



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung

**Bericht nach 10-jähriger Lauf-
zeit 1993 - 2002**



10

2004

Schriftenreihe

ISSN 1611-4159

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
Vöttinger Str. 38, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agraroeekologie@LfL.bayern.de
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage November 2004

Druck: Lerchl Druck, 85354 Freising

© LfL

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung des Autors wieder.



Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung

Bericht nach 10-jähriger Laufzeit 1993 - 2002
Ulrich Hege und Sven Raschbacher

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	11
Summary	11
1 Zielsetzung	12
2 Beschreibung der Modellgebiete	13
2.1 Kriterien für die Auswahl.....	13
2.2 Geographische Lage und Größe	14
2.2.1 Regierungsbezirk Oberfranken	15
2.2.2 Regierungsbezirk Mittelfranken.....	16
2.2.3 Regierungsbezirk Unterfranken	17
2.2.4 Regierungsbezirk Schwaben	19
2.3 Standortkundliche und hydrogeologische Beschreibung	19
2.4 Hydrogeochemische Charakterisierung des Grundwassers	24
3 Ansatzpunkte zur Verminderung von Nitrateintrag in das Grundwasser	26
3.1 Flächen- und Ackernutzung	26
3.1.1 Flächennutzung	26
3.1.2 Ackernutzung	27
3.2 Zwischenfruchtanbau	32
3.2.1 Bodenbedeckung durch Zwischen- und Winterfrüchte.....	32
3.2.2 Umbruchtermin	33
3.2.3 Art und Nutzung der Zwischenfrüchte.....	34
3.3 Nährstoffsaldo der Betriebe	35
3.3.1 Veränderung der Nährstoffsalden im Mittel aller Betriebe.....	35
3.3.2 Veränderung der Stickstoffsalden im Mittel der Betriebe in den Modellgebieten.....	37
3.3.3 Einfluss des Viehbesatzes auf den N-Saldo	40
3.4 Düngeberatungssystem Stickstoff (DSN)	41
3.4.1 Beteiligung	41
3.4.2 Umsetzung der Düngeempfehlungen	42
3.5 Stickstoff-Monitoringflächen	43
3.5.1 Entwicklung der N _{min} -Gehalte auf den N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete.....	44
3.5.2 Vergleich der N _{min} -Gehalte zu Vegetationsende in den beiden Beobachtungszeiträumen.....	46
3.5.3 Einfluss der Fruchtarten auf die N _{min} -Gehalte	46

	Seite
3.5.4	N _{min} -Gehalte unter Dauerbrache47
3.5.5	N _{min} -Gehalte in Abhängigkeit vom Sanierungskonzept.....48
3.6	Gülledüngung48
3.6.1	Lagerkapazität für Gülle.....49
3.6.2	Umsetzung der Empfehlungen zur Gülledüngung49
3.7	Extensivierung.....50
3.8	Einzel- und Gruppenberatung der Landwirte.....52
4	Erfolgskontrolle im Grund- und Trinkwasser53
4.1	Nitratkonzentration.....53
4.1.1	Nitratganglinien der Modellgebiete.....53
4.1.2	Veränderung Nitratkonzentration der Modellgebiete Bastheim und Oberwaldbehungen vor und während des Forschungsauftrages im Vergleich zu einer Wasserversorgungsanlage außerhalb der Modellgebiete.....59
4.2	Grundwasseralterszusammensetzung.....61
4.2.1	Methodik61
4.2.2	Mittlere Verweilzeit des Grundwassers61
4.3	Monitoring ausgewählter Pflanzenschutzmittelwirkstoffe.....65
5	Berechnung des Arbeitszeitbedarfes69
6	Zusammenfassende Darstellung70
7	Literaturverzeichnis73

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Geographische Lage der Modellgebiete.....	14
Abb. 2: Lage des Modellgebietes Alladorf (Quelle: TK 1:50 000).....	15
Abb. 3: Lage des Modellgebietes Heuchelheim (Quelle: TK 1:50 000).....	16
Abb. 4: Lage der Modellgebiete Grüb und Weihenzell (Quelle: TK 1:50 000)	17
Abb. 5: Lage des Modellgebietes Bastheim (Quelle: TK 1:50 000).....	18
Abb. 6: Lage des Modellgebietes Oberwaldbehungen (Quelle: TK 1:50 000)	18
Abb. 7: Lage des Modellgebietes Hiltenfingen (Quelle: TK 1:50 000).....	19
Abb. 8: Flächennutzung in den Modellgebieten (Zeitraum 1994 - 2002).....	27
Abb. 9: Ackernutzung im Modellgebiet Alladorf (Extensivierung).....	28
Abb. 10: Ackernutzung im Modellgebiet Heuchelheim (gute fachliche Praxis)	28
Abb. 11: Ackernutzung im Modellgebiet Grüb (Extensivierung).....	29
Abb. 12: Ackernutzung im Modellgebiet Weihenzell (gute fachliche Praxis)	29
Abb. 13: Ackernutzung im Modellgebiet Bastheim (Extensivierung).....	30
Abb. 14: Ackernutzung im Modellgebiet Oberwaldbehungen (gute fachliche Praxis).....	31
Abb. 15: Ackernutzung im Modellgebiet Hiltenfingen (gute fachliche Praxis)	31
Abb. 16: Mittelwerte (1994 - 2001) der Ackernutzung im Herbst in den einzelnen Modellgebieten.....	33
Abb. 17: Umbruchtermin der Zwischenfrüchte in den Modellgebieten 1995 - 2001 (n = 620 Schläge)	34
Abb. 18: Art und Nutzung der angebauten Zwischenfrüchte in den Modellgebieten 1995 - 1997 (n = 620 Schläge).....	34
Abb. 19: Entwicklung der durchschnittlichen Nährstoffsalden (Mittel der Betriebe)	36
Abb. 20: Entwicklung der durchschnittlichen N-Salden, des N- Mineraldünger aufwands und der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung (Mittel der Betriebe).....	36
Abb. 21: Veränderung der N-Salden (Mittelwerte) in den einzelnen Modellgebieten in Abhängigkeit von der Veränderung des N-Mineraldünger aufwands	39
Abb. 22: Veränderung der N-Salden (Mittelwerte) in den einzelnen Modellgebieten in Abhängigkeit von der Veränderung der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung	39
Abb. 23: Durchschnittliche korrigierte N-Salden in Abhängigkeit von den N- Ausscheidungsklassen zu verschiedenen Erhebungsterminen.....	40
Abb. 24: %-Anteil aller Schläge in den Modellgebieten, für die eine DSN- Düngerempfehlung gegeben wurde.....	41
Abb. 25: %-Anteil der Fruchtarten, für die DSN-Empfehlungen gegeben wurden (Mittel über Jahre und Orte).....	42
Abb. 26: Umsetzung der Düngerempfehlung in den Modellgebieten (1994 - 1999).....	43

	Seite
Abb. 27: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete im Zeitraum 1994 - 2001 (Termin nach der Ernte).....	44
Abb. 28: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete im Zeitraum 1994 - 2001 (Termin Vegetationsende).....	45
Abb. 29: Fruchtartenverhältnis der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete.....	45
Abb. 30: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete in den Beobachtungszeiträumen 1994 - 1997 und 1998 - 2002 (Termin Vegetationsende).....	46
Abb. 31: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete nach verschiedenen Fruchtarten im Zeitraum 1994/1995 - 2001/2002 (Termin Vegetationsende).....	47
Abb. 32: Entwicklung des mittleren N_{\min} -Gehaltes der Dauerbracheflächen (n = 4 - 5 Flächen) in den Jahren 1994 - 2002.....	47
Abb. 33: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen in den Modellgebieten im Zeitraum 1994/1995 - 2001/2002 zu Vegetationsende (Vergleich „gute fachliche Praxis“ und „Extensivierung“).....	48
Abb. 34: Güllelagerraum der landwirtschaftlichen Betriebe in den Modellgebieten.....	49
Abb. 35: Gründe für die Abweichung von der Düngeempfehlung in den Modellgebieten.....	50
Abb. 36: %-Anteil der extensiv genutzten landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Modellgebieten Alladorf, Bastheim und Grüb.....	51
Abb. 37: Extensivierungsmaßnahmen in den Modellgebieten (Jahr 2001).....	52
Abb. 38: Nitratganglinie für das Modellgebiet Alladorf (Extensivierung).....	53
Abb. 39: Nitratganglinie für das Modellgebiet Heuchelheim (Mittel Quelle 1, Quelle 2, gute fachliche Praxis).....	54
Abb. 40: Nitratganglinie für das Modellgebiet Grüb (Extensivierung).....	55
Abb. 41: Nitratganglinie für das Modellgebiet Weihenzell (gute fachliche Praxis).....	55
Abb. 42: Nitratganglinie des Modellgebietes Oberwaldbehrungen (gute fachliche Praxis).....	56
Abb. 43: Nitratganglinie des Modellgebietes Bastheim (Mittel Brunnen 1, Brunnen 2, Extensivierung).....	56
Abb. 44: Nitratganglinie im Modellgebiet Hiltenfingen Vorfeldmessstellen.....	57
Abb. 45: Nitratganglinie im Modellgebiet Hiltenfingen Nachfeldmessstellen (gute fachliche Praxis).....	57
Abb. 46: Nitratganglinien des Modellgebietes Oberwaldbehrungen vor und während des Forschungsauftrags.....	59

	Seite
Abb. 47: Nitratganglinien des Modellgebietes Bastheim vor und während des Forschungsauftrags.....	60
Abb. 48: Nitratganglinie der Wassergewinnungsanlage Heustreu.....	60

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Standortkundliche und hydrologische Beschreibung der Modellgebiete.....	20
Tab. 2: Hydrogeochemische Charakterisierung des Grundwassers der Modellgebiete.....	25
Tab. 3: Entwicklung der durchschnittlichen korrigierten N-Salden, des N-Mineral-düngeraufwands und der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „Extensivierung“.....	37
Tab. 4: Entwicklung der durchschnittlichen korrigierten N-Salden, des N-Mineral-düngeraufwands und der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „gute fachliche Praxis“.....	38
Tab. 5: Veränderungen der Nitratgehalte im Grund- bzw. Trinkwasser in den Modellgebieten (nach Regressionsgerade).....	58
Tab. 6: Nachweis der Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf den Nitratgehalt im Grundwasser der einzelnen Modellgebiete unter Berücksichtigung der mittleren Verweilzeit des Grundwassers.....	64
Tab. 7: Untersuchte PSM-Wirkstoffe in den Modellgebieten.....	65
Tab. 8: Atrazin und Desethylatrazingehalt (in µg/l) im Grundwasser der Modellgebiete 1993 - 1997.....	67
Tab. 9: PSM-Wirkstoffe (µg/l) in Drainagewasser und Quelle 2 im Modellgebiet Heuchelheim.....	68
Tab. 10: Arbeitszeitbedarf für die Umsetzung von grundwasserschonenden Maßnahmen in den Modelgebieten Bastheim und Oberwaldbehungen.....	69

Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Ulrich Hege und Sven Raschbacher

Zusammenfassung

Der Einfluss der Landwirtschaft auf die Gewässergüte ist durch einschlägige Untersuchungen vielfach belegt. 1992 wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten beschlossen, in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, ein Konzept zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung zu erarbeiten und in der Praxis zu erproben. Ziel des Forschungsauftrages war, in ausgewählten Modellgebieten zu prüfen, inwieweit Düngung nach guter fachlicher Praxis und Extensivierungsmaßnahmen den Nitratgehalt im Grund- und Trinkwasser beeinflussen.

Generell kann gesagt werden, dass sowohl über die Maßnahmen der guten fachlichen Praxis als auch über Extensivierung die Nitratgehalte im Grundwasser vermindert werden konnten. Entscheidend dafür war die Verminderung von produktionstechnischen Fehlern und die Sensibilisierung der Landwirte hinsichtlich des Grundwasserschutzes. Für den Erfolg von zukünftigen Grundwassersanierungsprojekten ist es daher wichtig, einen standortangepassten Maßnahmenkatalog zusammenzustellen, dessen Umsetzung kontrolliert werden kann und dafür Sorge zu tragen, dass genügend Beratungskapazität zur Verfügung steht.

Summary

The influence of agriculture on waters quality is frequently referred to by pertinent investigations. In cooperation with the Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz¹, the Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten² decided in 1992 to work out and to test in practice a concept for ground waters conserving land management. The aim of the research assignment was to examine in selected model areas, how far fertilization according to a good professional practice and extensification measures affect the nitrate content in ground and drinking water.

Generally, it can be said, that it was possible to reduce nitrate contents in ground water both via the measures of good professional practice and extensification. Crucial for that were the reduction of production-technical mistakes and the sensitization of farmers with regard to ground waters protection. It is therefore important for the success of future ground water remediation projects to draw up a catalogue of measures adapted to the location, whose transformation can be controlled, and to take care for a sufficient consultation capacity being at the disposal.

¹ Literally translated into English: Bavarian State Ministry for Environment, Health and Consumers Protection.

² Literally translated into English: Bavarian State Ministry for Nutrition, Agriculture and Forestry.

1 Zielsetzung

Der Einfluss der Landwirtschaft auf die Gewässergüte ist durch einschlägige Untersuchungen vielfach belegt. 1992 wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten beschlossen, in Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen eines Forschungsvorhabens ein Konzept zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung zu erarbeiten und in der Praxis zu erproben. Dabei sollte in ausgewählten Modellgebieten geprüft werden, inwieweit Düngung nach guter fachlicher Praxis und andere produktionstechnische Maßnahmen den Nitratgehalt im Grund- und Trinkwasser beeinflussen. Dieser Ansatz wurde 1994 um die Prüfung von Extensivierungsmaßnahmen erweitert, wie sie beispielsweise durch das Bayerische Kulturlandschaftsprogramm (KULAP) gefördert werden können. Der Forschungsauftrag wurde in enger Kooperation zwischen der Landwirtschafts- und der Wasserwirtschaftsverwaltung bearbeitet. Die einzelnen Teilschritte wurden miteinander abgestimmt und gemeinsame Lösungswege gesucht.

Die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (heute in die Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) integriert) wurde beauftragt, das Gesamtkonzept sowie den acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmenkatalog zu erarbeiten und in Zusammenarbeit mit den zuständigen Ämtern für Landwirtschaft und Ernährung (heute Landwirtschaftsämter (LwÄ)) die notwendigen Daten zu erheben sowie die in den Modellgebieten wirtschaftenden Landwirte zu beraten. In der ersten Projektphase (1993 - 1997) wurden die Landwirte intensiv beraten. In der zweiten Projektphase (1998 - 2002) war aufgrund von Personalmangel an der LfL nur eine eingeschränkte Beratung möglich. Das Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) übernahm in Zusammenarbeit mit dem jeweils zuständigen Wasserwirtschaftsamt (WWA) die hydrologische Abgrenzung der Modellgebiete und die Untersuchung der Wasserproben auf den Nitratgehalt, verschiedene Ionen sowie auf Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (PSM-Wirkstoffe). Dazu wurde eine isotopenhydrologische Untersuchung zur Bestimmung der mittleren Verweilzeit des Grundwassers durchgeführt.

Im vorliegenden Abschlußbericht des Forschungsauftrages werden die Ergebnisse zusammengestellt, die Auswirkungen der durchgeführten Maßnahmen auf den Nitratgehalt und den Gehalt an Pflanzenschutzmittelwirkstoffen im Grund- und Trinkwasser gewertet.

Über Zwischenergebnisse des Forschungsauftrages wurde an verschiedenen Stellen berichtet (SCHAUPP 1994; SCHAUPP 1996a, b; SCHAUPP und HEGE 1996a, b, 1997; HEGE und SCHAUPP 1996, SCHAUPP, MANGELSDORF, HEGE 1997).

2 Beschreibung der Modellgebiete

2.1 Kriterien für die Auswahl

Um in der Laufzeit des Modellvorhabens (1993 - 2002) zu Ergebnissen hinsichtlich einer Verringerung der Nitratkonzentration gelangen zu können, sollten die Modellgebiete folgende Bedingungen erfüllen:

- abgrenzbares Wassereinzugsgebiet (WEG),
- hoher Nitratgehalt im Grund- bzw. Trinkwasser ($> 50 \text{ mg NO}_3/\text{l}$),
- kurze Verweildauer des Wassers zwischen Versickerung und Gewinnung,
- keine Siedlungen und Altlasten im Wassereinzugsgebiet und
- keine überwiegende Grünlandnutzung.

Da nicht viele Wassereinzugsgebiete allen Kriterien zugleich entsprachen, war die Auswahl nicht immer einfach. Aus insgesamt 54 Vorschlägen wurden schließlich 7 Modellgebiete ausgewählt. In den einzelnen Modellgebieten gab es im wesentlichen zwei Sanierungsstrategien. Zum einen den Beratungsschwerpunkt „gute fachliche Praxis“ und zum anderen den Beratungsschwerpunkt „Extensivierung“. Im folgenden sind die ausgewählten Modellgebiete aufgeführt:

Beratungsschwerpunkt gute fachliche Praxis:

- Heuchelheim, Lkr. Bamberg (Oberfranken)
- Weihenzell, Lkr. Ansbach (Mittelfranken)
- Oberwaldbehungen, Lkr. Rhön-Grabfeld (Unterfranken)
- Hiltenfingen, Lkr. Augsburg (Schwaben)

Beratungsschwerpunkt Extensivierung:

- Alladorf, Lkr. Kulmbach (Oberfranken)
- Grüb, Lkr. Ansbach (Mittelfranken)
- Bastheim, Lkr. Rhön-Grabfeld (Unterfranken)

2.2 Geographische Lage und Größe

Die Verteilung der Modellgebiete in Bayern zeigt die folgende Abbildung 1.

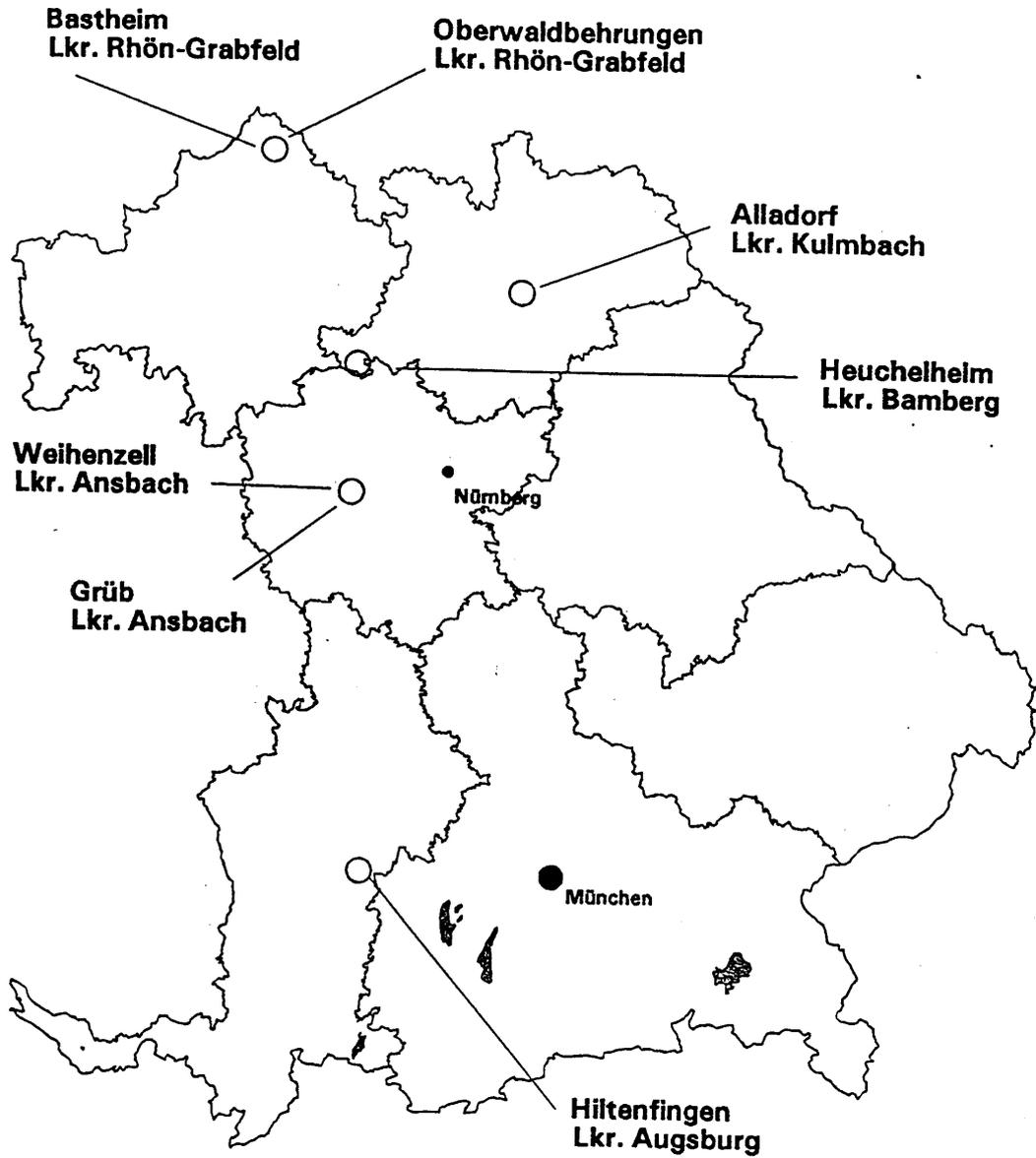


Abb. 1: Geographische Lage der Modellgebiete

2.2.1 Regierungsbezirk Oberfranken

Alladorf (Extensivierung)

Die Wasserversorgungsanlage Alladorf Jägerbrunnen, durch die der Gemeindeteil Alladorf der Gemeinde Thurnau versorgt wird, liegt im Landkreis Kulmbach (vgl. Abbildung 2). Das WEG erstreckt sich über eine Länge von ca. 2 000 m und eine Breite von ca. 1 500 m und umfasst eine Gesamtfläche von 194 ha. Im Modellgebiet bewirtschaften 28 Landwirte die 153 ha Ackerland. Das Modellgebiet wurde im Rahmen eines Gutachtens des Ingenieurbüros HARTMANN (1992) sowie durch das WWA Bayreuth abgegrenzt.

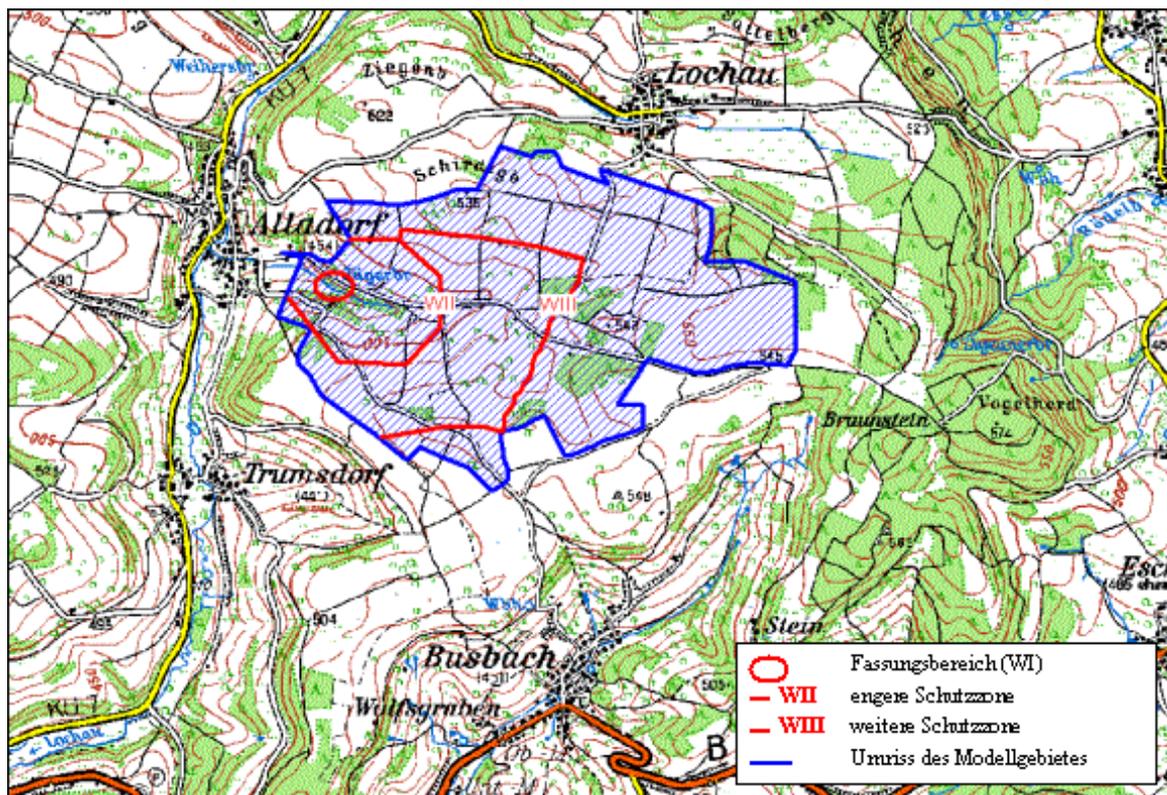


Abb. 2: Lage des Modellgebietes Alladorf (Quelle: TK 1:50 000)

Heuchelheim (gute fachliche Praxis)

Die Wasserversorgungsanlage Heuchelheim liegt im Landkreis Bamberg und befindet sich ca. 1 km südöstlich des Ortes Heuchelheim (vgl. Abbildung 3). Das Modellgebiet erstreckt sich über eine Länge von 800 m und 1 300 m Breite und umfasst eine Gesamtfläche von 72 ha. Sechs Landwirte im Haupterwerb und zwei im Nebenerwerb bewirtschaften die ca. 61 ha Ackerland. Das WWA Bamberg hat die Abgrenzung des WEG durchgeführt.

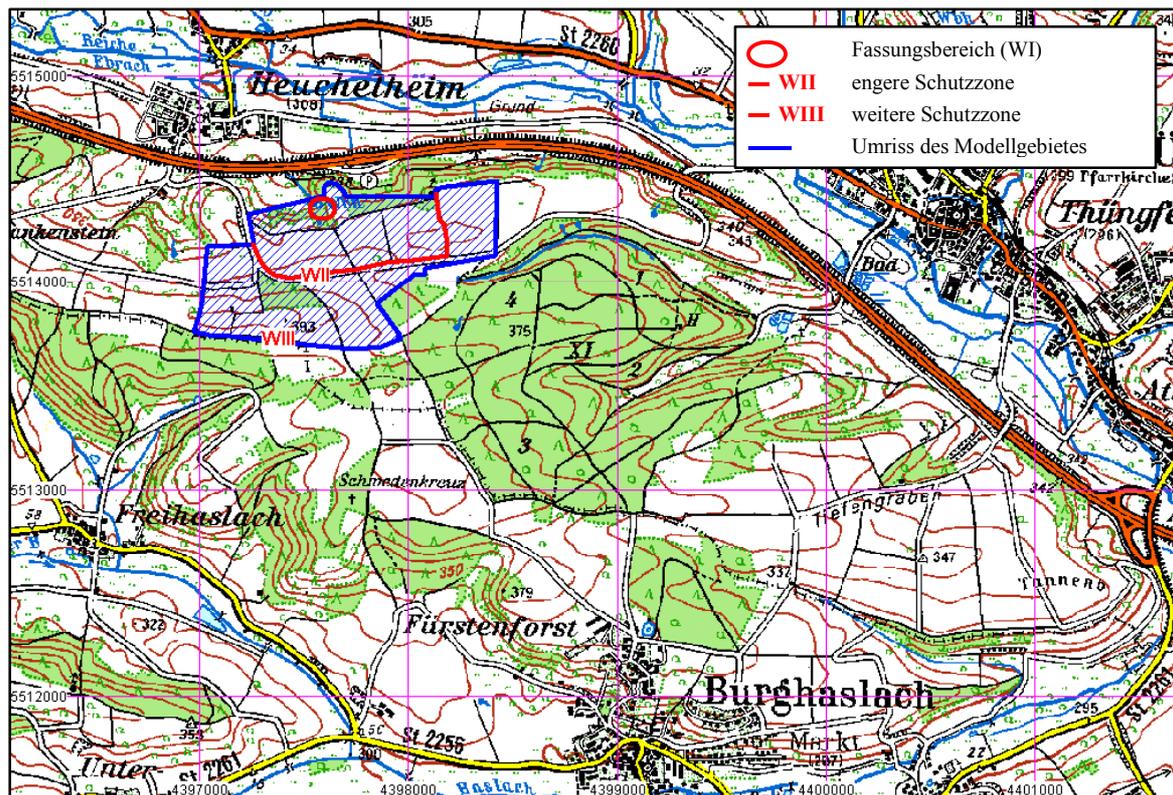


Abb. 3: Lage des Modellgebietes Heuchelheim (Quelle: TK 1:50 000)

2.2.2 Regierungsbezirk Mittelfranken

Grüb (Extensivierung)

Die Wasserfassung Grüb liegt im Landkreis Ansbach, ca. 4 km nordöstlich von Ansbach. Von der Gemeinde Grüb liegt es ca. 2 km in nordwestlicher Richtung entfernt. Es erstreckt sich über eine Länge und Breite von ca. 800 m (vgl. Abbildung 4). Es liegt auf dem sogenannten Grüber Sattel und umfasst eine Fläche von 39 ha, wovon 9 ha Ackerland sind. Die Ackerflächen im Modellgebiet werden von 3 Haupterwerbslandwirten bewirtschaftet. Abgegrenzt wurde das Einzugsgebiet vom Ingenieurbüro HEIMBUCHER (1991). Das Modellgebiet wurde zum Vergleich zu Weihenzell bzw. Heuchelheim ausgewählt.

Weihenzell (gute fachliche Praxis)

Die Wasserversorgungsanlage Weihenzell/Wippendorf liegt im Landkreis Ansbach ca. 4 km nordöstlich von Ansbach (vgl. Abbildung 4). Sie liegt ebenfalls auf dem Grüber Sattel und ist von der Gemeinde Grüb ca. 2 km in südöstlicher Richtung entfernt. Das WEG erstreckt sich über eine Länge und Breite von ca. 650 m und umfasst eine Gesamtfläche von 41 ha. Die ca. 20 ha Ackerland werden von 2 Landwirten im Haupterwerb und von 2 im Nebenerwerb bewirtschaftet. Das Einzugsgebiet wurde im Rahmen eines Gutachtens des Ingenieurbüros HEIMBUCHER (1991) im Auftrag der Gemeinde Weihenzell abgegrenzt.

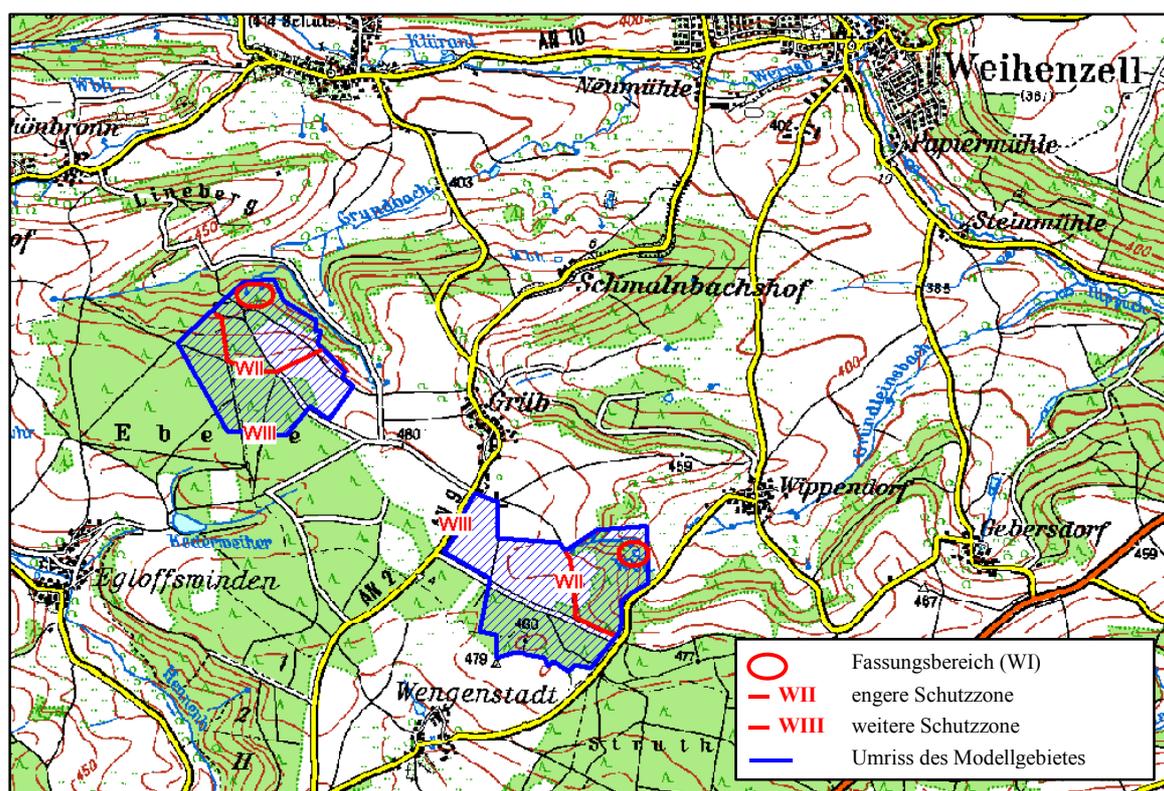


Abb. 4: Lage der Modellgebiete Grüb und Wehenzell (Quelle: TK 1:50 000)

2.2.3 Regierungsbezirk Unterfranken

Bastheim (Extensivierung)

Die Wasserversorgungsanlage Bastheim befindet sich im Landkreis Rhön-Grabfeld ca. 12 km nordöstlich von Bad Neustadt/Saale (vgl. Abbildung 5). Das Modellgebiet erstreckt sich über eine Länge von 1 700 m und eine Breite von 800 m. Von den ca. 126 ha Gesamtfläche werden ca. 73 ha als Acker genutzt. 20 Landwirte bewirtschaften die Ackerflächen im Modellgebiet. Im Modellgebiet befinden sich zwei verschlossene Bauschuttdeponien. Die Abgrenzung des WEG wurde vom Geologischen Institut NUSS (1992) und dem WWA Schweinfurt durchgeführt. Es wurde als Vergleichsmodellgebiet zu Oberwaldbehungen ausgewählt.

Oberwaldbehungen (gute fachliche Praxis)

Die Wasserversorgungsanlage Oberwaldbehungen befindet sich im Landkreis Rhön-Grabfeld, ca. 11 km nordöstlich von Bad Neustadt/Saale (vgl. Abbildung 6). Das dazugehörige WEG hat eine Länge von 1 400 m und eine Breite von 1 700 m und liegt nördlich des Ortes Oberwaldbehungen. Am südöstlichen Rand befindet sich eine Kleingartenanlage. Das Modellgebiet umfasst eine Fläche von ca. 180 ha, davon 71 ha Ackerland. Diese bewirtschaften 6 Haupt- und 6 Nebenerwerbslandwirte. Die Abgrenzung des Einzugsgebietes wurde vom WWA Schweinfurt vorgenommen.

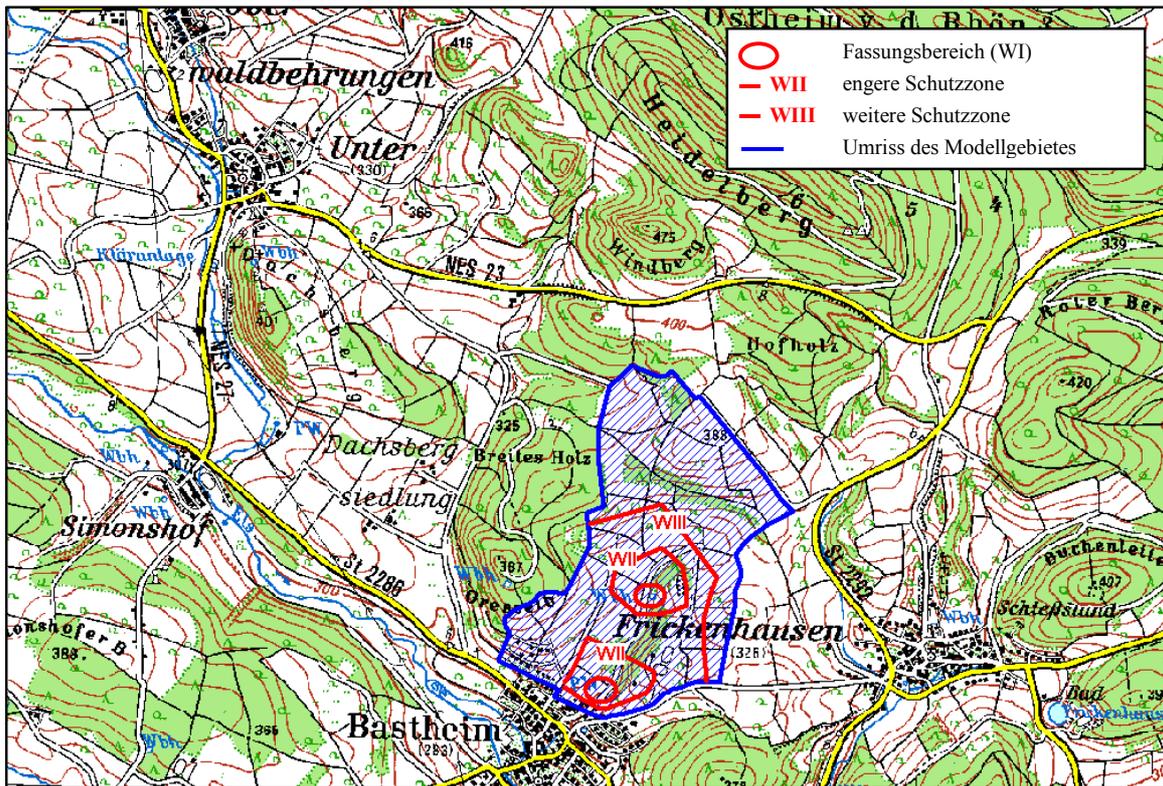


Abb. 5: Lage des Modellgebietes Bastheim (Quelle: TK 1:50 000)

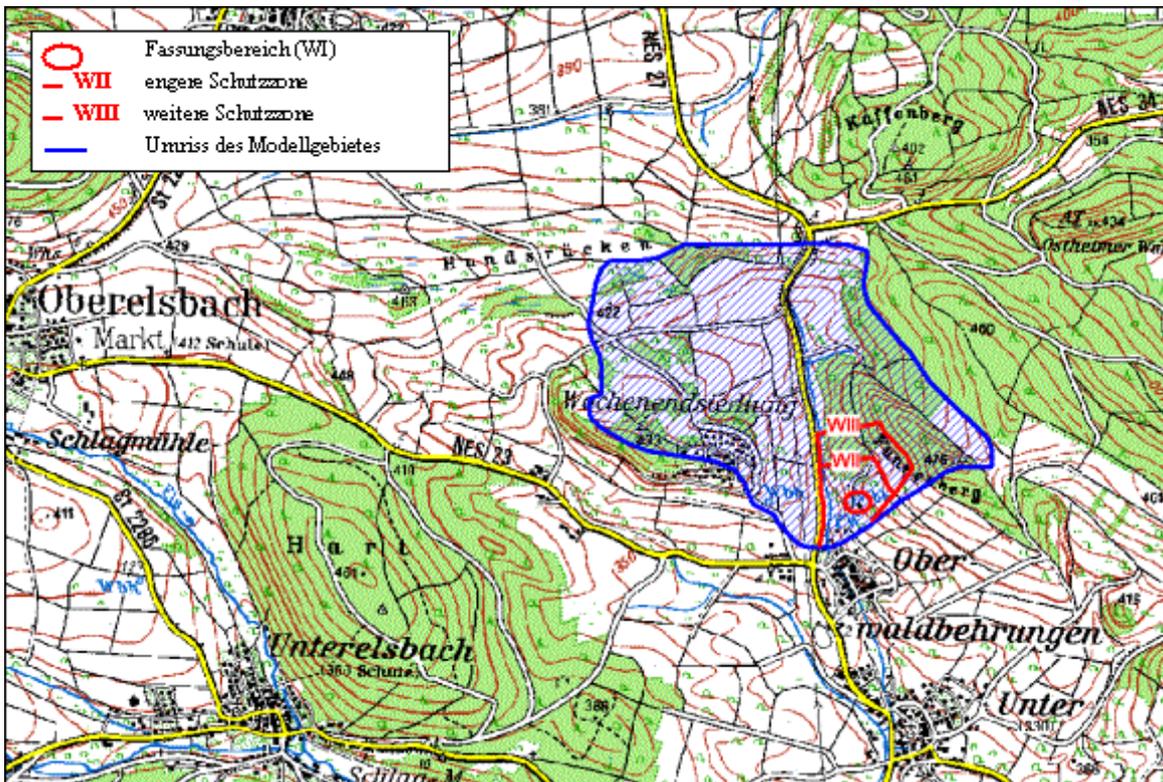


Abb. 6: Lage des Modellgebietes Oberwaldbehrungen (Quelle: TK 1:50 000)

2.2.4 Regierungsbezirk Schwaben

Hiltensingen (gute fachliche Praxis)

Die Wasserversorgungsanlage der Stadt Schwabmünchen befindet sich im Landkreis Augsburg ca. 30 km südlich von Augsburg am südöstlichen Ortsausgang der Gemeinde Hiltensingen (vgl. Abbildung 7). Das Modellgebiet umfasst eine Länge von 4 300 m und eine Breite von 1 300 - 1 500 m. Mit ca. 374 ha Gesamtfläche und ca. 318 ha Ackerfläche ist es das größte Modellgebiet. Es wird von 60 Landwirten bewirtschaftet. Die Abgrenzung des Modellgebietes wurde vom Ingenieurbüro BODEN UND WASSER 1991 und 1992 sowie vom LfW durchgeführt. Von Süden her tritt ein mächtiger Grundwasserstrom in das Modellgebiet ein. Das Modellgebiet umfasst die einjährige Bilanzfläche der Grundwasserneubildung der vier Flachbrunnen.

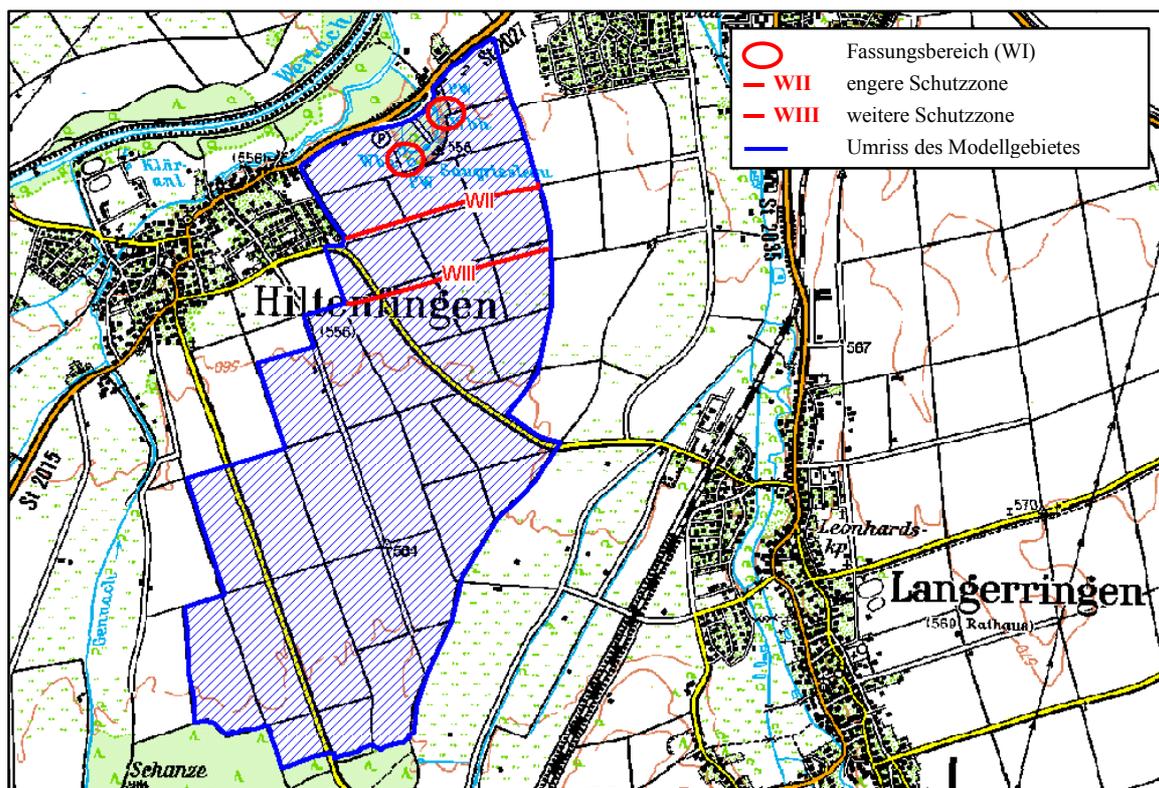


Abb. 7: Lage des Modellgebietes Hiltensingen (Quelle: TK 1:50 000)

2.3 Standortkundliche und hydrogeologische Beschreibung

In Tabelle 1 sind die Modellgebiete nach standortkundlichen und hydrologischen Kriterien beschrieben.

Alladorf

Das Einzugsgebiet der Fassung Jägerbrunnen liegt am Ostrand der nördlichen Frankenalb und wird vollständig von den bis zu 70 m mächtigen Ablagerungen des Unteren und Mittleren Malm eingenommen; im Unteren Malm herrschen geschichtete Kalk- und Mergellagen vor, im Oberen Malm überwiegend massige Kalke (Schwammkalkfazies). Tektonisch liegt das Einzugsgebiet am Ostrand der Hollfelder Mulde.

Tab. 1: Standortkundliche und hydrologische Beschreibung der Modellgebiete

Regierungsbezirk Modellgebiet	Oberfranken		Mittelfranken		Unterfranken		Schwaben Hiltensingen
	Alladorf	Heuchelheim	Grüb	Weihenzell	Bastheim	Oberwald- beherrungen	
Beratungsschwerpunkt	Extensivierung	gute fachliche Praxis	Extensivierung	gute fachliche Praxis	Extensivierung	gute fachliche Praxis	gute fachliche Praxis
Landschaft (GLA 1991)	nördliche Frankenalb	nördlicher Steigerwald	Zenn-Rezat- Abdichtung	Zenn-Rezat- Abdichtung	Östl. Vorröhn	Östl. Vorröhn	westliches Lechfeld
Geologie	Jura: Malm	Trias: Keuper	Trias: Keuper	Trias: Keuper	Trias: Muschelkalk	Trias: Muschelkalk	Quartär: Niederterrassen- schotter
Höhenlage (m ü. NN)	450-550	350-375	450-475	450-475	300-390	345-395	455-470
Jahresniederschläge (mm)	700-800	650-750	625-725	625-725	600-700	600-700	800-900
vorwiegende Bodenart	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm	lehmiger Sand, sandi- ger Lehm, sandig toniger Lehm	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm	sandiger Lehm, sandig toniger Lehm
Bodenschätzung: Entstehung Ackerzahlen	V, Vg 18-45	V 28-39	V 25-42	V 28-45	V, Vg 25-62	V, Vg 25-60	D, AL (LÖ) 61-71
nutzbare Feldkapazität (mm)	50-100	80-120	70-110	80-110	60-130	80-130	125-175
Grundwasserleiter	Karstgrund- wasserleiter	Poren-, Klufgrund- wasserleiter	Poren-, Klufgrund- wasserleiter	Poren-, Klufgrund- wasserleiter	Klufgrund- wasserleiter	Klufgrund- wasserleiter	Porengrund- wasserleiter
mittlere Grundwasserbildung (mm/a)	200-250	175-220	175-200	175-200	125-150	125-150	300-350
Wasserversorgungsanlage (Tiefe in m)	1 Quelfassung	3 Quelfassungen	2 Quelfassungen	1 Quelfassung	2 Flachbrunnen (9-27)	1 Flachbrunnen (40)	4 Flachbrunnen (11-29)
mittlere Fördermenge (m ³ /a)	19000	16000	27000	5700	200000	17000	425000
Nitratbelastung zu Projektbe- ginn (mg/l)	45-55	60-70	60-70	60-70	45-55	45-55	45-55

Die Jurakalktafel ist hier etwas eingebogen, von Busbach bis Alladorf verläuft die Tiefenlinie einer Muldenstruktur. Nordöstlich davon fallen die Gesteinsschichten mit etwa 3 % nach WSW, südwestlich davon mit etwa 2 % nach NNW ein. Größere Störungen oder Verwerfungen wurden nicht festgestellt, wohl aber zeichnen die vorhandenen Trockentälchen das Kluftsystem recht genau nach. Erfahrungsgemäß ist die Klüftung und Verkarstung im Untergrund der Trockentäler besonders ausgeprägt, die Trockentäler im Einzugsgebiet sind dann auch die bevorzugten Versickerungszonen für das Oberflächenwasser.

Die Jurakalktafel liegt hochflächenartig auf dem Dogger. Der Ornatenton des Oberen Doggers stellt die Stauschicht dar; teilweise können auch die Mergellagen des Unteren Malms als Stauer wirken. Der Grundwasserleiter ist sonst der nicht vermergelte Teil des Unteren Malms und die Schwammkalkfazies des Mittleren Malms. An der Grenze Dogger/Malm treten zahlreiche Quellen aus. Der Malm stellt sich hier als teilweise verkarsteter Kluftgrundwasserleiter dar. Der Wasserspiegel dürfte kaum höher als bis 10 m über die Malmbasis aufsteigen.

Das Einzugsgebiet des Jägerbrunnens hat eine Fläche von ca. 2,1 km². Bei einer mittleren Grundwasserneubildung von 200 - 250 mm/a ergäbe sich theoretisch eine mittlere Schüttung von über 11 l/s, wenn oberirdisches und unterirdisches Einzugsgebiet übereinstimmen würden. Es muss jedoch damit gerechnet werden, dass ein Teil des Karstwassers durch den Ornatenton sickert und zur Grundwasserneubildung im darunter liegenden Doggersandstein beiträgt. Die Wahrscheinlichkeit des Übertritts ist dort am größten wo die Gesteine am tektonisch meisten beansprucht werden, also im Bereich der Verbiegung zwischen Busbach und Alladorf. Dies würde auch einige Quellaustritte bei Trumsdorf und Busbach im Doggersandstein erklären, die sonst dort nicht auftreten könnten.

Angekoppelte andere Grundwasserleiter gibt es hier nicht, wohl aber können Bereiche außerhalb des oberirdischen Einzugsgebietes aufgrund ihres Schichteinfallens zum Brunnen hin entwässern, dies bestätigt auch der Markierungsversuch (HYDROISOTOP 1997). Wie bei den Modellgebieten Oberwaldbehrungen und Bastheim wurden alle landwirtschaftlichen Flächen des Einzugsgebietes einbezogen von denen unmittelbare Auswirkungen auf den Untergrund ausgehen. Im verkarsten Malmkalk können weitere Flächen, insbesondere bei temporären Verschiebungen der Grundwasserscheide, zugeschaltet sein, doch ist ein parzellenscharfer Nachweis hierbei nicht realisierbar.

Heuchelheim

Die Quellfassung der Wasserversorgung von Heuchelheim nutzt einen Quellaustritt aus dem Blasensandstein des Mittleren Keuper über den stauenden Lehrbergschichten am südlichen Talhang der Reichen Ebrach. Das Einzugsgebiet umfasst noch weitere Schichtglieder des Mittleren Keuper, in Hangenden den Dachletten als Top des Blasensandsteins, den darüber anstehenden Coburger Sandstein und den Letten des unteren Burgsandsteins („Heldburgfazies“). Die beiden letzten Schichtglieder umfassen aber nur den Rücken des Schwalbenzabl, liegen also in etwa halbinselartig auf dem Blasensandstein.

Das gesamte Schichtpaket fällt flach in Richtung NO ein, so dass am Talhang zur Reichen Ebrach hin eine Reihe von Quellaustritten im Blasensandstein entstand.

Das rückwärtige Einzugsgebiet, das vom Dachletten mit dem aufliegenden Coburger Sandstein und den Letten der Heldburgfazies überdeckt ist und etwa die Hälfte des Einzugsgebietes ausmacht, stellt für das Grundwasservorkommen im Blasensandstein eine ausreichende Überdeckung dar. Ein schwebendes Grundwasserstockwerk im geringmächtigen Coburger Sandstein konnte nicht eindeutig festgestellt werden. Abflüsse aus dieser Schicht erfolgen wohl unmittelbar hangabwärts in den Blasensandstein. Der nördliche Teil

des Einzugsgebietes zum Talrand hin wird unmittelbar vom Blasensandstein eingenommen, der nur dünn mit sandigem Lehm überdeckt ist.

Grüb, Weihenzell

Die Quelfassungen der Wasserversorgung Grüb und Weihenzell haben die gleiche hydrogeologische Situation wie die Quelfassung von Heuchelheim. Der Grundwasserleiter ist der Blasensandstein, die Quellaustritte liegen an der Grenze zu den stauenden Lehrberg-schichten. Morphologisch stellt sich das Gebiet als Hochfläche („Grüber Sattel“) zwischen den Tälern der Fränkischen Rezat im SW und der Zell im NO dar. Von beiden Seiten schneiden die kleinen Seitentäler des Grundbaches, des Muckwiesengrabens und des Gründleinsbaches in die Hochfläche ein. In diesen Seitentälern treten zahlreiche Quellen am Schichtwechsel Lehrberg-schichten/Blasensandstein aus.

Die Quelfassung Weihenzell ist im oberen Teil des Gründleinsbaches oberhalb von Wippondorf gelegen, die Fassung Grüb (heute Weihenzell Neumühle) im oberen Teil des Grundbaches. Das Einzugsgebiet umfasst in beiden Fällen ebenfalls den hier allerdings sehr geringmächtigen Coburger Sandstein im Hangende. Der Dachletten dazwischen scheint nur wenig entwickelt zu sein.

Bastheim und Oberwaldbehungen

Beide Einzugsgebiete werden von Gesteinen des Buntsandsteines und des Muschelkalkes nur untergeordnet von Gesteinen des Keupers aufgebaut. Jüngere Schichten fehlen. Überdeckt werden die Hänge z. T. mit eiszeitlichem Löss, der zu Lösslehm verwittert und entkalkt ist, in den Tälern liegen geringmächtige Talfüllungen aus Flusskies und -sand.

Das Gebiet ist tektonisch kompliziert als Bruchschollenland angelegt. Insgesamt fallen die Schichten flach nach OSO ein, die Vielzahl der vorhandenen Bruchstrukturen modifiziert das Bild jedoch. Ein wichtiges Bruchelement ist die Heustreuer Störungszone, die in OSO-WNW-Richtung das nördliche Unterfranken durchzieht und aus einer Anzahl parallel verlaufender Verwerfungen besteht. Diese Zone wird durch NS bis NO-SW verlaufende Querstörungen weiter gegliedert. Beide Streichrichtungen zeichnen die großräumige Schollenstruktur und damit auch die beider Einzugsgebiete vor. An den Störungen bildeten sich größere Verwerfungen mit z. T. erheblichen Sprunghöhen aus. Durch die Sprunghöhenunterschiede können verschieden alte Schichten heute nebeneinander liegen, z. B. grenzt am Heidelberg der Mittlere Muschelkalk tektonisch an den Unteren Keuper und südlich von Frickenhausen der Mittlere Buntsandstein an den Mittleren Muschelkalk.

Die Geländegestalt gibt das tektonische Kluft- und Störungsnetz recht deutlich wider. Das Tal- und Gewässernetz bildete sich aus diesen Störungszonen, die für die Erosion Schwächezonen in der Erdkruste sind, z. B. das Elsbachtal und seine NS verlaufenden Seitentäler.

Grundwasserleiter für beide Wasserversorgungsanlagen ist der Muschelkalk, bei Oberwaldbehungen der Obere und Mittlere Muschelkalk, bei Bastheim der Untere Muschelkalk. Das stauende Element sind in beiden Gebieten Tonsteine des Oberen Buntsandstein. Andere Grundwasserleiter wie der Buntsandstein selbst oder die quartären Talfüllungen spielen hier keine Rolle.

Der Brunnen Oberwaldbehungen wurde 1954 ca. 200 m nördlich der damaligen Orts-grenze in den Oberen Muschelkalk abgeteuft; er ist 40 m tief und durchteuft den Grundwasserleiter nicht. Eine schützende Überdeckung existiert nur in Ansätzen, an der Bohrstelle sind dies nur ca. 5 m mergelige dunkelgraue Tonsteine. Der Ruhewasserspiegel liegt bei 9,4 m unter Gelände.

Brunnen I der Wasserversorgung Bastheim steht ca. 500 m nördlich vom Ort, er ist 30,5 m tief, der Ruhewasserspiegel liegt bei 8,5 m unter Gelände. Brunnen II (Baujahr 1979) steht ca. 450 m nordöstlich des Brunnens I, er ist 60 m tief. Da er etwa 20 m höher liegt, befindet sich der Ruhewasserspiegel bei 25,6 m unter Gelände. Beide Brunnen stehen in einem NNO-SSW gerichteten Nebental des Elsbaches im Unteren Muschelkalk. Die Überdeckung ist bei beiden Brunnen gering und wenig wirksam.

Die Ermittlung der Einzugsgebiete erfolgte in Anlehnung an die Leitlinien für die Ermittlung der Einzugsgebiete von Grundwassererschließungen des LfW.

Das Einzugsgebiet für den Brunnen Oberwaldbehungen erstreckt sich beiderseits des Tälchens bis zu den Höhen hinauf. Das Wasserschutzgebiet deckt somit nur knapp die linke Hälfte des orographischen Einzugsgebietes ab. Die ermittelte Fläche ist bei einem errechneten Mittelwert der Grundwasserneubildungsrate von 3,8 l/s* km² realistisch (vgl. Abbildung 6).

Die Einzugsgebietsgrenze der Brunnen von Bastheim liegt in westlicher Richtung etwa 500 m von den Ortschaften Unter- und Oberwaldbehungen entfernt. Westlich dieser Begrenzung fließt das Grundwasser in Richtung Westen ab. Im Norden kann die Verwerfungslinie bei den Höhen Gerlas, Haufenberg und Windberg als Begrenzung des Einzugsgebietes angenommen werden. An dieser Verwerfung werden Gesteine des Muschelkalkes gegen den Mittleren Buntsandstein abgeschoben; dies fällt in der Regel mit einer größeren Klüftigkeit zusammen. Vermutlich strömt alles Grundwasser von hier aus nach NO. Auf seiner Ostseite reicht das Einzugsgebiet bis zur Anhöhe des Spielbergs. Das Einzugsgebiet der beiden Brunnen von Bastheim hat damit eine Fläche von etwa 8 km².

Angekoppelt an diesen unterirdischen Zustrombereich ist noch der nördliche Teil des Elsbacheinzugsgebietes an den Südhängen des Heidelberges und der Höhe 461 im Forst Ostheim v. d. Rhön. Bilanzmäßig schlägt dieser Teil nicht mehr stark zu Buche, er kann jedoch qualitativ von Bedeutung sein.

Als Modellfläche wurde von diesem Gebiet der landwirtschaftlich relevante Teil gewählt (vgl. Abbildung 5), da von diesen Flächen die hauptsächliche Belastung mit Nitrat bzw. Pflanzenschutzmittelwirkstoffen ausgehen kann.

Hiltensingen

Das Modellgebiet Hiltensingen ist ein Beispiel für den vor allem in Südbayern häufigen Typus des flachgründigen Flußtal-Grundwasserleiters. Grundwasserleiter ist der würmhoch- bis spätglaziale Niederterrassenschotter. Die Fläche wird seitlich begrenzt durch die leicht eingesenkte Wertachtalsole im Westen und das Gennachtal im Osten. Die Mächtigkeit des Niederterrassenschotters beträgt im Untersuchungsgebiet durchschnittlich 8 m, grundwassererfüllt sind davon aber selten mehr als die unteren drei Meter über der feinkörnigen Sohlschicht. Diese Sohlschicht bildet die überall im Untergrund anstehende feinsandig-schluffige Obere Süßwassermolasse des Jungtertiärs, die selbst auch Grundwasserleiter mit geringer Durchlässigkeit ist.

Die Wasserversorgung der Stadt Schwabmünchen besteht aus den Flachbrunnen I bis III, die in das liegende Tertiär einbinden, dem Brunnen IV, der auch die obersten Tertiärfineisande mit erfasst und dem hier nicht relevanten Tiefbrunnen V, der tiefreichend abgesperrt ist und kein Quartärstockwerk nutzt.

Die seitliche Begrenzung des Einzugsgebietes der Brunnen I mit IV ist durch die Lage des Niederterrassenschotters bzw. die Ausdehnung des Zustrombereichs gegeben. Die stromaufwärtige Begrenzung ist nicht ohne weiteres zu ermitteln. Ausgangsbasis dürfte die südlich von Buchloe ansetzenden risseiszeitlichen Moränen sein, teilweise auch der ostsei-

tige Teilstrom im breiten Trockental bei Kaufbeuren-Neugablonz. Hierzu konnte noch keine endgültige Untersuchung durchgeführt werden.

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes ist somit noch nicht vollständig. Dies ist aber gleichzeitig eine Chance, die Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen auch in Teileinzugsgebieten zu prüfen. Das hydrogeologische Gutachten von 1991 schlägt die Ausweitung einer weiteren Schutzzone III B mit einer Ausdehnung soweit nach Süden vor, dass das Grundwasser, bei einer festgestellten Fließgeschwindigkeit von ca. 8 m/d zu den Brunnen, etwa 1 Jahr Fließzeit benötigt. Dies umfasst eine Fläche bis zum Waldstück nördlich des Ortes Gennach. Der Grundwasserstrom tritt in das Untersuchungsgebiet bereits mit einer Vorbelastung ein.

2.4 Hydrogeochemische Charakterisierung des Grundwassers

Zusätzlich zur kontinuierlichen Bestimmung der Nitratgehalte (vgl. Kap. 4.1) und der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe (vgl. Kap. 4.3) wurden von 1993 bis 1997 im Rahmen des Messprogramms vierteljährlich hydrochemische Grundparameter der genutzten Grundwasservorkommen analysiert. Die Verdichtung der Messungen über die vorgeschriebene jährliche Analyse hinaus diente zur Überprüfung des Langzeitverhaltens der Grundwasserinhaltsstoffe. Hierbei zeigten sich keine signifikanten Änderungen in den Konzentrationen, lediglich jahreszeitlich bedingte Schwankungen deuteten sich an. In Tabelle 2 sind die mittleren (Mittel 1993 - 1997) hydrogeochemischen Untersuchungswerte zusammengestellt.

Das Grundwasser im Malmkalk des Karstgrundwasserleiters (**Alladorf**) ist typisch. Auffallend ist hier nur der sehr niedrige Magnesiumgehalt.

Die Grundwasserleiter des Sandsteinkeupers (**Heuchelheim, Grüb, Weihenzell**) lassen deutlich eine höhere Härte erkennen, die auf Calcium- plus Magnesiumhärte beruht. Erhöhte Magnesiumgehalte sind hier charakteristisch. Desgleichen treten leicht erhöhte Natrium-, Sulfat- und Chloridgehalte auf, die eine gewisse Verwandtschaft mit den Schichten des räumlich benachbarten Gipskeupers anzeigen.

Im Kluftgrundwasserleiter Muschelkalk (**Bastheim, Oberwaldbehrungen**) fällt lediglich der typisch höhere Calciumgehalt auf.

Das Kalkschotterwasser des jungquartären Niederterrassenschotters (**Hiltensingen**) ist ebenfalls unauffällig bis auf den leicht erhöhten, aber für Kalkschotter keinesfalls ungewöhnlichen Magnesiumwert sowie den leicht erhöhten Natriumgehalt, der keine geogene Ursache zu haben scheint.

Tab. 2: Hydrogeochemische Charakterisierung des Grundwassers der Modellgebiete

	Alladorf	Hechelheim	Weihen-zell	Grüb	Oberwald-behrugen	Bastheim	Hiltens-fingen
Grundwasser-leiter	Karst-grund-wasser-leiter	Poren-, Kluft-grundwasserleiter			Kluftgrund-wasserleiter		Poren-grund-wasser-leiter
Geologie des Grundwasser-leiters	Jura: Malm	Trias: Mittlerer Keuper			Trias: Muschelkalk		Quartär: Niederter-rassen-schotter
pH-Wert	7,0	7,4	7,5	7,4	7,3	7,0	7,2
Leitfähigkeit (µS/cm)	570	622	653	711	594	635	675
Säurekapazität (pH 4,3)	4,0	5,1	4,9	5,8	5,7	5,9	6,4
Basenka-pazität (pH 8,2)	0,1	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	0,8
Calcium (mg/l)	116	75	89	96	125	138	110
Magnesium (mg/l)	2,5	40	36	44	13	12	26
Natrium (mg/l)	2,4	6,6	8,3	4,9	4,2	4,6	9,3
Kalium (mg/l)	0,7	1,7	1,6	1,6	0,9	1,6	1,5
Sulfat (mg/l)	25	32	54	54	32	37	18
Chlorid (mg/l)	13	23	29	28	18	19	19

(Quelle: LfW 1997)

3 Ansatzpunkte zur Verminderung von Nitrateintrag in das Grundwasser

Die Verminderung des Nitrateintrages in das Grundwasser wurde in allen Modellgebieten durch Optimierung der guten fachlichen Praxis unter Zuhilfenahme folgender Ansatzpunkte angestrebt:

- Kartierung der Flächen- und Ackernutzung,
- Optimierung des Zwischenfruchtanbaus,
- Nährstoffsaldierung der landwirtschaftlichen Betriebe,
- Einsatz des Düngeberatungssystems Stickstoff (DSN),
- Einrichtung von Stickstoff-Monitoringflächen,
- Verbesserung des Güllemanagements,
- Einzelbetriebs- und Gruppenberatung.

In den drei Extensivierungs-Modellgebieten wurden die Landwirte zusätzlich hinsichtlich der staatlichen Extensivierungsprogramme (KULAP, Brache) sowie weiterer extensiver Bewirtschaftungsmöglichkeiten in Absprache mit dem zuständigen Wasserversorgungsträger beraten. Dabei wurden folgende Schwerpunkte gesetzt:

Alladorf (Oberfranken):

Extensivierung durch KULAP und Brache.

Grüb (Mittelfranken):

Extensivierung durch extensiven Feldfutterbau und KULAP:

Die Gemeinde Weihenzell hat rund die Hälfte der Ackerfläche eines Landwirtes im Modellgebiet gegen Flächen außerhalb getauscht. Die Fläche im Modellgebiet konnte der Landwirt zusätzlich mit Feldfutteranbau (Klee gras) ohne Düngung nutzen.

Bastheim (Unterfranken):

Extensivierung durch Brache und KULAP:

Die angesäte Dauerbrache wurde von der Gemeinde finanziell unterstützt. Die Ansaat mit einer Grünlandmischung sollte möglichst im Herbst erfolgen. Die Kombination von Dauer- und Rotationsbrache innerhalb des Verpflichtungszeitraumes war wegen des Umbruchs und der damit verbundenen N-Freisetzung ausgeschlossen. Die Saatstärke von Leguminosen (Klee) war auf 1 kg/ha begrenzt.

3.1 Flächen- und Ackernutzung

3.1.1 Flächennutzung

Die potentielle Gefahr der Auswaschung von Nitrat ist abhängig von der Flächennutzung und steigt von Wald über Grünland zu Ackerland an. In den Modellgebieten wurde deshalb die Flächennutzung in den Jahren (Abbildung 8) kartiert. Die Modellgebiete Heuchelheim, Alladorf und Hiltenfingen weisen mit ca. 80 % Ackernutzung eine potentiell größere Gefahr der Nitratauswaschung auf als das Modellgebiet Grüb mit nur ca. 22 % Ackernutzung. Oberwaldbehungen, Bastheim, Weihenzell liegen mit 40 - 58 % im Mittelfeld.

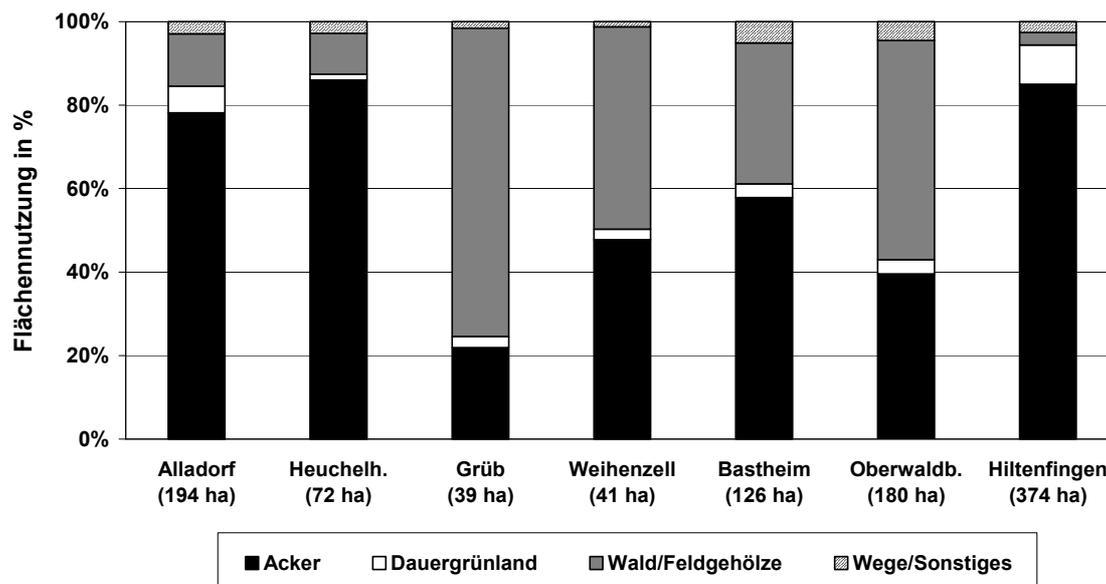


Abb. 8: Flächennutzung in den Modellgebieten (Zeitraum 1994 - 2002)

3.1.2 Ackernutzung

Die potentielle Nitratauswaschungsgefahr auf Ackerflächen hängt maßgeblich von den angebauten Fruchtarten ab. Je länger die Bodenbedeckung desto geringer ist die Gefahr von Nitratausträgen. Deshalb sind Stilllegungsflächen und Klee gras (i.d.R. mehrjährig) günstiger einzustufen als Wintergetreide und Winterraps. Am ungünstigsten sind Sommerkulturen (z. B. Mais) ohne vorhergehenden Zwischenfruchtanbau. Intensiv gedüngte Kulturen wie z. B. Mais und Raps weisen zu Vegetationsende häufig höhere N_{\min} -Gehalte im Boden auf als sog. Extensivkulturen wie z. B. Sommergetreide.

Deshalb wurde in den einzelnen Modellgebieten jährlich die Ackernutzung kartiert. Die Abbildungen 9 bis 15 zeigen die Ackernutzung in den einzelnen Modellgebieten jeweils im Herbst der einzelnen Jahre. Bei der Beurteilung des Zwischenfruchtanbaus ist zu berücksichtigen, dass rund 82 % der Zwischenfrüchte bis Ende November umgebrochen wurden (vgl. Kapitel 3.2.2).

Alladorf

In Alladorf (Abbildung 9) fällt die Zunahme des Zwischenfruchtanbaus im Jahr 1997 auf. Im Herbst 1997 wurde damit eine Bodenbedeckung von 87 % erreicht. In den anschließenden Jahren wurde der Zwischenfruchtanbau kontinuierlich reduziert und der Grad der Bodenbedeckung im Herbst sank auf unter 50 % im Jahr 2001. Begründung für die im Gegensatz zu den anderen Modellgebieten relativ geringe Bodenbedeckung im Herbst ist, dass in Alladorf viele extensive Sommergetreidearten angebaut wurden. Im Mittel der Jahre lag der Anteil von Sommergerste und Hafer bei 38 %. Die Anteile von Raps, Wintergetreide, Klee gras und Stilllegung blieben im Beobachtungszeitraum auf annähernd konstantem Niveau.

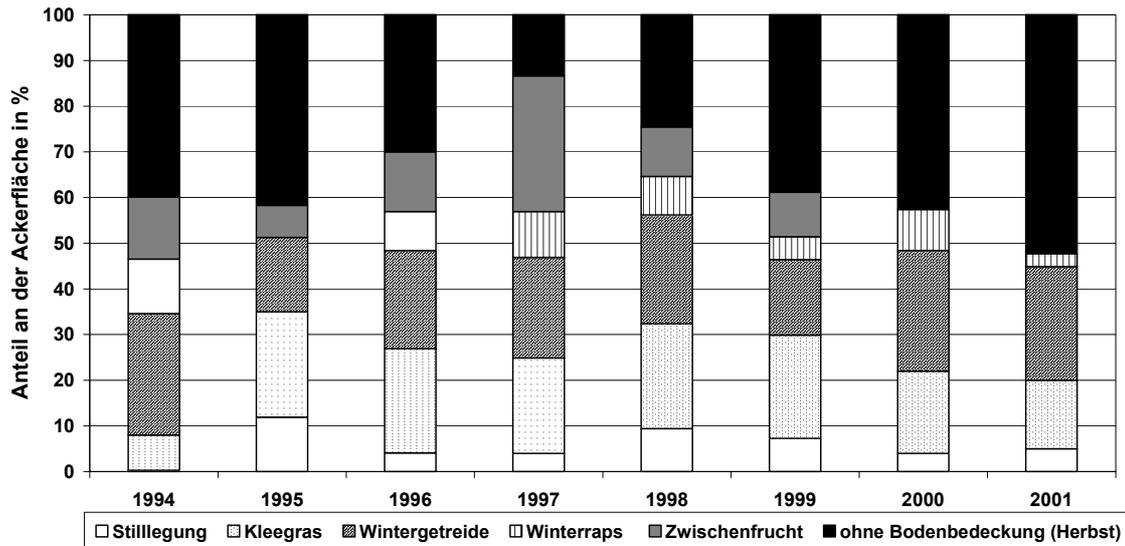


Abb. 9: Ackerntzung im Modellgebiet Alladorf (Extensivierung)

Heuchelheim

In Heuchelheim (Abbildung 10) wurde im Beobachtungszeitraum ein Großteil der Ackerflächen mit Wintergetreide bestellt. Der Anbau von Winterraps schwankte zwischen 0 und 26 %. Besonders auffällig ist, dass im Gegensatz zu allen anderen Modellgebieten kein Kleegras angebaut wurde. Stilllegungsflächen wurden erstmalig 1997 im Einzugsgebiet festgestellt. Der Anteil reduzierte sich von 20 % (1997) kontinuierlich auf 4 % (2001). Der Anteil an Zwischenfruchtanbau lag mit Ausnahme von 2001 (0 %) auf einem annähernd konstantem Niveau. Als Sommerungen wurden vor allem Silomais (13 % im Mittel der Jahre) und Sonnenblumen (7 % im Mittel der Jahre) angebaut.

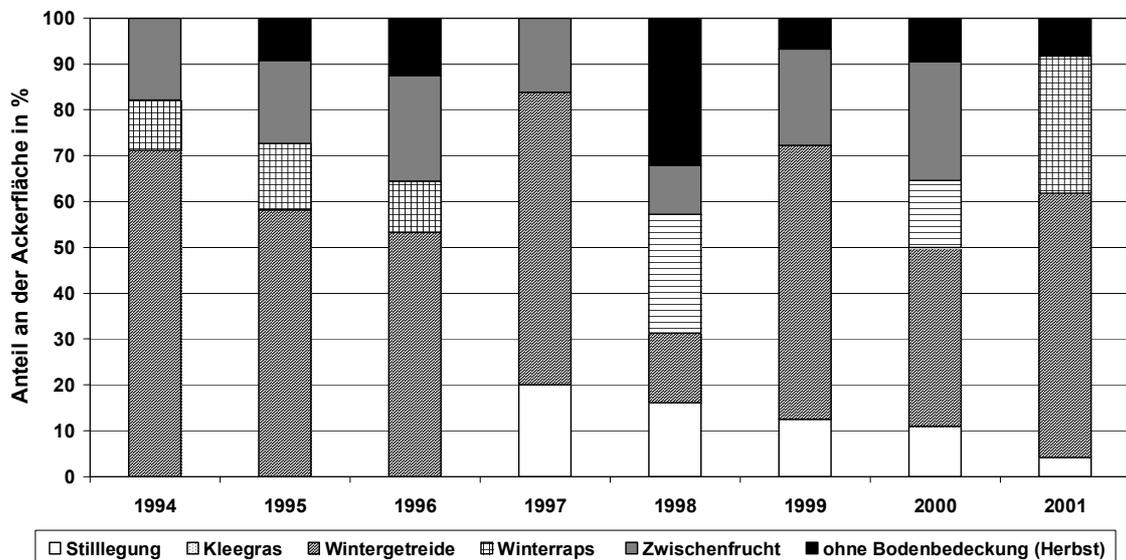


Abb. 10: Ackerntzung im Modellgebiet Heuchelheim (gute fachliche Praxis)

Grüb

Im Modellgebiet Grüb (Abbildung 11) wurde der extensive Feldfutterbau (Anbau von Klee gras ohne Düngung) von der Gemeinde finanziell unterstützt. Das führte dazu, dass ca. 58 % der Ackerflächen als extensive Futterfläche bzw. als Stilllegung genutzt wurden. Auf der übrigen Ackerfläche wurden vor allem Wintergetreide und Silomais angebaut. Zwischenfrüchte wurden lediglich 1995 und 1998 jeweils vor Mais angebaut.

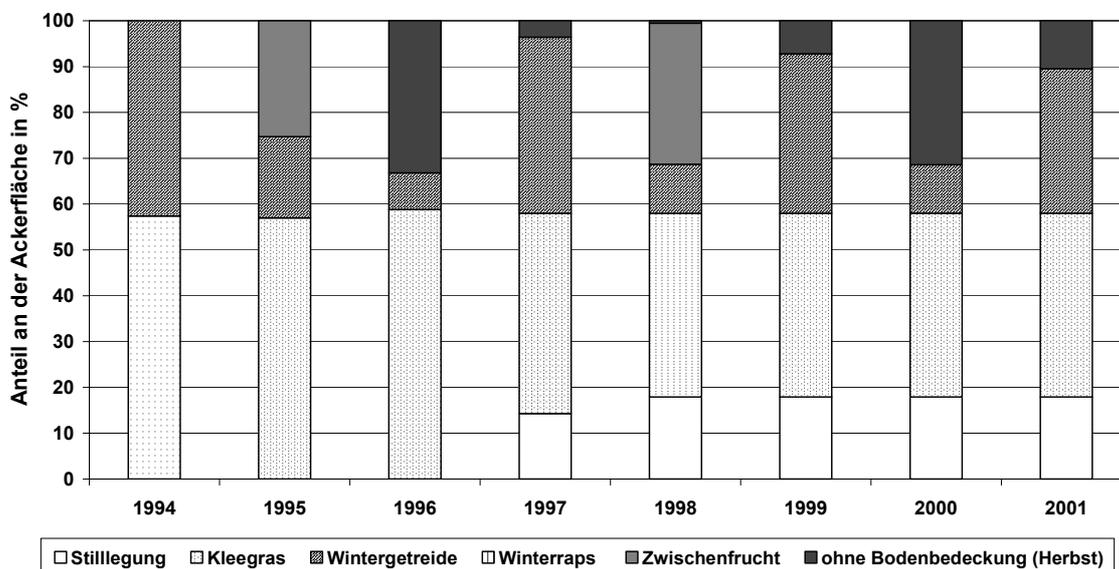


Abb. 11: Ackernutzung im Modellgebiet Grüb (Extensivierung)

Weihenzell

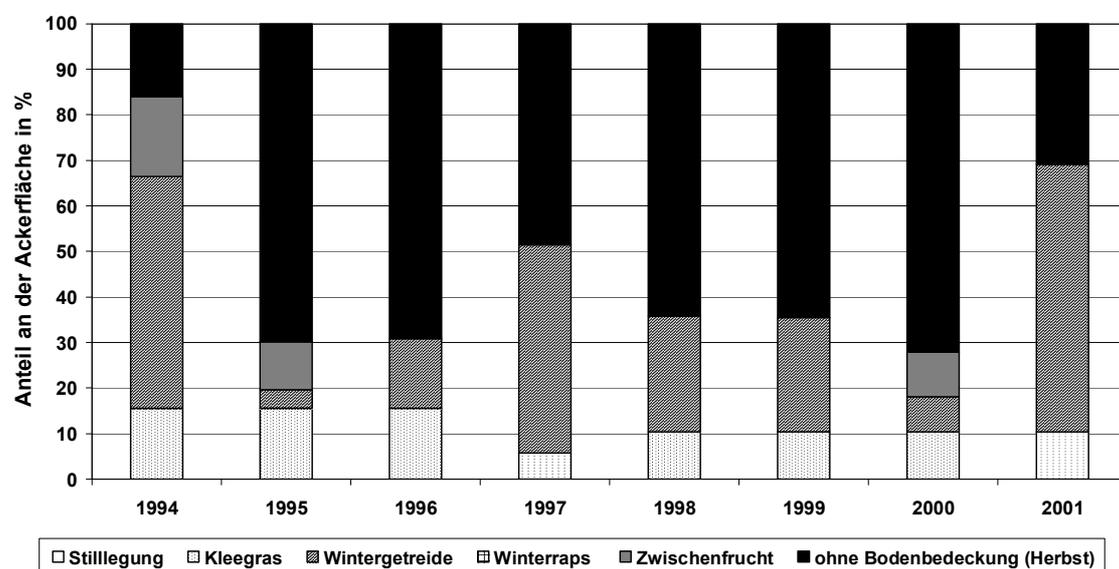


Abb. 12: Ackernutzung im Modellgebiet Weihenzell (gute fachliche Praxis)

Auffällig ist der durch den hohen Anteil an Sommerungen geringe Bodenbedeckungsgrad im Herbst im Modellgebiet Weihenzell (Abbildung 12). Auf Zwischenfruchtanbau wurde nahezu vollständig verzichtet. Im Mittel der Jahre lag der Maisanteil bei 35 % und der Anteil an Zuckerrüben bei 19 %. Die übrige Ackerfläche wurde mit Wintergetreide und Klee gras bestellt.

Bastheim

Im Modellgebiet Bastheim (Abbildung 13) war der Anteil an stillgelegten Flächen aufgrund einer zusätzlichen Förderung der Gemeinde sehr hoch (32 - 48 %). Der relativ hohe Anteil ohne Bodenbedeckung war vor allem auf den großen Anteil an Sommergerste (21 % im Mittel der Jahre) zurückzuführen. Die restliche Ackerfläche wurde größtenteils mit Wintergetreide und Winterraps bestellt. Der Anbau von Zwischenfrüchten hatte in Bastheim keine Bedeutung.

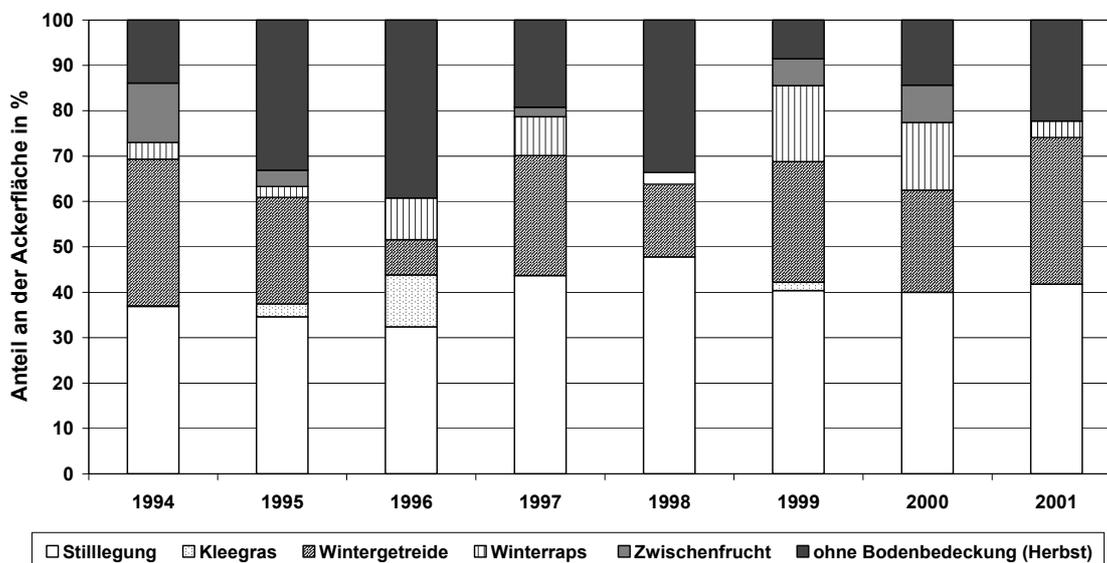


Abb. 13: Ackernutzung im Modellgebiet Bastheim (Extensivierung)

Oberwaldbehrungen

Den größten Anteil an der Ackerfläche im Modellgebiet Oberwaldbehrungen (Abbildung 14) nahmen die Wintergetreidearten ein (30 - 55 %). Der Anteil an Stilllegung und Kleegrass lag im gesamten Beobachtungszeitraum immer unter 10 %. Auffällig ist der relativ hohe Anteil an Zwischenfrüchten (14 - 26 %), einzige Ausnahme bildet das Jahr 2001 (0 %). Als Sommerungen wurden in erster Linie Sommergerste (14 % im Mittel über die Jahre) und Silomais (9 % im Mittel über die Jahre) angebaut. Die Restfläche wurde mit Winterraps bestellt.

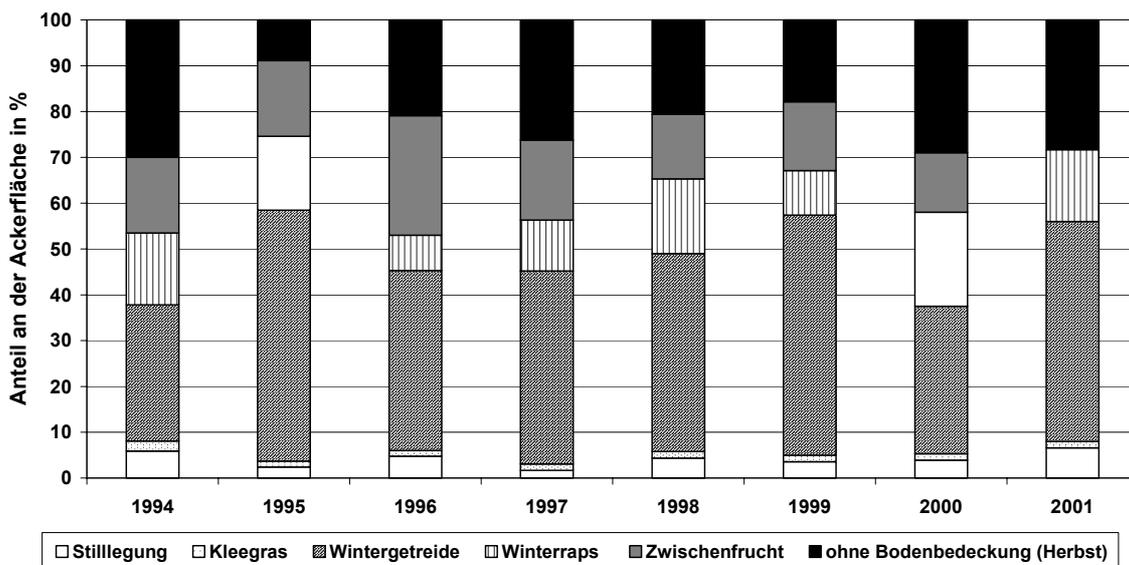


Abb. 14: Ackernutzung im Modellgebiet Oberwaldbehungen (gute fachliche Praxis)

Hiltentingen

Der prozentuale Anteil der einzelnen Kulturen an der Ackerfläche unterlag im Modellgebiet Hiltentingen (Abbildung 15) nur geringen Jahresschwankungen. Begründung hierfür ist die enorme Größe (374 ha) des Modellgebietes, wodurch Anbauentscheidungen eines einzelnen Landwirtes nicht so stark zum Tragen kamen wie in kleineren Modellgebieten.

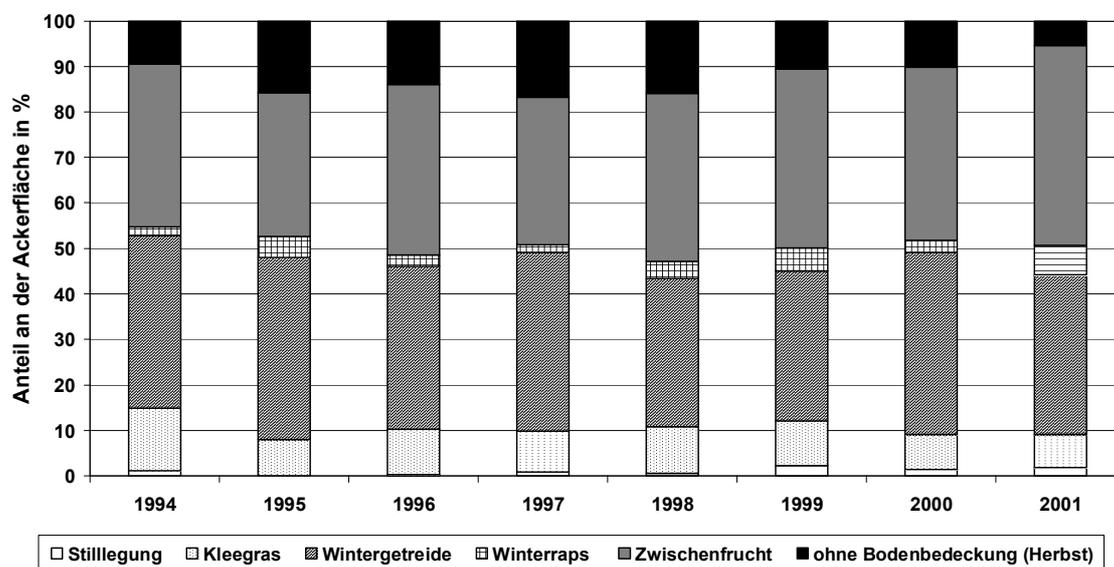


Abb. 15: Ackernutzung im Modellgebiet Hiltentingen (gute fachliche Praxis)

Besonders auffällig war der hohe Anteil an Zwischenfruchtanbau (32 - 44 %). Knapp die Hälfte aller Ackerflächen wurde mit Sommerungen bestellt. Im Mittel über die Jahre wurden auf 22 % der Ackerflächen Sommergerste, auf 7 % Hafer und auf 15 % Silomais angebaut.

33 - 40 % der Flächen wurden mit Wintergetreide bestellt. Der Klee grasanteil schwankte zwischen 9 und 14 %. Stilllegung und der Anbau von Winterraps spielten in Hiltentingen eine untergeordnete Rolle.

Fazit:

In den Modellgebieten Alladorf, Heuchelheim und Hiltenfingen ist aufgrund des hohen Ackeranteils die potentielle Gefahr einer erhöhten Nitratauswaschung am größten.

In den Extensivierungs-Modellgebieten war der Fruchtartenanteil mit geringer N-Intensität relativ hoch. In Grüb wurde ein Großteil der Ackerflächen stillgelegt bzw. als extensive Futterfläche genutzt. In Bastheim lag zum einen der Anteil an stillgelegten Flächen auf einem sehr hohen Niveau und zum anderen war der Sommergerstenanteil verhältnismäßig hoch. In Alladorf war der Anteil an Sommergetreidearten relativ hoch. Da aber vergleichsweise wenig Zwischenfrüchte angebaut wurden, lag der Grad der Bodenbedeckung im Herbst relativ niedrig.

In den Modellgebieten Heuchelheim, Oberwaldbehungen und Hiltenfingen wurden große Anteile der Ackerflächen mit Wintergetreide bestellt. Sehr auffällig waren der sehr geringe Bodenbedeckungsgrad im Herbst im Modellgebiet Weihenzell sowie der hohe Anteil an Zwischenfruchtanbau in Hiltenfingen.

3.2 Zwischenfruchtanbau

Durch den Anbau von Zwischen- und Winterfrüchten, besonders von Winterraps und Wintergerste, kann Restnitrat im Boden nach der Ernte abgeschöpft und so das Auswaschungsrisiko reduziert werden. Anzustreben ist ein hoher Bodenbedeckungsgrad durch Pflanzenbewuchs im Spätherbst und Winter. Den Landwirten in den Modellgebieten wurde deshalb empfohlen, bei fehlender Winterung möglichst viel Fläche mit Zwischenfrüchten zu bestellen. Die Saatgutkosten für die Zwischenfrüchte wurden den Landwirten pauschal mit 60,00 DM/ha ersetzt.

3.2.1 Bodenbedeckung durch Zwischen- und Winterfrüchte

Im Mittel der Jahre 1994 - 2001 schwankte der Anteil der Zwischenfruchtfläche an der Ackerfläche in den Modellgebieten zwischen 4 % und 37 %. Dabei wurden im Mittel aller Modellgebiete und Jahre 14 % der Ackerflächen mit Zwischenfrüchten bestellt. In den „gute fachliche Praxis“ Modellgebieten lag der Anteil bei 5 bis 37 % (Mittel: 18 %), in den Extensivierungs-Modellgebieten dagegen nur bei 4 bis 11 % (Mittel: 7 %). Eine Erhöhung des Flächenanteils mit Zwischenfruchtanbau konnte während der Projektlaufzeit nicht beobachtet werden.

Abbildung 16 zeigt, dass die fränkischen Modellgebiete (Alladorf, Heuchelheim, Grüb, Weihenzell, Bastheim, Oberwaldbehungen) im Mittel über die Jahre im Vergleich zum Modellgebiet Hiltenfingen einen deutlich geringeren Flächenanteil mit Zwischenfruchtanbau aufwiesen. Ein Grund dürfte in den vergleichsweise geringen Jahresniederschlägen von 600 - 750 mm in den fränkischen Gebieten liegen. Die ausgeprägte Sommertrockenheit kann die Aussaat und das Auflaufen von Zwischenfrüchten gelegentlich erschweren. Ein weiterer Grund war der hohe Anteil an Winterfrüchten (inkl. Stilllegung und Klee-gras) in Heuchelheim, Grüb, Bastheim und Oberwaldbehungen. Hier wurden im Herbst Bodenbedeckungsgrade von 77 - 90 % erzielt. In Alladorf waren 35 % und in Weihenzell sogar 55 % des Bodens über den Winter unbedeckt. In Weihenzell ist dies auf einen hohen Hackfruchtanteil (Mais, Zuckerrüben) ohne vorhergehenden Zwischenfruchtanbau zurückzuführen. In Alladorf wurden auf einer Vielzahl von Flächen extensive Sommergetreidearten (Sommergerste) angebaut. Vor Sommergerste wurde oft auf Zwischenfruchtanbau verzichtet, da von den Landwirten eine erhöhte Stickstoffnachlieferung aus den Zwischenfrüchten und somit negative Auswirkungen auf den Eiweißgehalt erwartet wurden. Versuche an der LfL (2003) konnten diese Befürchtung nicht bestätigen.

Im Modellgebiet Hiltenfingen (Schwaben) mit durchschnittlichen Jahresniederschlägen

von 800 - 900 mm war eine hohe Akzeptanz für den Zwischenfruchtanbau vorhanden. Der Anteil an Zwischenfrüchten an der Ackerfläche lag im Mittel der Jahre bei 37 %.

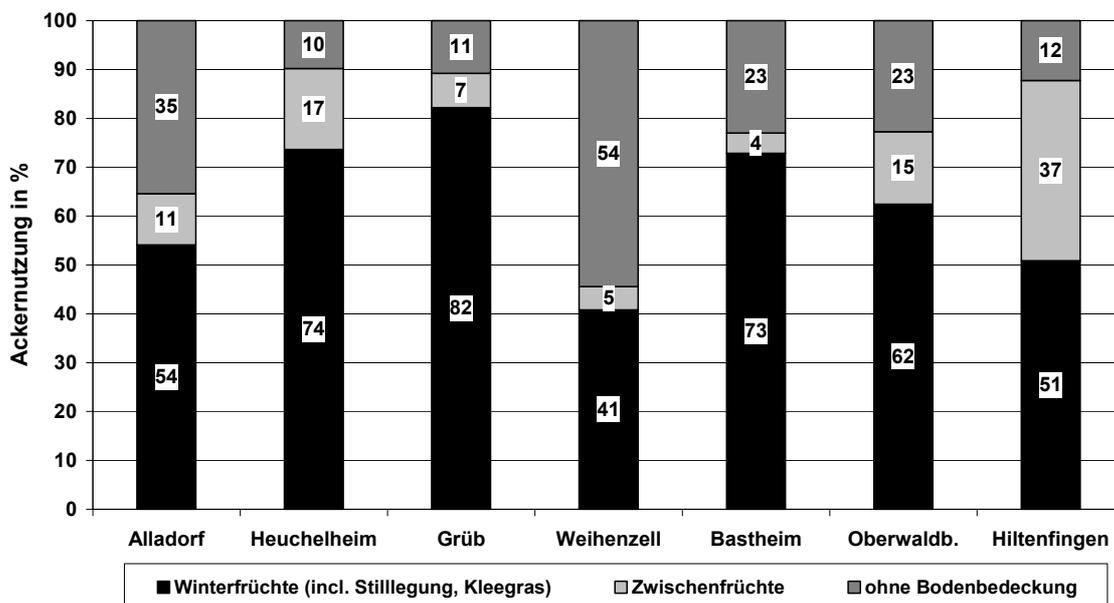


Abb. 16: Mittelwerte (1994 - 2001) der Ackernutzung im Herbst in den einzelnen Modellgebieten

3.2.2 Umbruchtermin

Durch eine Verlegung des Umbruchtermines der Zwischenfrüchte in den Winter bzw. ins nächste Frühjahr kann die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser vermindert werden. Ursache ist die spätere Freisetzung des in den Zwischenfrüchten gebundenen Stickstoffs nach dem Umbruch. Wie Untersuchungen von Maidl und Aigner (1994) und Ergebnisse aus dem N-Monitoringprogramm der LBP (Hege, Offenberger, König 2002) zeigten, führte ein Verzicht des Umbruchs im Herbst zu deutlich verminderten N_{\min} -Gehalten des Bodens im Frühjahr.

Den Landwirten wurde daher empfohlen, die angebauten Zwischenfrüchte in den Modellgebieten möglichst spät umzubrechen. Abbildung 17 zeigt, wie die Landwirte diese Beratungsempfehlungen in den Jahren 1995 - 2001 umsetzten. Die Landwirte nahmen den Umbruch in über 80 % der Fälle in den Monaten Oktober und November vor und verzichteten somit darauf, durch einen späten Umbruch oder durch überwinterte Zwischenfrüchte das Nitratauswaschungspotential zu verringern. Als Begründung wurden die mangelnde Frostgare und das damit erwartete schlechtere Wachstum der Folgefrüchte, in Einzelfällen der Anbau von Winterweizen, Strukturschäden durch Pflügen unter sehr feuchten Bedingungen im Frühjahr sowie das spätere Erwärmen und Abtrocknen des Bodens angeführt. In Trockengebieten wurde vermutet, dass ein Pflügen im Spätwinter bzw. Frühjahr zu geringeren Wassergehalten der Böden führt.

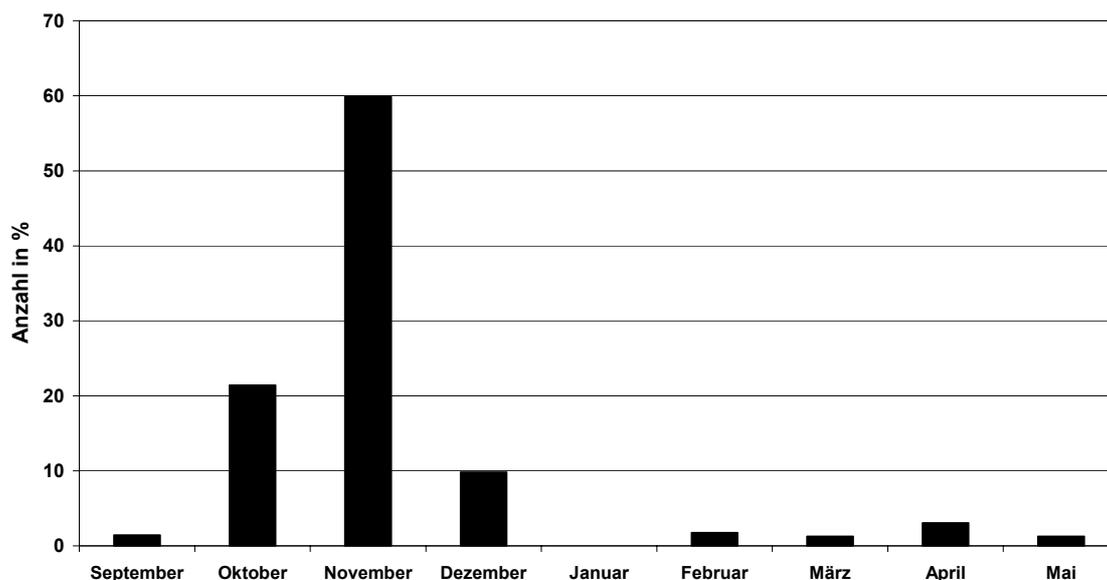


Abb. 17: Umbruchtermin der Zwischenfrüchte in den Modellgebieten 1995 - 2001 (n = 620 Schläge)

3.2.3 Art und Nutzung der Zwischenfrüchte

Leguminosen binden Luftstickstoff. Um eine möglichst geringe N-Bindung durch Leguminosen zu erreichen, wurde den Landwirten in den Modellgebieten empfohlen, möglichst auf den Zwischenfruchtanbau mit Leguminosen ohne Abfuhr des Aufwuchses zu verzichten. Abbildung 18 zeigt, wie diese Empfehlung von den Landwirten umgesetzt wurde.

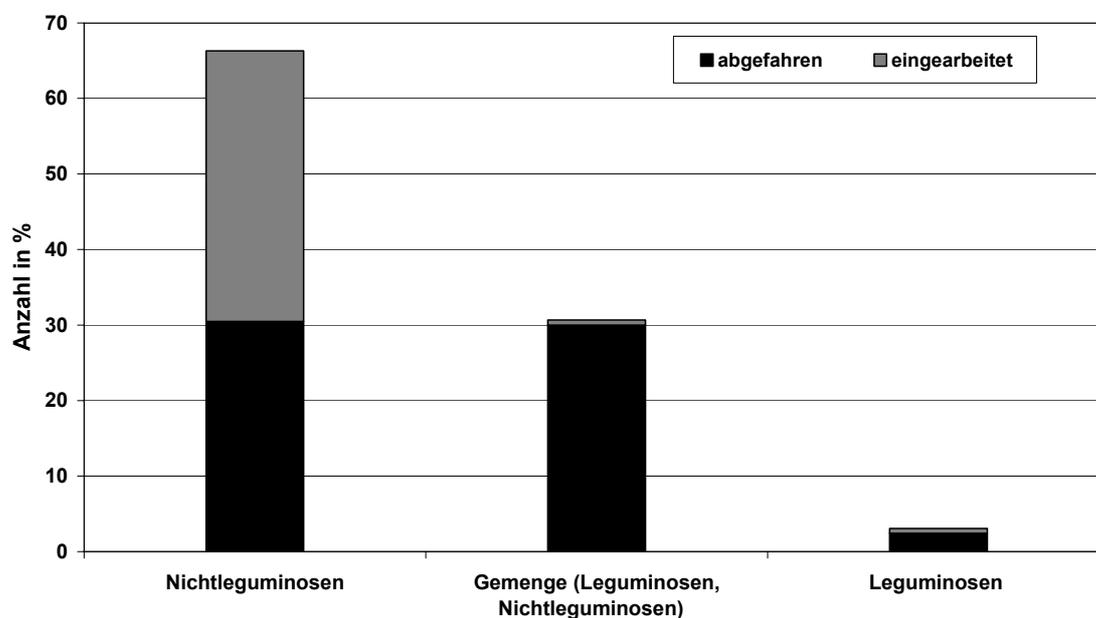


Abb. 18: Art und Nutzung der angebaute Zwischenfrüchte in den Modellgebieten 1995 - 1997 (n = 620 Schläge)

Insgesamt wurden im Mittel 66 % der Schläge des Zwischenfruchtanbaus mit Nichtleguminosen, 31 % mit Gemenge (Leguminosen und Nichtleguminosen) und 3 % mit reinen Leguminosenbeständen angebaut. Gründe der Landwirte für den Anbau von Leguminosen

im Zwischenfruchtanbau waren die bessere Schmackhaftigkeit des Futters und die positiven Auswirkungen auf den Boden. Bei den Nichtleguminosen wurden auf knapp der Hälfte der Fläche die Zwischenfrüchte abgefahren und verfüttert. Gemenge und reine Leguminosenbestände wurden fast ausschließlich verfüttert. Ein wesentlicher Teil des durch die Leguminosen gebundenen Stickstoffs wurde abgefahren.

Fazit:

Der Anbau von Zwischenfrüchten wurde in den fränkischen Modellgebieten nur sehr zögerlich umgesetzt. Ursachen waren der hohe Anteil an Winterfrüchten, die für Zwischenfrüchte wenig Raum lassen sowie Standortgegebenheiten. Wird der Zwischenfruchtanbau mit dem Ziel der Futternutzung durchgeführt und ist, wie im Modellgebiet Hiltenfingen, mit genügend Sommerniederschläge zu rechnen, könnte der Zwischenfruchtanbau sicherlich noch ausgeweitet werden. Zu einer Verlegung des Umbruchtermins der Zwischenfrüchte in den Winter bzw. ins Frühjahr konnten nur wenige Landwirte bewegt werden. Zwei Drittel der Schläge auf denen Zwischenfruchtanbau betrieben wurde, wurden mit Nichtleguminosen bestellt. Auf den übrigen Schlägen wurden Gemenge oder Leguminosen in Reinsaat angebaut. Wurden Leguminosen als Zwischenfrüchte verwendet, so wurden diese fast ausschließlich verfüttert.

3.3 Nährstoffsaldo der Betriebe

Die Nährstoffsaldierung gibt einen Überblick über die Nährstoffversorgung der landwirtschaftlichen Betriebe. In Betrieben mit einem mehrjährig ausgeglichenen Stickstoff-Saldo (N-Saldo) sind Fehler bei der N-Düngung kaum zu erwarten, in Betrieben mit nicht akzeptablen Überhängen ist nach den Ursachen zu suchen. Durch den Nährstoffsaldo können die Betriebe ausgewählt werden, bei denen eine einzelbetriebliche Beratung erforderlich ist. Ziel ist es, Fehler bei der Produktionstechnik zu erkennen und abzustellen, um umweltbelastende Auswirkungen auf das Grund- und Oberflächenwasser sowie die Luft zu minimieren.

Die Nährstoffsalden wurden auf Hoftor-Basis berechnet. Bei der Bewertung des N-Saldos wurden standortspezifische sowie gasförmige N-Verluste der Viehhaltung bereits abgezogen (korrigierter N-Saldo). So konnten die landwirtschaftlichen Betriebe ausfindig gemacht werden, die durch hohe Überhänge im N-Saldo besonders zur Nitratauswaschung beitragen.

Das Ergebnis und die notwendigen Konsequenzen aus der Nährstoffsaldierung wurde mit den Landwirten in Einzelgesprächen besprochen.

Voraussetzung für ein der betrieblichen Situation entsprechendes Ergebnis sind plausible und ehrliche Angaben des Landwirtes. Da die Nährstoffsaldierung hierbei als Beratungsinstrument eingesetzt wurde und die Landwirte bei Nährstoffüberhängen nicht mit Sanktionen rechnen mussten, kann von korrekten Angaben ausgegangen werden.

3.3.1 Veränderung der Nährstoffsalden im Mittel aller Betriebe

Während der Projektlaufzeit wurden für die landwirtschaftlichen Betriebe in den Modellgebieten in verschiedenen Jahren Nährstoffsalden gerechnet und zwar 1993/94 zu Projektbeginn, 1995/96, 1996/97, 1999/00 und 2000/01. In der ersten Projektphase (bis 1996/97) lag die Beteiligung bei mindestens 75 %, später nur noch bei rund 40 %.

Da der Stichprobenumfang bei den ersten 3 Erhebungsterminen in einer ähnlichen Größenordnung lag und die untersuchten Betriebe größtenteils identisch waren, ist ein Vergleich der Salden innerhalb dieses Zeitraum sehr gut möglich. Der Vergleich der Salden

aus den Erhebungsjahren 1999/2000 und 2000/2001 mit den Salden der ersten drei Erhebungstermine ist wegen des geringen Stichprobenumfangs nur eingeschränkt möglich.

Die Abbildung 19 zeigt die Nährstoffsalden im Mittel der Betriebe. Der durchschnittliche korrigierte N-Saldo hat sich von einem Überhang von 38 kg/ha bei der ersten Erhebung auf 17 kg/ha bei der dritten vermindert. In der zweiten Projektphase kam es dann wieder zu einem leichten Anstieg der N-Salden. 1999/00 und 2000/01 wurden Überhänge von 27 bzw. 24 kg/ha festgestellt.

Sowohl beim Phosphat-Saldo (P_2O_5 -Saldo) als auch beim Kali-Saldo (K_2O -Saldo) kam es zu einer kontinuierlichen Abnahme während der Projektlaufzeit. Der P-Saldo reduzierte sich von 37 auf 2 kg/ha, der K-Saldo von 47 auf -11 kg/ha.

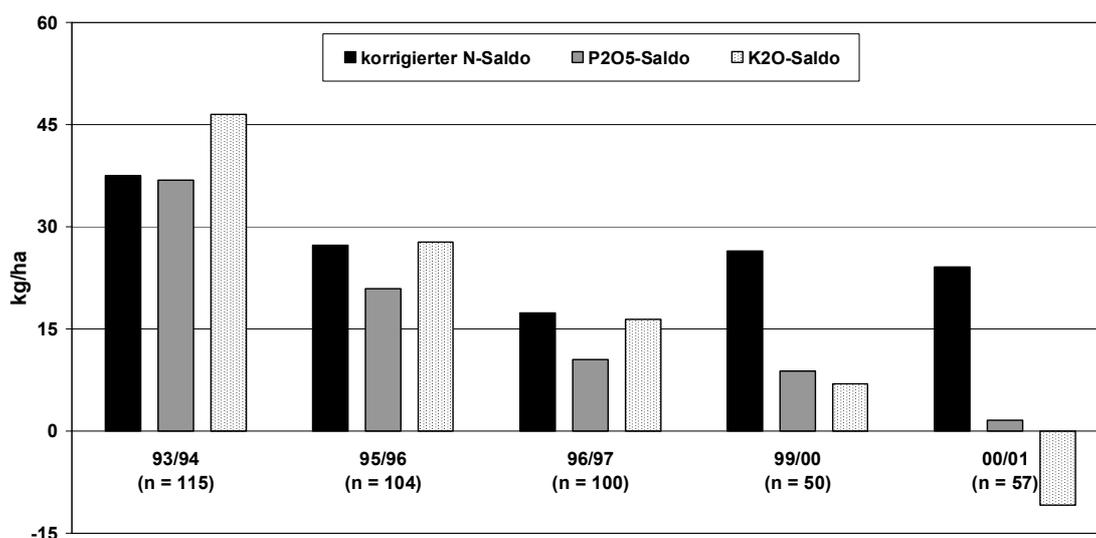


Abb. 19: Entwicklung der durchschnittlichen Nährstoffsalden (Mittel der Betriebe)

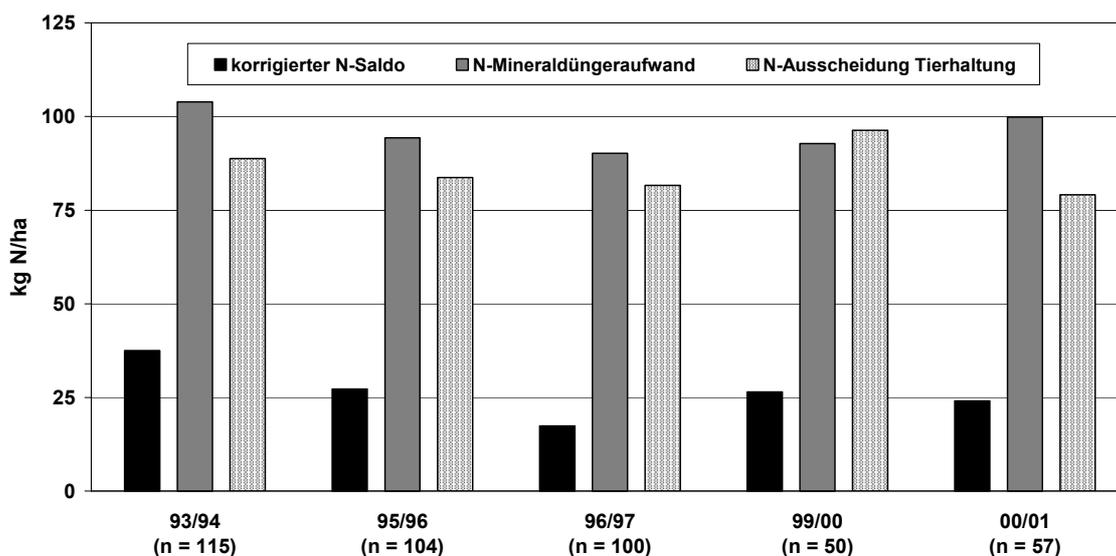


Abb. 20: Entwicklung der durchschnittlichen N-Salden, des N-Mineraldüngeraufwands und der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung (Mittel der Betriebe)

In der Abbildung 20 ist die Entwicklung der durchschnittlichen N-Hoftor-Salden, dem N-Mineraldüngeraufwand und der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung (Maß für den Viehbesatz) gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass der Rückgang des N-Saldos vom 1. bis zum 3. Termin in erster Linie auf eine Verringerung des N-Mineraldüngereinsatzes durch einen verbesserten Einsatz der organischen Düngemittel zurückzuführen ist. Die N-Lieferung durch die Tierhaltung blieb in diesem Zeitraum nahezu konstant. Der Anstieg der N-Salden bei den beiden letzten Erhebungsterminen ist vor allem durch den gestiegenen Einsatz an mineralischer Stickstoffdüngung zu erklären.

3.3.2 Veränderung der Stickstoffsalden im Mittel der Betriebe in den Modellgebieten

Die Tabelle 3 zeigt die Veränderungen der N-Salden, des N-Mineraldüngereinsatzes und die N-Ausscheidung der Tiere in den Modellgebieten mit dem Beratungsschwerpunkt „Extensivierung“.

In Alladorf reduzierte sich der korrigierte N-Saldo von der ersten bis zur dritten Erhebung von 18 auf 9 kg N/ha. Der Rückgang ist vor allem auf einen verminderten Einsatz von Mineraldünger zurückzuführen. Während der zweiten Projektphase (reduzierte Beratung) stiegen die korrigierten N-Salden in Alladorf deutlich an. Der N-Saldo, der N-Mineraldüngereinsatz sowie die organischen N-Ausscheidungen lagen bei der 5. Erhebung über dem Niveau der 1. Erhebung.

In Bastheim reduzierte sich der korrigierte N-Saldo von der ersten bis zur dritten Erhebung von 48 auf 24 kg N/ha. Begründung war zum einen die Reduzierung des N-Mineraldüngereinsatz und zum anderen der Rückgang bei der N-Lieferung über Wirtschaftsdünger. Der bei der 5. Erhebung festgestellte N-Saldo unterscheidet sich nur unwesentlich vom Ergebnis der 3. Erhebung. Der höhere N-Mineraldüngereinsatz konnte in etwa durch die geringeren N-Ausscheidungen kompensiert werden.

In Grüb kam es zu extremen Schwankungen des N-Saldos während der Projektlaufzeit. Ursache dürfte vor allem die geringe Datenschärfe aufgrund des geringen Stichprobenumfangs sein.

Tab. 3: Entwicklung der durchschnittlichen korrigierten N-Salden, des N-Mineraldüngeraufwands und der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „Extensivierung“

Erhebungstermine	Alladorf				Bastheim				Grüb			
	n	korrig. N-Saldo [kg /ha]	Mineraldüngung [kg N/ha]	N-Aussch. [kg /ha]	n	korrig. N-Saldo [kg /ha]	Mineraldüngung [kg N/ha]	N-Aussch. [kg /ha]	n	korrig. N-Saldo [kg /ha]	Mineraldüngung [kg /ha]	N-Aussch. [kg ha]
1. Erhebung (1993/94)	25	18	73	59	13	48	124	44	3	45	89	102
2. Erhebung (1995/96)	24	18	75	60	14	35	111	30	3	8	64	96
3. Erhebung (1996/97)	24	9	64	62	14	24	102	28	3	21	78	93
4. Erhebung (1999/00)	20	21	76	62	--	--	--	--	3	17	71	100
5. Erhebung (2000/01)	15	28	78	68	10	26	112	18	--	--	--	--

In Tabelle 4 ist die Veränderung der N-Salden, des N-Mineraldüngereinsatzes und der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung in den Modellgebieten mit dem Beratungsschwerpunkt „gute fachliche Praxis“ dargestellt.

In Heuchelheim kam es während der Projektlaufzeit zu einer kontinuierlichen Abnahme des korrigierten N-Saldos. Der Überhang verringerte sich von 94 (1. Erhebung) auf 18 kg N/ha (5. Erhebung). Die deutliche Abnahme kann im wesentlichen auf den Rückgang des N-Mineraldüngereinsatzes zurückgeführt werden.

In Hiltenfingen verminderte sich der N-Saldo von der 1. bis zur 3. Erhebung um 24 kg N/ha. Diese Abnahme ist zur Hälfte aus dem Rückgang der mineralischen N-Düngung zu erklären. Der Anstieg der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung bei der 4. und 5. Erhebung gegenüber den ersten drei Erhebungen ist unter Umständen auf den wesentlich geringeren Stichprobenumfang zurückzuführen, da sich bei den letzten beiden Erhebungen vor allem viehstarke Betriebe beteiligt haben. Ein Vergleich mit den Salden der ersten drei Erhebungen ist deshalb schwierig. Der höhere N-Saldo der 4. Erhebung (36 kg N/ha) gegenüber der 5. Erhebung (17 kg N/ha) kann wahrscheinlich auf eine schlechtere Verwertung der eingesetzten organischen Düngemittel zurückgeführt werden.

In Oberwaldbehrungen erhöhten sich der N-Saldo (+23 kg N/ha) sowie der N-Mineraldüngereinsatz (+18 kg N/ha) von der 1. bis zur 3. Erhebung. Der bei der 5. Erhebung festgestellte N-Saldo liegt wieder auf dem Niveau der 1. Erhebung (35 kg N/ha), obwohl der Gesamt N-Input über Mineraldüngung und Viehhaltung um rund 20 kg/ha gegenüber der 1. Erhebung höher lag. Dies ist nur durch eine Verbesserung der N-Effizienz (z. B. höhere Erträge, höhere Rohproteingehalte) zu erklären.

In Weihenzell kam es zu extremen Schwankungen im N-Saldo während der Projektlaufzeit. Ursache ist vor allem die geringe Datenschärfe aufgrund des geringen Stichprobenumfangs.

Tab. 4: Entwicklung der durchschnittlichen korrigierten N-Salden, des N-Mineraldüngeraufwands und der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „gute fachliche Praxis“

Erhebungstermine	Heuchelheim				Hiltenfingen				Oberwaldbehrungen				Weihenzell			
	n	korrr. N Saldo [kg/ha]	Min. Düng. [kg/ha]	N-Áuss. [kg/ha]	n	korrr. N Saldo [kg/ha]	Min. Düng. [kg/ha]	N-Áuss. [kg/ha]	n	korrr. N Saldo [kg/ha]	Min. Düng. [kg/ha]	N-Áuss. [kg/ha]	n	korrr. N Saldo [kg/ha]	Min. Düng. [kg/ha]	N-Áuss. [kg/ha]
1. Erhebung (1993/94)	8	94	153	61	54	36	111	120	8	35	92	47	4	42	78	136
2. Erhebung (1995/96)	6	60	123	55	49	26	98	117	6	43	105	55	2	7	50	93
3. Erhebung (1996/97)	6	29	104	55	44	12	99	115	6	58	110	50	3	24	60	105
4. Erhebung (1999/00)	6	21	101	54	18	36	113	142	--	--	--	--	3	27	88	132
5. Erhebung (2000/01)	5	18	87	63	19	17	105	141	8	35	121	39	--	--	--	--

Insgesamt kann festgestellt werden, dass bei Betrachtung aller Modellgebiete die Veränderungen im N-Saldo im Wesentlichen von dem N-Input über die Mineraldüngung und erst in zweiter Linie durch die N-Ausscheidung aus der Tierhaltung verursacht wurden (vgl. Abbildung 21 und 22).

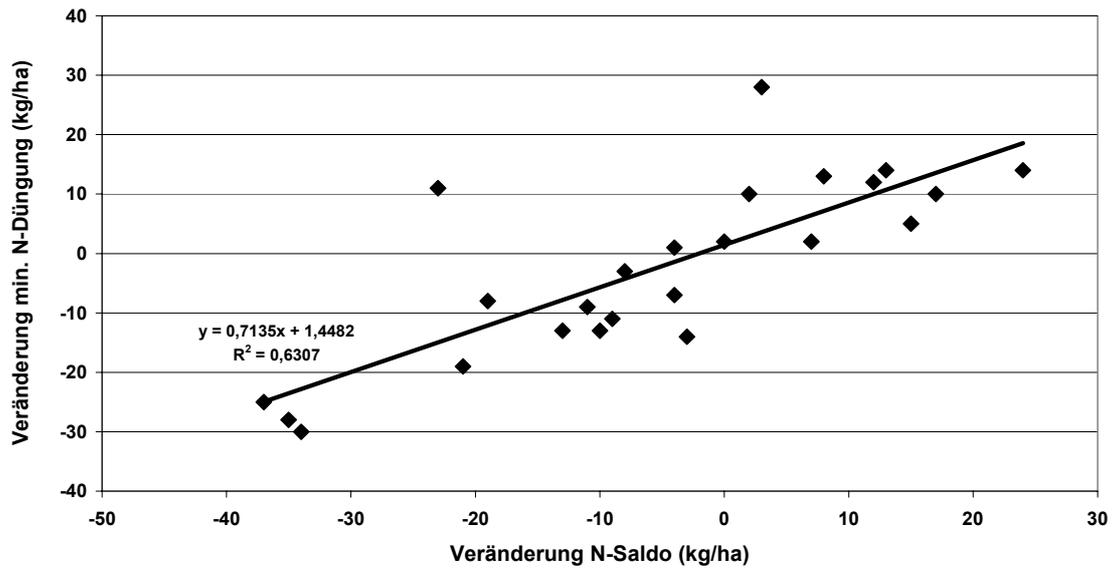


Abb. 21: Veränderung der N-Salden (Mittelwerte) in den einzelnen Modellgebieten in Abhängigkeit von der Veränderung des N-Mineraldünger-aufwands

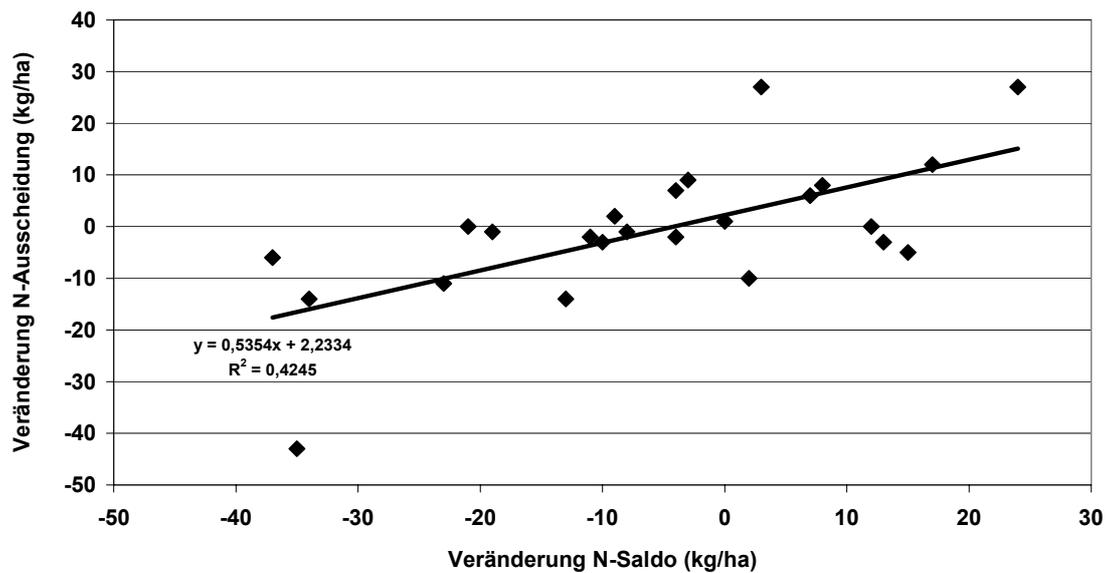


Abb. 22: Veränderung der N-Salden (Mittelwerte) in den einzelnen Modellgebieten in Abhängigkeit von der Veränderung der N-Ausscheidung aus der Tierhaltung

3.3.3 Einfluss des Viehbesatzes auf den N-Saldo

Den Einfluss der N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung auf die korrigierten N-Salden der 1., 3. und 5. Erhebung zeigt Abbildung 23.

Auffällig ist, dass die korrigierten N-Salden in allen Ausscheidungsklassen von der ersten zur dritten Erhebung deutlich reduziert wurden. Hervorzuheben ist die extreme Verringerung des N-Saldos in der Klasse der viehstärksten Betriebe (> 120 kg N/ha). Von der dritten zur fünften Erhebung kam es zu einem zum Teil deutlichen Anstieg im N-Saldo. Ferner zeigt die Abbildung sehr deutlich, dass bei allen Erhebungsterminen der N-Saldo von der N-Ausscheidungsklasse 0 - 40 bis zur Klasse 81 - 120 kg/ha gestiegen ist. D.h. je viehstärker die Betriebe waren, desto höher waren auch die N-Überhänge. Ausnahme waren die viehstärksten Betriebe (N-Ausscheidungsklasse > 120 kg/ha). Sie wiesen bei allen drei Erhebungsterminen niedrigere N-Salden auf als die Klasse 81 - 120 kg N/ha.

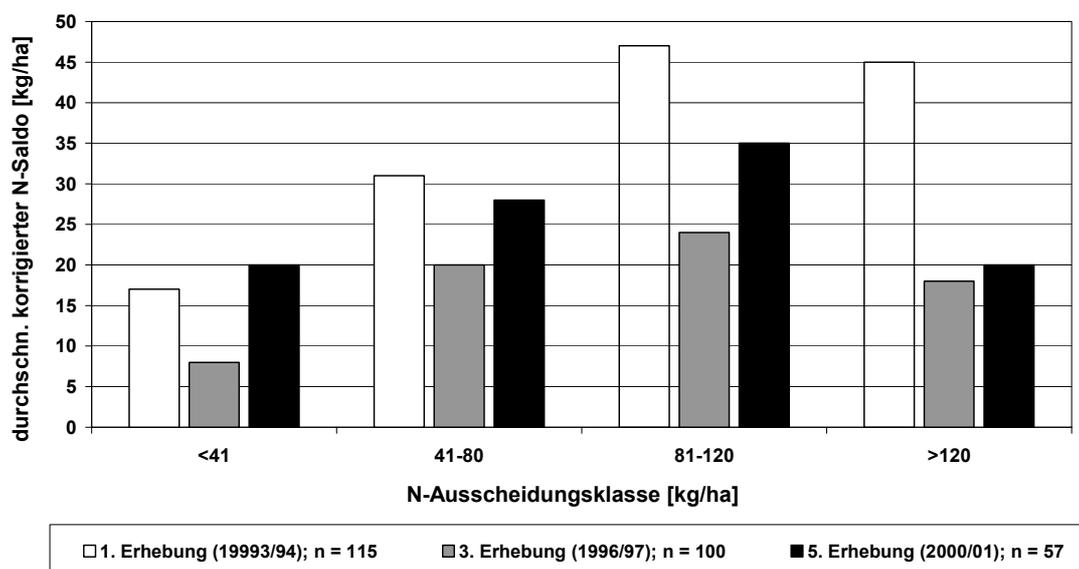


Abb. 23: Durchschnittliche korrigierte N-Salden in Abhängigkeit von den N-Ausscheidungsklassen zu verschiedenen Erhebungsterminen

Fazit:

Der durchschnittliche N-Saldo im Mittel aller Betriebe hat sich während der ersten Projektphase (intensive Beratung) um rund 20 kg/ha von 38 kg/ha bei der ersten Erhebung auf 17 kg/ha bei der dritten vermindert. In der zweiten Projektphase (eingeschränkte Beratung) kam es dann wieder zu einem leichten Anstieg auf 24 kg/ha. Die durchschnittlichen P- und K-Salden verringerten sich während der Projektlaufzeit um ca. 35 kg P_2O_5 bzw. 58 kg K_2O /ha.

Sowohl im Mittel aller Betriebe als auch innerhalb der einzelnen Modellgebiete zeigte sich, dass ein enger Zusammenhang zwischen mineralischer N-Düngung und N-Saldo besteht. D. h. die Verringerung der N-Überhänge war vor allem auf eine Verringerung der mineralischen N-Düngung insbesondere bei den viehstärkeren Betrieben zurückzuführen.

3.4 Düngeberatungssystem Stickstoff (DSN)

Die Landwirte erhielten über das Düngeberatungssystem Stickstoff (DSN) eine Düngeempfehlung für die Fruchtarten, die sie in den Modellgebieten angebaut hatten. Ziel war es, die Düngung der einzelnen Fruchtarten zu optimieren. Aus einem fruchtartsspezifischen Sollwert und dem N_{\min} -Vorrat im Boden zu Vegetationsbeginn wurde unter Berücksichtigung von schlagspezifischen Zu- und Abschlägen die Höhe der Düngung zu den Fruchtarten ermittelt (LBP 1996).

3.4.1 Beteiligung

Landwirte, die sich im Rahmen dieses Forschungsvorhabens am DSN beteiligten, zogen ihre Bodenproben selbst. Der Probentransport zum Labor erfolgte durch die Ringwarte des Landeskuratoriums für Pflanzliche Erzeugung (LKP). Die Nährstoffanalyse wurde durch die LBP den Landwirten kostenlos angeboten. Abbildung 24 gibt einen Überblick über die Beteiligung am DSN in den Modellgebieten ab 1994.

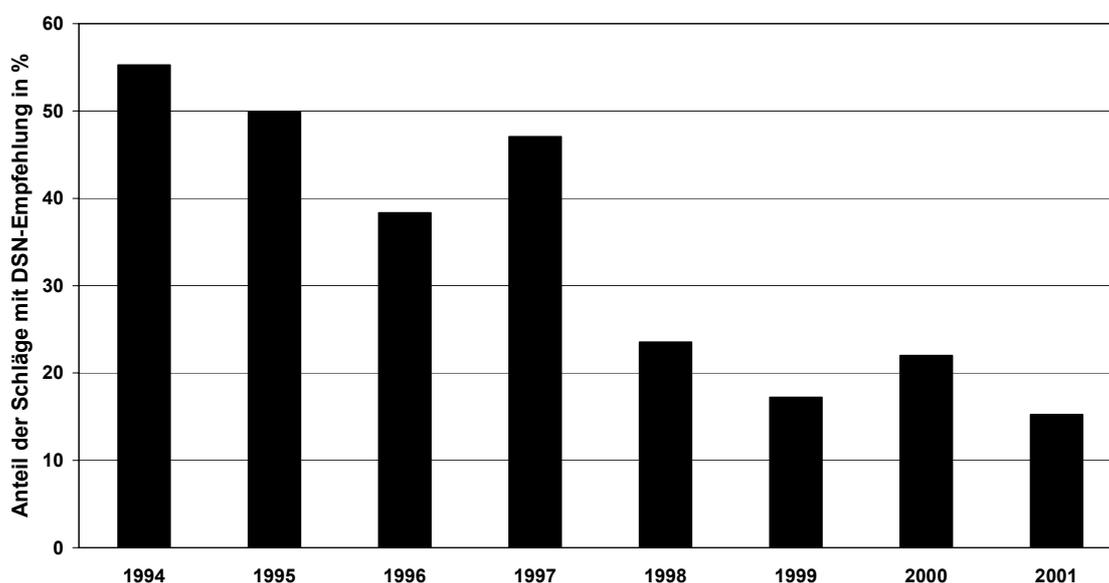


Abb. 24: %-Anteil aller Schläge in den Modellgebieten, für die eine DSN-Düngeempfehlung gegeben wurde

Die Abbildung zeigt, dass während der Projektlaufzeit die DSN-Düngeempfehlungen zurückgegangen sind. Während 1994 noch für 55 % der Schläge in den Modellgebieten Düngeempfehlungen erstellt wurden, waren es 2001 nur noch 15 %.

Abbildung 25 zeigt den Prozentanteil (Mittel über Jahre) der Fruchtarten, für die während der Projektlaufzeit DSN-Empfehlungen gegeben wurden.

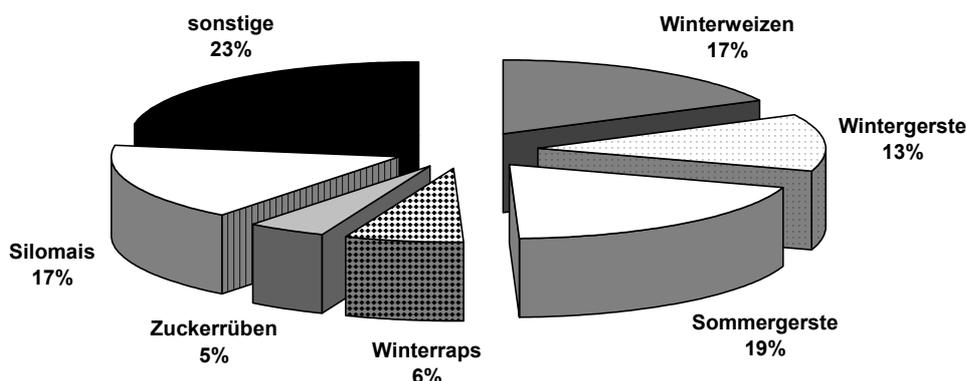


Abb. 25: %-Anteil der Fruchtarten, für die DSN-Empfehlungen gegeben wurden (Mittel über Jahre und Orte)

3.4.2 Umsetzung der Düngeempfehlungen

Nach der Ernte der Hauptfrucht wurde in den Jahren 1994 - 1999 bei den Landwirten nachgefragt, wie hoch sie die einzelnen Fruchtarten tatsächlich gedüngt hatten (mineralische und organische Düngung). Dies wurde mit den Angaben der Düngeempfehlung verglichen.

Das Ergebnis für die wichtigsten Fruchtarten ist in Abbildung 26 dargestellt. Die Abweichung gegenüber der Empfehlung wurde in folgende fünf Klassen eingeteilt:

- Abschlag zur Düngeempfehlung > 20 %,
- Abschlag zur Düngeempfehlung 10 - 20 %,
- Düngung nach Empfehlung (Abweichung bis +/-10 %),
- Zuschlag zur Düngeempfehlung 10 - 20 %,
- Zuschlag zur Düngeempfehlung > 20 %.

Bei Winterweizen, Wintergerste und Winterraps wurden die Düngeempfehlungen gut akzeptiert. In ca. 40 % der Fälle wurde die empfohlene Düngemenge tatsächlich gegeben, in ca. 30 % wurde mehr und in ca. 30 % weniger gedüngt.

Bei Sommergerste wurde in knapp 50 % der Fälle weniger gedüngt als empfohlen. Da es sich bei Sommergerste zumeist um Braugerste handelt, muss das vorsichtige Düngeverhalten auf eine stark qualitätsbezogene Düngung zurückgeführt werden.

Bei Winterroggen und Triticale wurde in 36 % der Fälle die empfohlene Düngemenge ausgebracht. Die Fälle der Unter- und Überschreitungen lagen etwa gleich hoch.

Die beste Akzeptanz der Düngeempfehlungen war bei Zuckerrüben vorhanden (58 %). Bei Silomais wurde dagegen in beinahe 70 % der Fälle die empfohlene N-Menge meist deutlich überschritten. Bei vielen Düngeempfehlungen wurden zwar die Vorgaben für die mineralische Düngung eingehalten, oft erfolgte jedoch eine zusätzliche organische Düngung mit Gülle, die im Erhebungsbogen nicht aufgeführt war.

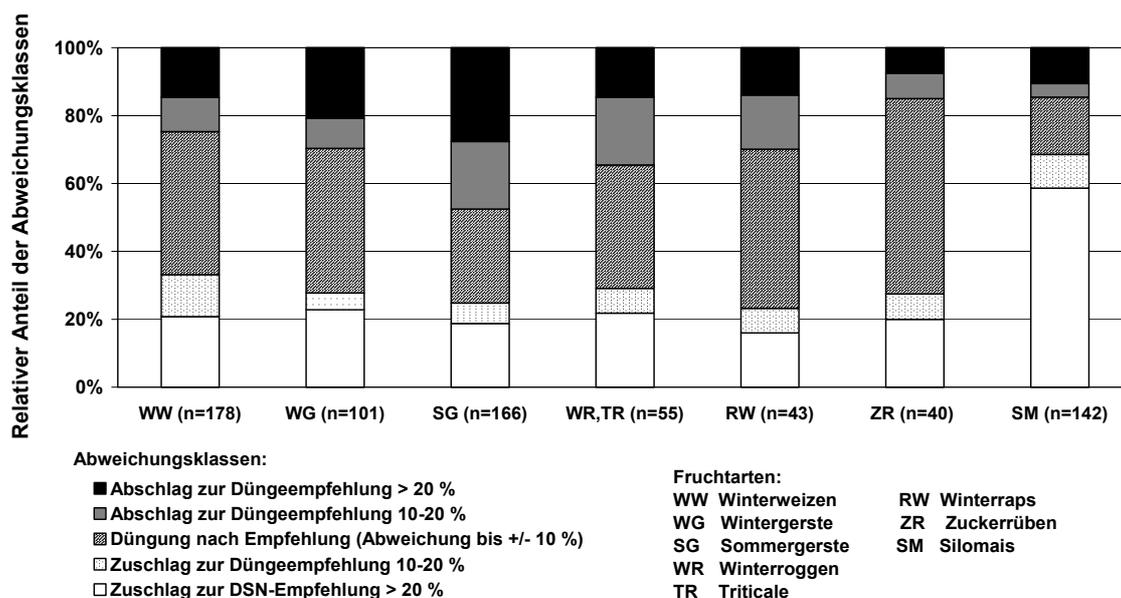


Abb. 26: Umsetzung der Düngeempfehlung in den Modellgebieten (1994 - 1999)

Fazit:

Die Beteiligung der Landwirte am DSN sank während der Projektlaufzeit.

Zu Beginn (1994) wurden für 55 % der Schläge in den Modellgebieten Düngeempfehlungen erstellt, zum Laufzeitende (2001) nur noch für 15 %.

Die DSN-Empfehlungen wurden bevorzugt für die Fruchtarten Sommergerste, Winterweizen, Wintergerste und Silomais gegeben.

Die Düngeempfehlungen wurden von den Landwirten bei den Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Zuckerrüben gut umgesetzt. Bei Sommergerste wurde meist weniger gedüngt als empfohlen, bei Silomais wurden die empfohlenen Düngemengen meist deutlich überschritten. Bei Winterroggen und Triticale waren häufig Abweichungen nach oben und unten zu verzeichnen.

3.5 Stickstoff-Monitoringflächen

Auf ausgewählten Stickstoff-Monitoringflächen (N-Monitoringflächen) wurden nach der Ernte der Vorfrucht, zu Vegetationsende und zu Vegetationsbeginn Bodenproben gezogen (0 bis max. 90 cm Tiefe) und auf pflanzenverfügbaren Stickstoff untersucht. Die gewonnenen Ergebnisse dienen zur Erfassung der Rest N-Mengen nach der Ernte, zur Beurteilung des Potentials an Nitrat im Boden zu Beginn der Auswaschungsperiode und als Basis für die N-Düngeempfehlung im Frühjahr. Mit diesen Ergebnissen konnten auch die jährlichen Schwankungen des N_{\min} -Gehaltes im Boden erkannt werden.

In den 7 Modellgebieten wurden 82 N-Monitoringflächen (78 Ackerschläge, 4 Grünlandschläge) eingerichtet. Die Anzahl der N-Monitoringflächen wurde nach der Größe des jeweiligen Modellgebietes festgesetzt und möglichst gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt. Es wurde versucht, alle angebauten Fruchtarten zu erfassen und möglichst viele Landwirte einzubinden.

Als Vergleich zu den N_{\min} -Werten der Modellgebiete dienen Ergebnisse des Stickstoff-Monitoringprogramms, welches zeitgleich auf 214 ausgesuchten Flächen außerhalb der Modellgebiete durchgeführt wurde. Im folgenden werden nur die Ergebnisse der Termine nach der Ernte sowie zu Vegetationsende diskutiert. Der N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende kann zur Beurteilung der Produktionstechnik verwendet werden. Hohe N_{\min} -Gehalte zu

Vegetationsende weisen auf mögliche Fehler hin, bei niedrigen Werten ist von einer guten Produktionstechnik auszugehen. Dabei muss allerdings der Verlauf der Jahreswitterung in die Betrachtung mit einfließen.

3.5.1 Entwicklung der N_{\min} -Gehalte auf den N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete

Vergleicht man die N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen in den Modellgebieten mit den Werten der N-Monitoringflächen außerhalb der Modellgebiete so zeigt sich, dass die N_{\min} -Werte in den Modellgebieten sowohl nach der Ernte als auch zu Vegetationsende bis auf wenige Ausnahmen (n. d. Ernte 1994 und 2001, Vegetationsende 2001) niedriger lagen (vgl. Abbildung 27 und 28).

Ferner zeigte sich, dass nach der Ernte sowohl bei den Monitoringflächen außerhalb als auch innerhalb der Modellgebiete tendenziell eine Abnahme des N_{\min} -Gehaltes im Laufe der Jahre gemessen wurde. Zu Vegetationsende war eine Abnahme des N_{\min} -Gehaltes bei den N-Monitoringflächen außerhalb der Modellgebiete festzustellen.

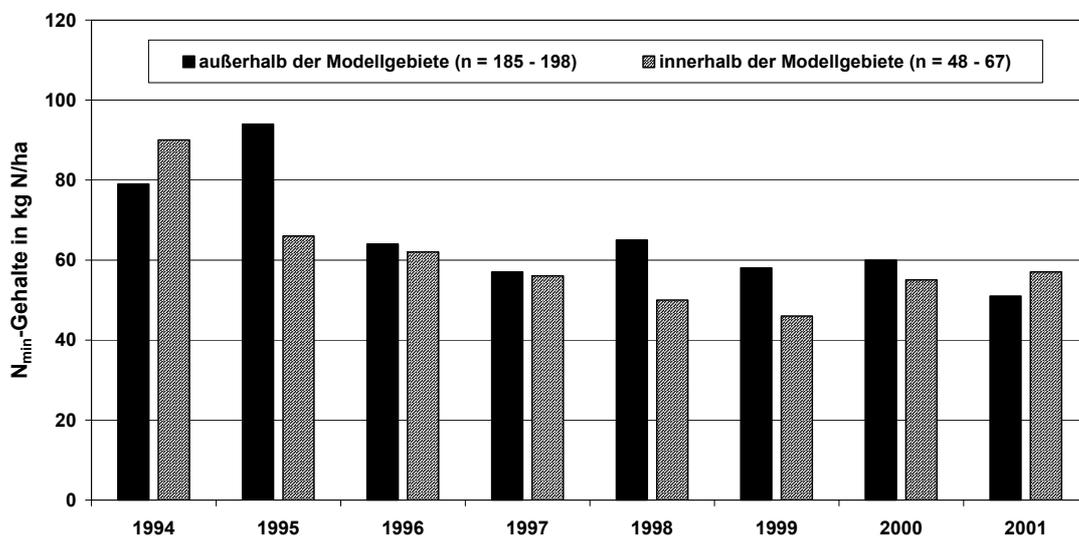


Abb. 27: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete im Zeitraum 1994 - 2001 (Termin nach der Ernte)

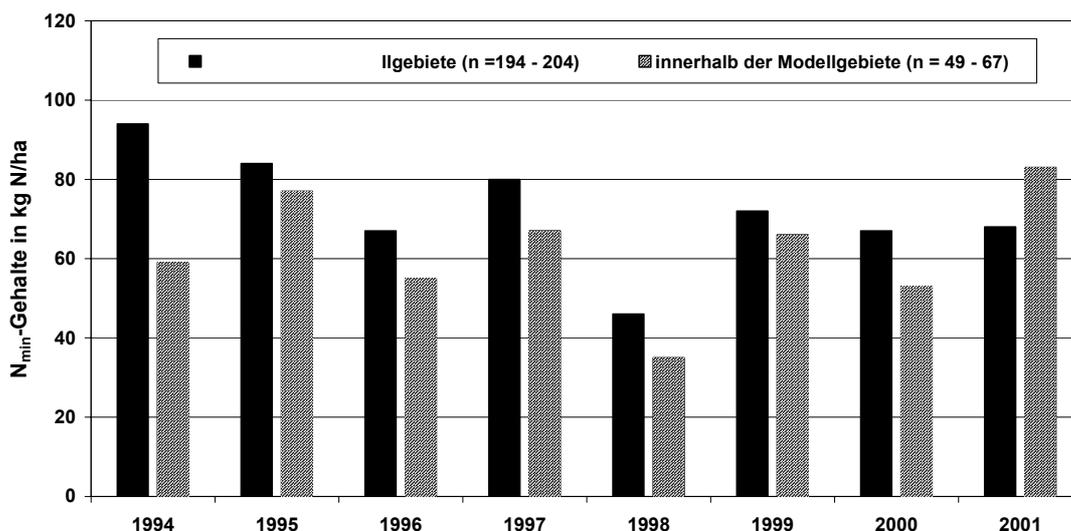


Abb. 28: Mittelwerte der N_{min}-Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete im Zeitraum 1994 - 2001 (Termin Vegetationsende)

Gründe für die niedrigeren Werte in den Modellgebieten sind in erster Linie im Fruchtartenverhältnis zu suchen (vgl. Abbildung 29). Außerhalb der Modellgebiete wurde Mais im Mittel der Jahre auf 17 % und innerhalb der Modellgebiete auf 13 % der Monitoringflächen angebaut. Dauerbrachen waren auf den Monitoringflächen außerhalb der Modellgebiete nicht vorhanden. In den Modellgebieten hingegen waren 6 % der Flächen Dauerbrachen. Ebenfalls auffällig ist der höhere Anteil an Zuckerrüben außerhalb der Modellgebiete. Eine weitere Begründung für die niedrigeren Werte in den Modellgebieten liegt im vermehrten Zwischenfruchtanbau und dem sinnvolleren Einsatz von wirtschaftseigenen Düngern.

Die auffallend niedrigen Gehalte im Jahr 1998 zu Vegetationsende dürften auf die hohen Herbstniederschläge dieses Jahres zurückzuführen sein.

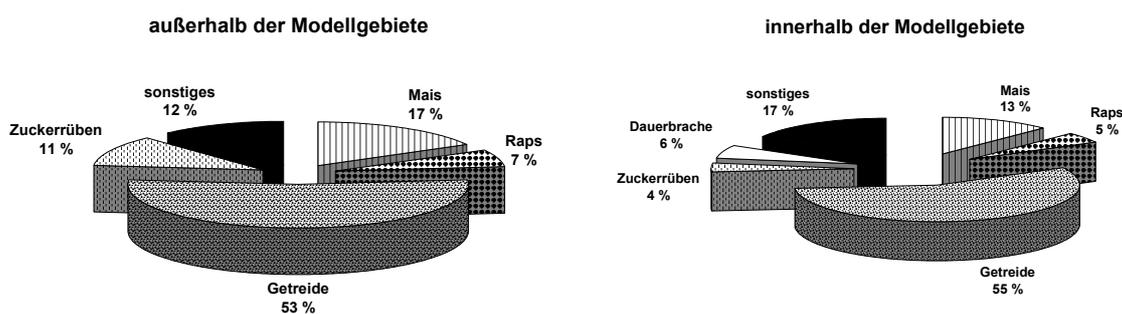


Abb. 29: Fruchtartenverhältnis der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete

3.5.2 Vergleich der N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsende in den beiden Beobachtungszeiträumen

Die Abbildung 30 zeigt die Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete in den Beobachtungszeiträumen 1994 - 1997 und 1998 - 2002 (Termin Vegetationsende).

Im Mittel der Jahre 1994 - 1997 lagen die N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen innerhalb der Modellgebiete mit 65 kg/ha deutlich unter den Gehalten der Flächen außerhalb der Modellgebiete. Ursache dürfte die in diesem Zeitraum intensive Beratung der Landwirte in den Modellgebieten gewesen sein.

Im Mittel des zweiten Beobachtungszeitraums (1998 - 2002) lagen die N_{\min} -Gehalte innerhalb der Modellgebiete mit 59 kg/ha nur unwesentlich unter den Werten außerhalb der Modellgebiete mit 63 kg/ha. Auffällig hierbei ist wie bereits unter 3.5.1 angedeutet, dass es außerhalb der Modellgebiete zu einer deutlichen Abnahme des N_{\min} -Werts während der Laufzeit kam, innerhalb der Modellgebiete nahm der N_{\min} -Gehalt dagegen nur geringfügig ab.

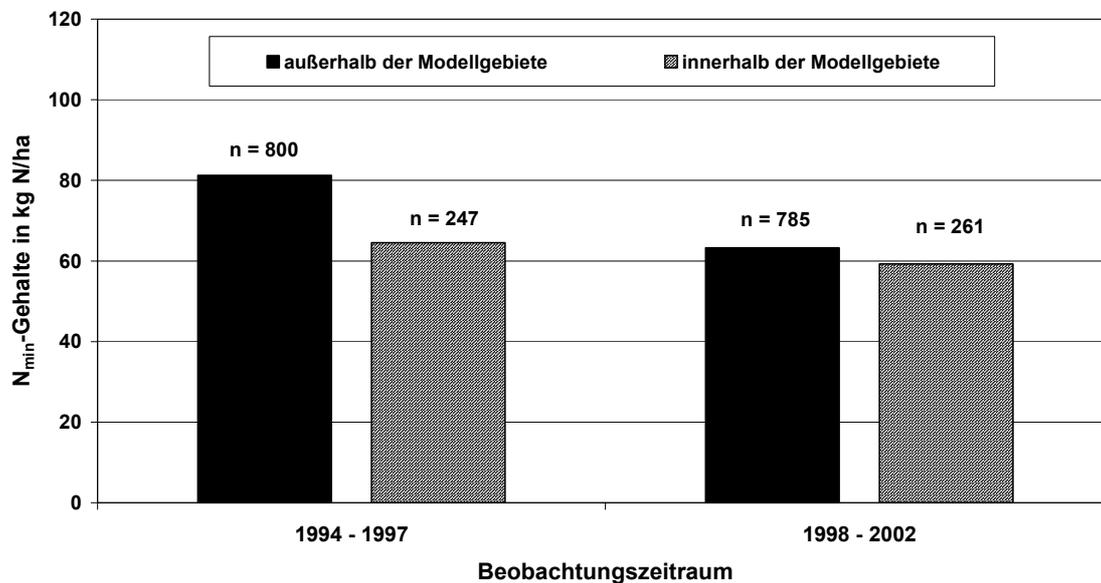


Abb. 30: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete in den Beobachtungszeiträumen 1994 - 1997 und 1998 - 2002 (Termin Vegetationsende)

3.5.3 Einfluss der Fruchtarten auf die N_{\min} -Gehalte

Die Abbildung 31 zeigt die Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte innerhalb und außerhalb der Modellgebiete zu Vegetationsende nach den Vorfrüchten Sommergerste, Winterweizen, Raps und Mais.

Besonders deutliche Unterschiede wurden nach den Vorfrüchten Raps und Mais festgestellt. Bei Raps lag der N_{\min} -Gehalt außerhalb der Modellgebiete im Mittel um 29 und bei Mais um 12 kg/ha über dem Wert innerhalb der Modellgebiete. Nach Winterweizen und Sommergerste wurden nur geringe Unterschiede im N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende innerhalb und außerhalb der Modellgebiete festgestellt.

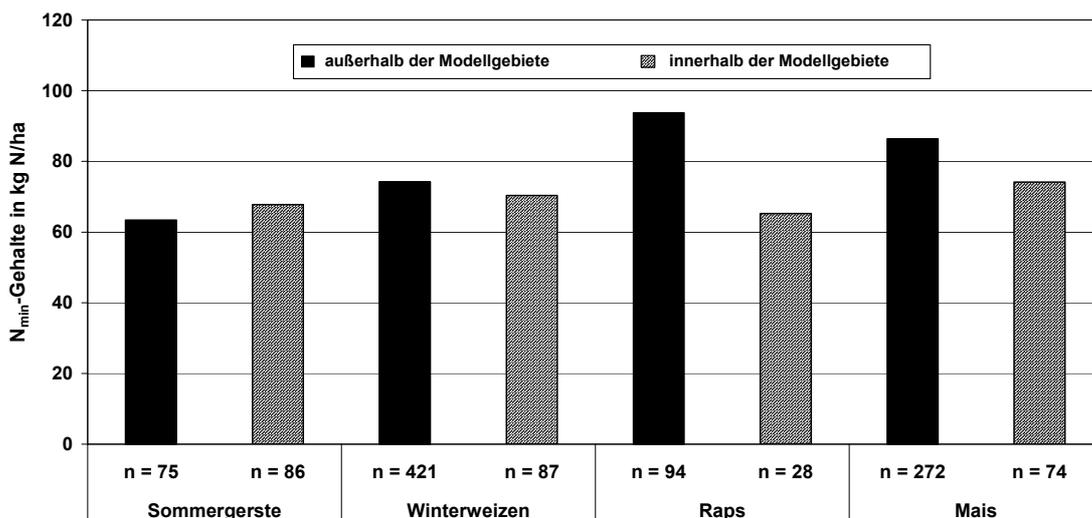


Abb. 31: Mittelwerte der N_{min}-Gehalte der N-Monitoringflächen außerhalb und innerhalb der Modellgebiete nach verschiedenen Fruchtarten im Zeitraum 1994/1995 - 2001/2002 (Termin Vegetationsende)

3.5.4 N_{min}-Gehalte unter Dauerbrache

In den Extensivierungs-Modellgebieten (Alladorf, Bastheim, Grüb) wurde versucht, möglichst viele Flächen stillzulegen. Wie sich der mittlere N_{min}-Gehalt der untersuchten Dauerbrachflächen während des Untersuchungszeitraums entwickelte, zeigt Abbildung 32.

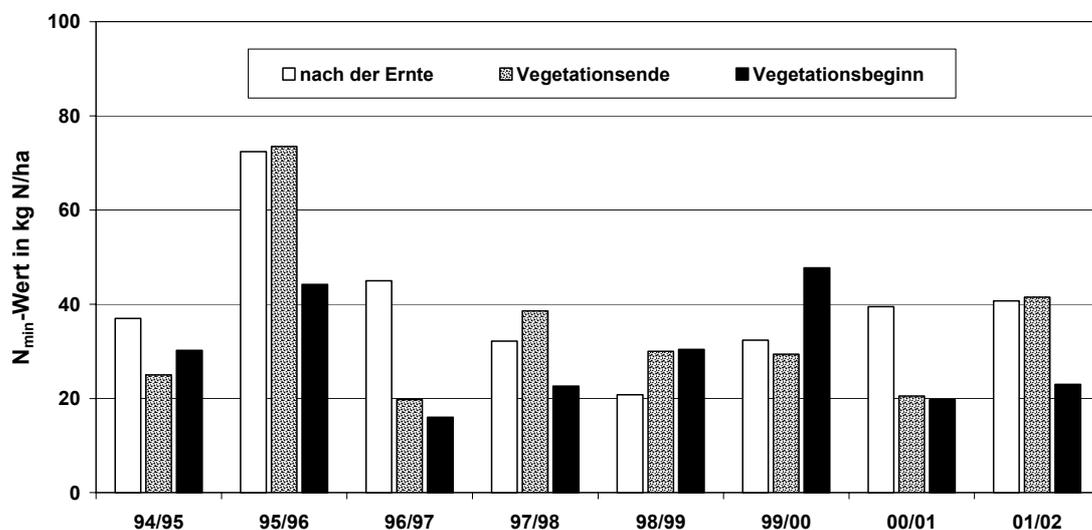


Abb. 32: Entwicklung des mittleren N_{min}-Gehaltes der Dauerbracheflächen (n = 4 - 5 Flächen) in den Jahren 1994 - 2002

Der N_{min}-Gehalt schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 20 - 74 kg/ha. Im Mittel der Jahre lag der N_{min}-Gehalt zu Vegetationsende bei 35 kg/ha. Damit liegt dieser Wert deutlich unter dem Mittelwert aller N-Monitoringflächen in den Modellgebieten mit 62 kg/ha. Auf Dauerbracheflächen war folglich zu Vegetationsende ein geringeres Verlagerungspotential für Nitrat gegeben. Hege et al. (1996) fanden im Rahmen des Tiefbohrprogramms unter Dauerbrachen deutlich niedrigere Nitratkonzentrationen.

3.5.5 N_{\min} -Gehalte in Abhängigkeit vom Sanierungskonzept

In der Abbildung 33 sind die Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte (Vegetationsende) der Monitoringflächen in Abhängigkeit vom Sanierungskonzept dargestellt.

Im Mittel der Modellgebiete mit dem Sanierungskonzept „Extensivierung“ wurden während der gesamten Laufzeit (Ausnahme 2000) niedrigere N_{\min} -Gehalte als in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „gute fachliche Praxis“ festgestellt. Die Werte lagen um bis zu 38 kg/ha niedriger. Eine Begründung dafür dürfte in dem wesentlich höheren Anteil an Monitoringflächen mit Dauerbrache in den Modellgebieten mit Extensivierung liegen.

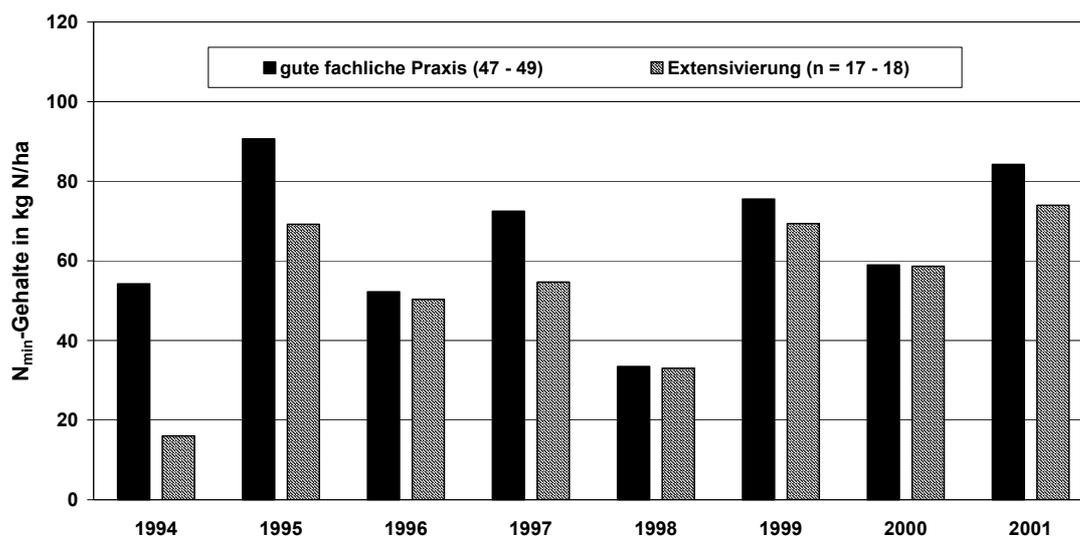


Abb. 33: Mittelwerte der N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen in den Modellgebieten im Zeitraum 1994/1995 - 2001/2002 zu Vegetationsende (Vergleich „gute fachliche Praxis“ und „Extensivierung“)

Fazit:

Die N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen innerhalb der Modellgebiete lagen bis auf wenige Ausnahmen sowohl nach der Ernte als auch zu Vegetationsende niedriger als die Werte außerhalb der Modellgebiete. Dies war insbesondere der Fall nach den Vorfrüchten Mais und Raps. Die N_{\min} -Gehalte unter Dauerbracheflächen waren gegenüber den sonstigen Fruchtarten meist deutlich niedriger.

Die Stilllegung von landwirtschaftlichen Flächen ist eine durchaus sinnvolle Maßnahme zur Verminderung des Nitrataustrags.

3.6 Gülledüngung

Zur bestmöglichen Nutzung des Stickstoffs in der Gülle wurde für die Landwirte in den Modellgebieten in den Jahren 1994 - 1997 ein fruchtartspezifischer und zeitlicher Ausbringplan für die anfallende Gülle erstellt. Hierzu wurde das im Großrechner der Landwirtschaftsverwaltung verfügbare Programm zur Gülleverteilerung eingesetzt. Gleichzeitig wurde den Betrieben aufgezeigt, wie sie ihr Güllemanagement insgesamt verbessern können. Der Maßnahmenkatalog umfasste die Ausweitung des Zwischenfruchtanbaus, den Anbau bestimmter Fruchtarten, die Zupacht landwirtschaftlicher Nutzfläche, die Abgabe von Gülle an andere Betriebe und den Ausbau des Güllelagerraumes. Die Umsetzung der Empfehlungen wurde anschließend einzelbetrieblich analysiert.

3.6.1 Lagerkapazität für Gülle

Für 67 viehhaltende Betriebe mit Güllewirtschaft wurden im Zeitraum 1994 - 1997 jährliche Empfehlungen hinsichtlich Menge und Verteilung der Gülle zu den Fruchtarten erarbeitet. Dabei zeigte sich, dass für viele Betriebe die Lagerkapazität der begrenzende Faktor für einen grundwasserschonenden Gülleinsatz ist (vgl. Abbildung 34).

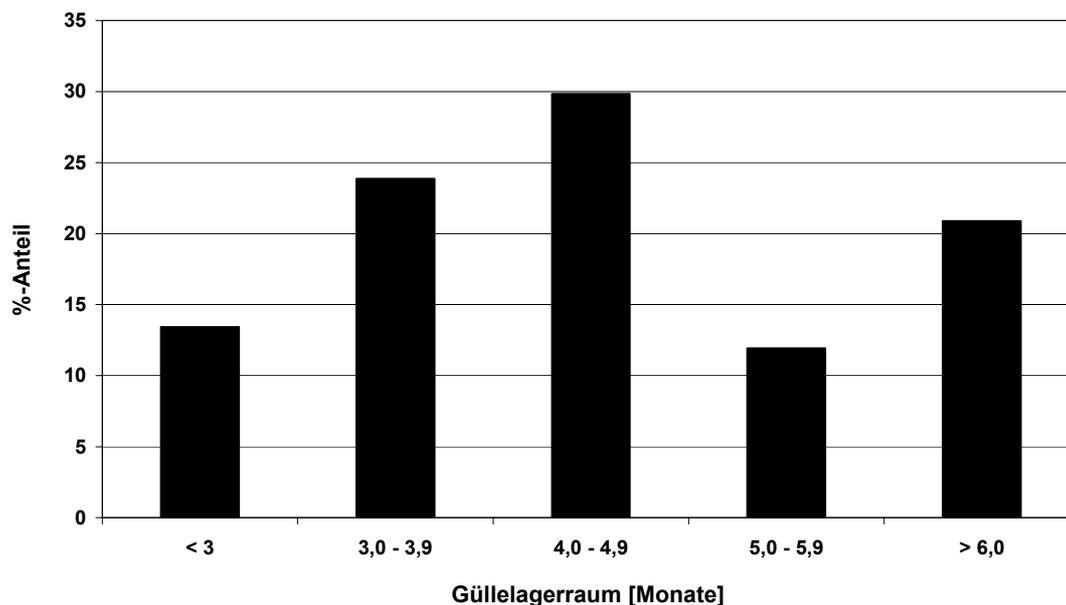


Abb. 34: Güllelagerraum der landwirtschaftlichen Betriebe in den Modellgebieten

Die von der staatlichen Beratung empfohlene, mindestens sechsmonatige Lagerkapazität für Gülle wurde nur bei 21 % der beratenen Betriebe erreicht. Als kritisch im Sinne einer umweltschonenden Gülleverwertung müssen Betriebe mit einer Lagerkapazität von unter vier Monaten angesehen werden. Von den beratenen 67 Betrieben fielen 37 % in diese Kategorie.

3.6.2 Umsetzung der Empfehlungen zur Gülledüngung

Zwischen 1994 - 1997 wurden für insgesamt 2 362 Einzelschläge Empfehlungen zur Gülledüngung ausgearbeitet. Am Ende des jeweiligen Jahres wurde bei den Landwirten nachgefragt, wie sie die Empfehlungen zur Gülledüngung umgesetzt hatten. Dabei wurden die Angaben der Landwirte zur Gülledüngung mit den Vorgaben des Güllekalenders der LBP verglichen. Im Mittel der Jahre 1994 - 1996 wurden die Empfehlungen zur Gülledüngung zu 60 % umgesetzt, d. h. in 40 % der Fälle kam es zu Abweichungen. Abbildung 35 zeigt die Gründe für Abweichungen von den Düngeempfehlungen.

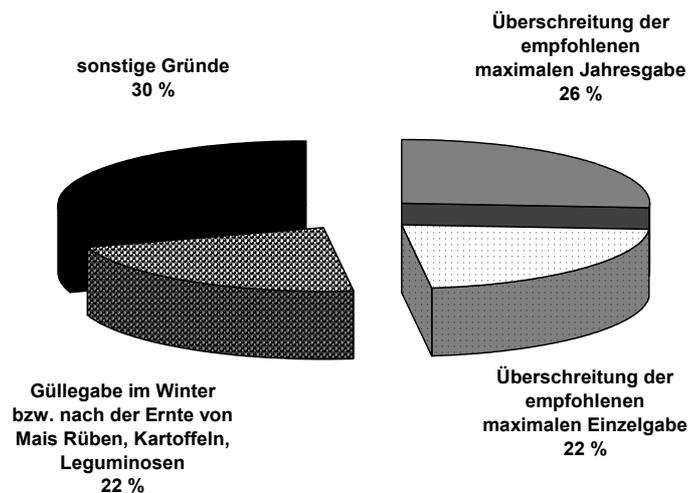


Abb. 35: Gründe für die Abweichung von der Düngeempfehlung in den Modellgebieten

Der Hauptgrund für die Abweichungen waren Überschreitungen der empfohlenen maximalen Einzel- bzw. Jahresgaben insbesondere auf den Grünlandflächen. Besonders kritisch für die Nitratauswaschung ist eine Gülleausbringung in den Monaten November, Dezember und Januar sowie nach der Ernte von Hackfrüchten und Leguminosen. In 22 % der Fälle war eine Gülleausbringung in diesem Zeitraum der Grund für die Abweichung von der Empfehlung. Die Ursache hierfür ist in der zu geringen Lagerkapazität zu suchen. Es zeigte sich allerdings, dass die Landwirte die Gülleausbringung in dem genannten kritischen Zeitraum aufgrund von Beratungsempfehlungen von ca. 34 % im Jahr 1994 auf 15 - 16 % in den Jahren 1995 bzw. 1996 verminderten.

Ab 1996 ist davon auszugehen, dass sich durch das in der Düngeverordnung vorgegebene Ausbringverbot (Zeitraum 15.11.-15.1.) die Gülledüngung in der Zeit mit erhöhter Auswaschungsgefahr weiter vermindert hat.

Fazit:

Die Empfehlungen zur Gülledüngung wurden im Mittel in ca. 60 % der Fälle umgesetzt. Mangelnde Lagerkapazität stellte den Hauptfaktor für eine nicht umweltgerechte Gülledüngung dar. Die Landwirte verminderten die Ausbringung in der vegetationslosen Zeit und verbanden die Gülledüngung nach der Ernte zunehmend mit dem Anbau von Zwischenfrüchten. Allerdings kam es häufig zu Überschreitungen der empfohlenen maximalen Einzel- bzw. Jahresgaben, insbesondere bei Grünland.

3.7 Extensivierung

In den Extensivierungs-Modellgebieten Alladorf, Grüb und Bastheim wurde geprüft, wie sich ein möglichst flächendeckender Einsatz von Extensivierungsmaßnahmen auf die Nitratgehalte im Grundwasser auswirkt. Dazu wurden die 49 Landwirte in den Extensivierungs-Modellgebieten hinsichtlich des Kulturlandschaftsprogrammes (KULAP) und der Kulturpflanzenregelung (insbesondere Stilllegung) einzelbetrieblich beraten. In der Abbildung 36 ist dargestellt welche Veränderungen sich bei der extensiv bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche (Ackerflächen + Grünlandflächen) in den drei Modellgebieten von 1994 bis 2001 ergeben hat. Als extensiv bewirtschaftete landwirtschaftliche Nutzfläche wurde hierbei im wesentlichen stillgelegte Ackerflächen, Ackerflächen auf denen eine extensive Fruchtfolge (KULAP K 31) zum Tragen kam, Ackerflächen auf denen Feldfut-

terbau (Klee gras) betrieben wurde, Acker und Grünlandflächen die nach Kriterien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet wurden (KULAP K 14) sowie extensiv bewirtschaftete Grünlandflächen (KULAP K 33, K 34) bezeichnet.

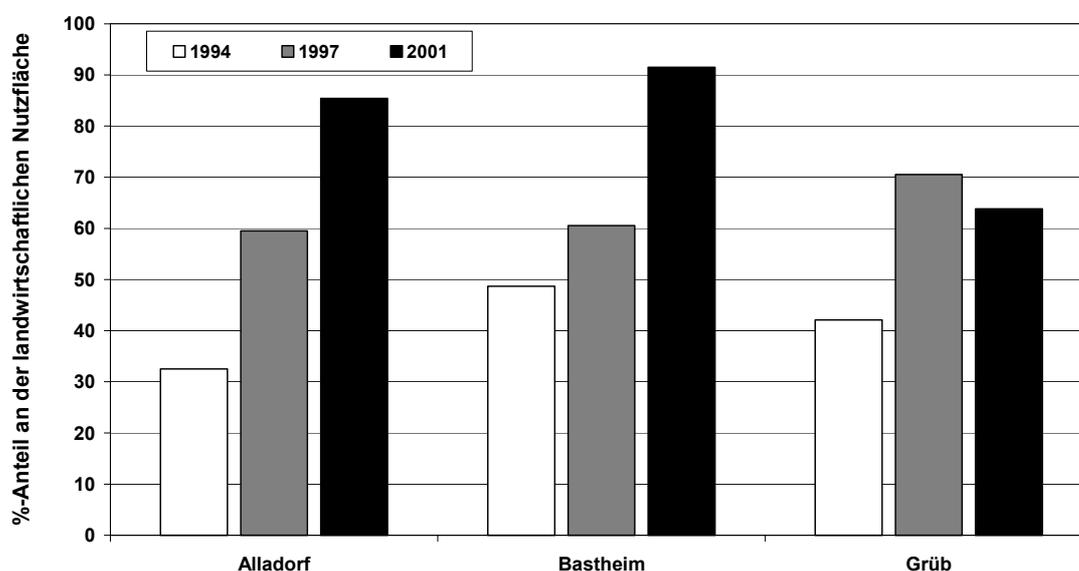


Abb. 36: %-Anteil der extensiv genutzten landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Modellgebieten Alladorf, Bastheim und Grüb

In Alladorf wurden zu Beginn des Forschungsauftrages (1994) 33 % der Fläche extensiv bewirtschaftet. Im Verlauf des Forschungsvorhabens konnte der Anteil auf 60 % (1997) bzw. 85 % (2001) ausgedehnt werden.

In Bastheim wurden 1994 49 % der Flächen extensiv bewirtschaftet. Der Anteil erhöhte sich 1997 auf 61 % und 2001 auf 92 %.

In Grüb wurden 1994 42 % der Fläche extensiv bewirtschaftet. Bis 1997 konnte der Anteil auf 71 % angehoben werden. 2001 lag der Anteil bei 64 %. Bei der Interpretation der Prozentwerte des Modellgebietes Grüb ist zu beachten, dass es sich um ein sehr kleines Modellgebiet mit geringer landwirtschaftlicher Nutzfläche (vgl. Kap. 3.1) handelt. Eine Änderung der Flächennutzung einer einzelnen Fläche hatte daher vergleichsweise große Auswirkungen auf den Anteil der extensiv bewirtschafteten Fläche.

Die Abbildung 37 gibt einen Überblick darüber, welche Extensivierungsmaßnahmen in den einzelnen Modellgebieten realisiert wurden.

In Alladorf wurde auf 51 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche eine extensive Fruchtfolge (K 31) nach Vorgaben des KULAP durchgeführt. Voraussetzung für die Förderung ist, dass die gesamte Ackerfläche eines Betriebes in das Programm miteinbezogen wird und dabei der Anteil der sogenannten Intensivkulturen Mais, Weizen, Rüben, Feldgemüse an der Fruchtfolge nicht größer als 33 % ist. Die Begrenzung von Mais an der Ackerfläche liegt bei max. 20 %. Auf 15 % der Fläche wurde Feldfutter (meist mehrjähriges Klee gras) angebaut. Die Dauergrünlandfläche (Wiesen, Weiden, Mähweiden) betrug 14 %, wovon nahezu die gesamte Fläche im Rahmen von Grünlandextensivierungsprogrammen (KULAP) bewirtschaftet wurde. Stilllegung (3 %) und der ökologischer Landbau (2 %) waren von untergeordneter Bedeutung.

In Bastheim lag der Schwerpunkt vor allem auf Dauerbrache von Ackerflächen (39 %) und extensiver Fruchtfolge (41 %). Außerdem wurden 9 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach den Kriterien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet.

Im Modellgebiet Grüb war 36 % der Fläche mit Feldfutter (Klee gras) bestellt. 16 % der Fläche war stillgelegt und 11 % der Fläche wurde als Dauergrünland (KULAP) genutzt.

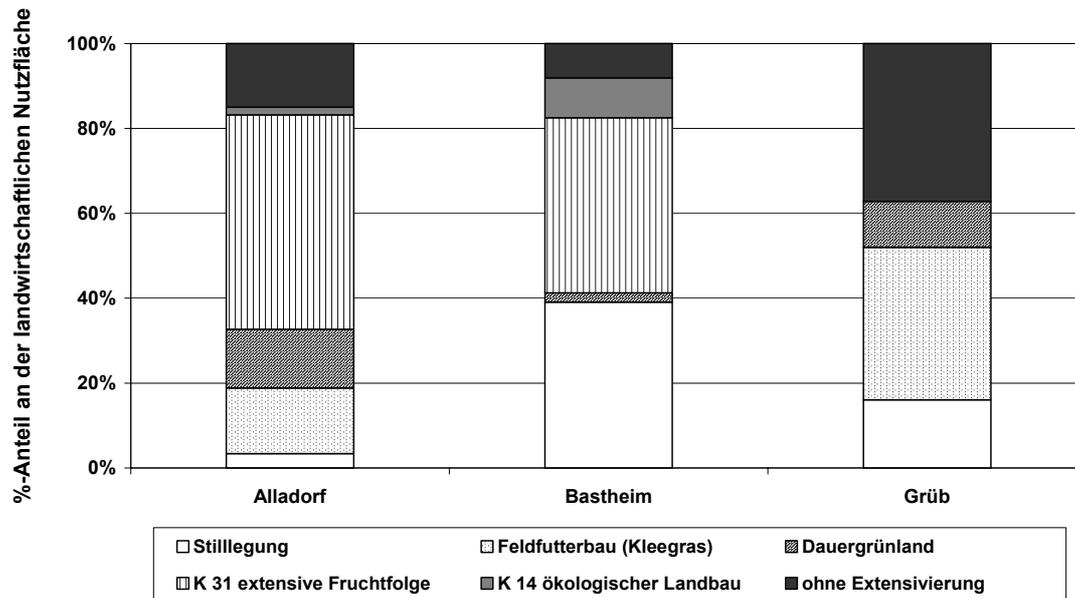


Abb. 37: Extensivierungsmaßnahmen in den Modellgebieten (Jahr 2001)

Alle Flächen auf denen Feldfutterbau (i.d.R. Klee gras) betrieben bzw. die stillgelegt waren und im Rahmen von K 31 gefördert wurden, wurden zu den Feldfutterbau- bzw. Stilllegungsflächen addiert. D. h. der Prozentsatz der Fläche in K 31 liegt in der Realität höher.

Fazit:

Durch eine gezielte Beratung konnte die Extensivierungsfläche deutlich erhöht werden. Während in Alladorf der Schwerpunkt auf der extensiven Fruchtfolge lag, setzte man in Grüb vor allem auf Feldfutterbau. In Bastheim wurde im wesentlichen durch Stilllegung und extensive Fruchtfolgen ein hoher Extensivierungsgrad erreicht.

3.8 Einzel- und Gruppenberatung der Landwirte

Die Landwirte in den Modellgebieten wurden von den zuständigen Ämtern für Landwirtschaft und Ernährung (ÄFLuE) einzelbetrieblich beraten. War die Anzahl der Landwirte, wie beispielsweise im Modellgebiet Hiltenfingen, sehr groß, so wurden die Landwirte für die Beratung ausgewählt, die hohe Überhänge im N-Saldo hatten, bei denen eine umweltschonende Gülleausbringung nur schwierig umsetzbar war oder die nach einer Beratung anfragten. Ziel dabei war es, die Produktionstechnik, insbesondere die Düngung, zu optimieren und Fehler abzustellen.

In den Jahren 1993 - 1997 führte die LBP in Zusammenarbeit mit den zuständigen ÄFLuE einmal jährlich Informationsabende für die Landwirte in den Modellgebieten durch, bei denen die Maßnahmen besprochen und der Fortgang des Forschungsauftrages dargestellt und diskutiert wurde. Die Informationsveranstaltungen stießen durchweg auf großes Interesse und waren gut besucht. Generell engagierten sich die Landwirte intensiv an dem Forschungsauftrag. Sie arbeiteten motiviert mit.

4 Erfolgskontrolle im Grund- und Trinkwasser

In allen 7 Modellgebieten wurden monatlich im Grund- und Trinkwasser der Nitrat-, Ammonium- und Nitritgehalt festgestellt. Zusätzlich wurde vierteljährlich die Säure/Basenkapazität, der pH-Wert, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Chlorid und Sulfat ermittelt.

4.1 Nitratkonzentration

4.1.1 Nitratganglinien der Modellgebiete

Im folgenden werden die Nitratganglinien der einzelnen Modellgebiete dargestellt und interpretiert. Um einen Trend abzuleiten, wurden die monatlich erhobenen Daten einer Regressionsanalyse unterzogen.

Die Nitratwerte des Jägerbrunnens im Modellgebiet **Alladorf** verminderten sich im Mittel über den Beobachtungszeitraum von 51,9 mg NO₃/l zu Beginn des Modellvorhabens auf 36,4 mg NO₃/l zum Ende des Modellvorhabens und somit um 15,4 mg NO₃/l (vgl. Abbildung 38).

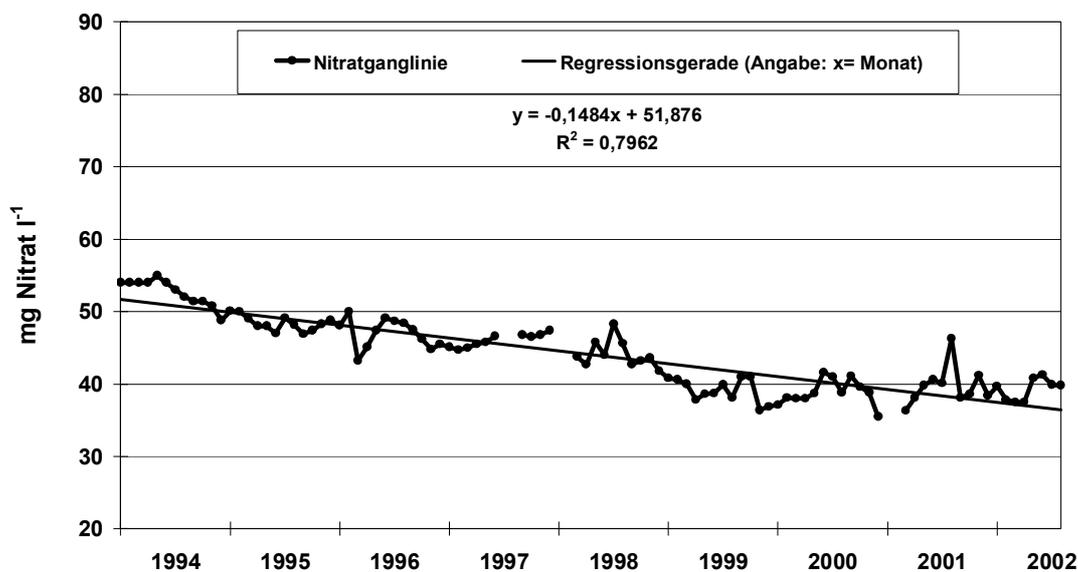


Abb. 38: Nitratganglinie für das Modellgebiet Alladorf (Extensivierung)

Die jährliche Abnahme der Nitratwerte lag bei 1,8 mg NO₃/l. Die durchgeführten Extensivierungsmaßnahmen zeigten eine deutliche Wirkung. Obwohl es sich bei dem Grundwasserleiter um einen Karstgrundwasserleiter handelt, zeigt die Nitratganglinie nur geringe jahreszeitliche oder bewirtschaftungsbedingte Schwankungen. Ursache könnte ein größerer Grundwassersee im Untergrund sein aus dem der Jägerbrunnen gespeist wird.

Bei der Wasserfassung **Heuchelheim** kam es im Mittel der beiden untersuchten Quellen (Quelle 1 und Quelle 2) zu einer geringfügigen Abnahme von 3,3 mg NO₃/l während der Gesamtlaufzeit des Forschungsauftrages (vgl. Abbildung 39). Die Werte lagen auf einem hohen Niveau zwischen 60 und 80 mg NO₃/l. Ein deutlicher Trend nach unten war erst ab Anfang 2001 zu erkennen. Auffällig war, dass im Mittel über den Beobachtungszeitraum von Beginn bis zum Ende der Messungen an der Quelle 1 eine Zunahme von 3 mg NO₃/l und an der Quelle 2 eine Abnahme von 10,3 mg NO₃/l zu verzeichnen war (vgl. Tabel-

le 5). Die mittlere jährliche Zunahme lag an der Quelle 1 bei 0,4 mg NO₃/l. An der Quelle 2 kam es zu einer jährlichen Abnahme von 1,2 mg NO₃/l.

Eine mögliche Erklärung für die im Vergleich zu den anderen Modellgebieten kaum verringerten Nitratgehalte liegt in der langen Verweilzeit des Grundwassers von ca. 5 Jahren (vgl. Kap. 4.2.2).

Zu Beginn der Messungen (1993/1994) waren starke Schwankungen der Nitratgehalte vorhanden. Es wurde vermutet, dass Oberflächenwasser aus Dränausläufen in der Wasserschutzzone I versickert und in den Quellen gefördert wird. Daraufhin wurde eine technische Sanierung durchgeführt und das Oberflächenwasser aus der Wasserschutzzone I oberflächlich abgeleitet.

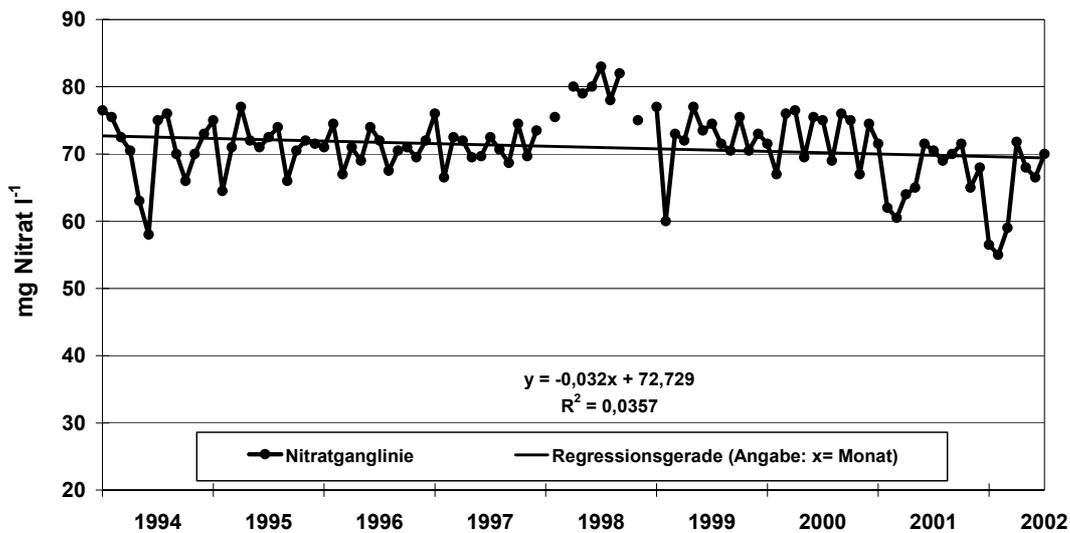


Abb. 39: Nitratganglinie für das Modellgebiet Heuchelheim (Mittel Quelle 1, Quelle 2, gute fachliche Praxis)

Die Nitratganglinien der Modellgebiete **Grüb** und **Weihenzell** zeigen einen nahezu parallelen Verlauf (vgl. Abbildung 40 und 41). Die Nitratgehalte im geförderten Wasser haben sich im Mittel über den Beobachtungszeitraum seit Beginn der Messungen bis zum Ende in Weihenzell von 70,7 mg NO₃/l auf 48,2 mg NO₃/l und somit um 22,6 mg NO₃/l, in Grüb von 71,3 mg NO₃/l auf 51,0 mg NO₃/l und somit um 20,3 mg NO₃/l vermindert. Die mittlere jährliche Abnahme lag in Weihenzell bei 2,4 mg NO₃/l, in Grüb bei 2,1 mg NO₃/l. Die Extensivierung der Ackerflächen in Grüb führte zu keiner größeren Abnahme der Nitratgehalte im Quellwasser.

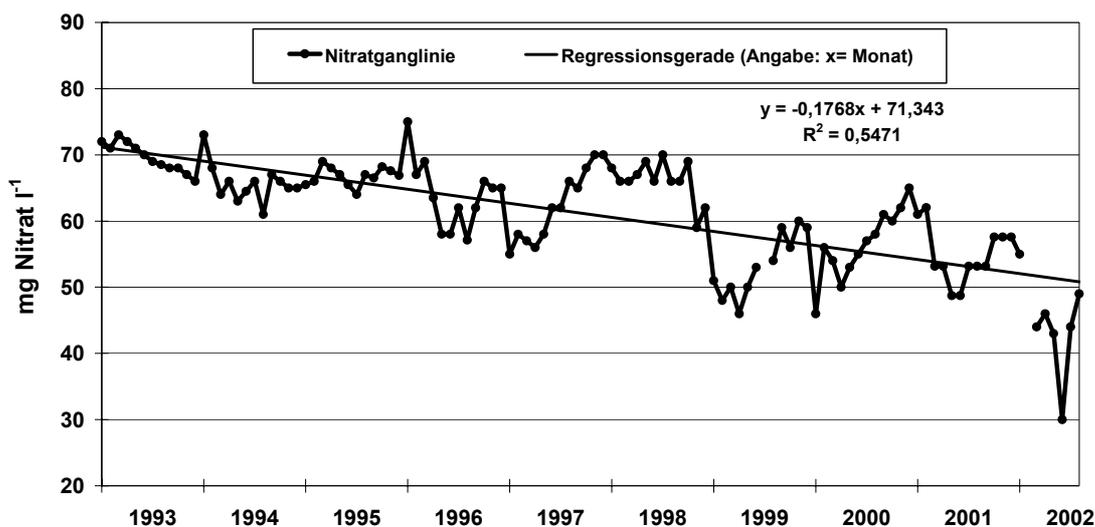


Abb. 40: Nitratganglinie für das Modellgebiet Grüb (Extensivierung)

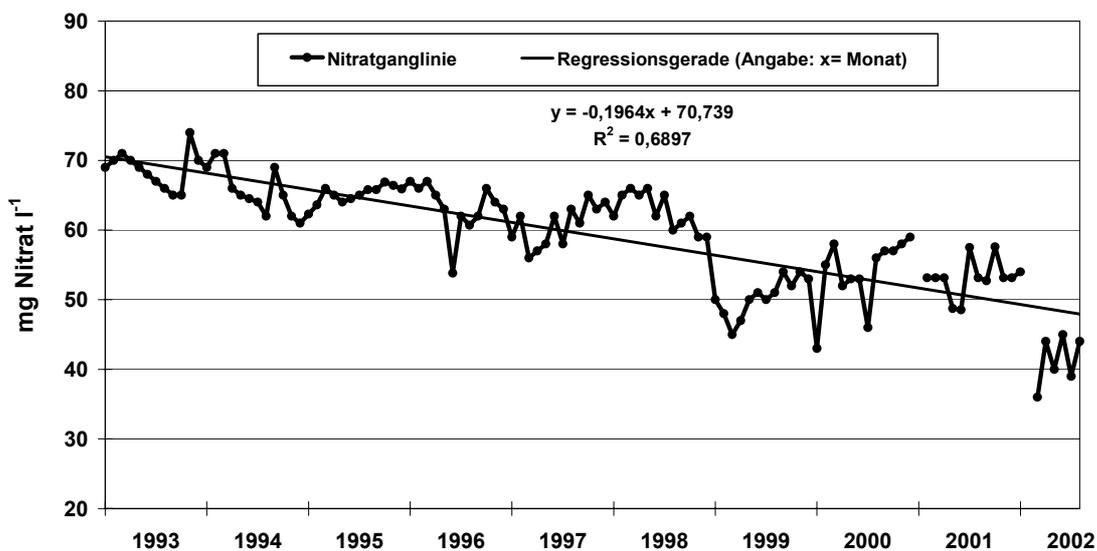


Abb. 41: Nitratganglinie für das Modellgebiet Weihenzell (gute fachliche Praxis)

Im Mittel über den Beobachtungszeitraum verringerte sich der Nitratgehalt in der Wasserfassung **Oberwaldbehungen** von 50,8 mg NO₃/l auf 43,6 mg NO₃/l und somit um 7,2 mg NO₃/l (vgl. Abbildung 42).

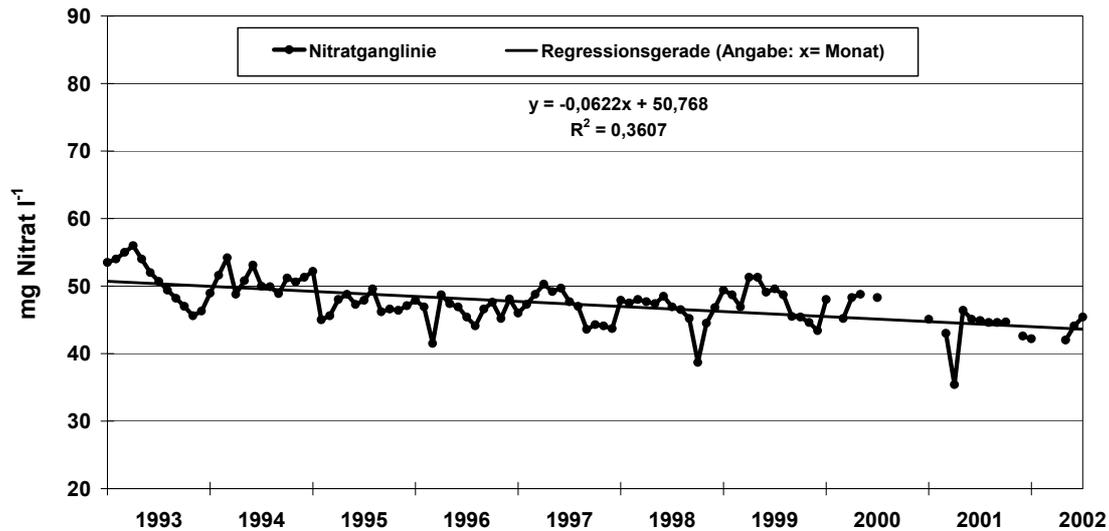


Abb. 42: Nitratganglinie des Modellgebietes Oberwaldbehungen (gute fachliche Praxis)

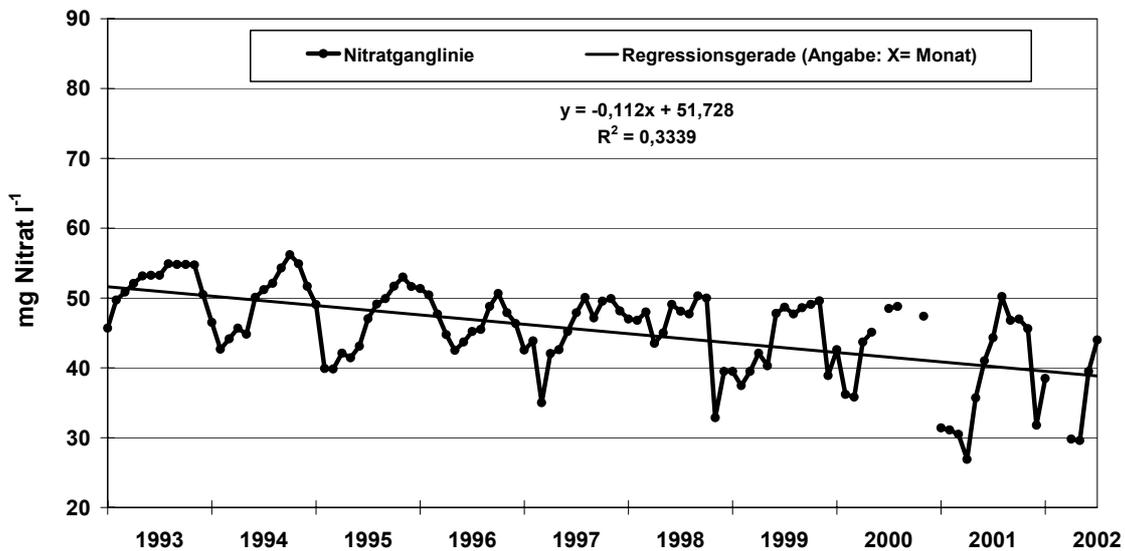


Abb. 43: Nitratganglinie des Modellgebietes Bastheim (Mittel Brunnen 1, Brunnen 2, Extensivierung)

In **Bastheim** kam es im Mittel der beiden Brunnen zu einer Abnahme von 51,7 mg NO₃/l auf 38,8 mg NO₃/l (vgl. Abbildung 43). Die mittlere jährliche Abnahme lag in Oberwaldbehungen bei 0,8 mg NO₃/l und in Bastheim bei 1,3 mg NO₃/l. Die Nitratganglinie von Bastheim zeigt deutliche Jahresschwankungen. Im ersten und zweiten Jahresquartal liegt die Nitratkonzentration deutlich niedriger als im Spätsommer/Herbst. Die Ursache könnte ein Verdünnungseffekt im Winter (hohe Sickerwasserspende) sein. Der hohe Extensivierungsanteil der Ackerflächen in Bastheim hat wahrscheinlich gegenüber Oberwaldbehungen zu der deutlicheren Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser geführt.

Dem Modellgebiet **Hiltensfingen** fließt von Süden ein Grundwasserstrom zu. Die Nitratgehalte wurden deshalb an Messstellen vor Eintritt in das Modellgebiet (Vorfeldmessstellen) und in der Nähe der Brunnen, beim Austritt aus dem Modellgebiet (Nachfeldmessstellen), ermittelt (vgl. Abbildungen 44 und 45).

Das Grundwasser benötigt von den Vorfeldmessstellen bis zu den Nachfeldmessstellen ca. ein Jahr Fließzeit (BODEN und WASSER 1991 und 1992). Um die Veränderungen der Nitratgehalte durch pflanzenbauliche Maßnahmen im Modellgebiet beurteilen zu können, wurden die Nitratgehalte der Vorfeldmessstellen von Januar 1994 bis Dezember 2000 den Nitratgehalten der Nachfeldmessstellen von Januar 1995 bis Dezember 2001 gegenübergestellt. Die Nitratgehalte verminderten sich im Mittel über den Betrachtungszeitraum an den Vorfeldmessstellen von 49,2 mg NO₃/l auf 39,4 mg NO₃/l und somit um 9,8 mg NO₃/l, bei den Nachfeldmessstellen von 52,2 mg NO₃/l auf 40,1 mg NO₃/l und somit um ca. 12,1 mg NO₃/l. Die jährliche Abnahme an den Vorfeldmessstellen betrug ca. 1,4 mg NO₃/l, bei den Nachfeldmessstellen ca. 1,7 mg NO₃/l. Bereinigt man den Rückgang der Nitratwerte an den Nachfeldmessstellen um den Rückgang der Nitratwerte an den Vorfeldmessstellen, so kam es während der Laufzeit des Modellvorhabens im Modellgebiet zu einer Verminderung der Nitratkonzentration um 2,3 mg NO₃/l.

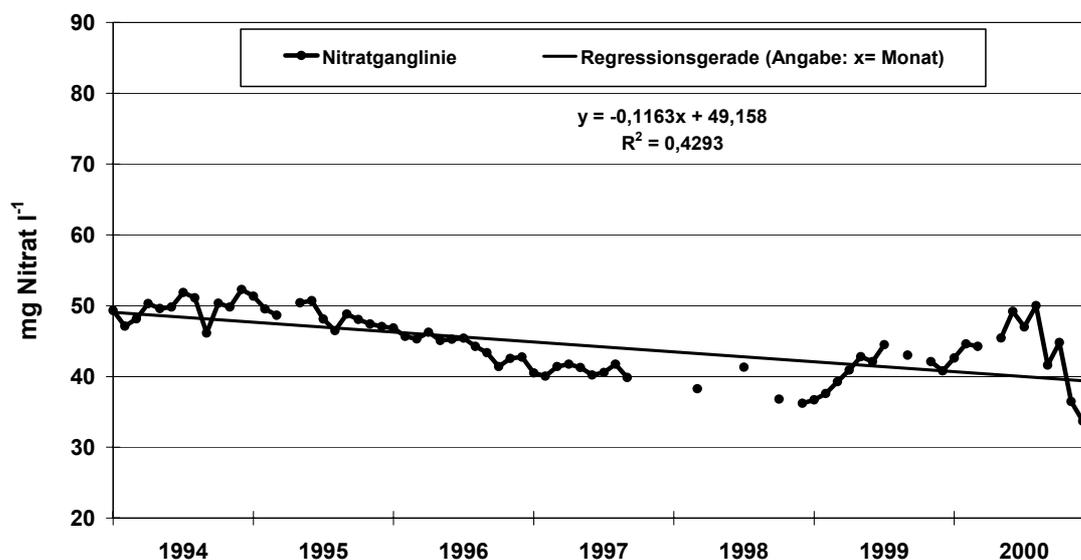


Abb. 44: Nitratganglinie im Modellgebiet Hiltenfingen Vorfeldmessstellen

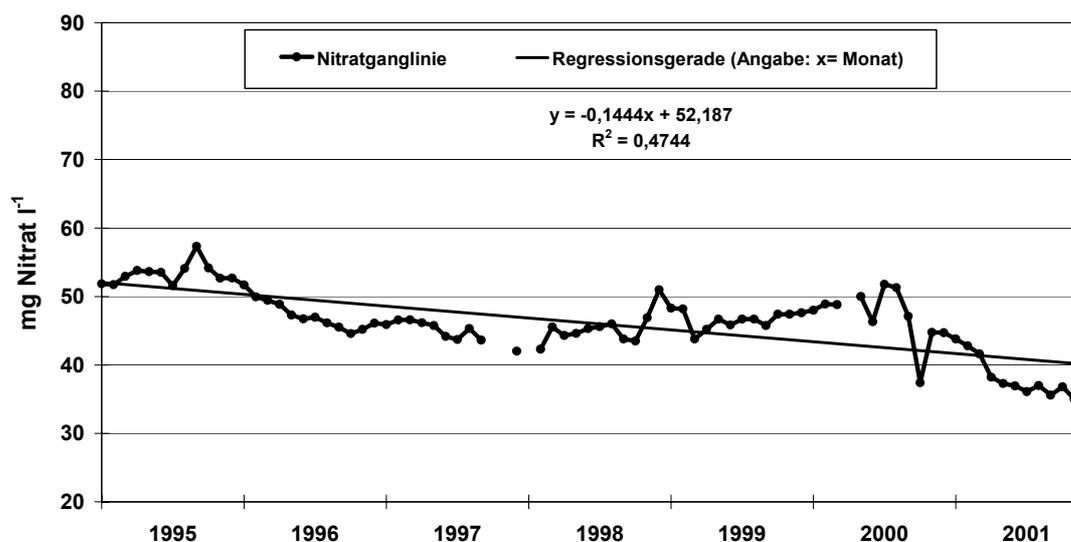


Abb. 45: Nitratganglinie im Modellgebiet Hiltenfingen Nachfeldmessstellen (gute fachliche Praxis)

In der folgenden Tabelle 5 sind die Veränderungen der Nitratgehalte im Grund- bzw. Trinkwasser in allen Modellgebieten zusammengefasst dargestellt.

Tab. 5: Veränderungen der Nitratgehalte im Grund- bzw. Trinkwasser in den Modellgebieten (nach Regressionsgerade)

Modellgebiet	Zeitraum	Ausgangswert [mg l ⁻¹]	jährliche Veränderung [mg l ⁻¹] ¹⁾	Veränderung im Zeitraum [mg l ⁻¹] ¹⁾
gute fachliche Praxis				
Heuchelheim (Quelle 1)	Jan. 1994 - Juli 2002	65,3	+0,4	+3,0
Heuchelheim (Quelle 2)		79,6	-1,2	-10,3
Heuchelheim (Mittel)		72,7	-0,4	-3,3
Weihenzell	Jan. 1993 - Juli 2002	70,7	-2,4	-22,6
Oberwaldbehörungen	Jan. 1993 - Juli 2002	50,8	-0,8	-7,2
Hiltensfingen Vorfeld	Jan. 1994 - Dez. 2000	49,2	-1,4	-9,8
Hiltensfingen Nachfeld	Jan. 1995- Dez. 2001	52,2	-1,7	-12,1
Hiltensfingen: Nachfeld minus Vorfeld			-0,3	-2,3
Extensivierung				
Alladorf	Jan. 1999 - Aug. 2002	51,9	-1,8	-15,4
Grüb	Jan. 1993 - Juli 2002	71,3	-2,1	-20,3
Bastheim (Brunnen 1)	Jan. 1993 - Aug. 2000	50,3	-1,1	-8,6
Bastheim (Brunnen 2)	Jan. 1993 - Juli 2002	52,6	-1,4	-13,7
Bastheim (Mittel)		51,8	-1,3	-12,9

- 1) negative Werte = Verminderung der Nitratwerte gegenüber dem Ausgangswert
positive Werte = Erhöhung der Nitratwerte gegenüber dem Ausgangswert

4.1.2 Veränderung Nitratkonzentration der Modellgebiete Bastheim und Oberwaldbehungen vor und während des Forschungsauftrages im Vergleich zu einer Wasserversorgungsanlage außerhalb der Modellgebiete

Um die Auswirkungen der durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Nitratganglinien darzustellen, wird exemplarisch für die Modellgebiete Oberwaldbehungen und Bastheim die Entwicklung der Nitratganglinien vor Beginn des Forschungsauftrages (Jahre 1989 - 1992) dem Verlauf danach (Jahre: 1993 - 2002) gegenübergestellt (vgl. Abbildung 46 und 47). Vor Beginn des Forschungsauftrages erhöhten sich die Nitratgehalte in Oberwaldbehungen im Mittel über den Beobachtungszeitraum von 41,5 (Januar 1989) auf 48,8 (Dezember 1992) mg NO₃/l. In Bastheim erhöhten sich im selben Zeitraum die Nitratwerte von 42,6 auf 50,2 mg NO₃/l. Diese Entwicklung konnte im Laufe des Forschungsauftrages (Jahre: 1993 - 2002) gestoppt und die Verminderung der Nitratgehalte eingeleitet werden (vgl. auch Kap. 4.1.1).

Um die dargestellten Entwicklungen von dem allgemeinen Trend unterscheiden zu können, werden die Nitratgehalte der beiden Modellgebiete mit dem Verlauf der Nitratganglinie der Wasserfassung Heustreu (vgl. Abbildung 48) verglichen.

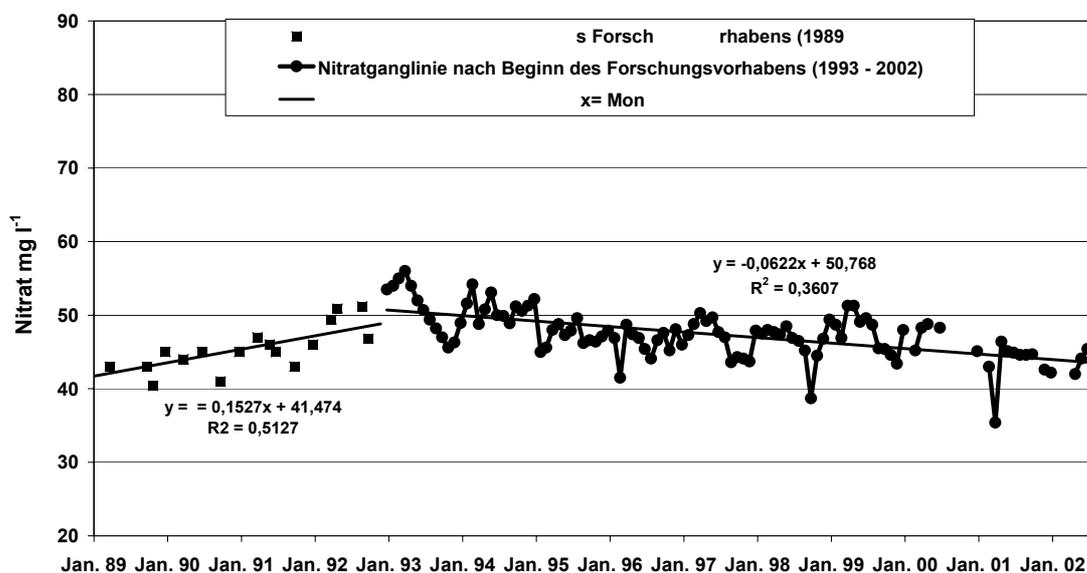


Abb. 46: Nitratganglinien des Modellgebietes Oberwaldbehungen vor und während des Forschungsauftrags

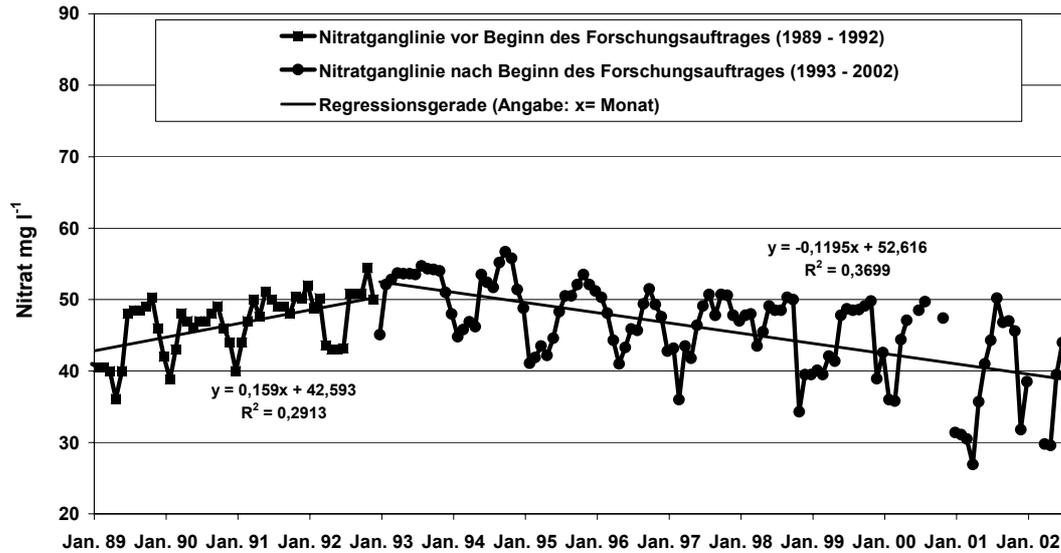


Abb. 47: Nitratganglinien des Modellgebietes Bastheim vor und während des Forschungsauftrages

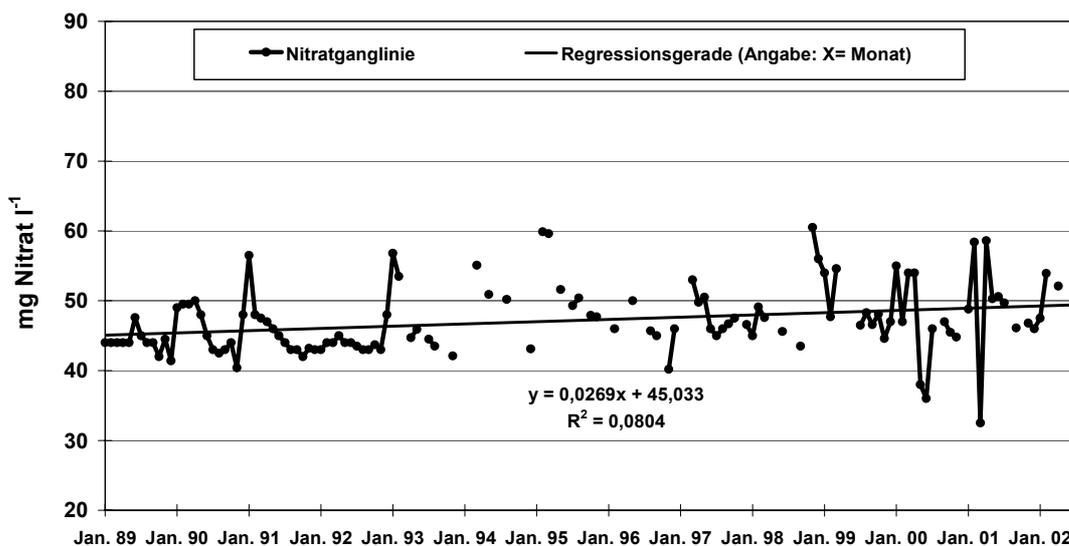


Abb. 48: Nitratganglinie der Wassergewinnungsanlage Heustreu

Das Wassereinzugsgebiet Heustreu liegt ca. 10 km von Oberwaldbehungen und Bastheim entfernt und weist ähnliche Standortvoraussetzungen auf. Im Zeitraum 1989 - 2002 wurden keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Der Verlauf der Nitratganglinie Heustreu spiegelt die Veränderung der Nitratgehalte im näheren Umfeld der beiden Modellgebiete wieder. Im betrachteten Zeitraum (Januar 1989 bis Juli 2002) erhöhten sich die Nitratgehalte im Mittel über den Beobachtungszeitraum in Heustreu geringfügig von 45,0 auf 49,4 mg NO₃/l (vgl. Abbildung 48). Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Abnahme der Nitratkonzentration im geförderten Grundwasser der Modellgebiete Oberwaldbehungen und Bastheim tatsächlich auf die durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen zurückgeführt werden kann und nicht auf einen eventuell vorliegenden allgemeinen Trend.

Entsprechende Ergebnisse konnten ebenfalls für die Modellgebiete Weihenzell und Grüb

im Vergleich mit benachbarten Wasserfassungen gefunden werden (WWA Ansbach 1997). Bei den anderen Modellgebieten konnte der Vergleich mit benachbarten Wasserfassungen nicht durchgeführt werden, da keine vergleichbaren vorhanden waren.

Fazit:

Zu Beginn des Forschungsauftrages lagen die Nitratwerte in allen Modellgebieten über dem EU-Grenzwert von 50 mg NO₃/l. Während der Laufzeit des Forschungsauftrages kam es in allen Modellgebieten zu einer Verminderung der Nitratkonzentration. Die mittlere jährliche Abnahme schwankte dabei zwischen 0,3 und 2,4 mg NO₃/l. Dies führte im Mittel zu Reduzierungen der Nitratwerte von 2,3 - 22,6 mg NO₃/l innerhalb der Untersuchungszeit. Die Nitratwerte aller Modellgebiete, mit Ausnahme von Heuchelheim, lagen zum Ende des Forschungsprojektes (Juli 2002) unter dem EU-Grenzwert. In den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „Extensivierung“ wurden die Nitratgehalte im Grund- und Trinkwasser tendenziell deutlicher reduziert als in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept „gute fachliche Praxis“.

4.2 Grundwasseralterszusammensetzung

Im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft führte ein Laboratorium zur Bestimmung von Isotopen in Umwelt und Hydrologie Untersuchungen zur Grundwasseralterszusammensetzung der Modellgebiete durch (HYDROISOTOP 1996, 1997). Im folgenden werden die wesentlichsten Ergebnisse zusammengefasst.

4.2.1 Methodik

Durch ausgewählte isopenhydrologische Untersuchungen lassen sich Aussagen über die altersmäßige Gliederung der Grundwasservorkommen, über das Strömungsfeld im Grundwasserleiter und Erkenntnisse über Grundwassereinzugs- und Abflussgebiete treffen. Die mittlere Verweilzeit eines Grundwassers (Zeit von der Versickerung bis zur Gewinnung des Grundwassers) kann als Indikator für die natürliche Geschütztheit eines Grundwasservorkommens herangezogen werden.

Aufgrund der relativ kleinräumigen und oberflächennahen Position der untersuchten Grundwassersysteme in den Modellgebieten ist von geringen Grundwasserverweilzeiten im Bereich von Jahren bis wenigen Jahrzehnten auszugehen. Zur Erfassung dieser Zeitspanne bieten sich Tritiumgehaltsbestimmungen, Sauerstoff-18-Zeitreihenuntersuchungen und Krypton-85-Gehaltsbestimmungen an.

Die Kombination dieser Methoden erlauben Aussagen über die Alterszusammensetzung der vorliegenden Grundwässer. Aus der Kenntnis der Alterszusammensetzung der Grundwässer und der Kenntnis des Belastungsgrades der verschiedenen alten Grundwasserkomponenten können Prognosen über die Zeitdauer abgeleitet werden, die zu einer merklichen Reduzierung einer Schadstoffbelastung nach eingeleiteten Sanierungsmaßnahmen (z. B. Reduzierung des Nitratreinträge) benötigt werden.

4.2.2 Mittlere Verweilzeit des Grundwassers

Im folgenden werden die Ergebnisse der Grundwasseralterszusammensetzung sowie der Einfluss der pflanzenbaulichen Maßnahmen auf den Nitratgehalt in den einzelnen Modellgebiete besprochen.

Alladorf

Das untersuchte Grundwasser weist eine sehr geringe mittlere Verweilzeit von wenigen Monaten bis einigen Jahren auf. Die Beteiligung einer alten tritiumfreien Grundwasserkomponente (> 40 Jahre) ist nicht zu verzeichnen. Für das Grundwasser des Jägerbrunnens kann eine mittlere Verweilzeit von ca. 2 Jahren angegeben werden, wobei der Anteil einer rasch infiltrierenden Niederschlagskomponente (Verweilzeit wenige Monate) insbesondere im Herbst/Winterhalbjahr auf ca. 5 - 10 % geschätzt wurde. Die Sommerniederschläge sind dagegen nur zu einem geringen Prozentsatz an der Grundwasserneubildung beteiligt. Aus den starken kurzzeitigen Schwankungen des Sauerstoff-18-Gehaltes lässt sich zu dem die Beteiligung einer Grundwasserkomponente mit Verweilzeiten von wenigen Tagen bis Wochen erkennen. In Verbindung mit den Ergebnissen eines Markierungsversuches konnten im Einzugsgebiet des Jägerbrunnens Bereiche lokalisiert werden, von denen die Niederschläge mit entsprechend geringerer zeitlicher Verzögerung dem Jägerbrunnen zuströmen.

Aufgrund der ermittelten kurzen Verweilzeit des Grundwassers kann gefolgert werden, dass die Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser (vgl. Kap. 4.1.1) in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen steht.

Heuchelheim

Das Grundwasser der Quelle 1, das für Trinkwasserzwecke verwendet wird, weist aufgrund der Ergebnisse der Tritium-, Krypton-85-Gehaltsbestimmung und der Sauerstoff-18-Zeitreihenuntersuchung eine mittlere Verweilzeit von ca. 5 Jahren auf. Eine nennenswerte Beteiligung einer alten (> 40 Jahre) Grundwasserkomponente ist nicht zu verzeichnen. Der Anteil einer sehr jungen Grundwasserkomponente (Verweilzeit 5 - 10 Monate) kann mit max. 5 % als sehr gering angesehen werden.

Das Grundwasser der Quelle 2 wird aufgrund des höheren Nitratgehaltes für Trinkwasserzwecke nicht verwendet. Aus den isotopenhydrologischen Untersuchungen lässt sich eine geringfügig höhere mittlere Verweilzeit vermuten als bei der Quelle 1. Anhand der Sauerstoff-18-Gehaltsbestimmungen lässt sich zudem auf geringfügig unterschiedliche Einzugsgebiete für die beiden Quellen schließen, was sich auch in den unterschiedlichen Nitratgehalten widerspiegelt.

Mit der langen Verweilzeit des Grundwassers von ca. 5 Jahren können die Rückgänge der Nitratwerte an der Quelle 2 gut erklärt werden. In den ersten 5 Jahren (Januar 1994 - Dezember 1998) des Beobachtungszeitraums kam es zu einer unwesentlichen Erhöhung der Nitratkonzentrationen. Die Werte stiegen innerhalb der ersten 5 Jahre um 1,8 mg NO_3/l , das entspricht einer mittleren jährlichen Zunahme von knapp 0,4 mg NO_3/l . Im Zeitraum von Januar 1999 bis Juli 2002 sanken die Werte um 12,7 mg NO_3/l , das entspricht einer mittleren jährlichen Abnahme von 3,5 mg NO_3/l . Es ist anzunehmen, dass dieses Ergebnis durch die gute Umsetzung der pflanzenbaulichen Maßnahmen erreicht wurde. Eine Erklärung für die im Beobachtungszeitraum leicht gestiegenen Nitratwerte in der Quelle 1 konnte nicht gefunden werden.

Grüb

Die Ergebnisse der Tritiumgehaltsbestimmungen und der Sauerstoff-18-Zeitreihenuntersuchung lassen eine mittlere Verweilzeit von ca. 5-10 Jahren erkennen. Die Beteiligung einer sehr jungen Grundwasserkomponente (Verweilzeit wenige Monate) ist nicht zu verzeichnen, auch die Beteiligung einer alten, tritiumfreien Komponente (> 40 Jahre) ist nicht zu erkennen.

Die Verminderung der Nitratgehalte im Grundwasser während des Beobachtungszeitraums kann z. T. auf die durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen durchgeführt werden. Ein Blick auf die Nitratganglinie (vgl. Kap. 4.1.1) zeigt, dass ein wesentlicher

Teil der Gesamtabnahme der Nitratgehalte auf den Zeitraum ab Ende 1998, d. h. ca. 6 Jahre nach Beginn des Forschungsprojektes, zurückgeführt werden kann. In diesem Zeitraum steht die Reduzierung der Nitratgehalte in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen.

Weihenzell

Im Modellgebiet Weihenzell lässt sich anhand der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ein Mischwassersystem mit der Beteiligung einer alten, tritiumfreien und nitratfreien Grundwasserkomponente (> 40 Jahre) vermuten. Aufgrund der Korrelation des Tritiumgehaltes mit dem Nitratgehalt lässt sich dabei eine zeitliche Varianz der Mischwasseranteile erkennen. Die Jungwasserkomponente weist eine relativ hohe mittlere Verweilzeit von ca. 8 - 10 Jahren auf. Zum Zeitpunkt der Messungen lag der Anteil der alten Grundwasserkomponente bei ca. 20 %. Eine nennenswerte Beteiligung einer sehr jungen Grundwasserkomponente (Verweilzeit wenige Monate) war nicht zu erkennen.

Ein sicherer Zusammenhang zwischen den abnehmenden Nitratwerten und den pflanzenbaulichen Maßnahmen kann aufgrund der langen Verweildauer des Grundwassers nicht eindeutig bestätigt werden, da die mittlere Verweildauer des Grundwassers nur unwesentlich kürzer als der Beginn des Forschungsvorhabens ist.

Bastheim

Bei den beiden Brunnen im Modellgebiet Bastheim handelt es sich in erster Linie um junge Grundwässer mit einer mittleren Verweilzeit von ca. 2 -3 Jahren. Die Beteiligung einer alten (> 40 Jahre) Grundwasserkomponente kann als gering (max. 5 %) angesehen werden. Aus dem Verlauf der Sauerstoff-18-Ganglinie kann der Anteil einer sehr jungen Grundwasserkomponente (Verweilzeit 5 - 10 Monate) mit ca. 5 - 10 % angegeben werden. Durch die kurze Verweilzeit des Grundwassers kann gefolgert werden, dass die Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser (vgl. Kap. 4.1.1) in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen steht.

Oberwaldbehungen

Beim Grundwasser des Brunnen Oberwaldbehungen handelt es sich um ein Mischwassersystem mit geringer (ca. 10 %) Beteiligung einer alten (> 40 Jahre) Grundwasserkomponente. Der Anteil der jungen Grundwasserkomponente beträgt ca. 90 % und weist eine mittlere Verweilzeit von ca. 2 - 3 Jahren auf. Aus dem Verlauf der Sauerstoff-18-Ganglinie lässt sich keine Beteiligung einer sehr jungen Grundwasserkomponente (Verweilzeit 5 - 10 Monate) erkennen.

Aufgrund der ermittelten kurzen Verweilzeit des Grundwassers kann gefolgert werden, dass die Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser (vgl. Kap. 4.1.1) in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen stehen.

Hiltensingen

Die nahezu identischen hydrochemischen und isotopenhydrologischen Ergebnisse der drei Brunnen weisen auf ein einheitliches Einzugsgebiet mit ähnlichen Grundwasserneubildungsbedingungen hin. Beim Grundwasser des Modellgebietes Hiltensingen handelt es sich um ein Mischwassersystem mit einer geringen mittleren Verweildauer von wenigen Monaten bis einigen Jahren. Die zum Teil hohen zeitlichen Schwankungen des Tritiumgehaltes lassen die Beteiligung einer sehr jungen Grundwasserkomponente erkennen.

Durch die ermittelte kurze Verweilzeit des Grundwassers kann gefolgert werden, dass die Reduzierung der Nitratgehalte im Grundwasser (vgl. Kap. 4.1.1) in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen steht.

Die Tabelle 6 zeigt eine zusammengefasste Darstellung inwieweit die Veränderung der Nitratgehalte durch die durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen im Untersuchungszeitraum – unter Berücksichtigung der mittleren Verweilzeit des Grundwassers – nachgewiesen werden konnten.

Tab. 6: Nachweis der Wirkung pflanzenbaulicher Maßnahmen auf den Nitratgehalt im Grundwasser der einzelnen Modellgebiete unter Berücksichtigung der mittleren Verweilzeit des Grundwassers

Modellgebiete	Veränderung der Nitratkonzentration im Grundwasser im Beobachtungszeitraum	Mittlere Verweilzeit des Grundwassers	Wirkung der pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Nitratgehalte im Grundwasser
Alladorf	Verminderung (jährlich 1,8 mg NO ₃ -/l)	ca. 2 Jahre	nachgewiesen
Heuchelheim	Verminderung (jährlich 0,4 mg NO ₃ -/l)	ca. 5 Jahre	nicht eindeutig nachgewiesen
Grüb	Verminderung (jährlich 2,1 mg NO ₃ -/l)	ca. 5 - 10 Jahre	nachgewiesen
Weihenzell	Verminderung (jährlich 2,4 mg NO ₃ -/l)	ca. 8 - 10 Jahre	nicht eindeutig nachgewiesen (Verweilzeit zu lang)
Bastheim	Verminderung (jährlich 1,3 mg NO ₃ -/l)	ca. 2 - 3 Jahre	nachgewiesen
Oberwaldbehrungen	Verminderung (jährlich 0,8 mg NO ₃ -/l)	ca. 2 - 3 Jahre	nachgewiesen
Hiltensfingen	Verminderung (Vorfeld – Nachfeld jährlich -0,3 mg NO ₃ -/l)	ca. 0,5 - 2 Jahre	nachgewiesen

Fazit:

In den Modellgebieten wurden isotopenhydrologische Untersuchungen des Grundwassers durchgeführt und dadurch die mittlere Verweilzeit (Zeit von der Versickerung bis zur Gewinnung) ermittelt. Dies ist ein Indikator für die natürliche Geschütztheit des Grundwasservorkommens und eröffnet die Möglichkeit, die Veränderung der Nitratgehalte im Grundwasser in Zusammenhang zu den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen zu setzen.

Die Verminderung der Nitratgehalte im Grundwasser der Modellgebiete Alladorf, Grüb, Bastheim, Oberwaldbehrungen und Hiltensfingen können durch die geringen Verweilzeiten der Grundwässer auf die dort durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen zurückgeführt werden. In Heuchelheim konnte dieser Zusammenhang nicht eindeutig festgestellt werden. In Weihenzell konnte aufgrund der langen Verweildauer des Grundwassers kein sicherer Zusammenhang zwischen den abnehmenden Nitratwerten und den pflanzenbaulichen Maßnahmen festgestellt werden.

4.3 Monitoring ausgewählter Pflanzenschutzmittelwirkstoffe

Während der ersten Projektphase (1993 bis 1997) wurden Wasserproben aus den Modellgebieten vierteljährlich auf Pflanzenschutzmittel (PSM)-Wirkstoffe untersucht. Dabei handelte es sich hauptsächlich um die Gruppen der Triazinherbizide, der Phenylharnstoffherbizide und der herbiziden Phenoxyalkancarbonsäuren. Der Untersuchungsumfang wurde von 29 Einzelsubstanzen im Jahr 1993 auf zuletzt 48 PSM-Wirkstoffe bzw. Metaboliten erweitert. Es wurden die in den Modellgebieten am häufigsten eingesetzten PSM-Wirkstoffe (Ausnahme: Wirkstoff Pyridat, kein Analysenverfahren verfügbar) ebenso erfasst wie das 1991 in der Anwendung verbotene Atrazin und dessen Hauptabbauprodukt Desethylatrazin (vgl. Tabelle 7).

Tab. 7: Untersuchte PSM-Wirkstoffe in den Modellgebieten

Im Beobachtungszeitraum angewendete PSM-Wirkstoffe:	Bentazon Bromoxynil 2,4-D Dichlorprop Fluroxypyr-methylheptylester ¹⁾ Metabolit: Fluroxypyr (freie Säure) Isoproturon MCPA Mecoprop Metamitron Metazachlor Pendimethalin Pyridat ²⁾ Terbutylazin
Im Beobachtungszeitraum nicht mehr angewendete PSM-Wirkstoffe:	Atrazin Metabolit: Desethylatrazin

1) Ester nur bei einem Teil der Proben untersucht

2) Pyridat nicht im Untersuchungsumfang enthalten

In allen Modellgebieten wurde die größte Belastung des Grundwassers durch Atrazin und Desethylatrazin verursacht, wobei Desethylatrazin in der Regel gegenüber Atrazin in deutlich höheren Konzentrationen vorliegt. Die höchsten Werte wurden im Modellgebiet Alladorf (Jägerbrunnen, 3. Quartal 1994) mit 0,42 µg/l Atrazin und 0,54 µg/l Desethylatrazin gemessen. Da an einzelnen Messstellen auch 1997 noch Atrazin- und Desethylatrazingehalte von bis zu 0,27 µg/l nachweisbar waren, muss von einer langsamen Verlagerung der im Boden vorhandenen Stoffdepots ins Grundwasser ausgegangen werden. Eine Verschiebung der Konzentrationsverhältnisse in den Einzelproben von Atrazin hin zum Abbauprodukt Desethylatrazin war nicht feststellbar. In keinem Fall konnte ein Trend zur Zunahme der Atrazin- bzw. Desethylatrazin-gehalte festgestellt werden.

Allerdings entwickelten sich während des Untersuchungszeitraums die Atrazin- bzw. Desethylatrazingehalte in den Modellgebieten sehr unterschiedlich (vgl. Tabelle 8). In den Modellgebieten Alladorf, Bastheim, Oberwaldbehungen und Hiltenfingen verminderten sich die Werte der PSM-Wirkstoffe um 30 - 50%, in den Modellgebieten Heuchelheim, Grüb und Weihenzell (längere mittlere Verweilzeit vgl. Kap. 4.2) blieben sie gleich.

Im letzten Untersuchungsjahr stand ein Analysenverfahren zum Nachweis des Atrazinmetaboliten **Hydroxyatrazin** zur Verfügung. Dabei wurden bis zu 0,23 µg/l Hydroxyatrazin

festgestellt (Alladorf, 1. Quartal 1997). Es zeigte sich, dass Hydroxyatrazin in den untersuchten Grundwasserproben in etwa der gleichen Größenordnung wie Atrazin enthalten ist und damit hinsichtlich der Konzentration eine größere Rolle spielt als andere in Grundwässern auftretende PSM-Wirkstoffe.

Simazin war nur in wenigen Proben bis maximal 0,02 µg/l nachweisbar, **Desethylsimazin** in 81 Einzelproben in Konzentrationen unterhalb der Nachweis-grenze von 0,03 µg/l und in 4 Einzelproben bis 0,05µg/l enthalten. Aus diesem Grund ist Desethylsimazin nicht als Metabolit des Simazins, sondern vielmehr als weiteres Abbauprodukt des in fast allen Proben enthaltenen Atrazins (Abspaltung der Isopropylgruppe) zu bewerten.

Terbuthylazin trat im Dezember 1996 an Messstellen im Modellgebiet Alladorf mit 0,08 bzw. 0,13µg/l, ansonsten aber nur in wenigen Einzelproben bis maximal 0,03 µg/l auf. Demgegenüber war der Metabolit Desethylterbuthylazin in 47 Einzelproben bis 0,03 µg/l, in 3 Einzelproben bis 0,05 µg/l nachweisbar. Dies lässt auf eine verbreitete Anwendung von Terbuthylazin schließen, die bisher jedoch nur zu geringen Grundwasserbelastungen geführt hat. Terbuthylazin wird in Kombinationspräparaten zusammen mit dem Wirkstoff **Metolachlor** als ein Ersatzstoff für Atrazin im Maisanbau eingesetzt. Metolachlor konnte in keiner Probe nachgewiesen werden.

Mecoprop bzw. **Bentazon** (25 bzw. 29 Einzelproben) waren in Konzentrationen von < 0,05 µg/l, in jeweils einer Probe in Konzentrationen von 0,06 bzw. 0,05 µg/l feststellbar.

Darüber hinaus wurden folgende PSM-Wirkstoffe gefunden:

Isoproturon (6 Befunde, bis 0,07 µg/l), **Metazachlor** (1 Befund, 0,03 µg/l), **Propazin** (7 Befunde, bis 0,03 µg/l), **Sebuthylazin** (4 Befunde, jeweils 0,01 µg/l), **Carbetamid** (1 Befund, 0,07 µg/l), **Dimefuron** (1 Befund, 0,01 µg/l), **Chlortoluron** (3 Befunde, bis 0,04 µg/l), **Metabenzthiazuron** (1 Befund 0,02 µg/l), **MCPA** (1 Befund, < 0,05 µg/l) und **Bromoxynil** (3 Befunde, < 0,05 µg/l).

Tab. 8: Atrazin und Desethylatrazingehalt (in µg/l) im Grundwasser der Modellgebiete 1993 - 1997

Jahr	1993				1994				1995				1996				1997	
	Quartal				Quartal				Quartal				Quartal				Quartal	
Modellgebiete „Gute fachliche Praxis“																		
Heuchelheim	Quelle 1	Atrazin	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06	
		Desethylatrazin	0,14	0,20	0,19	0,17	0,17	0,19	0,20	0,17	0,19	0,18	0,11	0,18	0,15	0,19	0,18	
	Quelle 2	Atrazin	0,10	0,13	0,14	0,14	0,12	0,12	0,14	0,14	0,12	0,11	0,09	0,13	0,10	0,11	0,12	
		Desethylatrazin	0,26	0,32	0,31	0,32	0,28	0,28	0,32	0,31	0,28	0,26	0,20	0,28	0,26	0,23	0,26	
Weihenzell	Quelle	Atrazin	0,08	0,07	0,07	0,10	0,11	0,09	0,09	0,09		0,07	0,07	0,08	0,10	0,09	0,09	
		Desethylatrazin	0,24	0,20	0,19	0,20	0,25	0,28	0,29	0,23		0,18	0,22	0,21	0,24	0,22	0,21	
Oberwaldbehrungen	Brunnen	Atrazin		0,17	0,21	0,18	0,17	0,17	0,17	0,14	0,07	0,08	0,08	0,15	0,10		0,12	
		Desethylatrazin		0,42	0,50	0,38	0,32	0,37	0,47	0,29	0,16	0,16	0,16	0,31	0,29		0,23	
Hiltentingen	Brunnen 3 (Nachfeld)	Atrazin	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
		Desethylatrazin	0,14	0,17	0,15	0,15	0,15	0,11	0,14	0,12	0,12	0,10	0,08	0,10	0,09	0,10	0,09	
	Pegel 979	Atrazin	0,02		0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	(Vorfeld)	Desethylatrazin	0,13	0,12	0,11	0,13	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,07	0,07	0,08	0,07	0,09	0,07	
Modellgebiete „Extensivierung“																		
Alladorf	Jägersbrunnen	Atrazin				0,42	0,34	0,31	0,33	0,27	0,27	0,19	0,26	0,21	0,19	0,21	0,18	
		Desethylatrazin				0,54	0,53	0,46	0,50	0,40	0,40	0,26	0,35	0,27	0,27	0,29	0,23	
Grüb	Quelle	Atrazin				0,01	0,10	0,09	0,08	0,10		0,06	0,08	0,07	0,08	0,07	0,07	
		Desethylatrazin				0,04	0,30	0,22	0,26	0,25		0,19	0,25	0,24	0,27	0,25	0,24	
Bastheim	Brunnen 1	Atrazin				0,10	0,09	0,05	0,09	0,09	0,08	0,06	0,07	0,06		0,05	0,05	
		Desethylatrazin				0,26	0,22	0,13	0,25	0,21	0,20	0,15	0,16	0,15		0,13	0,13	
	Brunnen 2	Atrazin				0,09	0,09	0,09	0,11	0,09	0,08	0,05	0,07	0,06		0,05	0,07	
		Desethylatrazin				0,23	0,21	0,21	0,31	0,23	0,20	0,14	0,19	0,16		0,12	0,18	

Quelle: LfW 1997

Fett markierte Zahlen in der Tabelle: Messwerte überschreiten Grenzwert von 0,1 µg/l

Im Modellgebiet Heuchelheim wurde an einer Messstelle zeitgleich zu den Grundwasserproben auch Drainagewasser untersucht. Normalerweise liegen die Werte im Drainagewasser deutlich über den Messwerten im Grundwasser. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Untersuchung von verschiedenen PSM-Wirkstoffen einer Drainage und der Quelle 2 in Heuchelheim aufgeführt.

Tab. 9: PSM-Wirkstoffe ($\mu\text{g/l}$) in Drainagewasser und Quelle 2 im Modellgebiet Heuchelheim

Quartal/ Jahr	Terbuthylazin		Desethylterbuthylazin		Isoproturon		Chlortoluron		Metabenzthiazuron	
	Drain.	Quelle	Drain.	Quelle	Drain.	Quelle	Drain.	Quelle	Drain.	Quelle
4/94			0,09	< 0,02	0,80					
1/95	0,05	0,03		0,04			0,80			
2/95			0,03	0,02			0,15	0,04		
3/95	0,06	0,01	0,08							
4/95	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03		0,02	< 0,02	0,10	0,02
1/96			< 0,02	< 0,02			0,04	< 0,02		
2/96			0,03							
3/96	0,02	0,01			0,23	0,05				
1/97	0,05	0,02	0,09	0,05	0,31	0,04				
2/97	0,02		0,04	< 0,02	0,08					

Leere Felder: Konzentration war unter der Nachweisgrenze

Fazit:

Die größte Grundwasserbelastung durch PSM-Wirkstoffe wurde durch Atrazin und dessen Metabolit Desethylatrazin verursacht. Auch 6 Jahre nach dem Atrazinanwendungsverbot verminderten sich die Konzentrationen nur langsam. Geht man davon aus, dass das Atrazinanwendungsverbot eingehalten wurde, so resultieren die überhöhten Atrazin-, Desethyl- und Hydroxyatrazingehalte aus Altlasten früherer Anwendungen. Aufgrund der Häufung bzw. der Höhe der Einzelbefunde sollten insbesondere Desethylterbuthylazin, Mecoprop, Bentazon und Isoproturon weiter beobachtet werden.

5 Berechnung des Arbeitszeitbedarfes

Entscheidend für die Umsetzung von grundwasserschonenden Maßnahmen ist, dass genügend Beratungskapazität zur Verfügung steht. In Tabelle 10 wird beispielhaft der Arbeitszeitbedarf für die Modellgebiete Oberwaldbehungen und Bastheim in Unterfranken kalkuliert. Die Kalkulation geht von der Beratung für ca. 25 landwirtschaftliche Betriebe, einer Ackerfläche von ca. 150 ha, einem eingespielten Arbeitsablauf, der räumlichen Nähe sowie einer konstruktiven Mitarbeit der Landwirte aus.

Tab. 10: Arbeitszeitbedarf für die Umsetzung von grundwasserschonenden Maßnahmen in den Modelgebieten Bastheim und Oberwaldbehungen

Beratung	Maßnahmen	Zeitbedarf
Einzelbetrieb	<ul style="list-style-type: none"> • Datenerhebung • Berechnen der Nährstoffsalden • Berechnung der Gülleverteipläne • Nachbesprechung mit den Landwirten 	3 Tage/Jahr 1 Tag/Jahr 2 Tage/Jahr 3 Tage/Jahr
Gruppen	<ul style="list-style-type: none"> • Informationsveranstaltung • Felderbegehung mit Bewirtschaftern 	1 Tag/Jahr 2 Tage/Jahr
Sonstige	<ul style="list-style-type: none"> • Kartierung der Ackernutzung • Auswertung und Arbeitsorganisation • Kontakt zu anderen Behörden 	1 Tag/Jahr 3 Tage/Jahr 2 Tage/Jahr
Summe Arbeitszeitbedarf		18 Tage /Jahr

6 Zusammenfassende Darstellung

Ansatzpunkte zur Verminderung von Nitratreintrag in das Grundwasser

- **Flächen- und Ackernutzung**

In den Modellgebieten Alladorf, Heuchelheim und Hiltenfingen ist aufgrund des hohen Ackeranteils die potentielle Gefahr einer erhöhten Nitratauswaschung am größten.

In den Extensivierungs-Modellgebieten war der Fruchtartenanteil mit geringer N-Intensität relativ hoch. In Grüb wurde ein Großteil der Ackerflächen stillgelegt bzw. als extensive Futterfläche genutzt. In Bastheim lag zum einen der Anteil an stillgelegten Flächen auf einem sehr hohen Niveau und zum anderen war der Sommergerstenanteil verhältnismäßig hoch. In Alladorf war der Anteil an Sommergetreidearten relativ hoch. Da aber vergleichsweise wenig Zwischenfrüchte angebaut wurden, lag der Grad der Bodenbedeckung im Herbst relativ niedrig.

In den Modellgebieten Heuchelheim, Oberwaldbehrungen und Hiltenfingen wurden große Anteile der Ackerflächen mit Wintergetreidearten bestellt. Sehr auffällig waren der sehr geringe Bodenbedeckungsgrad im Modellgebiet Weihenzell sowie der hohe Anteil an Zwischenfruchtanbau in Hiltenfingen.

- **Zwischenfruchtanbau**

Der Anbau von Zwischenfrüchten wurde in den fränkischen Modellgebieten nur sehr zögerlich umgesetzt. Ursachen sind der hohe Anteil an Winterfrüchten, die für Zwischenfrüchte wenig Raum lassen sowie Standortgegebenheiten. Wird der Zwischenfruchtanbau mit dem Ziel der Futternutzung durchgeführt und ist, wie im Modellgebiet Hiltenfingen, mit genügend Sommerniederschlägen zu rechnen, könnte der Zwischenfruchtanbau sicherlich noch ausgeweitet werden. Zu einer Verlegung des Umbruchtermins der Zwischenfrüchte in den Winter bzw. das Frühjahr konnten nur wenige Landwirte bewegt werden. Zwei Drittel der Schläge auf denen Zwischenfruchtanbau betrieben wurde, wurden mit Nichtleguminosen bestellt. Die übrigen Schläge wurden mit Gemenge und Leguminosen in Reinsaat bestellt. Wurden Leguminosen als Zwischenfrüchte verwendet, so wurden diese fast ausschließlich verfüttert. Der Nettostickstoffeintrag durch die N-Fixierung war daher gering.

- **Nährstoffsaldo der Betriebe**

Der durchschnittliche N-Saldo im Mittel aller Betriebe hat sich in der ersten Projektphase (intensive Beratung) von 38 kg/ha (1993) auf 17 kg/ha im Jahr 1996 vermindert. In der zweiten Projektphase, mit eingeschränkter Beratung kam es zu einem leichten Anstieg. 2002, bei der fünften Erhebung betrug der Überhang 24 kg/ha. Die durchschnittlichen P- und K-Salden verringerten sich während der Projektlaufzeit um ca. 35 kg P₂O₅ bzw. 58 K₂O/ha.

Sowohl im Mittel aller Betriebe als auch innerhalb der einzelnen Modellgebiete zeigte sich, dass ein enger Zusammenhang zwischen mineralischer N-Düngung und N-Saldo besteht. Die Verringerung der N-Überhänge war vor allem auf eine Verringerung der mineralischen N-Düngung insbesondere bei den viehstärkeren Betrieben zurückzuführen.

- **Düngeberatungssystem Stickstoff (DSN)**

Die Beteiligung der Landwirte am DSN sank während der Projektlaufzeit. Zu Beginn (1994) wurden für 55 % der Schläge in den Modellgebieten Düngeempfehlungen erstellt, zum Laufzeitende (2001) nur noch für 15 %.

Die DSN-Empfehlungen wurden insbesondere für die Fruchtarten Sommergerste, Winterweizen, Wintergerste und Silomais erstellt.

Die Düngeempfehlungen wurden von den Landwirten bei den Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Winterraps und Zuckerrüben gut umgesetzt. Bei Sommergerste wurde meist weniger gedüngt als empfohlen, bei Silomais wurden die empfohlenen Düngemengen meist deutlich überschritten. Bei Winterroggen und Triticale waren häufig Abweichungen nach oben und unten zu verzeichnen.

- **N-Monitoringflächen**

Die N_{\min} -Gehalte der N-Monitoringflächen innerhalb der Modellgebiete lagen bis auf wenige Ausnahmen sowohl nach der Ernte als auch zu Vegetationsende niedriger als die Werte außerhalb der Modellgebiete, da das Fruchtartenverhältnis ausgewogener, ein höherer Anteil an Dauerbracheflächen sowie ein vermehrter Zwischenfruchtanbau und der sinnvollere Einsatz von wirtschaftseigenen Düngern nach der Ernte der Vorfrüchte, innerhalb der Modellgebiete gegeben war.

Die N_{\min} -Gehalte unter Dauerbracheflächen lagen relativ niedrig, d. h. die Stilllegung von landwirtschaftlichen Flächen kann als sinnvolle Maßnahme zur Verminderung des Nitrat-austrags betrachtet werden.

- **Gülledüngung**

Die Empfehlungen zur Gülledüngung wurden im Mittel in ca. 60 % der Fälle umgesetzt. Mangelnde Lagerkapazität stellte den Hauptfaktor für eine nicht umweltgerechte Gülledüngung dar. Die Landwirte verminderten die Ausbringung in der vegetationslosen Zeit und verbanden die Gülledüngung nach der Ernte zunehmend mit dem Anbau von Zwischenfrüchten. Allerdings kam es häufig insbesondere bei Grünland zu Überschreitungen der empfohlenen maximalen Einzel- bzw. Jahresgaben.

- **Extensivierung**

Durch eine gezielte Beratung konnte die Extensivierungsfläche deutlich gesteigert werden. Während in Alladorf der Schwerpunkt auf der extensiven Fruchtfolge lag, setzte man in Grüb vor allem auf Feldfutterbau. In Bastheim wurde im wesentlichen durch Stilllegung und extensive Fruchtfolgen ein hoher Extensivierungsgrad erreicht.

Erfolgskontrolle im Grund- und Trinkwasser

- **Nitratkonzentration**

Zu Beginn des Forschungsauftrages lagen die Nitratwerte in allen Modellgebieten über dem EU-Grenzwert von 50 mg NO_3/l . Während der Laufzeit des Forschungsauftrages kam es in allen Modellgebieten zu einer Verminderung der Nitratwerte. Die mittlere jährliche Abnahme schwankte dabei zwischen 0,3 und 2,4 mg NO_3/l . Dies führte im Mittel zu einer Reduzierung der Nitratwerte um 2,3 - 22,6 mg NO_3/l innerhalb der Untersuchungszeit. Die Nitratwerte der Modellgebiete, mit Ausnahme von Heuchelheim, lagen zum Ende des Forschungsprojektes (Juli 2002) unter dem EU-Grenzwert. In den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept Extensivierung wurden die Nitratgehalte im Grund- und Trinkwasser tendenziell deutlicher reduziert als in den Modellgebieten mit dem Sanierungskonzept gute fachliche Praxis.

- **Grundwasseralterzusammensetzung**

In den Modellgebieten wurden isopenhydrologische Untersuchungen des Grundwassers durchgeführt und dadurch die mittlere Verweilzeit (Zeit von der Versickerung bis zur Gewinnung) ermittelt. Dies ist ein Indikator für die natürliche Geschütztheit des Grundwasservorkommens und eröffnet die Möglichkeit, die Veränderung der Nitratgehalte im Grundwasser in Zusammenhang zu den durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen zu setzen.

Die Verminderung der Nitratgehalte im Grundwasser der Modellgebiete Alladorf, Grüb, Bastheim, Oberwaldbehungen und Hiltenfingen können durch die geringen Verweilzeiten der Grundwässer auf die dort durchgeführten pflanzenbaulichen Maßnahmen zurückgeführt werden. In Heuchelheim konnte dieser Zusammenhang nicht eindeutig festgestellt werden. In Weihenzell konnte aufgrund der langen Verweildauer des Grundwassers kein sicherer Zusammenhang zwischen den abnehmenden Nitratwerten und den pflanzenbaulichen Maßnahmen festgestellt werden.

- **Monitoring ausgewählter Pflanzenschutzmittelwirkstoffe**

Die größte Grundwasserbelastung durch PSM-Wirkstoffe wurde durch Atrazin und dessen Metabolit Desethylatrazin verursacht. Auch 6 Jahre nach dem Atrazinanwendungsverbot verminderten sich die Konzentrationen nur langsam. Geht man davon aus, dass das Atrazinanwendungsverbot eingehalten wurde, so resultieren die überhöhten Atrazin-, Desethyl- und Hydroxyatrazingehalte aus Altlasten früherer Anwendungen. Aufgrund der Häufung bzw. der Höhe der Einzelbefunde sollten insbesondere Desethylterbuthylazin, Mecoprop, Bentazon und Isoproturon weiter beobachtet werden.

Erleichtert wurde das Forschungsprogramm durch die motivierte Mitarbeit der Landwirte. Diese waren sehr interessiert und beteiligten sich rege an den durchgeführten Maßnahmen zur Verminderung des Nitrataustrages.

7 Literaturverzeichnis

- [1] BAYERISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (2001): Amtliche topographische Karten (1 : 50 000) Bayern Nord und Bayern Süd in digitaler Form (CD-Top 50): München.
- [2] Boden und Wasser (Büro für Hydrogeologie, angewandte Geologie und Wasserwirtschaft (1991): Gutachten zur hydrogeologischen Situation und zur Ermittlung des Einzugsgebietes für die Brunnen 1-4 der Stadt Schwabmünchen – Teil 1. Gutachten im Auftrag der Stadt Schwabmünchen. Aichach.
- [3] Boden und Wasser (Büro für Hydrogeologie, angewandte Geologie und Wasserwirtschaft (1992): Gutachten zur hydrogeologischen Situation und zur Ermittlung des Einzugsgebietes für die Brunnen 1-4 der Stadt Schwabmünchen – Teil 2. Gutachten im Auftrag der Stadt Schwabmünchen. Aichach.
- [4] GLA (Bayerisches Geologisches Landesamt) (1955): Geologische Karte 1 : 25 000 Nr. 6 034 Mistelgau mit Erl.. München.
- [5] GLA (Bayerisches Geologisches Landesamt) (1961): Geologische Karte 1 : 25 000 Nr. 6 629 Ansbach mit Erl.. München.
- [6] GLA (Bayerisches Geologisches Landesamt) (1969): Geologische Karte 1 : 25 000 Nr. 6 229 Schlüsselfeld mit Erl.. München.
- [7] GLA (Bayerisches Geologisches Landesamt) (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern-Übersichtskarte 1 : 1 000 000. 2. Auflage. München.
- [8] HARTMANN (1992): Hydrologisches und agrarökologisches Basisgutachten für den Jägerbrunnen (Wasserschutzgebiet Alladorf).
- [9] HEGE, U., OFFENBERGER, K. (1994): Nährstoffbilanz auf Hoftor-Basis. SuB 11/96, V 9-12.
- [10] HEGE, U., OFFENBERGER, K., KÖNIG, H. (2001): Zehn Jahre Stickstoff-Monitoring. Schriftenreihe der LBP, 5. Jahrgang, Heft 1, 2001, 47-56.
- [11] HEGE, U., POMMER, G., RAUPENSTRAUCH, R. (1996): Auswirkungen von Verfahren der Extensivierung im Ackerbau auf das Sickerwasser. SuB 4/96, IV 1-7.
- [12] HEGE, U., SCHAUPP, H. (1996): Effects of agricultural land use on the nitrate content of the leakage and measures to avoid them. Hrvat.Vode, 4/96, 15, 97-102.
- [13] HEIMBUCHER (1991): Hydrogeologische Vorstudie zur Abgrenzung der Einzugsgebiete der Wippendorfer Quelle und der Weihenzeller Quellen am Grüber Hang. Gutachten im Auftrag der Gemeinde Weihenzell, Lkr. Ansbach. Nürnberg.
- [14] HYDROISOTOP (1996): Untersuchungen zum Nitrathaushalt und zur Grundwasseralterszusammensetzung ausgewählter Modellstandorte - Zwischenbericht. unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft, München.

- [15] HYDROISOTOP (1997): Untersuchungen zum Nitrathaushalt und zur Grundwasseralterszusammensetzung ausgewählter Modellstandorte - Abschlußbericht. unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft, München.
- [16] LBA (Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur) (1996): Entwicklung des Verbrauchs an mineralischen Nährstoffen von 1949/50 bis 1995/96 in Bayern. München.
- [17] LfL, IAB (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz) (2001): Ableitung der N-Düngeempfehlungen für die wichtigsten landwirtschaftlichen Feldfrüchte. Freising.
- [18] LfL, IAB (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz) (2003): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. 7. überarbeitete Auflage. Freising.
- [19] LfW (Landesamt für Wasserwirtschaft) (1997): Ergebnisse der Untersuchung auf Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in den Modellgebieten Alladorf, Heuchelheim, Grüb, Weihenzell, Bastheim, Oberwaldbehungen und Hiltenfingen. schriftliche Mitteilung. München.
- [20] LfW (Landesamt für Wasserwirtschaft) (2003): Amtliche Unterlagen und Gutachten. München.
- [21] MAIDL, F.X., AIGNER, A. (1994): Stickstoffaufnahme verschiedener Zwischenfruchtarten. SuB 11/94, IV 4-8.
- [22] NUSS (1992): Hydrologisches Gutachten zur Sicherung der Brunnen von Bastheim (Landkreis Rhön-Grabfeld). Gutachten im Auftrag der Gemeinde Bastheim. Bad Kissingen.
- [23] SCHAUPP, H. (1993): Zwischenbericht des Forschungsvorhabens „Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung“. unveröffentlichter Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau. München-Freising.
- [24] SCHAUPP, H. (1996): Grundwasserschonende Landbewirtschaftung in ausgewählten Wassereinzugsgebieten von Bayern (im Druck). Schriftenreihe des Landesamtes für Wasserwirtschaft, München.
- [25] SCHAUPP, H. (1996): Zwischenbericht des Forschungsvorhabens Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landbewirtschaftung 1993 - 1995. unveröffentlichter Bericht der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau. München-Freising.
- [26] SCHAUPP, H., HEGE, U. (1996): Nährstoffsaldo landwirtschaftlicher Betriebe in ausgewählten Wassereinzugsgebieten von Bayern. SuB 11/96, IV 1-2.
- [27] SCHAUPP, H., HEGE, U. (1996): Umsetzung von Beratungsempfehlungen zur Düngung in 7 Wassereinzugsgebieten in Bayern. VDLUFA-Schriftenreihe 44/96, 631-634.

- [28] SCHAUPP, H., HEGE, U. (1997): Umsetzung von Beratungsempfehlungen zur Verringerung des N-Austrages in ausgewählten Wassereinzugsgebieten in Bayern. SuB 2/97, IV.
- [29] SCHAUPP, H., MANGELSDORF, J., HEGE, U. (1997): Modellgebiete für eine grundwasserschonende Landwirtschaft (Bericht nach 5jähriger Laufzeit 1993 - 1997). Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München.
- [30] StMELF (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1996): Bayerischer Agrarbericht. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München.
- [31] WWA (Wasserwirtschaftsamt Ansbach) (2003): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen der Wasserversorgungsanlagen Grüb und Weihenzell. schriftliche Mitteilung. Ansbach.
- [32] WWA (Wasserwirtschaftsamt Bamberg) (2003): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen der Wasserversorgungsanlage Heuchelheim. schriftliche Mitteilung. Bamberg.
- [33] WWA (Wasserwirtschaftsamt Bayreuth) (2003): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen der Wasserversorgungsanlage Allendorf. schriftliche Mitteilung. Bayreuth.
- [34] WWA (Wasserwirtschaftsamt Donauwörth) (2003): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen der Wasserversorgungsanlage der Stadt Schwabmünchen. schriftliche Mitteilung. Donauwörth.
- [35] WWA (Wasserwirtschaftsamt Schweinfurt) (2003): Ergebnisse der Nitratuntersuchungen der Wasserversorgungsanlagen Bastheim, Oberwaldbehrungen und Heustreu. schriftliche Mitteilung. Schweinfurt.

