasbourg, 26-27 septembre 1991.
- ◆ COSSERAT M., Thèse, Université Louis Pasteur, Contribution à l'adaptation des techniques culturales pour réduire la pollution nitrique sous monoculture de maïs en basse ariège. Soutenue le 22 mai 1991
- ◆ DEBUYSER C., Chargée d'études, Chambre d'agriculture du Bas-Rhin, Evaluation intermédiaire de l'opération FERTI-MIEUX sur le piémont bas-rhinois des vosges. Juil. 1997.
- ◆ DEBUYSER C., Chargée de mission, Chambre d'agriculture du Bas-Rhin, Evaluation de l'opération FERTI-MIEUX sur la plaine de l'Ill. Avril 1997.
- ◆ DEBUYSER C., chargée de mission, Extension de l'opération fert'ill, complément de diagnostic agronomique. *Chre d'agriculture du bas-rhin -- Service d'Utilité Agricole de Développement*. Juillet 1998.
- ◆ ENGASSER R., ENITA Dijon-Quetigny, L'irrigation par aspersion est-elle un facteur de pollution?
- ◆ ESCHENBRENNER G., ITCF, Systèmes de cultures, évolution des nitrates et fonctionnement du drainage dans les boubènes du sud-ouest, (ITCF-CEMAGREF/ASAD) *Comité de pilotage national Opération secteurs de référence-drainage*. Compte-rendu 1988. Compte-rendu 1989. Compte-rendu 1990. Compte-rendu 1991.
- ◆ GENDRIN M., Maïs, azote et eau, Accordons-les. Résultats d'observations menées en 94 dans quatre parcelles agricoles, *HARDT eau vive*. Mulhouse, déc 1994.
- ◆ HADDAD S., E.N.S.A.R. Raisonnement de la fertilisation azotée des céréales dans le Sud-Ouest, Bilan de 4 années d'essais, ITCF. Septembre 1986.
- ◆ Inventaire de la qualité des eaux souterraines de la vallée du Rhin supérieur, Données et cartes transfrontalières, *Conférence de presse du 29 juin 1998*.
- ◆ ITCF, Incidences des systèmes de cultures sur les nitrates des eaux de drainage, station de Parisot (81). Compte-rendu de la campagne 91-92.
- ◆ KENGNI L., Thèse, Université Joseph Fourier-Grenoble I, Mesure in-situ des pertes d'eau et d'azote sous culture de maïs irrigué. Application à la Plaine de la Bièvre (Isère). Soutenue le 27 mai 1993.
- ◆ LASSERRE et al., ITCF-AGPM, Bien gérer la culture du maïs-grain, Résultats des essais 1994. Décembre 1994.
- ◆ LENORMAND M., Chargé d'étude -- *Institut de l'élevage*, Evaluation intermédiaire après deux années d'action, Opération hardt eau vive. Février 1996.
- ◆ MARCHAND Annick, ITCF, AGPM, CFPPA, Systèmes de cultures et teneurs en nitrates des eaux de drainage dans une boubène du sud-ouest, Résultats des 4 premières années du dispositif de Parisot, 1993.
- ◆ PIREN eau (Programme interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement-Eau en Alsace), CNRS, Transfert de contaminants vers la nappe phréatique du fossé rhénan en Alsace. Rapport de synthèse 1989-1994, pp.72-85. 1995.
- ◆ SCHENCK C. et DELPHIN J-E., INRA Colmar, Observations de longue durée in situ des principaux paramètres intervenant dans le transfert de l'eau et des nitrates dans les sols cultivés en Alsace, Mars 1996 (1er rapport) et juillet 1997 (2ème rapport).