



Untersuchung von N_{\min} -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{\min} -Monitorings auf Dauertestflächen

**Ergebnisse der Jahre 2005 bis 2009
und langjährige Betrachtungen**

Themenblatt-Nr.: 21.13.210 / 2010

Langtitel: Untersuchung von N_{\min} -Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen
im Rahmen des N_{\min} -Monitorings auf Dauertestflächen

Kurztitel: N_{\min} -Monitoring

Projekt: Agrarmonitoring

Projektleiter: Dr. Matthias Leiterer

Abteilung: Untersuchungswesen

Abteilungsleiter: Dr. Matthias Leiterer

Laufzeit: 2005 bis 2010

Auftraggeber: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Na-
turschutz

Bearbeiter: Dr. L. Herold
S. Wagner
E. Höpfner
G. Kießling
R. Schmid

Jena, im Juli 2010

P. Ritschel
Präsident

Dr. L. Herold
Themenleiter

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 4
2	Methodik 5
3	Witterungsverhältnisse 10
4	Ergebnisse 12
4.1	N _{min} -Gehalt auf Dauertestflächen 12
4.1.1	Langjährige Betrachtung..... 12
4.1.2	N _{min} -Gehalt nach der Ernte (Untersuchungszeitraum 2005 bis 2008) 15
4.1.3	N _{min} -Gehalt im Herbst (nach Vegetationsende) und Veränderungen seit der Ernte 24
4.1.4	N _{min} -Gehalt im Frühjahr (Vegetationsbeginn) und Veränderungen seit dem Herbst 34
4.1.5	Vergleich des N _{min} -Gehaltes zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung 43
4.1.6	Jahresverlauf der N _{min} -Gehalte bei 14-tägigen Probenahmeintervallen 49
4.2	Stickstoffbilanz (N-Saldo) auf Dauertestflächen 55
4.2.1	N-Saldo nach Jahren 55
4.2.2	N-Saldo nach Fruchtartengruppen und Kulturen 58
4.2.3	N-Saldo mit und ohne Strohdüngung..... 63
4.2.4	N-Saldo in Abhängigkeit von der organischen Düngung 64
4.2.5	N-Saldo nach Bewirtschaftungsform..... 66
4.2.6	N-Saldo nach Bodenartengruppen 68
4.2.7	N-Saldo nach Agrargebieten 68
4.2.8	N-Saldo nach Kreisen..... 69
5	Diskussion 70
6	Fazit 73

Anlagen

1 Einleitung

Zum Forschungsthema „N_{min}-Monitoring“ wurden bisher folgende Berichte erarbeitet:

- 1991: Untersuchungen zum Nitratgehalt landwirtschaftlich genutzter Böden in Trinkwasserschutzgebieten (TSG) Thüringens im Herbst 1990
- 1996: N_{min}-Monitoring auf repräsentativen landwirtschaftlich genutzten Flächen im Freistaat Thüringen, 1991 bis 1994
- 2000: Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{min}-Monitoring auf Dauertestflächen, 1995 bis 1998
- 2002: Untersuchungen zum Einfluss von Witterung und Bodennutzung auf den N_{min}-Gehalt des Bodens in Wasserschutzgebieten sowie die Ableitung von N_{min}-Vergleichswerten im Herbst, 1996 bis 2001
- 2006: Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz im Rahmen des N_{min}-Monitorings auf Dauertestflächen 1999 bis 2004

Im vorliegenden Bericht wird nunmehr eine Auswertung der Ergebnisse der N_{min}-Dauertestflächen der Jahre 2005 bis 2009 vorgenommen.

Das im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) installierte N_{min}-Monitoring umfasst zwei Teilbereiche:

- N_{min}-Dauertestflächen (DTF) inklusive betriebliche Testflächen (BTF) und Feldversuche mit Probenahme im Frühjahr
- N_{min}-Vergleichsflächen in Wasserschutzgebieten (WSG) mit Probenahme im Herbst

N_{min}-Monitoring in Thüringen (Stand: 2009)

Probenahmezeitpunkt	N _{min} -Dauertestflächen (DTF)	Betriebliche N _{min} -Testflächen (BTF)	Ausgewählte Versuchsglieder von TLL-Feldversuchen	N _{min} -Vergleichsflächen in WSG
	Anzahl Flächen	Anzahl Flächen	Anzahl Flächen	Anzahl Flächen
Frühjahr Vegetationsbeginn bzw. vor der N-Düngung (Februar bis April)	331 (seit 1991)	652 (seit 2008)	61 (seit 2009)	-
Sommer nach der Ernte (August bis September)	331 (bis 2007)	-	-	-
Herbst vor Wintereintritt (November)	331 ¹⁾ (seit 1990)	-	-	326 (seit 1990)

¹⁾ davon 34 in WSZ II u. 77 in WSZ III

Die Ergebnisse der Frühjahrsprobenahme (es handelt sich um mehr als 1 000 Testflächen) dienen der N-Düngungsberatung, für die nach § 3 Abs. 3 Düngeverordnung in Thüringen die TLL zuständig ist. Das gilt insbesondere für den Fall, wenn die Landwirte keine eigenen N_{\min} -Untersuchungen durchführen. Mit den Ergebnissen wird alljährlich Anfang März der „Aktuelle Rat zur N_{\min} - und S_{\min} -Situation im Frühjahr“ veröffentlicht (Merkblatt, AINFO, Pflanzenbaurat, Bauernzeitung). Seit 2008 erfolgt zusätzlich über „ N_{\min} aktuell“ eine noch detailliertere Ergebnisbereitstellung durch kumulative Wochenmeldungen im Internet (AINFO).

Die Grundlage für die Herbstprobenahme bildet die „Richtlinie 2002 über den Ausgleich bei erhöhten Anforderungen in Wasser- und Heilquellenschutzgebieten“. Darin ist geregelt, dass die TLL in jedem Herbst (Vegetationsende) N_{\min} -Vergleichswerte für die Wasserschutzzone II bereitzustellen hat.

Die Ergebnisse der N_{\min} -Untersuchungen in WSG werden hier nicht mit ausgewertet, sondern bleiben einem gesonderten Bericht vorbehalten.

Die Beprobung der N_{\min} -Dauertestflächen nach der Ernte der Hauptfrucht wurde ab dem Jahre 2008 aus Kapazitätsgründen eingestellt.

Die N_{\min} -Dauertestflächen sind fixe und georeferenzierte Probenahmeflächen mit dreimaliger (zweimaliger) Beprobung pro Jahr mit Probenahmen durch die Außendienstmitarbeiter der TLL. Die Einrichtung der betrieblichen N_{\min} -Testflächen erfolgte schrittweise ab dem Frühjahr 2008. Es handelt sich hier gleichfalls um fixe und georeferenzierte Flächen mit festgelegtem Probenbegang. Die Probenahme erfolgt auf vertraglicher Grundlage durch Mitarbeiter in den Landwirtschaftsbetrieben.

Im Gegensatz dazu werden die N_{\min} -Vergleichsflächen in der Regel kurz vor der Probenahme im Herbst ausgewählt und können von Jahr zu Jahr wechseln. In allen Fällen erfolgt von Seiten der TLL keine Einflussnahme auf die Bewirtschaftung der Flächen.

Neben der Beprobung der Flächen werden relevante Standort- und Bewirtschaftungsdaten erfasst und ausgewertet.

Im Mittelpunkt des vorliegenden Berichtes stehen:

- N_{\min} -Ergebnisse der Dauertestflächen DTF und BTF (nach der Ernte, Herbst und Frühjahr)
- Vergleichende Untersuchungen zwischen ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung
- N_{\min} -Untersuchungen in 14-tägigen Probenahmeintervallen
- Berechnung von schlagbezogenen N-Bilanzen

2 Methodik

Die Probenahme und Untersuchung der N_{\min} -Proben erfolgte nach einheitlichen methodischen Grundsätzen.

Die N_{\min} -Dauertestflächen wurden im Jahre 1991 auf normal bewirtschafteten Praxis-schlägen angelegt, indem eine ca. fünf Hektar große repräsentative Teilfläche des Schlages ausgewählt, vermessen und mittels Fixpunkten markiert wurde. Später erfolgte die Georeferenzierung der Flächen mit GPS-Technik, wobei die 5-ha-Fläche und der Anfangs- und Endpunkt der Beganglinie (Diagonale) dokumentiert wurden. Die Probenentnahme erfolgt auf der fixen Probenahmefläche immer durch den gleichen Probenehmer und auf der gleichen Beganglinie.

Folgende Probenahmeterminale sind festgelegt:

Sommer: nach Aberntung der Hauptfrucht
Anfang August bis Mitte September (Ausnahmen bis Ende September)

Herbst: zum Vegetationsende
Anfang bis Mitte November (das mittlere langjährige Vegetationsende, Lufttemperaturen langfristig $<5\text{ °C}$, liegt in Thüringen um den 5. November)

Frühjahr: vor Vegetationsbeginn
Mitte bis Ende Februar (je nach Winterwitterung)
Zielstellung: Anfang März ist der „Aktuelle Rat zur N_{\min} - und S_{\min} -Situation in Thüringen“ zu veröffentlichen

Auf der Grundlage aktueller Erfordernisse wurden im Jahre 2002 weitere N_{\min} -Dauertestflächen auf langjährig ökologisch bewirtschafteten Flächen angelegt und so deren Anzahl von sechs auf 26 Flächen (6 % der LF) ausgedehnt. Dadurch stieg die Gesamtprobenzahl vorübergehend auf 410 Dauertestflächen an, sie musste aber bis 2007 schrittweise wegen des Ausscheidens von Außendienstmitarbeitern und Umstrukturierung der Arbeitsgebiete auf 331 Flächen reduziert werden, so dass sich auch die Ökoflächen auf nunmehr 21 Flächen verringert haben (Abb. 1).

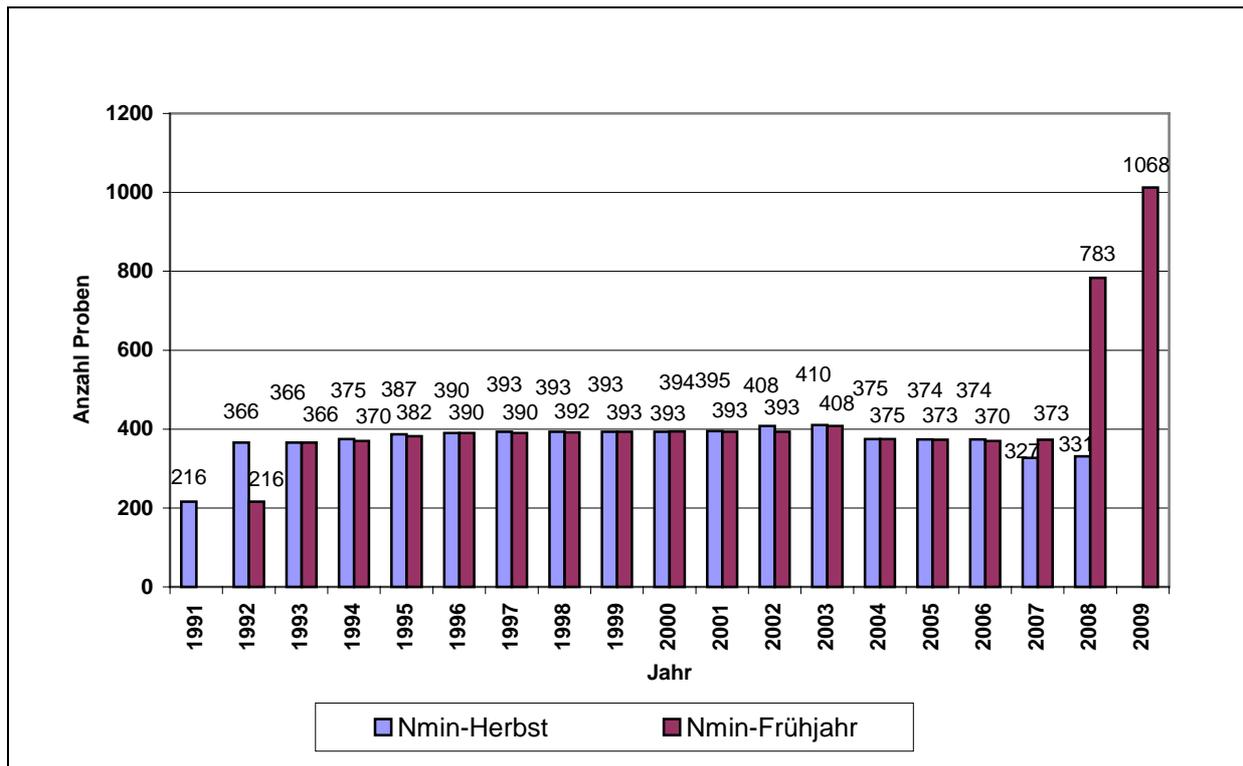


Abbildung 1: Anzahl der N_{\min} -Dauer-testflächen (DTF) in den Jahren 1991 bis 2009 (ab 2008: DTF + BTF)

Als Ausgleich für die entfallenen DTF wurde - beginnend mit dem Frühjahr 2008 - mit dem Aufbau eines Netzes betrieblicher N_{\min} -Testflächen (BTF) begonnen. Diese werden nur im Frühjahr zu Zwecken der N-Düngungsberatung beprobt. Es handelt sich um zz. 669 Flächen auf Ackerland, die auf vertraglicher Basis von den betreffenden Landwirtschaftsbetrieben selbst beprobt und zur Untersuchung nach Jena geschickt werden. Die Entscheidung, bei den BTF ausschließlich Ackerflächen zu beproben, wurde deshalb getroffen, weil nach der neuen Düngeverordnung eine N_{\min} -Untersuchung auf Dauergrünland nicht mehr vorgeschrieben ist (§ 3 Abs. 3 DüV). Darüber hinaus werden seit Frühjahr 2009 auch N_{\min} -Ergebnisse von Düngungs-Feldversuchen der TLL und zwar von Prüfgliedern mit „Düngung nach SBA“ genutzt. Mit der Erweiterung der Datengrundlage wird einer Empfehlung aus dem Untersuchungsbericht 2006 (S. 61) entsprochen.

Alle Probenahme-flächen wurden dem Feldblockraster Thüringens zugeordnet und erhielten einen Feldblockident. Diese Maßnahme dient der in der Zukunft geplanten N-Düngungsberatung per Internet/AINFO mit dem PC-Programm SBA Net.

Die gegenwärtige regionale Verteilung der Testflächen, sowohl der DTF als auch der BTF, ist der Abbildung 2 zu entnehmen.

Die Standard-Probenahmetiefe ist auf 0 bis 60 cm festgelegt, unterteilt in die Tiefenbereiche 0 bis 30 cm (Oberboden) und 31 bis 60 cm (Unterboden). Auf flachgründigen Standorten konnte in begründeten Fällen eine Reduzierung der Unterbodenprobe in 5-cm- bzw. 10-cm-Schritten vorgenommen werden. Die geforderten 15 bis 20 Einstiche waren auf der Beganglinie gleichmäßig zu verteilen. Die Einzelproben (Einstiche) wurden in getrennten Behältnissen gesammelt (Ober- und Unterbodenprobe) und gut durchmischt. Die so gebildeten Sammelproben waren gleichzeitig die Endproben (ca. 500 g).

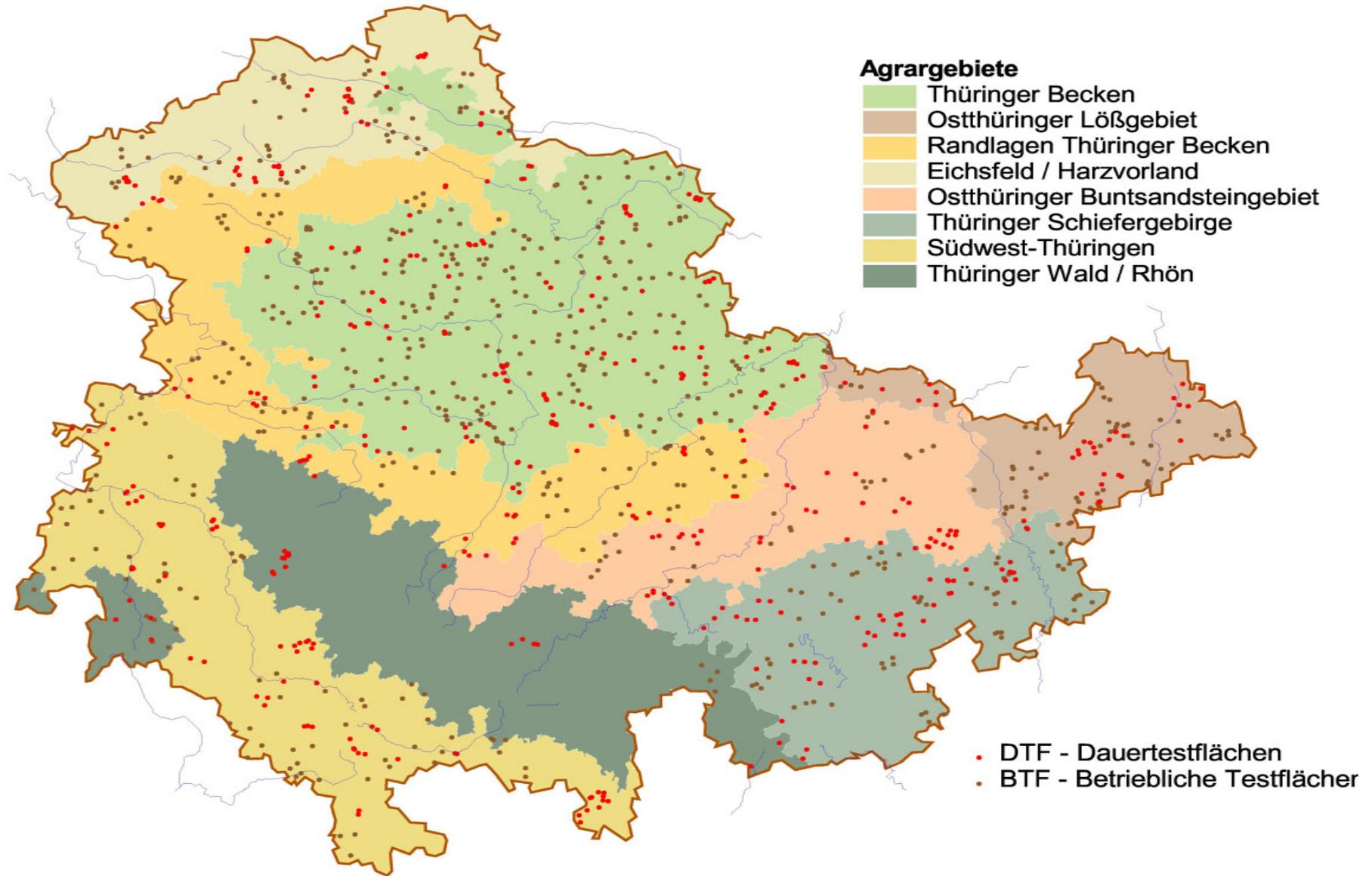


Abbildung 2: Regionale Verteilung der N_{\min} -Testflächen (DTF und BTF) in Thüringen

Während der Probenahme war der Steingehalt (Körnung >2 mm) in fünf Stufen zu ermitteln, damit er bei der Berechnung des N_{min}-Gehaltes berücksichtigt werden konnte.

Stufe	Steingehalt (%)	Korrekturfaktor für N _{min}
1	< = 5	1,0
2	6 - 15	0,9
3	16 - 25	0,8
4	26 - 35	0,7
5	> = 35	0,6

Die Proben waren getrennt zu verpacken, in Kühlboxen zu lagern und in diesen per Kurierdienst in das TLL-Untersuchungslabor zu transportieren.

Die Untersuchung aller Proben erfolgte nach einheitlicher Analysenmethode (VDLUFAMethodenbuch Band I (1991). Der N_{min}-Gehalt (Summe aus NO₃-N und NH₄-N aus beiden Tiefen) wurde in der feuchten Probe bestimmt (Extraktion mit 0,0125 mol/l Calciumchloridlösung). Die Auswertung erfolgte als N_{min} in kg/ha.

Zur exakten Ermittlung der Bodenart erfolgte in der Oberbodenprobe eine Tongehaltsbestimmung nach KÖHN, auf deren Grundlage die Einstufung in die Bodenarten vorgenommen wurde.

Ab Herbst 2007 wurden die bisherigen Bodenartengruppen leicht, mittel, schwer und Löss durch fünf Bodenarten abgelöst, wobei von den Lehm- und Tonböden die Schwarzerden (Löss-Schwarzerden L01, L02 und Ton-Schwarzerden V1) gesondert ausgewiesen werden (7fach-Unterteilung).

Neueinteilung der Bodenarten im SBA-System ab Herbst 2007

Nr.	Bodenart	Symbol	Bezeichnung in der Düngungspraxis	Tongehalt %
1	Sand	S	leicht	<= 5
2	schwach lehmiger Sand	l`S	leicht	6 ... 12
3	stark lehmiger Sand	IS (SL)	mittel	13 ... 17
4	sandiger/schluffiger Lehm	sL/uL/L	schwer	18 ... 25
5	toniger Lehm bis Ton	t`LT	schwer	>= 26
44	sandiger/schluffiger Lehm	sL/uL/L	Schwarzerde	18 ... 25
54	toniger Lehm bis Ton	t`LT	Schwarzerde	>= 26

Damit wird die Bodenarteneinteilung nach DIN 19682 und das besondere Nachlieferungsvermögen der Schwarzerden besser berücksichtigt.

Der Ergebnisauswertung ging eine Prüfung der Daten auf Plausibilität voraus. Für die Einzelergebnisse erfolgte eine statistische Datenanalyse mit Mittelwertbildung (arithmetisches Mittel, Medianwertbildung, 90. Perzentil und Minimum/Maximumwert) und Berechnung des Variationskoeffizienten (s %). Bei regressionsanalytischen Berechnungen wurde die Prüfung auf statistische Sicherheit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ durchgeführt.

Die Berechnung der N-Bilanzen erfolgte auf der Grundlage der Vorgaben in der Düngeverordnung (§ 5 Nährstoffvergleiche) als Schlagbilanz. Die Nährstoffzufuhr (Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, legume N-Bindung) und die Nährstoffabfuhr (Ernteprodukte, Ernterückstände) sind auf der Grundlage der Broschüre „Düngung in

Thüringen 2007 nach ‚Guter fachlicher Praxis‘ (Schriftenreihe Heft 7/2007) berechnet.

3 Witterungsverhältnisse

Die unterschiedlichen Niederschlags- und Temperaturverhältnisse werden in Tabelle 1 als Abweichungen zu den langjährigen Monatssummen bzw. -mitteln (1961 bis 1990) dargestellt.

Tabelle 1: Abweichungen der Monats-Niederschlagssummen und Monats-Temperaturmittel vom langjährigen Mittel Thüringens (nach: Deutscher Wetterdienst)

Monat	Niederschlags- und Temperaturabweichungen									
	2005		2006		2007		2008		2009	
	mm	K	mm	K	mm	K	mm	K	mm	K
Januar	+ 16	+ 2,9	- 27	- 3,0	+ 32	+ 5,6	- 1	+ 5,1	- 22	- 1,8
Februar	+ 16	- 1,5	+ 2	- 1,1	+ 12	+ 4,3	- 7	+ 3,7	+ 17	+ 0,5
März	- 14	+ 0,1	+ 26	- 2,0	+ 12	+ 2,7	+ 20	+ 1,0	+ 15	+ 1,0
April	- 19	+ 2,0	- 1	+ 0,8	- 53	+ 4,1	+ 32	± 0	- 6	+ 4,7
Mai	+ 3	+ 0,7	+ 28	+ 1,0	+ 51	+ 2,8	- 48	+ 1,9	+ 7	+ 1,4
Juni	- 26	+ 0,8	- 40	+ 1,2	+ 20	+ 2,2	- 24	+ 1,7	- 8	- 1,0
Juli	+ 17	+ 1,3	- 3	+ 5,1	+ 65	+ 0,6	+ 5	+ 1,4	+ 30	+ 1,1
August	- 3	- 0,9	+ 34	- 1,5	+ 14	+ 0,1	- 21	+ 1,3	- 31	+ 2,4
September	+ 2	+ 1,8	- 21	+ 3,7	+ 78	- 1,0	+ 7	- 1,4	+ 16	+ 1,1
Oktober	- 19	+ 2,1	+ 12	+ 3,1	- 31	- 1,1	+ 27	± 0	+ 19	- 1,2
November	- 9	+ 0,6	- 9	+ 3,6	+ 31	- 0,3	- 19	+ 1,0	+ 37	+ 4,1
Dezember	- 8	+ 0,3	- 30	+ 4,1	- 14	+ 0,4	- 11	± 0	+ 29	- 0,5
Niederschlags- summe/Tempe- raturmittel	645	+ 8,8	662	+ 9,2	908	+ 9,6	641	+ 9,2	794	+ 9,2
% zum langjäh- rigen Mittel	93	111	96	116	131	122	93	116	115	116

Niederschlag: 691 mm = 100 %
 Temperatur (Erfurt): 7,9 °C = 100 %

Aus der Zusammenstellung geht hervor, dass das Jahr 2007 zu feucht und die Jahre 2005, 2006 und 2008 zu trocken waren. Alle fünf Untersuchungsjahre sind im Jahresdurchschnitt als zu warm einzustufen.

Die langjährige Betrachtung der Witterungssituation zeigt, dass sich in der Summe trockene und feuchte Jahre in etwa die Waage halten, während bei den Temperaturen ein Anstieg in 18 von 19 Jahren im Vergleich zum langjährigen Mittel nicht zu übersehen ist (Abb. 3 u. 4).

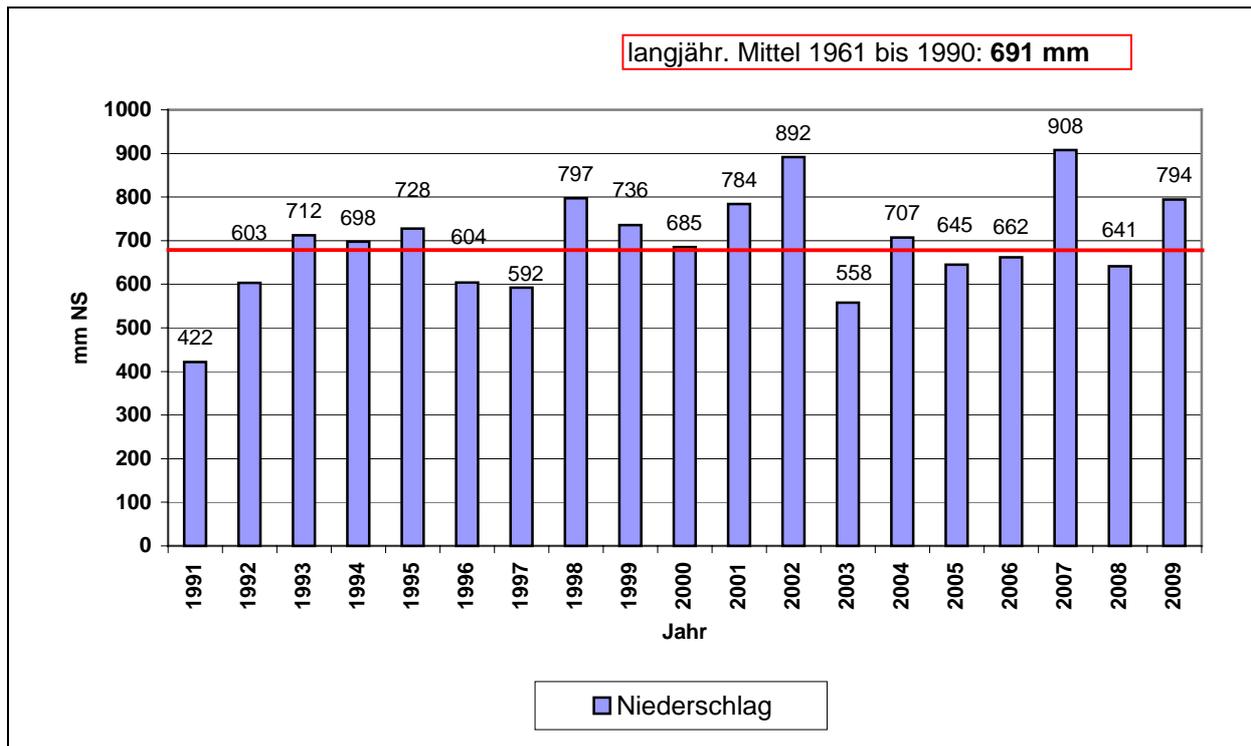


Abbildung 3: Jahresniederschlagssummen in Thüringen in den Jahren 1991 bis 2009 (Deutscher Wetterdienst)

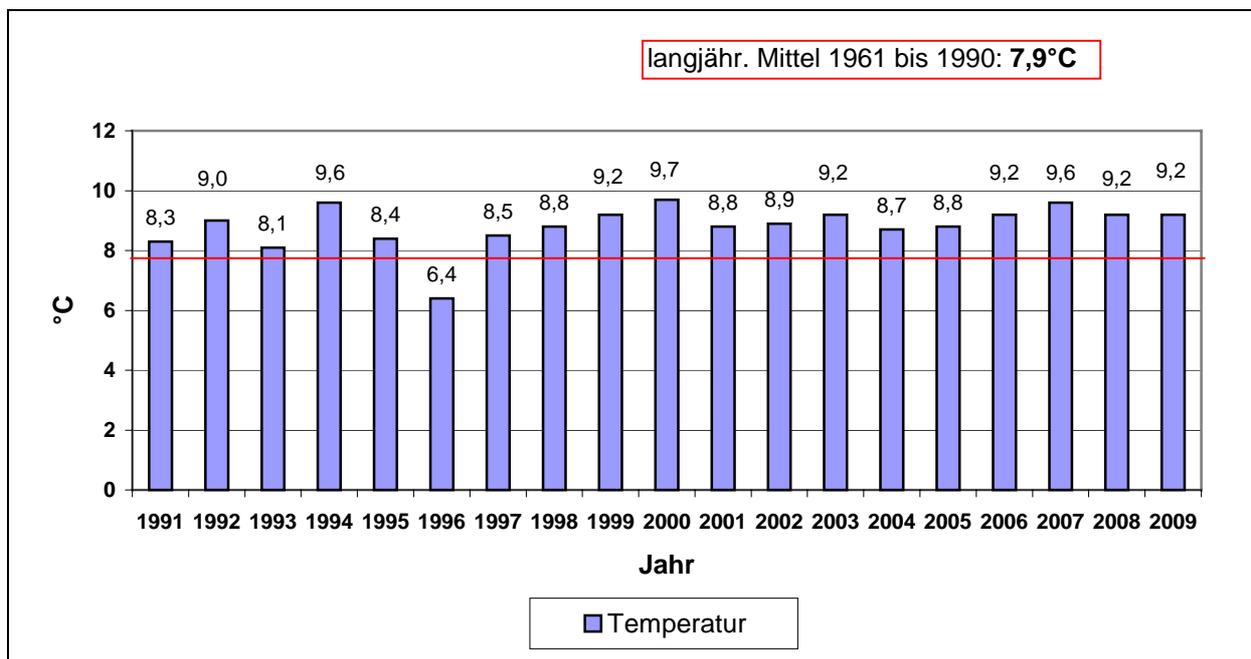


Abbildung 4: Jahrestemperaturmittel in Thüringen in den Jahren 1991 bis 2009 (Deutscher Wetterdienst, Messstation Erfurt)

Die Getreideerträge, die in hohem Maße auch vom Witterungsgeschehen beeinflusst werden, waren in den Jahren 2005 bis 2007 durchschnittlich und im Jahr 2008 überdurchschnittlich hoch.

4 Ergebnisse

4.1 N_{min}-Gehalt auf Dauertestflächen

4.1.1 Langjährige Betrachtung

Regelmäßige Untersuchungen des N_{min}-Gehaltes landwirtschaftlich genutzter Flächen in Thüringen werden seit 1985 auf Dauertestflächen jeweils im Herbst und Frühjahr durchgeführt. Damit liegen nunmehr für Herbst und Frühjahrswerte 24-jährige Untersuchungsergebnisse vor. Von 1991 bis 2007 erfolgte auch die Kontrolle der Rest-N_{min}-Gehalte nach der Ernte der Hauptfrucht.

Unter Berücksichtigung der z. T. beträchtlichen jährlichen Schwankungen war im Zeitraum 1985 bis 1996 sowohl im Herbst als auch im Frühjahr ein Rückgang der N_{min}-Gehalte zu beobachten.

Im Herbst sind die N_{min}-Gehalte von etwa 100 bis 130 kg N_{min}/ha Ende der 80er Jahre auf gegenwärtig etwa 60 bis 70 kg N_{min}/ha zurückgegangen. Der Gehaltsrückgang hat sich seit Mitte der 90er Jahre abgeschwächt und ist in eine Seitwärtsbewegung mit jährlich schwankenden aber von der Größenordnung gleichbleibenden N_{min}-Gehalten übergegangen. Dieser Entwicklungstrend wird durch das 3-jährige gleitende Mittel in Abbildung 5 nochmals bestätigt. Die Trendlinie weist über den gesamten Zeitraum von 24 Jahren einen theoretischen mittleren Rückgang der N_{min}-Gehalte von 2 kg/ha pro Jahr aus.

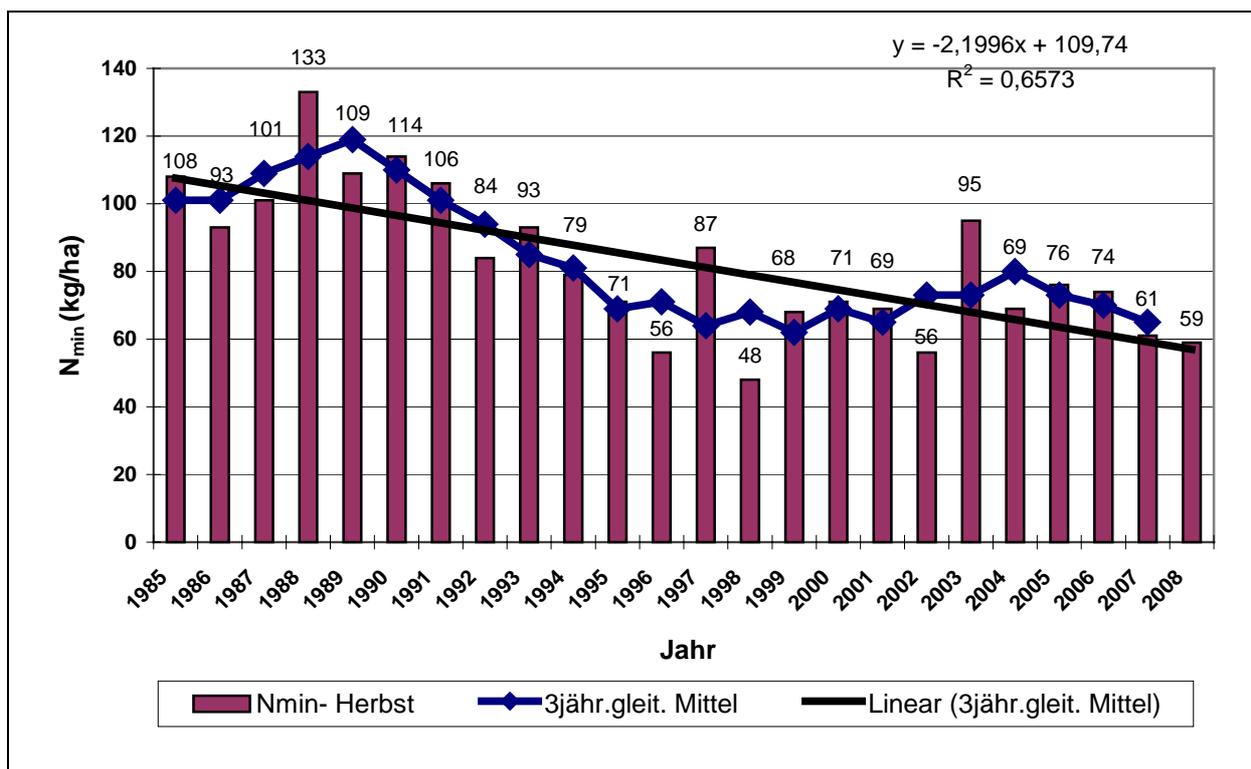


Abbildung 5: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes im Boden im Herbst (zum Vegetationsende) in den Jahren 1985 bis 2008

Wird der Untersuchungszeitraum der letzten 20 Jahre in zwei 10-Jahresabschnitte (1989 bis 1998 und 1999 bis 2008) unterteilt, ergibt sich für die 90er Jahre eine Abnahme von jährlich 6 kg N_{min}/ha (Abb. 6), während im 2000er Zeitraum der N_{min}-Gehalt nahezu unverändert bleibt (+ 0,6 kg/ha) [Abb. 7].

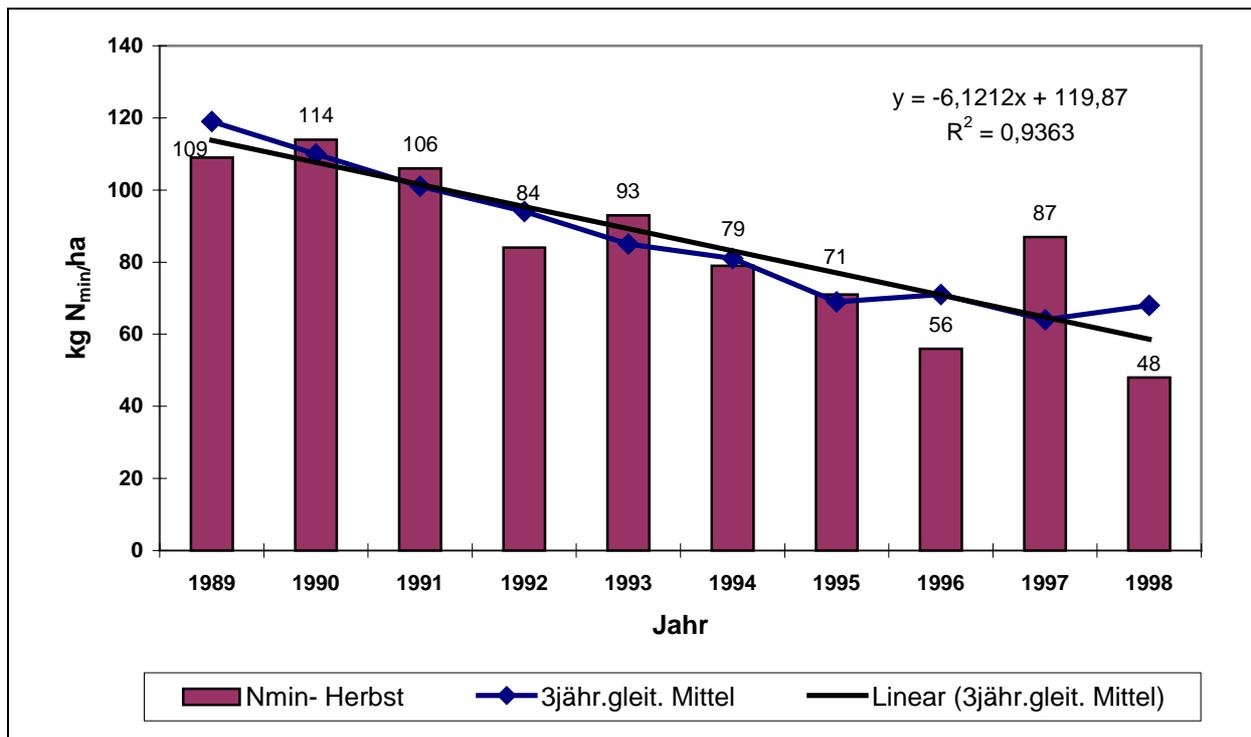


Abbildung 6: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes im Boden im Herbst in den Jahren 1989 bis 1998

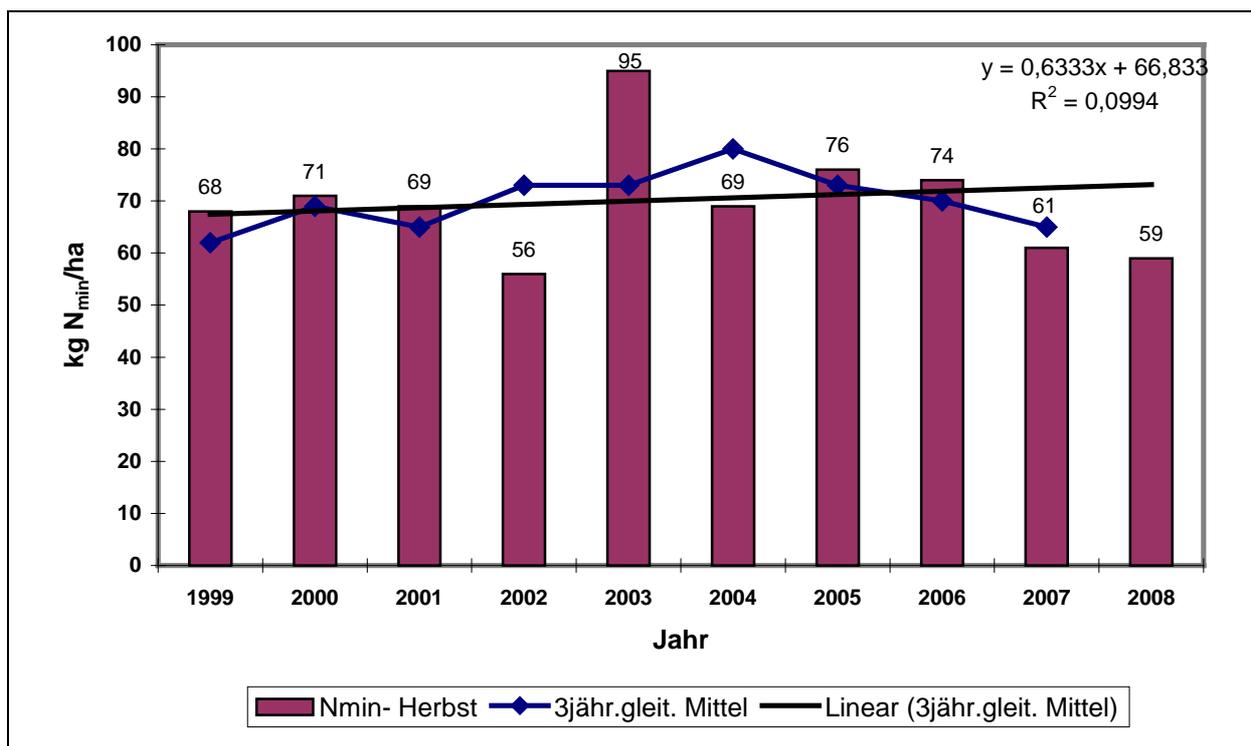


Abbildung 7: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes im Boden im Herbst in den Jahren 1999 bis 2008

Im Frühjahr, wo der N_{min}-Gehalt stark von der Winterwitterung abhängig ist, war der Rückgang in den letzten 24 Jahren nicht ganz so gravierend. N_{min}-Gehalte zwischen 60 bis 80 kg N_{min}/ha, wie sie Mitte/Ende der 80er Jahre vorherrschten, gingen auf Werte von 50 bis 60 kg N_{min}/ha in den vergangenen Jahren zurück (Abb. 8). Auch im Frühjahr ist der Trend ständig abnehmender N_{min}-Gehalte vorerst beendet. Seit Ende

der 90er Jahre ist im Mittel ein Niveau von etwa 50 kg N_{min}/ha erreicht, was sich gegenwärtig nicht weiter verändert. Im Mittel der Jahre verringerte sich der N_{min}-Gehalt im Frühjahr um ca. 1 kg/ha und Jahr.

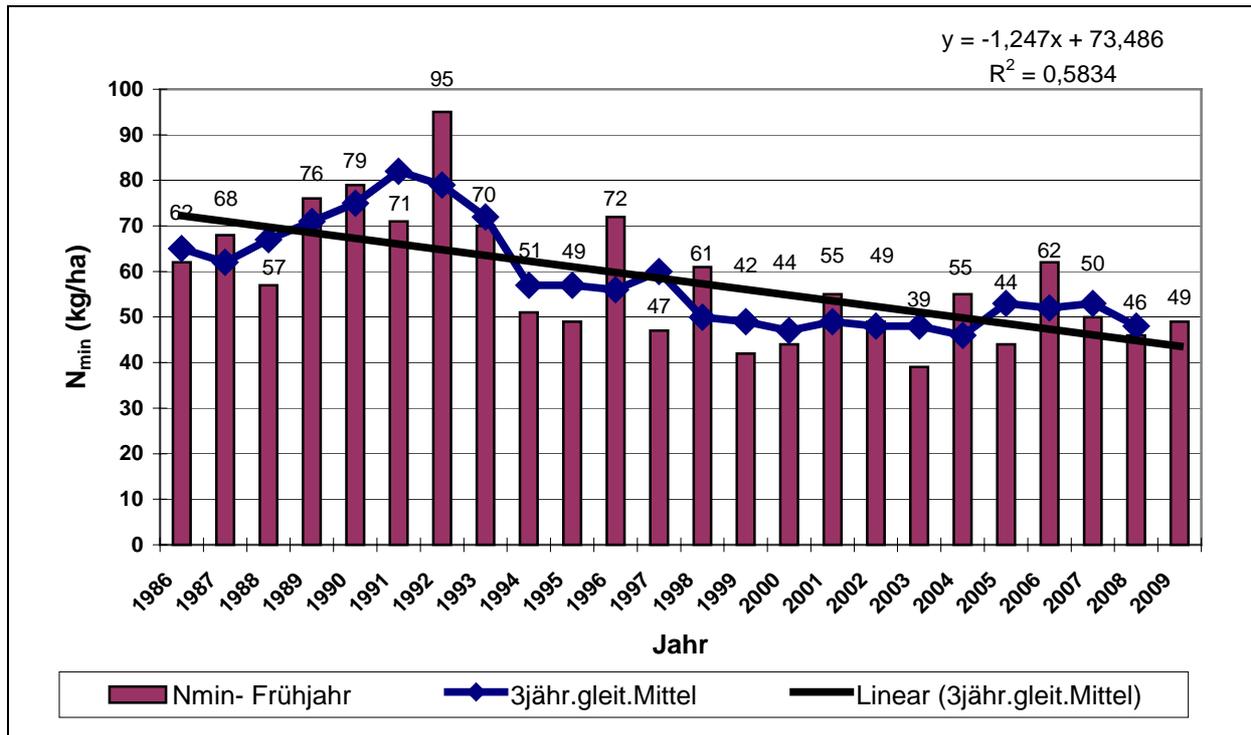


Abbildung 8: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes im Boden im Frühjahr (vor Vegetationsbeginn) in den Jahren 1986 bis 2009

Nach der Ernte ist auf der Grundlage 17-jähriger Untersuchungen gleichfalls ein Trend abnehmender N_{min}-Gehalte festzustellen. Die Gehalte gingen von durchschnittlich 90 kg N_{min}/ha Anfang der 90er Jahre auf etwa 60 bis 70 kg N_{min}/ha ab Mitte der 90er Jahre zurück, unterbrochen durch den zeitweiligen witterungsbedingten Anstieg im Jahr 2003 (Abb. 9).

Im Untersuchungszeitraum sank der N_{min}-Gehalt nach der Ernte im Mittel um jährlich etwa 1,5 kg/ha.

Die Probenahme nach der Ernte der Hauptfrucht ist kapazitätsbedingt mit dem Jahr 2007 eingestellt worden.

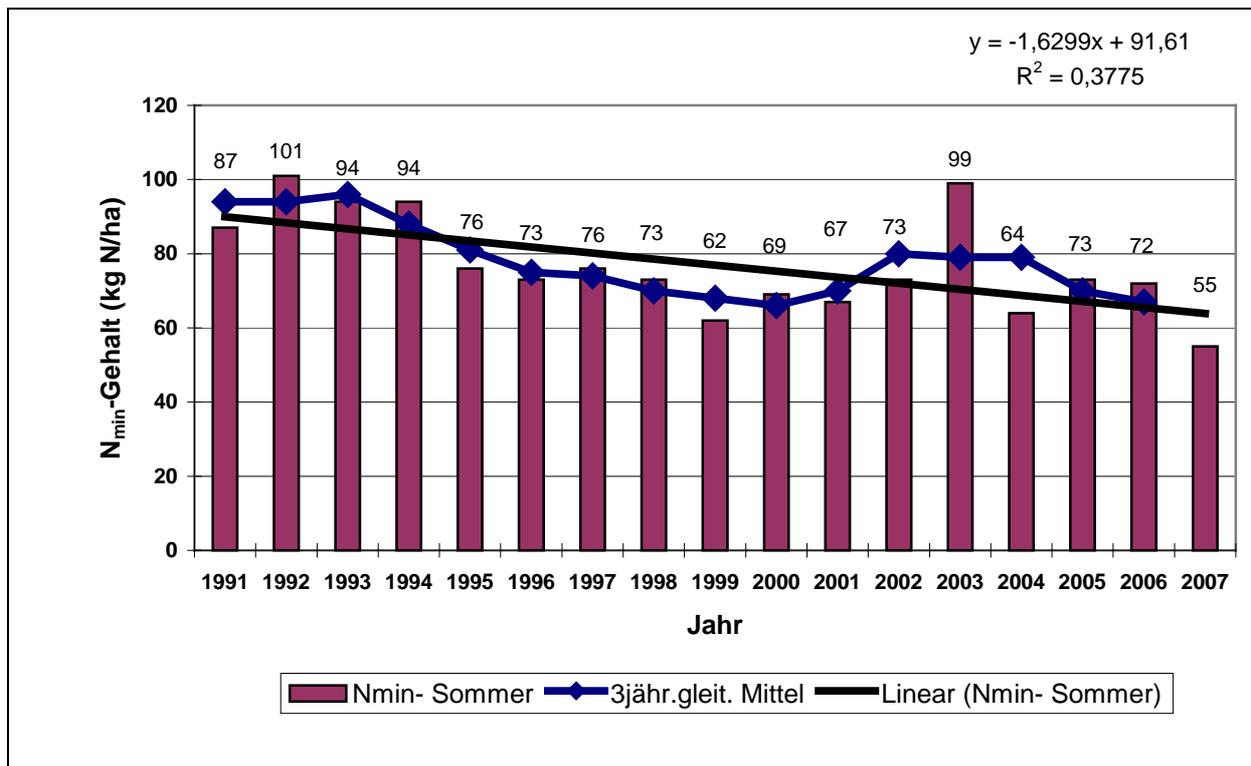


Abbildung 9: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes im Boden nach der Ernte der Hauptfrucht in den Jahren 1991 bis 2007

4.1.2 N_{min}-Gehalt nach der Ernte (Untersuchungszeitraum 2005 bis 2008)

Der N_{min}-Gehalt des Bodens nach der Ernte wird im Wesentlichen bestimmt durch die N-Zufuhr, bestehend aus N-Düngung und N-Mineralisierung des Bodens und die N-Abfuhr, bestehend aus dem N-Entzug der Pflanzen. Er charakterisiert demzufolge den Reststickstoffgehalt, der nach der Aberntung der Hauptfrucht im Boden verblieben ist.

Niedrige N_{min}-Gehalte nach der Ernte sind in der Regel das Ergebnis einer pflanzenbedarfsgerechten Düngung bzw. guten N-Verwertung durch die Pflanzen und deshalb erwünscht. Hohe N_{min}-Gehalte resultieren in der Regel aus einem N-Überangebot infolge einer nicht pflanzenbedarfsgerechten N-Düngung oder aus einem zu geringen N-Entzug und damit einhergehenden Ertragseinbußen, die durch Trockenheit oder Krankheits- und Schädlingsbefall verursacht sein können. Sie sind aus ökologischer Sicht zu vermeiden.

Zu beachten ist, dass Winterungen dem Boden bis zum Wintereintritt z.T. beträchtliche N-Mengen entziehen (Orientierungswerte nach KERSCHBERGER):

Winterraps:	80 bis 100 kg N/ha
Wintergerste:	50 bis 70 kg N/ha
Winterroggen, Wintertriticale:	30 bis 40 kg N/ha
Winterweizen:	10 bis 30 kg N/ha

Daraus leitet sich ein N-Bedarf in gleicher Größenordnung ab, wobei bei der Entscheidung für etwaige N-Herbstdüngungsmaßnahmen der N_{min}-Gehalt des Bodens in 0 bis 30 cm Tiefe mit einbezogen werden muss.

In den vorhergehenden Auswertungsperioden sind nach der Ernte folgende N_{min}-Gehalte ermittelt worden:

1991 bis 1994: 95 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 88 bis 102 kg N_{min}/ha)
 1995 bis 1998: 75 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 73 bis 76 kg N_{min}/ha)
 1999 bis 2004: 70 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 62 bis 73 kg N_{min}/ha)

Im Auswertungszeitraum 2005 bis 2007 errechnete sich im Mittel aus 1 074 Einzelergebnissen ein N_{min}-Gehalt von 67 kg N_{min}/ha mit jährlichen Schwankungen von 55 bis 73 kg N_{min}/ha (Tab. 2).

Tabelle 2: N_{min}-Gehalt (kg/ha) des Bodens nach der Ernte

Probenahmetiefe cm	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	Probenahme eingestellt	kg/ha	rel.
	n = 370		n = 374		n = 330			n = 1 074	
0 - 30	47	64	44	61	32	58	Probenahme eingestellt	41	61
31 - 60	26	36	28	39	23	42		26	39
0 - 60	73	100	72	100	55	100		67	100
Min. - Max.	8 - 295		12 - 279		11 - 246			8 - 295	
Median	59		61		47			56	
s %	67		64		56			62	

Es wird auch hier deutlich, dass sich die stetige Abnahme des N_{min}-Gehaltes in den 90er Jahren gegenwärtig nicht bzw. nur in abgeschwächter Form fortsetzt. In den Jahren 2005 und 2006 lag der N_{min}-Gehalt erneut über 70 kg N_{min}/ha, der Mittelwert 2005 bis 2007 wurde aber durch den niedrigen Gehalt nach der Ernte 2007 nach unten korrigiert.

Die Schwankung der Einzelwerte war sehr hoch und reichte von 8 bis 295 kg N_{min}/ha. Bei den Flächen mit sehr hohen N_{min}-Werten handelte es sich überwiegend um Schläge mit erfolgter organischer Düngung. Der Medianwert betrug im 3-jährigen Mittel 56 kg N_{min}/ha und damit 11 kg N_{min}/ha weniger als das arithmetische Mittel. Das deutet nicht auf eine Normalverteilung, sondern auf eine schiefe Verteilung der Einzelwerte hin. Das führt auch dazu, dass der Variationskoeffizient mit 62 % (Spanne zwischen 56 und 67 %) relativ hoch ausfällt, sich aber von früheren Ergebnissen nicht wesentlich unterscheidet.

Nach der Ernte befanden sich etwa zwei Drittel des leichtlöslichen Stickstoffs in der oberen Bodenschicht (0 bis 30 cm) und etwa ein Drittel im Unterboden (31 bis 60 cm). Diese Aufteilung war mit geringen Schwankungen in allen Jahren zu beobachten. Die jährlichen Veränderungen im N_{min}-Gehalt fanden stärker im Oberboden (Schwankungsbreite: 15 kg/ha) und weniger im Unterboden (Schwankungsbreite: 5 kg/ha) statt.

Am Anteil der Stickstofffraktionen Nitrat und Ammonium am N_{min}-Gehalt hat sich im Vergleich zur letzten Auswertungsperiode 1999 bis 2004 nichts verändert. Der Nitratgehalt macht mit 91 % den überwiegenden Anteil am N_{min} aus, die restlichen 9 % entfallen auf Ammonium (Tab. 3).

Tabelle 3: Stickstofffraktionen des Bodens nach der Ernte

Probenahmetiefe cm	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N		NO ₃ -N	NH ₄ -N
	n = 370		n = 374		n = 330			n = 1074	
0 - 30	44	3	42	3	29	3	keine Probenahme	38	3
31 - 60	24	2	25	2	20	3		23	3
0 - 60	68	5	67	5	49	6		61	6
Min. - Max.	4 - 290	2 - 20	7 - 276	2 - 40	4 - 238	2 - 82		4 - 290	2 - 82
90. Perz.	133	8	128	10	91	10		120	10
Median	53	5	56	5	40	5		49	5
s %	72	51	69	67	64	104		71	79

Dabei ist zu berücksichtigen, dass, wie die Laboruntersuchungen ergaben, der NH₄-Gehalt überwiegend unter der Nachweisgrenze von 0,05 mg/100g Boden lag, für die Umrechnung in kg NH₄/ha dieser Wert aber die Grundlage bildet. Als variabelste Größe erwies sich der Nitratgehalt im Oberboden, während der Ammoniumgehalt in beiden Probenahmetiefen kaum Schwankungen unterlag.

Bisherige Untersuchungsergebnisse belegen, dass der Boden Einfluss auf die Höhe des N_{min}-Gehaltes ausübt. Mit steigendem Tongehalt, der über die Einstufung in die Bodenart entscheidet, nimmt in der Regel auch der N_{min}-Gehalt zu. Das bedeutet, dass leichte Sandböden die geringsten N_{min}-Gehalte aufweisen und die schweren Tonböden die höchsten. Diese werden noch übertroffen durch die fruchtbaren Löss-Schwarzerden im Thüringer Becken, die vom Tongehalt überwiegend als Lehmböden einzustufen sind. Das Herausheben der Schwarzerden als separate Bodenartengruppe ist mit der Düngungsberatung in Thüringen mittels Stickstoff-Bedarfs-Analyse (SBA)-System begründet. In den vorangegangenen Auswertungszeiträumen bestand zwischen den leichten Böden (S, I'S) und den Löss-Schwarzerden (sL/uL) folgender Gehaltsunterschied:

1991 bis 1994: 28 kg N_{min}/ha
 1995 bis 1998: 22 kg N_{min}/ha
 1999 bis 2004: 25 kg N_{min}/ha

Im Zeitraum 2005 bis 2007 betrug diese Differenz vergleichbare 20 kg N_{min}/ha (Tabelle 4) .

Tabelle 4: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) nach der Ernte nach Bodenarten

Nr.	Bodenart	bisherige Bodenarten- gruppe	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
			n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha
1	Sand	leicht	31	51	30	60	34	54	keine Probe- nahme	95	55
2	schwach lehmiger Sand	leicht									
3	stark lehmiger Sand	mittel									
4	sandiger/schluffiger Lehm	schwer	227	72	222	74	193	53		642	66
5	toniger Lehm bis Ton	schwer									
44	sandiger/schluffiger Lehm-Schwarzerde	Löss	40	93	44	69	41	63		125	75
54	toniger Lehm bis Ton-Schwarzerde	Löss									
Summe/Mittel			370	73	374	72	330	55	1 074	67	

Dass die Auswahl der N_{\min} -Dauertestflächen nach den Bodenverhältnissen für Thüringen als weitgehend repräsentativ gelten kann, soll nachfolgende Übersicht belegen:

Bodenartengruppe	%-Anteil in Thüringen (LF)	%-Anteil an N_{\min} -DTF
leicht	7	9
mittel	16	19
schwer (inkl. Lö 1/2)	77	72

Im Auswertungszeitraum betrug der Gehaltsunterschied zwischen leichten und mittleren Böden im Mittel 14 kg N_{\min} /ha und war in fast allen Jahren nachweisbar. Zwischen mittleren und schweren Böden bestand ein Unterschied von 3 kg N_{\min} /ha zu Gunsten der mittleren Böden. Der Grund liegt darin, dass nach dem Tongehalt im Feinboden auch die Schiefer- und Muschelkalkverwitterungsböden als schwere Böden einzustufen sind, die allerdings vielerorts flachgründig sind, einen erhöhten Skelettanteil aufweisen und dadurch weniger Stickstoff enthalten. Dadurch lag in nahezu allen Jahren der N_{\min} -Gehalt der schweren Böden unter dem der mittleren Böden (2005 und 2006). Die Gehaltsunterschiede zwischen den schweren Verwitterungsböden und der Löss-Schwarzerde waren mit 9 kg N_{\min} /ha nicht so deutlich wie in der Vergangenheit, rechtfertigen aber dennoch die getrennte Eingruppierung bei der Düngebedarfsermittlung im SBA-Projekt. Im 9-jährigen Mittel (1999 bis 2007) ist bei gleichen N_{\min} -gehalten auf mittleren und schweren Böden ein um 13 kg/ha höherer Gehalt auf den Löss-Schwarzerden und ein um 10 kg/ha geringerer Gehalt auf den leichten Böden erkennbar (Abb. 10).

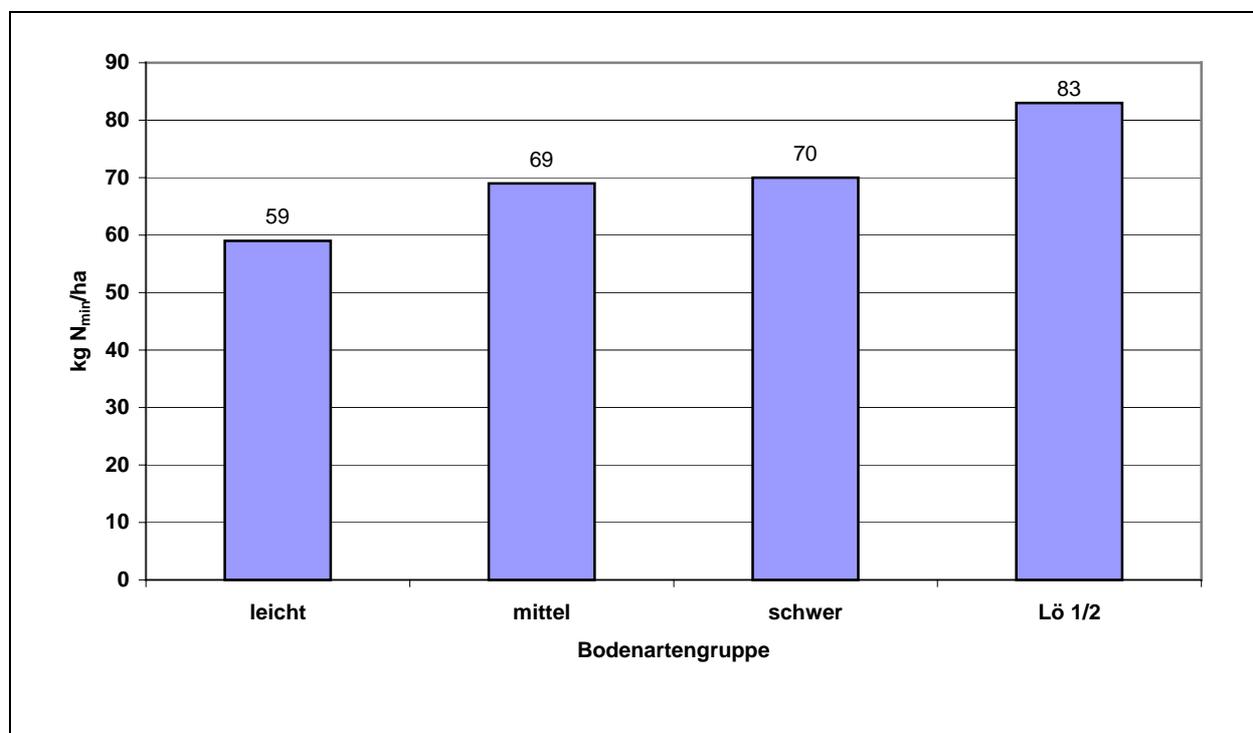


Abbildung 10: N_{\min} -Gehalt des Bodens nach der Ernte nach Bodenartengruppen 1999 bis 2007

Die Thüringer Agrargebiete wurden unter Berücksichtigung von natürlicher Standorteinheit, Ackerzahl, Höhenlage, Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur gebildet und bieten dadurch eine weitere standortabhängige Differenzierungs-

möglichkeit. Eine Überprüfung der Repräsentanz der N_{\min} -Dauertestflächen mit den tatsächlich auf die Agrargebiete entfallenden Flächenanteile der Thüringer LF ergab eine weitgehend gute Übereinstimmung, wenn man von der leichten Unterrepräsentanz des Thüringer Beckens (Agrargebiet 1) absieht.

Lfd. Nr.	Agrargebiet	%-Anteil in Thüringen (LF)	%- Anteil an N_{\min} -DTF
1	Thüringer Becken	33	27
2	Ostthüringer Lössgebiet	9	8
3	Randlagen Thüringer Becken	15	16
4	Eichsfeld/Harzvorland	8	9
5	Ostthüringer Buntsandsteingebiet	6	8
6	Thüringer Schiefergebirge	10	9
7	Südwestthüringen	14	16
8	Thüringer Wald/Rhön	5	7

Im Auswertungszeitraum 2005 bis 2008 wurden im Thüringer Becken und im Eichsfeld/Harzvorland mit 79 kg N_{\min} /ha die höchsten N_{\min} -Gehalte festgestellt (Tab. 5).

Tabelle 5: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) nach der Ernte nach Agrargebieten

Agrargebiet	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha
Thüringer Becken	93	92	98	82	82	63	keine Probenahme	273	79
Ostthüringer Lössgebiet	31	67	30	94	28	69		89	77
Randlagen Thüringer Becken	59	80	60	86	49	62		168	76
Eichsfeld/Harzvorland	34	88	34	87	23	62		91	79
Ostthüringer Buntsandsteingebiet	29	61	29	63	29	42		87	55
Thüringer Schiefergebirge	36	60	36	57	35	52		107	56
Südwest-Thüringen	61	51	60	51	60	41		181	48
Thüringer Wald/Rhön	27	62	27	44	24	39		78	48
Summe/Mittel	370	73	374	72	330	55	1 074	67	

Es folgen das Lössgebiet in Ostthüringen und die Randlagen des Thüringer Beckens. 20 kg N_{\min} /ha geringere N_{\min} -Gehalte enthielten die Verwitterungsböden Ostthüringens (Buntsandstein, Schiefer), gefolgt von den höheren Lagen des Thüringer Waldes und Südwestthüringens. Damit wiesen die intensiv ackerbaulich genutzten Regionen die höchsten N_{\min} -Gehalte auf, während im Mittelgebirgsraum mit geringerer landwirtschaftlicher Intensität auch niedrigere N_{\min} -Gehalte festgestellt wurden.

Bei längerfristiger Betrachtung (Auswertungszeitraum 1999 bis 2007) heben sich die N_{\min} -Gehalte im Thüringer Becken um etwa 5 kg/ha von den drei folgenden Agrargebieten ab, die sich auf gleichem Gehaltsniveau bewegen. Die Verwitterungsböden Ost- und Südthüringens enthalten im Mittel 15 bis 20 kg/ha geringere N_{\min} -Gehalte als die Löss- und Übergangstandorte (Abb. 11).

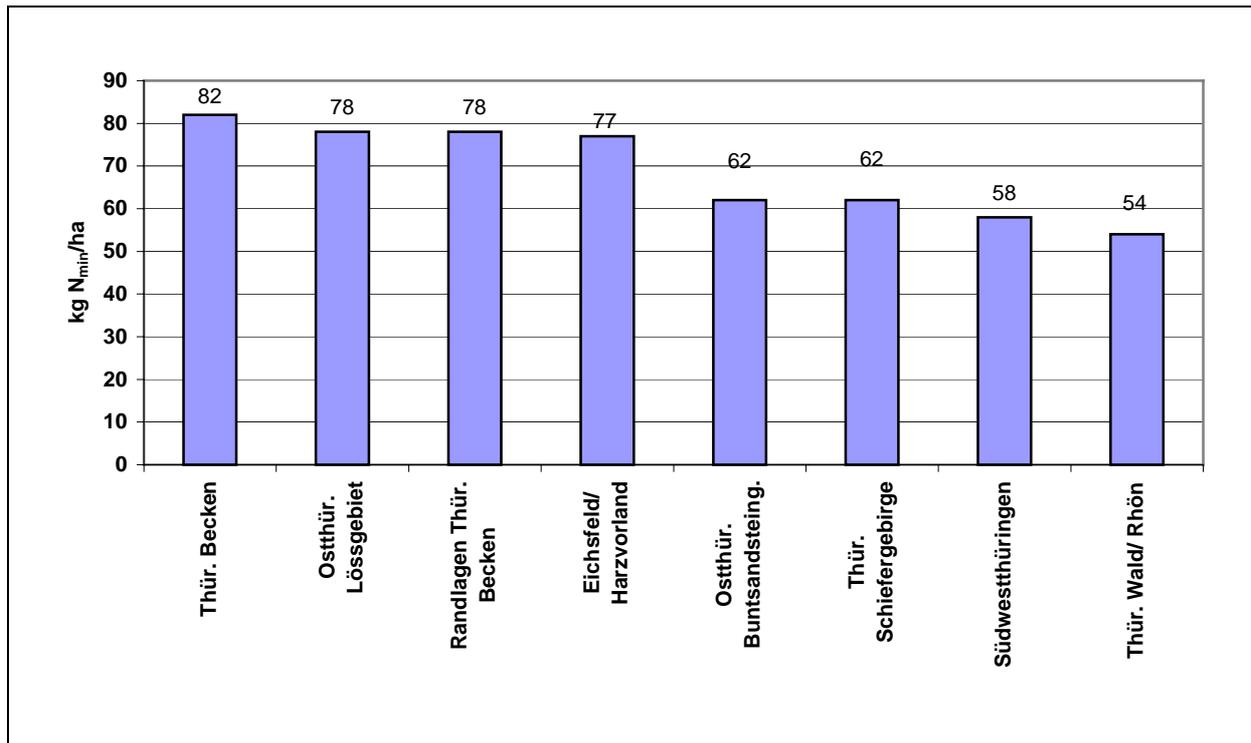


Abbildung 11: N_{min}-Gehalt des Bodens nach der Ernte nach Agrargebieten 1999 bis 2007

Im Vergleich zur Auswertung der Vorjahre lässt sich folgender Vergleich ziehen:

Region	1995 - 1998 kg N _{min} /ha	1999 - 2004 kg N _{min} /ha	2005 - 2007 kg N _{min} /ha
Thüringer Lössgebiete und deren Randlagen	75 - 85	80 - 85	65 - 90
Eichsfeld/Harzvorland	100	75	60 - 85
Ost- und Südthüringer Verwitterungsböden	65 - 70	65	40 - 60
Thüringer Wald/Rhön	60	55	40 - 60
gesamt	75	72	67

In nahezu allen Regionen ist in den letzten Jahren ein Trend zu geringeren N_{min}-Gehalten erkennbar, mit Ausnahme der Eichsfeldregion, wo sich gegenwärtig keine positive Entwicklung abzeichnet.

Die Zusammenstellung der N_{min}-Ergebnisse nach Kreisen ermöglicht eine noch differenziertere regionale Betrachtung. Auch diese Gruppierung lässt deutliche Gehaltsunterschiede erkennen. Die höchsten N_{min}-Gehalte mit Werten >90 kg N_{min}/ha wurden im Ilmkreis festgestellt (Tab. 6).

Tabelle 6: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) nach der Ernte nach Kreisen (absteigend sortiert)

Kreis	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha
Ilmkreis	14	128	14	117	14	69	keine Probenahme	42	105
Unstrut-Hainich-Kreis	24	88	24	98	25	84		73	90
Kyffhäuserkreis	26	100	27	95	15	71		68	89
Gotha	17	104	17	79	13	72		47	85
Sömmerda	18	81	18	105	14	58		50	81
Eichsfeld	25	80	25	83	15	65		65	76
Altenburger Land	24	65	23	82	22	72		69	73
Nordhausen	19	79	19	77	15	57		53	71
Saale-Holzland-Kreis	21	75	20	83	20	49		61	69
Stadt Erfurt	8	98	8	64	3	35		19	66
Wartburgkreis	30	62	30	64	31	49		91	58
Saalfeld-Rudolstadt	13	68	13	55	12	45		38	56
Sonneberg	11	67	11	57	11	43		33	56
Saale-Orla-Kreis	27	62	28	59	28	43		83	55
Greiz	22	46	22	66	21	53		65	55
Weimarer Land	28	63	33	54	33	49		94	55
Schmalkalden-Meiningen	31	50	31	38	27	33		89	40
Hildburghausen	12	33	11	39	11	28		34	33
Summe/Mittel	370	73	374	72	330	55			1 074

Es folgen die Kreise Unstrut-Hainich-Kreis, Kyffhäuserkreis, Gotha, Sömmerda und Eichsfeld.

Mittlere N_{\min} -Gehalte zwischen 60 und 75 kg N_{\min} /ha wiesen die Kreise Altenburger Land, Nordhausen, Saale-Holzland-Kreis und die Stadt Erfurt auf. Kreise mit den niedrigsten N_{\min} -Gehalten (<45 kg N_{\min} /ha) waren Schmalkalden-Meiningen und Hildburghausen in Südthüringen.

Eine langjährige Betrachtung (1999 bis 2007 = 9 Jahre) bestätigt im Wesentlichen die Aussagen, dass in Kreisen mit Lössstandorten nach der Ernte die höchsten N_{\min} -Gehalte hinterlassen werden (Sömmerda, Stadt Erfurt, Teile des Ilmkreises) und auf den Verwitterungsböden in Süd- und Südwestthüringen die geringsten (Abb. 12).

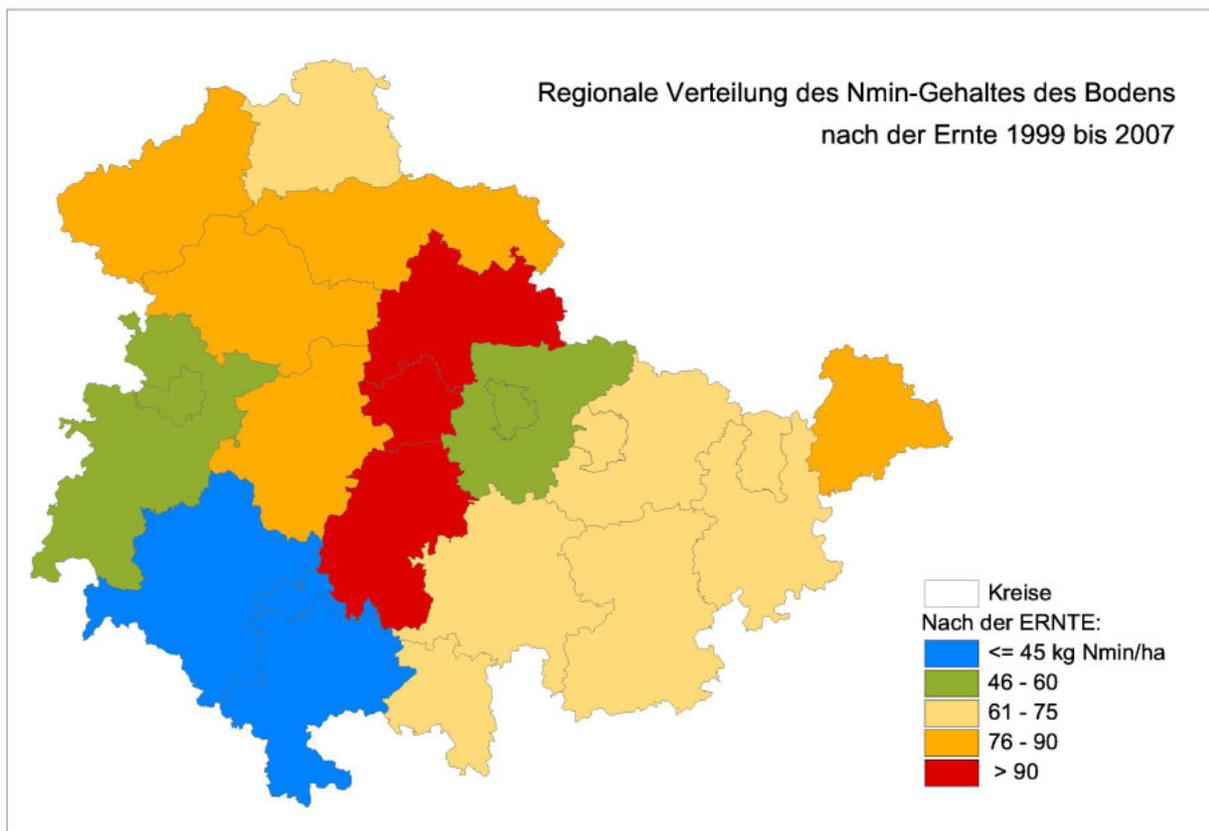


Abbildung 12: Regionale Verteilung des N_{min}-Gehaltes des Bodens nach der Ernte nach Kreisen in den Jahren 1999 bis 2007

Wie die Ergebnisse zurückliegender Auswertungen zeigten, üben neben den Boden- und Standortverhältnissen auch die Bodennutzung (Bewirtschaftung) Einfluss auf die Höhe des N_{min}-Gehaltes aus. Dabei haben die Fruchtarten (Kulturen) mit ihrem unterschiedlichen Intensivierungsgrad und ihrer Nährstoffaneignung einen bedeutenden Einfluss. Fruchtarten, die in den letzten vier Jahren nach ihrer Aberntung einen sehr niedrigen N_{min}-Gehalt im Boden von <= 45 kg/ha hinterließen, sind Wiesenflächen, Feld- und Klee grasbestände und Zuckerrüben (Tab. 7).

Tabelle 7: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) nach der Ernte nach Fruchtarten (aufsteigend sortiert)

Fruchtart	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha
Wiese	8	27	9	32	6	34	keine Probe- nahme	23	31
Feldgras/ Klee gras	16	33	18	41	13	25		47	33
Zuckerrüben	3	44	5	41	8	42		16	42
Kamille	1	30	-	-	1	76		2	53
Weide	11	46	10	73	9	39		30	53
Getreide	208	69	219	74	171	49		598	64
Körnerleguminosen	9	69	11	59	10	74		30	67
Öllein/Sonnenblumen	1	81	-	-	1	63		2	72
Winterraps	54	82	48	66	71	69		173	72
Mais	35	108	35	101	30	61		100	90
Futterleguminosen	3	106	4	83	-	-		7	95
Gemüse (Blumenkohl)	1	133	1	74	-	-		2	104
Kartoffeln	8	116	5	135	2	94		15	115
Summe/Mittel	370	73	374	72	330	55		1 074	67

Fruchtart	2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha
Getreidearten									
Dinkel	-	-	7	43	4	30	keine Probe- nahme	11	36
Hafer	6	36	9	64	4	28		13	43
Winterroggen	11	43	10	53	10	49		31	48
Wintertriticale	8	57	6	54	6	38		20	50
Sommergerste	32	52	24	61	27	52		83	55
Wintergerste	29	69	35	58	24	53		88	60
Winterweizen	120	79	125	85	96	50		341	71
Sommerweizen	2	68	3	106	-	-		5	87
Getreide, gesamt	208	69	219	74	171	49		598	64

Niedrige und mittlere N_{\min} -Gehalte zwischen 45 und 75 kg N_{\min} /ha wiesen Kamille, Weideflächen, Getreide im Mittel aller Getreidearten, Körnerleguminosen (überwiegend Erbsen), Öllein/Sonnenblumen und Winterraps auf. Bei Getreide gab es ebenfalls eine deutliche Differenzierung zwischen Dinkel und Hafer mit niedrigen und Winterweizen bzw. Sommerweizen, bei denen der Rest- N_{\min} -Gehalt deutlich höher ausfiel. Fruchtarten, die einen sehr hohem N_{\min} -Gehalt (> 90 kg N_{\min} /ha) nach ihrer Aberntung hinterließen, waren Mais (Silo- und Körnermais), Futterleguminosen (Luzerne), Gemüse (Blumenkohl) und Kartoffeln.

Eine längerfristige Betrachtung (9-jähriger Auswertungszeitraum 1999 bis 2007) ergibt sehr niedrige N_{\min} -Gehalte bei Wiese, Feldgras/Klee gras, Kamille, Zuckerrüben, Dinkel und Hafer sowie niedrige Gehalte bei Winterroggen, Wintertriticale, Sommergerste und Weide (Abb. 13).

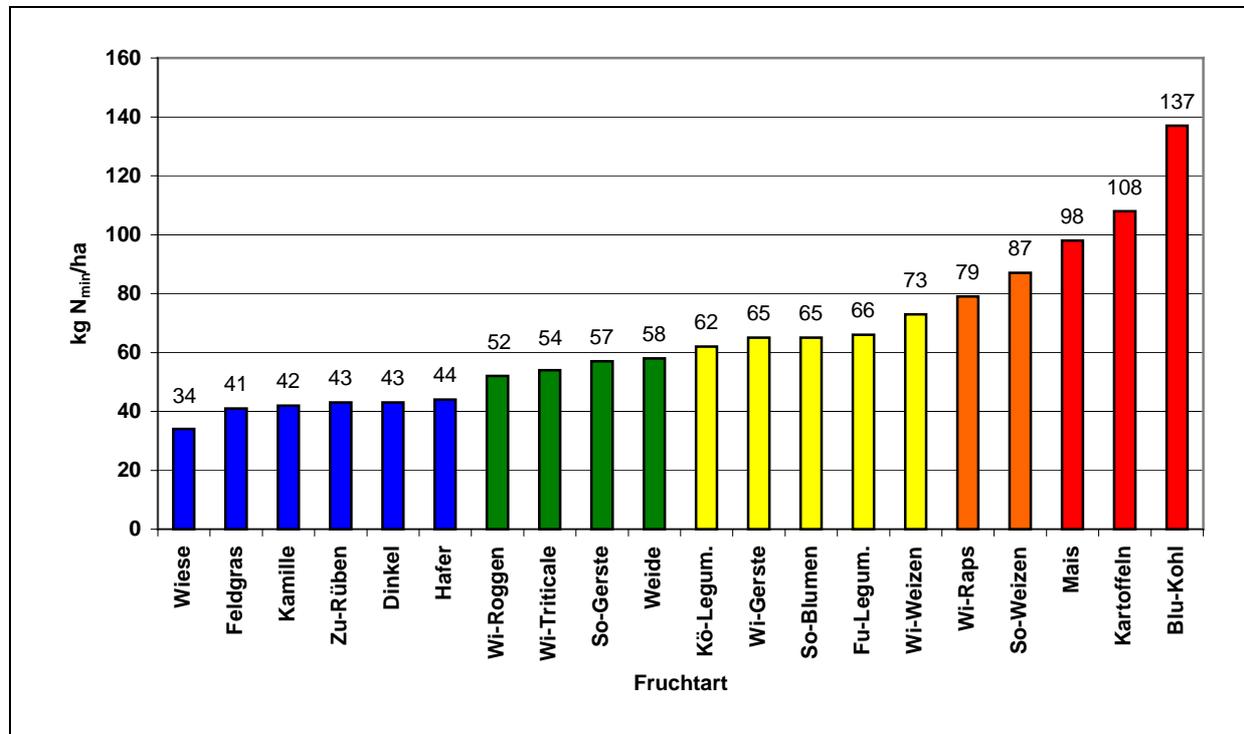


Abbildung 13: N_{\min} -Gehalt des Bodens nach der Ernte nach Fruchtarten 1999 bis 2007

Hohe N_{\min} -Gehalte nach ihrer Aberntung hinterließen Winterraps und Sommerweizen, sehr hoch lagen sie bei Mais, Kartoffeln und Gemüse (Blumenkohl).

4.1.3 N_{\min} -Gehalt im Herbst (nach Vegetationsende) und Veränderungen seit der Ernte

Der N_{\min} -Gehalt nach Vegetationsende ist die Reststickstoffmenge im Boden, die in der vegetationslosen Winterperiode potenziell verlagerungs- bzw. auswaschunggefährdet ist. Er spielt insbesondere in Wasserschutzgebieten bei der Bewertung einer umweltverträglichen Bewirtschaftung eine große Rolle und unterliegt deshalb einem Minimierungsgebot.

Zwischen Ernte und Vegetationsende kann der N_{\min} -Gehalt vielfältigen Veränderungen unterliegen wie:

- N-Mineralisierung der organischen Substanz
- N-Pflanzenentzug auf bewachsenen Flächen
- N-Verlagerung bei überdurchschnittlichen Niederschlägen mit Sickerwasserbildung
- N-Immobilisierung (z.B. nach Strohdüngung)

Welche Vorgänge letztlich überwiegen hängt in hohem Maße von den Witterungsverhältnissen (Niederschlag, Temperatur) in dieser Zeit ab, so dass sich der N_{\min} -Gehalt sowohl erhöhen als auch verringern kann.

Längerfristig betrachtet war der N_{\min} -Gehalt zwischen Sommer und Herbst in den 90er Jahren überwiegend zurückgegangen, während er in den folgenden Untersuchungszeiträumen in der Mehrzahl der Jahre zunahm (Abb. 14).

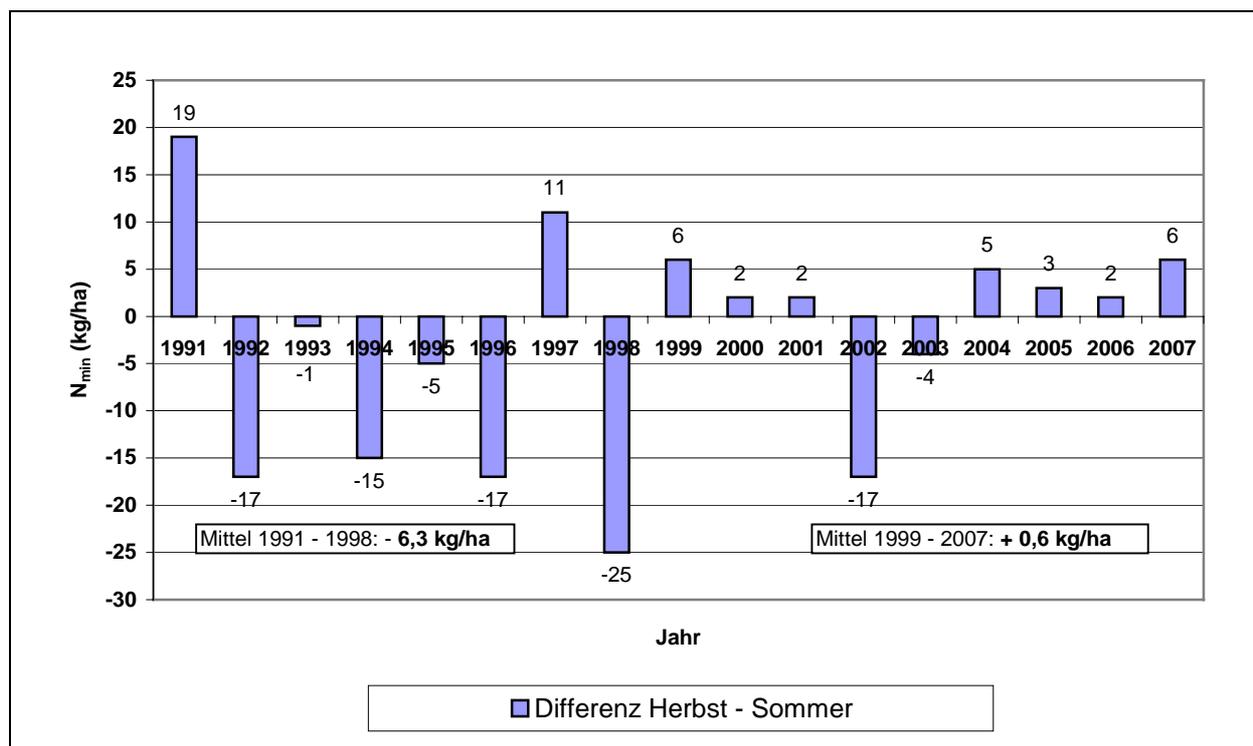


Abbildung 14: Differenz der N_{\min} -Gehalte zwischen Sommer und Herbst in den Jahren 1991 bis 2007

Ein Grund hierfür können die höheren Temperaturen im Zeitraum August bis November sein, welche den Wasserverbrauch erhöhten, kaum eine N-Verlagerung zuließen und die N-Mineralisierung förderten.

Bereits im vorangegangenen Auswertungszeitraum konnte auf der Grundlage 14-jähriger Ergebnisse eine relativ enge Beziehung ($B = 0,57$) zwischen der Höhe der Niederschläge im Zeitraum nach der Ernte bis Vegetationsende und der Veränderung des N_{\min} -Gehaltes festgestellt werden. Nunmehr kann auf der Basis 17-jähriger Erhebungen diese Beziehung im Wesentlichen bestätigt werden. Durch die neu hinzugekommenen Untersuchungsjahre blieb das Bestimmtheitsmaß mit $B = 57\%$ unverändert (Abb. 15).

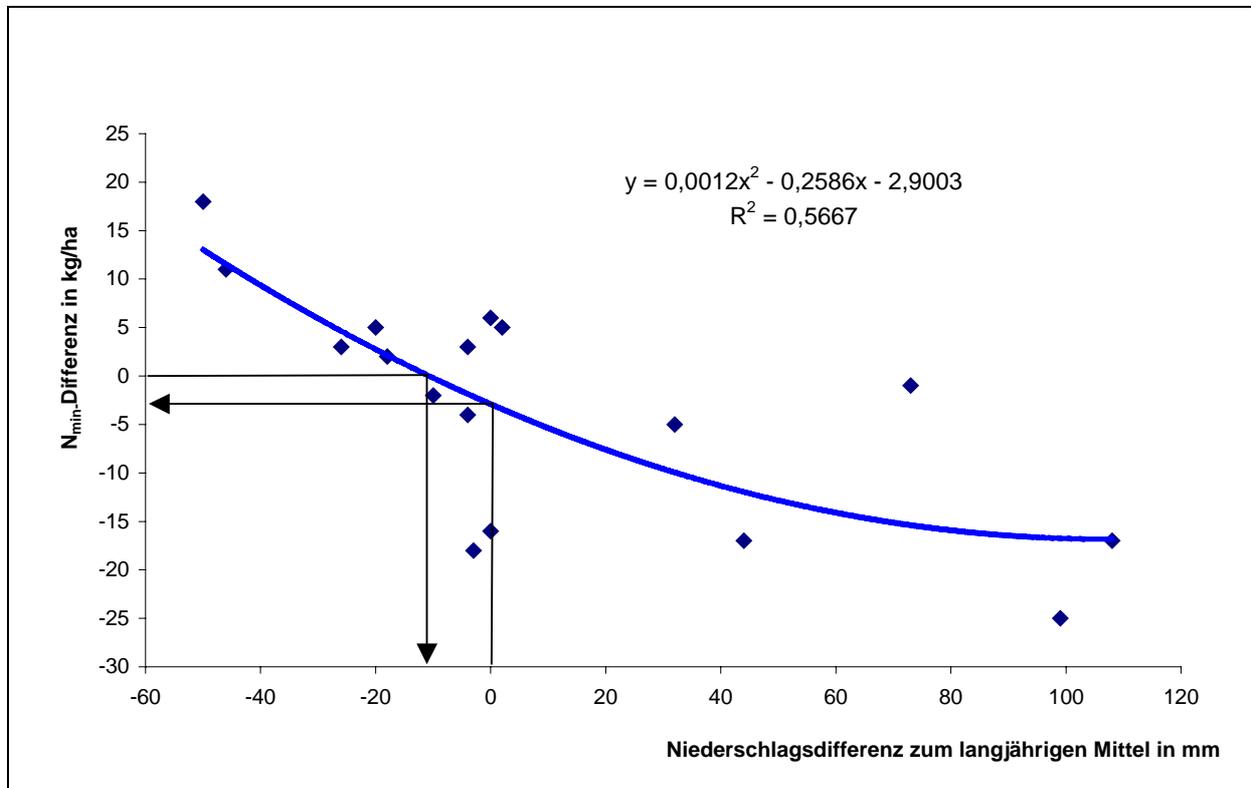


Abbildung 15: Beziehung zwischen Niederschlags- und N_{\min} -Differenz im Zeitraum nach der Ernte bis Vegetationsende 1991 bis 2007

Aus der Regressionskurve kann abgeleitet werden, dass bei Niederschlägen im Bereich des langjährigen Mittels der N_{\min} -Gehalt zwischen Sommer und Herbst im Mittel Thüringens um etwa 3 kg N_{\min} /ha zurückginge und andererseits der N_{\min} -Gehalt nach der Ernte gleich bliebe, wenn die Niederschläge um durchschnittlich 12 mm geringer ausfielen als im langjährigen Mittel.

Im Auswertungszeitraum 2005 bis 2008 wurde im Herbst ein durchschnittlicher N_{\min} -Gehalt von 68 kg/ha mit jährlichen Schwankungen von 59 bis 76 kg N_{\min} /ha ermittelt (Tab. 8).

Tabelle 8: N_{min}-Gehalt (kg/ha) des Bodens im Herbst

Probenahmetiefe cm	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.
	n = 374		n = 371		n = 329		n = 328		n = 1 402	
0 - 30	46	61	42	57	33	54	30	51	38	56
31 - 60	30	39	32	43	28	46	29	49	30	44
0 - 60	76	100	74	100	61	100	59	100	68	100
Min.-Max.	8 - 280		10 - 281		7 - 299		9 - 191		7 - 281	
Median	67		61		48		48		58	
s %	68		68		61		61		65	

Damit ist der N_{min}-Gehalt seit dem Sommer im 4-jährigen Mittel (2005 bis 2008) um 1 kg N_{min}/ha angestiegen (1995 bis 1998: -10 kg N_{min}/ha; 1999 bis 2004: -1 kg N_{min}/ha).

In den vorangegangenen Auswertungsperioden sind im Herbst folgende N_{min}-Gehalte festgestellt worden:

1991 - 1994: 90 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 79 - 106 kg N_{min}/ha)

1995 - 1998: 65 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 48 - 87 kg N_{min}/ha)

1999 - 2004: 71 kg N_{min}/ha (jährliche Schwankung: 56 - 95 kg N_{min}/ha)

Damit ist der durchschnittliche N_{min}-Gehalt des Bodens im Herbst in den letzten vier Jahren um 3 kg/ha gesunken.

Der N_{min}-Gehalt war auch im Herbst mit Werten zwischen 7 und 281 kg N_{min}/ha großen Schwankungen unterworfen, was auch im hohen Variationskoeffizienten von 65 % zum Ausdruck kommt und auch das arithmetische Mittel und der Medianwert lagen wiederum relativ weit auseinander.

Im Herbst befanden sich noch 56 % des Stickstoffs im Oberboden (0 bis 30 cm), wobei jährliche Schwankungen zwischen 51 % und 61 % zu beobachten waren. Die Schwankungsbreite betrug im Oberboden 16 kg N_{min}/ha und im Unterboden 3 kg N_{min}/ha.

Der Anteil des Nitratstickstoffs am N_{min} betrug im Mittel 93 % und die restlichen 7 % entfielen auf Ammoniumstickstoff (Tab. 9).

Tabelle 9: Stickstofffraktionen des Bodens im Herbst

Probe- nahmetiefe cm	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N						
	n = 374		n = 371		n = 329		n = 328		n = 1 402	
0 - 30	44	2	40	2	29	4	28	2	36	2
31 - 60	28	2	29	3	24	4	27	2	27	3
0 - 60	72	4	69	5	53	8	55	4	63	5
Min. - Max.	3 - 2722	2 - 18	6 - 2802	2 - 134	4 - 223	2 - 70	5 - 236	2 - 61	3 - 280	2 - 134
90. Perz.	137	7	130	14	98	15	112	6	123	10
Median	62	4	53	5	45	5	44	5	50	5
s %	72	44	76	143	70	104	70	68	74	120

Damit ist im Vergleich zum Sommer keine Veränderung eingetreten.

Die Differenzierung der N_{\min} -Gehalte nach der Bodenart blieb auch im Herbst erhalten (Tab. 10).

Tabelle 10: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Herbst nach Bodenarten

Nr.	Bodenart	bisherige Bodenarten- gruppe	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
			n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
1	Sand	leicht	32	55	32	49	36	52	-	-	135	53
2	schwach lehmiger Sand	leicht							35	57		
3	stark lehmiger Sand	mittel	77	74	77	81	52	53	52	51	258	65
4	sandiger/schluffiger Lehm	schwer	222	78	219	75	171	58	102	64	782	68
5	toniger Lehm bis Ton	schwer							68	52		
44	sandiger/schluffiger Lehm-Schwarzerde	Löss	43	85	43	80	70	80	32	75	227	78
54	toniger Lehm bis Ton-Schwarzerde	Löss							39	55		
Summe/Mittel			374	76	371	74	329	61	328	59	1 402	68

Größere Gehaltsveränderungen in den verschiedenen Bodenartengruppen waren im Vergleich zu nach der Ernte nicht feststellbar. Allerdings hat sich der Abstand der Löss-Schwarzerden zu den übrigen Bodenartengruppen vergrößert, weil der N_{\min} -Gehalt auf den Schwarzerden leicht angestiegen war.

Auch im 10-jährigen Mittel der Jahre 1999 bis 2008 sind die Gehaltsunterschiede in Abhängigkeit vom Tongehalt deutlich ausgeprägt. Die Schwarzerden gehen mit dem größten N-Vorrat in den Winter (Abb. 16).

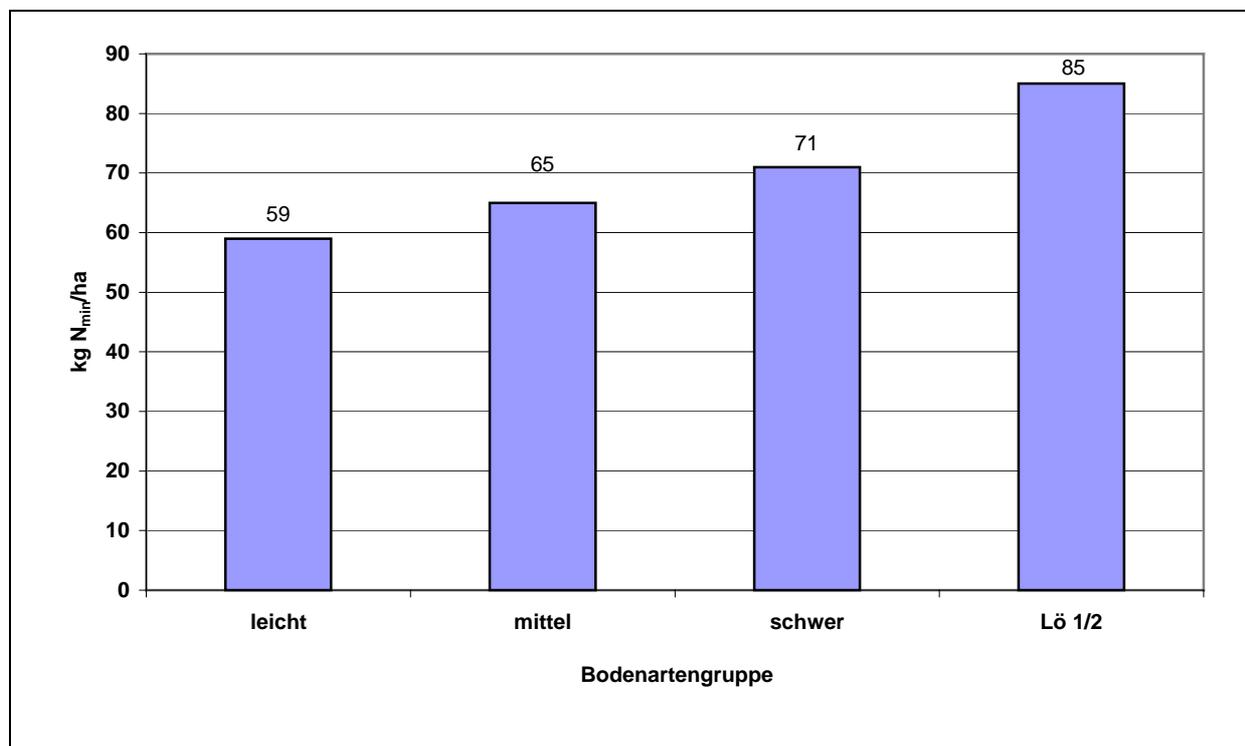


Abbildung 16: N_{\min} -Gehalt des Bodens im Herbst nach Bodenartengruppen 1999 bis 2008

Die Unterteilung der N_{\min} -Gehalte nach Agrargebieten ergab im 4-jährigen Mittel für das Ostthüringer Lössgebiet und das Thüringer Becken N_{\min} -Gehalte von etwa 80 bis 90 kg N_{\min} /ha, für die Randlagen des Thüringer Beckens von 72 kg N_{\min} /ha, für die Verwitterungsböden in Nord-, Ost- und Südthüringen von 55 bis 65 kg N_{\min} /ha und den Thüringer Wald von 51 kg/ha (Tab. 11).

Tabelle 11: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Herbst nach Agrargebieten

Agrargebiet	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Thüringer Becken	97	90	94	94	97	75	99	65	387	81
Ostthüringer Lössgebiet	30	105	30	105	28	70	28	84	116	91
Randlagen Thüringer Becken	59	83	60	82	30	66	30	55	179	72
Eichsfeld/Harzvorland	34	66	34	81	25	45	25	60	118	63
Ostthüringer Bunt- sandsteingebiet	30	66	30	55	30	47	31	55	121	56
Thüringer Schiefer- gebirge	36	70	36	52	36	59	38	50	146	58
Südwest-Thüringen	61	54	60	56	60	57	62	53	243	55
Thüringer Wald/ Rhön	27	64	27	45	23	62	15	32	92	51
Summe/Mittel	374	76	371	74	329	63	328	59	1 402	68

Im Vergleich zu den vorangegangenen Auswertungszeiträumen 1995 bis 1998 und 1999 bis 2004 ergibt sich folgende Entwicklung:

Region	1995 - 1998 kg N_{\min} /ha	1999 - 2004 kg N_{\min} /ha	2005 - 2008 kg N_{\min} /ha
Thüringer Becken	80	90	80
Ostthüringer Lössgebiet	70	90	90
Randlagen Thüringer Becken	65	75	70
Verwitterungsböden Nord-, Ost- und Südthüringens	60 - 70	60 - 65	55 - 65
Thüringer Wald/Rhön	45	45	50
gesamt	65	71	68

Das bedeutet, dass der festgestellte Anstieg des N_{\min} -Gehaltes im Herbst bei der letzten Auswertung gestoppt ist und in den letzten vier Jahren im Mittel gleiche bzw. in der Tendenz geringere N_{\min} -Gehalte festgestellt wurden.

Im Mittel der letzten zehn Jahre wies das Ostthüringer Lössgebiet mit 95 kg N_{\min} /ha die höchsten Gehalte auf, dicht gefolgt vom Thüringer Becken mit 85 kg/ha.

12 bis 22 kg N_{\min} /ha geringer waren die Gehalte mit 73 kg N_{\min} /ha in den Randlagen des Thüringer Beckens (Abb. 17).

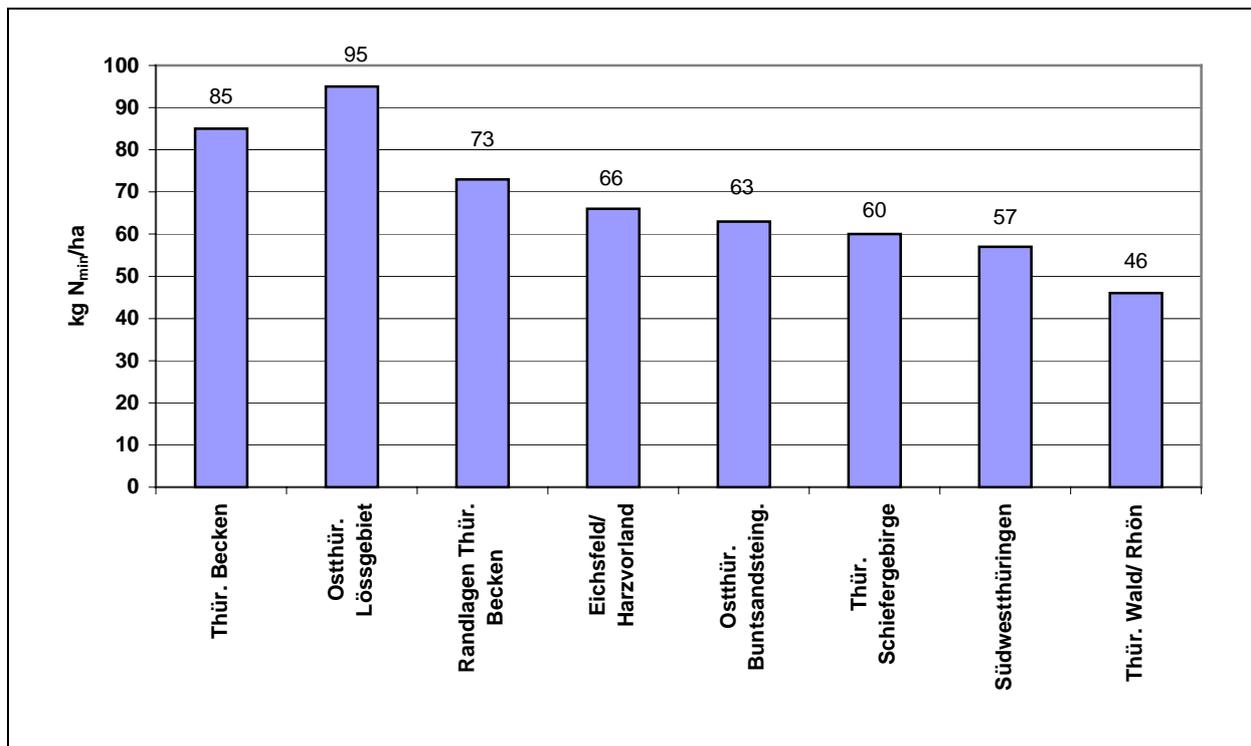


Abbildung 17: N_{min}-Gehalt des Bodens im Herbst nach Agrargebieten 1999 bis 2008

Die Verwitterungsböden in Nord-, Ost- und Südthüringen wiesen N_{min}-Gehalte von 57 bis 66 kg/ha auf, also 20 bis 40 kg/ha weniger als die Lössstandorte. Die Flächen im Thüringer Wald/Rhön enthielten mit durchschnittlich 46 kg/ha deutlich weniger leichtlöslichen Stickstoff.

Die Unterteilung nach Kreisen ergab hohe N_{min}-Gehalte von >90 kg/ha im Ilmkreis und erhöhte Gehalte (75 bis 90 kg N_{min}/ha in den Kreisen Kyffhäuserkreis, Altenburger Land, Sömmerda, Unstrut-Hainich-Kreis und Gotha (Tab. 12).

Tabelle 12: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Herbst nach Kreisen (absteigend sortiert)

Kreis	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Ilmkreis	14	103	14	115	12	100	12	57	52	94
Kyffhäuserkreis	27	111	26	93	14	88	13	65	90	89
Altenburger Land	23	89	23	98	22	73	22	88	90	87
Sömmerda	18	95	17	113	14	72	12	62	61	86
Unstrut-Hainich-Kreis	24	97	24	94	23	72	22	72	93	84
Gotha	16	74	17	86	12	79	12	88	57	82
Stadt Erfurt	8	84	7	73	3	63	3	49	21	67
Greiz	22	76	22	67	22	64	21	58	87	66
Eichsfeld	25	78	25	76	14	43	14	65	78	66
Saale-Holzland-Kreis	21	81	21	71	20	54	20	58	82	66
Sonneberg	11	78	11	72	11	48	9	63	42	65
Weimarer Land	32	70	32	75	30	62	29	52	123	65
Nordhausen	19	52	19	76	15	61	15	63	68	63
Wartburgkreis	30	66	30	58	29	61	29	61	118	62
Saale-Orla-Kreis	28	71	28	53	27	51	27	60	110	59
Saalfeld-Rudolstadt	13	69	13	43	13	50	13	57	52	55
Schmalkalden-Meiningen	31	43	31	50	27	62	27	52	116	52
Hildburghausen	12	40	11	38	11	35	10	48	44	40
Summe/Mittel	374	76	371	74	329	61	310	62	1 402	68

Geringe N_{min}-Gehalte von <60 kg/ha sind zu Vegetationsende in Böden der Kreise Saale-Orla-Kreis, Saalfeld-Rudolstadt, Schmalkalden-Meiningen und Hildburghausen festgestellt worden.

Die langjährige regionale Verteilung der N_{min}-Gehalte im Herbst 1999 bis 2008 zeigt, dass vor Wintereintritt im Kreis Sömmerda und im Ilmkreis die Gehalte mit >90 kg/ha am höchsten sind und fünf weitere Kreise hohe N_{min}-Gehalte von >75 kg/ha ausweisen (Abb. 18).

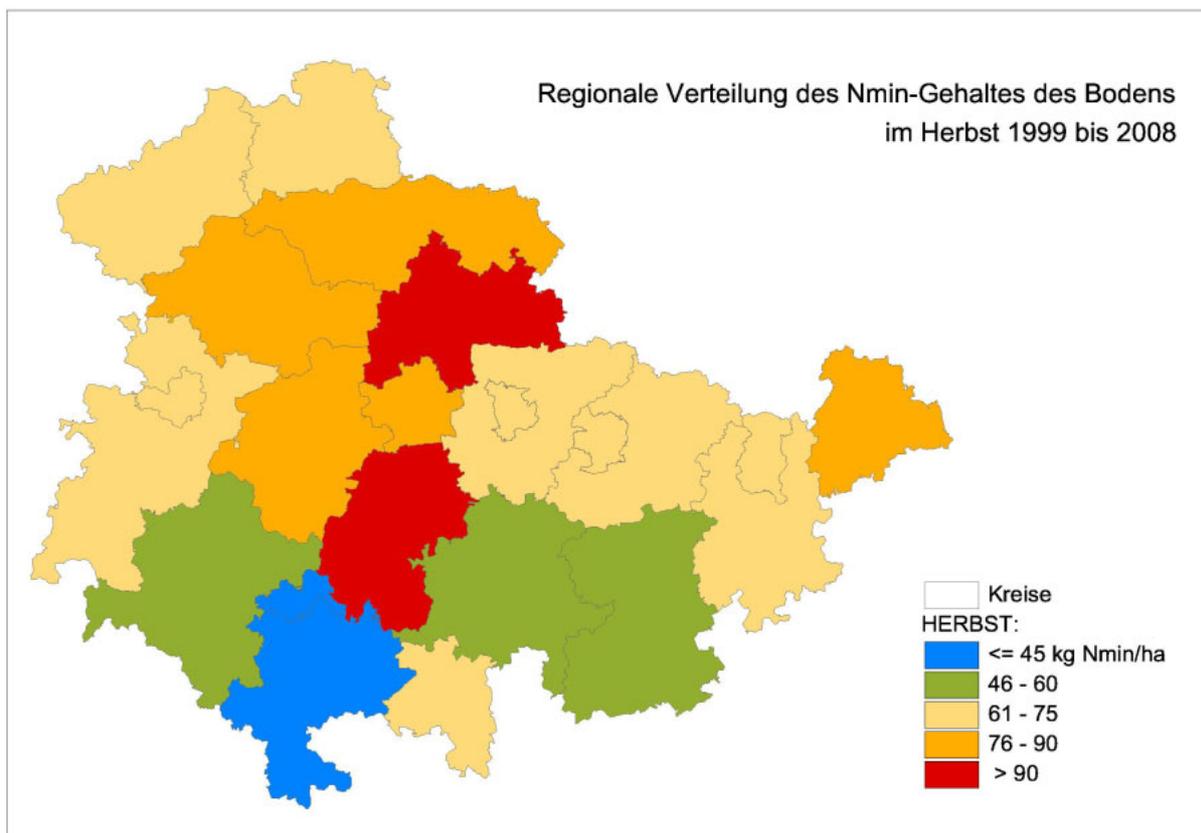


Abbildung 18: Regionale Verteilung des N_{min}-Gehaltes des Bodens im Herbst nach Kreisen in den Jahren 1999 bis 2008

Die Unterteilung der N_{min}-Gehalte nach Vorfrüchten (gemeint sind die im Kalenderjahr abgeernteten Kulturen) führte gleichfalls zu einer ähnlichen Abstufung wie nach der Ernte. Sehr niedrige N_{min}-Gehalte (<45 kg N_{min}/ha) wurden auf Grünland- und Feldgrasflächen sowie Dinkel- und Winterroggenschlägen festgestellt (Tab. 13).

Tabelle 13: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Herbst nach Vorfrüchten (aufsteigend sortiert)

Vorfrucht	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Wiese	9	23	9	36	6	27	8	20	32	27
Feldgras/Kleegras	18	57	16	36	13	45	11	32	58	43
Weide	10	41	10	66	7	27	6	37	33	43
Kamille	2	73	-	-	3	62	2	24	7	53
Zuckerrüben	3	53	5	69	9	63	4	32	21	54
Öllein/Sonnenblumen	1	59	-	-	-	-	-	-	1	59
Getreide	211	70	217	70	160	59	184	53	772	63
Grünbrache	6	33	3	95	-	-	1	62	10	63
Futterleguminosen	2	115	3	59	3	38	3	75	11	72
Winterraps	52	91	46	82	67	70	56	70	221	78
Mais	34	109	34	96	30	62	35	88	133	89
Körnerleguminosen	9	126	12	100	9	70	6	71	36	92
Kartoffeln	8	133	6	164	1	66	3	89	18	113
Summe/Mittel	374	76	371	74	319	61	328	59	1 402	68

Vorfrucht	2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Getreidearten										
Dinkel	-	-	5	49	4	34	1	34	10	39
Winterroggen	10	51	11	45	13	43	11	35	44	44
Wintertriticale	12	53	7	49	6	49	5	35	30	47
Hafer	7	52	7	40	4	60	3	38	21	48
Wintergerste	27	54	33	51	23	47	39	51	122	51
Sommergerste	29	41	27	70	23	72	26	38	105	55
Winterweizen	124	84	126	81	86	62	97	62	433	72
Sommerweizen	2	72	1	119	1	104	2	66	6	90
Getreide, gesamt	211	70	217	70	160	59	184	53	772	63

Hohe Gehalte (>75 kg N_{min}/ha) wiesen Flächen auf, die bis zur Ernte mit Winterraps, Sommerweizen und Mais bestellt waren. Sehr hohe N_{min}-Gehalte (>90 kg N_{min}/ha) hinterließen bis zum Herbst Kartoffeln und Körnerleguminosen (überwiegend Körnererbsen).

Die langfristige Betrachtung der Rang- und Reihenfolge (1999 bis 2008) kann Abbildung 19 entnommen werden und bestätigt im Wesentlichen die getroffenen Aussagen.

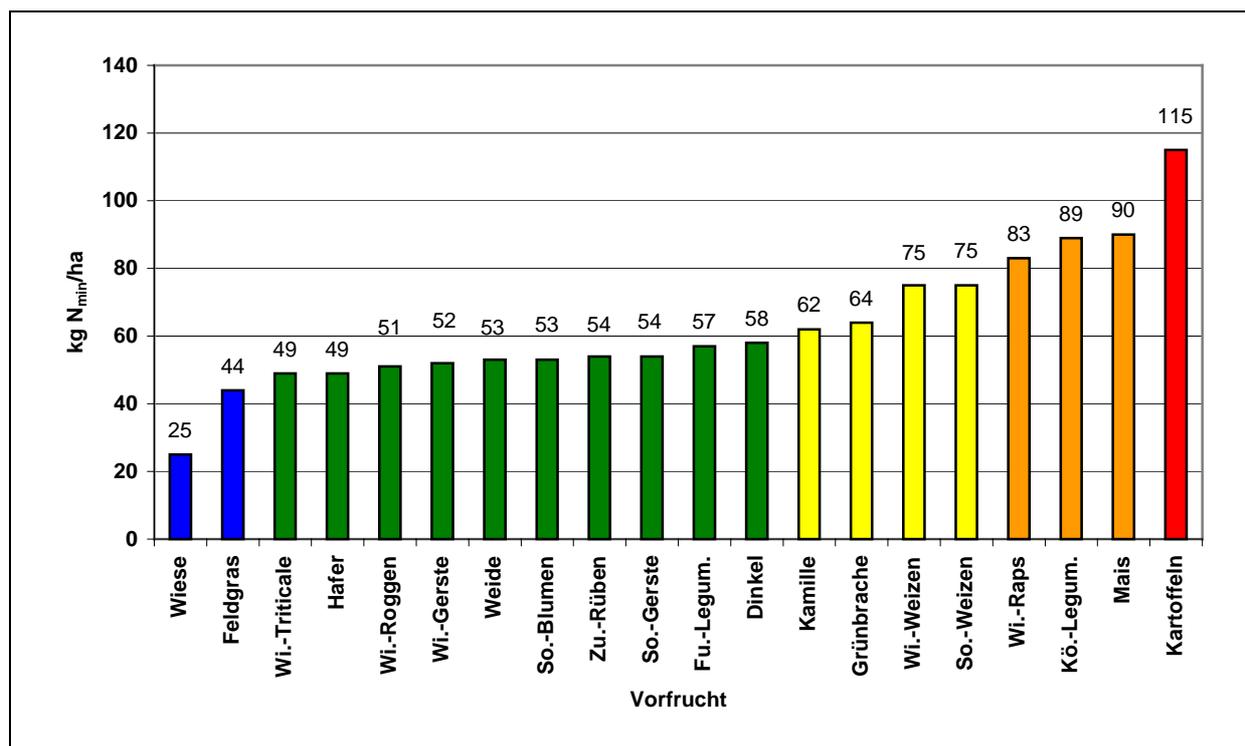


Abbildung 19: N_{min}-Gehalt des Bodens im Herbst nach der Vorfrucht 1999 bis 2008

Gravierende Veränderungen der N_{min}-Gehalte zwischen der Nachernte- und Herbstprobenahme sind in der Regel nicht festzustellen.

Ein Rückgang des N_{min}-Gehaltes vom Sommer zum Herbst wurde bei den Vorfrüchten Wiese, Weide, Futterleguminosen (Luzerne), Wintergerste und Winterroggen festgestellt, während bei den Vorfrüchten Zuckerrüben, Körnerleguminosen, Winterraps und Hafer eine N_{min}-Zunahme zu beobachten war.

Natürlich übt auch die nach der Ernte auf der Fläche ausgesäte Winterung (Wintergetreide, Winterraps) Einfluss auf den Herbst- N_{\min} -Wert aus. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt (siehe Forschungsberichte 2000 und 2002), dass, wenn nach Wintergerste Winterraps nachgebaut wird, er dem Boden bis zum Vegetationsende noch beträchtliche N-Mengen entziehen und somit wesentlich zur N-Reduzierung beitragen kann (Abb. 20). Die gleiche Konstellation besteht, wenn nach anderen frühräumenden Kulturen Winterraps oder Wintergerste nachgebaut werden. Die Ursache liegt in den beträchtlichen N-Entzügen, die Winterraps und Wintergerste im Herbst noch realisieren (Tab. 14). Im Gegensatz zu Winterweizen, der, später gesät, nur geringe N-Mengen aufnimmt.

Andererseits ist bei späträumenden Kulturen wie beispielsweise Kartoffeln und Zuckerrüben, auf die in der Regel eine Winterbrache folgt, die Zunahme des N_{\min} -Gehaltes durch den fehlenden N-Entzug und die Dominanz der N-Mineralisation zurückzuführen.

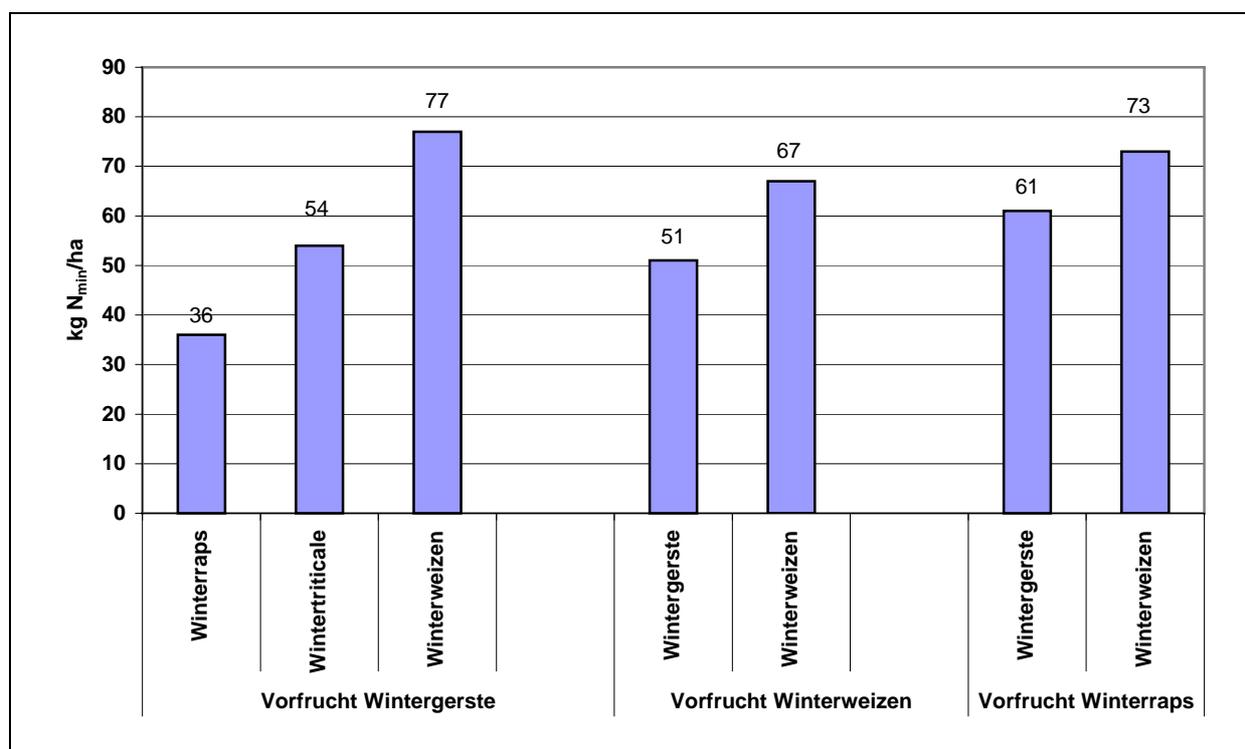


Abbildung 20: Einfluss der Vorfrucht-Nachfrucht-Kombination auf den N_{\min} -Gehalt im Herbst

Tabelle 14: Mittlere N-Entzüge von überwinternden Fruchtarten im Herbst (bis Wintereintritt) - Orientierungswerte nach KERSCHBERGER -

Kultur	N-Menge (kg/ha)
Winterraps	80 bis 100
Wintergerste	50 bis 70
Winterroggen, Wintertriticale	30 bis 40
Winterweizen	10 bis 30

4.1.4 N_{\min} -Gehalt im Frühjahr (Vegetationsbeginn) und Veränderungen seit dem Herbst

In der weitgehend vegetationslosen Zeit zwischen Herbst- und Frühjahrsprobenahme (November bis Februar) findet in aller Regel eine Abnahme des N_{\min} -Gehaltes im Boden statt. In dieser Zeit ruht die N-Mineralisierung. Dafür dominiert bei wassergesättigtem Boden die N-Verlagerung mit dem Sickerwasserstrom in tiefere Bodenschichten. Aber es findet nicht nur eine N-Verlagerung statt, sondern in Phasen milder Winterwitterung (bei Tagestemperaturen $>5\text{ }^{\circ}\text{C}$) auch eine N-Aufnahme durch die wachsenden Pflanzen, beispielsweise bei Wintergetreide, Winterraps, mehrjähriges Feldgras und Grünland.

Die N_{\min} -Ergebnisse der Frühjahrsprobenahme werden alljährlich genutzt, um nach § 3 Abs. 3 Pkt. 1 b Düngeverordnung N_{\min} -Untersuchungsergebnisse für die Landwirtschaftsbetriebe bereitzustellen, die keine eigenen N_{\min} -Untersuchungen durchführen (Anlage 1: Aktueller Rat zur N_{\min} - und S_{\min} -Situation Thüringer Böden; Anlage 2: N_{\min} aktuell), ihren N-Düngerbedarf (1. N-Gabe bzw. N-Gesamtgabe) aber auf der Grundlage des im Boden verfügbaren Stickstoffs zu berechnen haben.

In den letzten 24 Jahren waren die N_{\min} -Differenzen zwischen Herbst und Frühjahr in 23 Jahren durch eine Abnahme des N_{\min} -Gehaltes gekennzeichnet (Abb. 21).

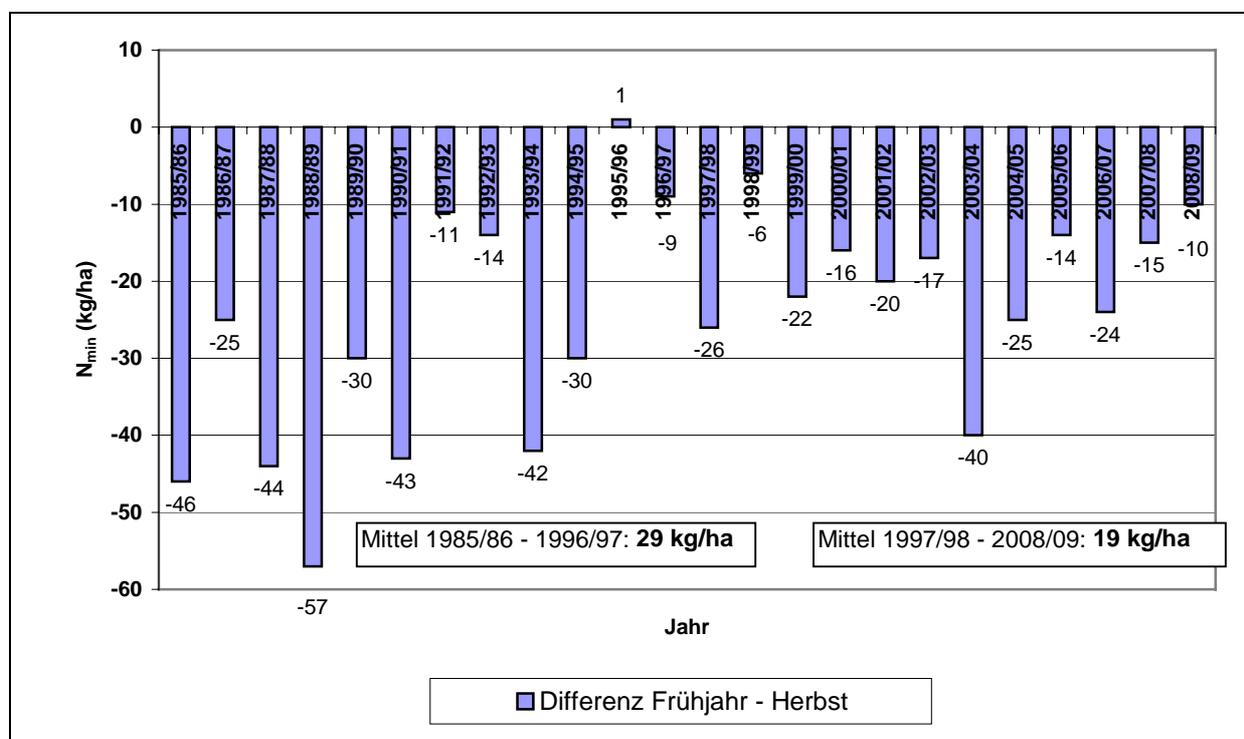


Abbildung 21: Differenz der N_{\min} -Gehalte zwischen Herbst und Frühjahr in den Jahren 1985/86 bis 2008/09

Nur in einem Winter (1995/1996) kam es zu keiner Reduzierung, weil der Boden durchgehend gefroren war und damit keine N-Verlagerung stattgefunden hat. Hervorzuheben ist, dass die N_{\min} -Reduzierung in der Winterperiode im Mittel von 29 kg N_{\min} /ha (1985/86 bis 1996/97) auf 19 kg N_{\min} /ha (1997/98 bis 2008/09) abgenommen hat. Hiervon kann in den letzten zehn Jahren eine verminderte N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten abgeleitet werden, was im Sinne des Trinkwasserschutzes positiv zu bewerten ist.

In den 90er Jahren konnte der Einfluss der Niederschläge zwischen Herbst und Frühjahr auf dem N_{\min} -Rückgang mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,74 recht deut-

lich nachgewiesen werden (siehe Bericht 1995 bis 1998). Mit Erweiterung der Zeitreihe von sieben auf nunmehr 18 Jahre kann diese enge Beziehung mit $B = 0,14$ nicht bestätigt werden (Abb. 22).

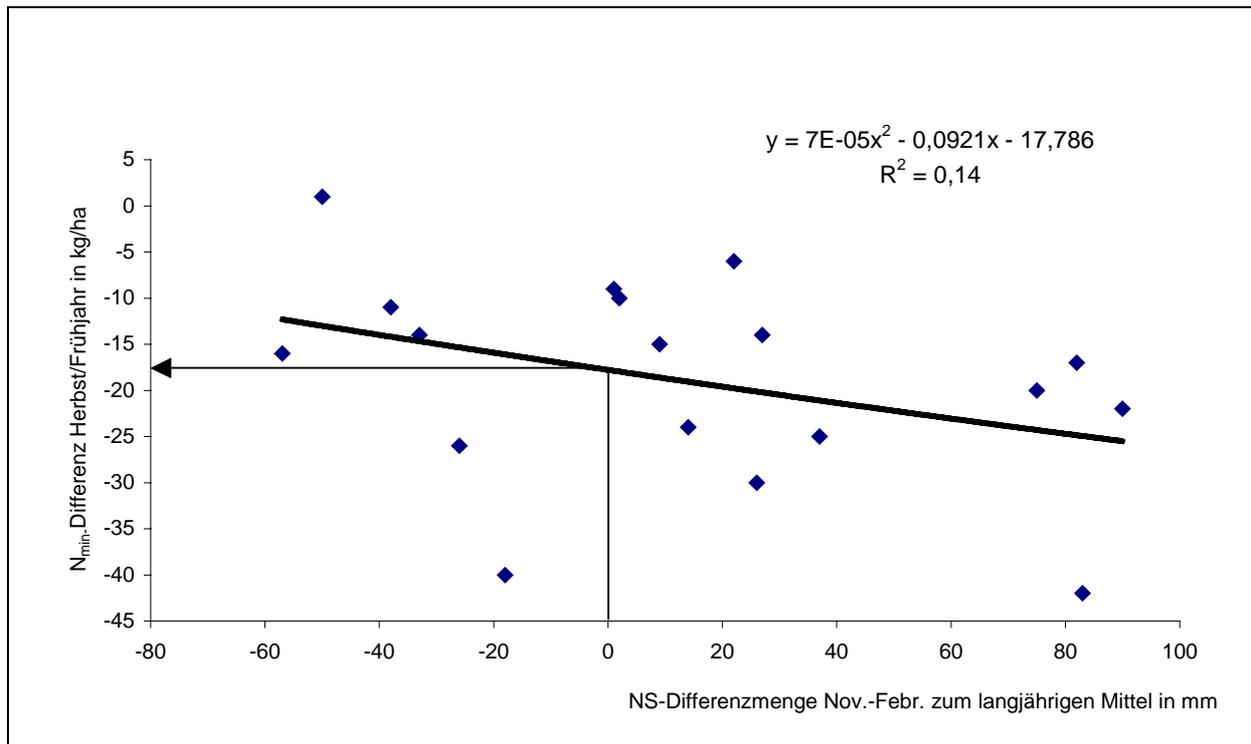


Abbildung 22: Beziehung zwischen Niederschlags- und N_{\min} -Differenz im Zeitraum Herbst (Vegetationsende) bis Frühjahr (Vegetationsbeginn) 1991/92 bis 2008/09

Es ist anzunehmen, dass nicht allein die absolute Niederschlagshöhe den entscheidenden Einfluss auf die N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten hat, sondern auch einzelne, zeitlich begrenzte Niederschlagsereignisse (Starkregen, plötzliches Tauwetter).

Des Weiteren ist die Höhe des N_{\min} -Ausgangswertes im Herbst von Bedeutung, da hohe N_{\min} -Gehalte über Winter leichter verlagert werden können als niedrige (Abb. 23).

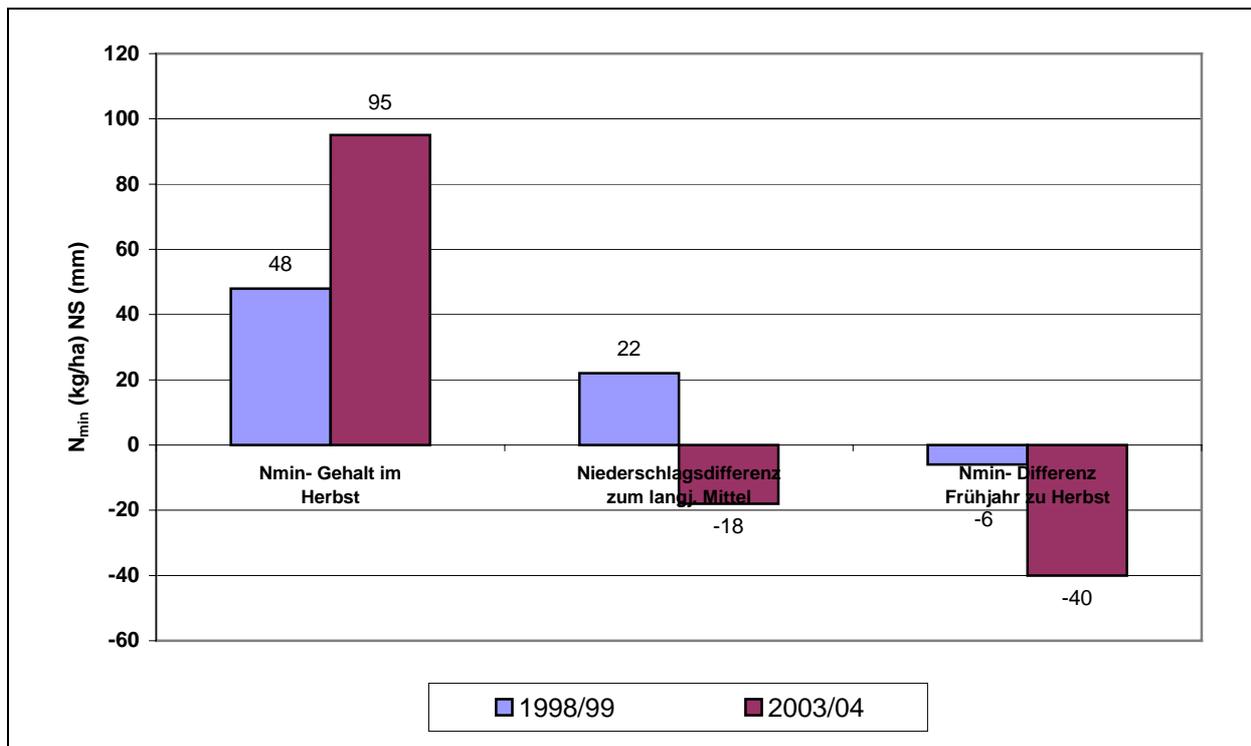


Abbildung 23: Beispiel für unterschiedliche N_{min}-Verlagerung über Winter in Abhängigkeit von N_{min}-Gehalt im Herbst und Winterniederschlagsmenge

In der Winterperiode 1998/99 führte ein niedriger N_{min}-Gehalt im Herbst bei überdurchschnittlichen Niederschlägen nur zu einer geringen N_{min}-Abnahme bis zum Frühjahr. Andererseits wurde im Winter 2003/2004 ein hoher Herbst-N_{min}-Gehalt bis zum Frühjahr sehr stark reduziert, obwohl unterdurchschnittliche Niederschläge gefallen waren. Die Ursache dürfte in besonderen Niederschlagsereignissen zu suchen sein.

Im Untersuchungszeitraum 2006 bis 2009 betrug der mittlere N_{min}-Gehalt im Frühjahr 53 kg N_{min}/ha (Schwankung: 49 bis 62 kg/ha) (Tab. 15).

Tabelle 15: N_{min}-Gehalt (kg/ha) des Bodens im Frühjahr

Probenahmetiefe cm	2006		2007		2008		2009		Mittel 2000-2005	
	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.	kg/ha	rel.
	n = 370		n = 373		n = 888		n = 1 012		n = 2 643	
0 - 30	32	52	23	46	25	48	22	45	25	47
31 - 60	30	48	27	54	27	52	27	55	28	53
0 - 60	62	100	50	100	52	100	49	100	53	100
Min.-Max.	8 - 292		10 - 231		10 - 187		10 - 162		8 - 292	
Median	52		37		46		43		44	
s %	65		76		58		51		63	

Im Mittel der Jahre 2000 bis 2005 lag dieser Wert bei 48 kg N_{min}/ha (Spanne: 39 bis 55 kg/ha) und im Zeitraum 1992 bis 1995 bei 66 kg N_{min}/ha (Spanne: 49 bis 95 kg/ha). Der N_{min}-Gehalt zwischen der Herbst- und Frühjahrsprobenahme hat sich in den Auswertungszeiträumen wie folgt verändert (Tabelle 16):

Tabelle 16: Entwicklung der N_{\min} -Gehalte des Bodens zwischen Herbst- und Fröhjahrsprobenahme

Zeitraum	N_{\min} -Gehalt Herbst	N_{\min} -Gehalt Fröhjahr	Differenz zwischen Fröhjahr und Herbst
	kg/ha	kg/ha	kg/ha
1991/92 - 1994/95	84	60	- 24
1995/96 - 1998/09	65	56	- 9
1999/00 - 2004/05	71	48	- 23
2005/06 - 2008/09	68	53	- 15
Mittel 1991/92 - 2008/09	72	54	- 18

Dabei ist zu erkennen, dass sich im Untersuchungszeitraum 2006 bis 2009 die N_{\min} -Differenz zwischen Herbst und Fröhjahr von -23 kg N_{\min} /ha (2000 bis 2005) auf -15 kg N_{\min} /ha verringert hat.

Trotz der relativ niedrigen N_{\min} -Gehalte im Fröhjahr 2006 bis 2009 betrug die Streuung der Einzelwerte 63 % und lag ebenso hoch wie zu den anderen Probenahmeterminen. Die N_{\min} -Menge verteilte sich im Fröhjahr etwa je zur Hälfte auf den Ober- und Unterboden.

Hinsichtlich der Stickstofffraktionen erreichte Nitratstickstoff einen durchschnittlichen Anteil von 89 % (47 kg NO_3 -N/ha) und Ammoniumstickstoff von 11 % (6 kg NH_4 -N/ha) (Tab. 17).

Tabelle 17: Stickstofffraktionen des Bodens im Fröhjahr

Probenahmetiefe cm	2006		2007		2008		2009		Mittel 2006 - 2009	
	NO_3 -N	NH_4 -N	NO_3 -N	NH_4 -N						
	n = 370		n = 373		n = 888		n = 1012		n = 2643	
0 - 30	29	3	20	3	22	3	19	3	22	3
31 - 60	27	3	23	4	25	2	25	2	25	3
0 - 60	56	6	43	7	47	5	44	5	47	6
Min. - Max.	5 - 248	2 - 88	3 - 297	2 - 199	4 - 244	1 - 126	4 - 234	2 - 33	3 - 297	1 - 199
90. Perz.	111	10	85	11	84	7	72	6	85	8
Median	46	5	29	5	35	5	33	5	34	5
s %	70	98	93	156	78	123	67	43	78	120

Damit ist im Vergleich zum Herbst bei den prozentualen Fraktionsanteilen kaum eine Veränderung eingetreten.

Die Gehaltsunterschiede in Abhängigkeit von der Bodenartengruppe waren im Fröhjahr auf niedrigerem Niveau ebenso deutlich ausgeprägt wie im Herbst (Tab. 18).

Tabelle 18: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Frühjahr nach Bodenarten

Nr.	Bodenart	bisherige Bodenartengruppe	2006		2007		2008		2009		Mittel 2006 - 2009	
			n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
1	Sand	leicht	28	49	40	40	-	-	-	-	221	43
2	schwach lehmiger Sand	leicht					80	43	73	39		
3	stark lehmiger Sand	mittel	78	55	64	45	117	40	134	40	393	45
4	sandiger/schluffiger Lehm	schwer	221	65	227	51	254	48	297	48	1 629	55
5	toniger Lehm bis Ton	schwer					297	59	333	54		
44	sandiger/schluffiger Lehm-Schwarzerde	Löss	43	76	42	66	53	60	78	49	400	64
54	toniger Lehm bis Ton-Schwarzerde	Löss					87	64	97	53		
Summe/Mittel			370	62	373	50	888	52	1 012	49	2 643	53

Hervorzuheben ist, dass die Löss-Schwarzerden nach dem Winter nahezu noch ein Drittel mehr viel Stickstoff enthielten als die leichten Sandböden. Dies wird auch durch eine zehnjährige Auswertung der N_{\min} -Gehalte im Frühjahr bestätigt (Abb. 24).

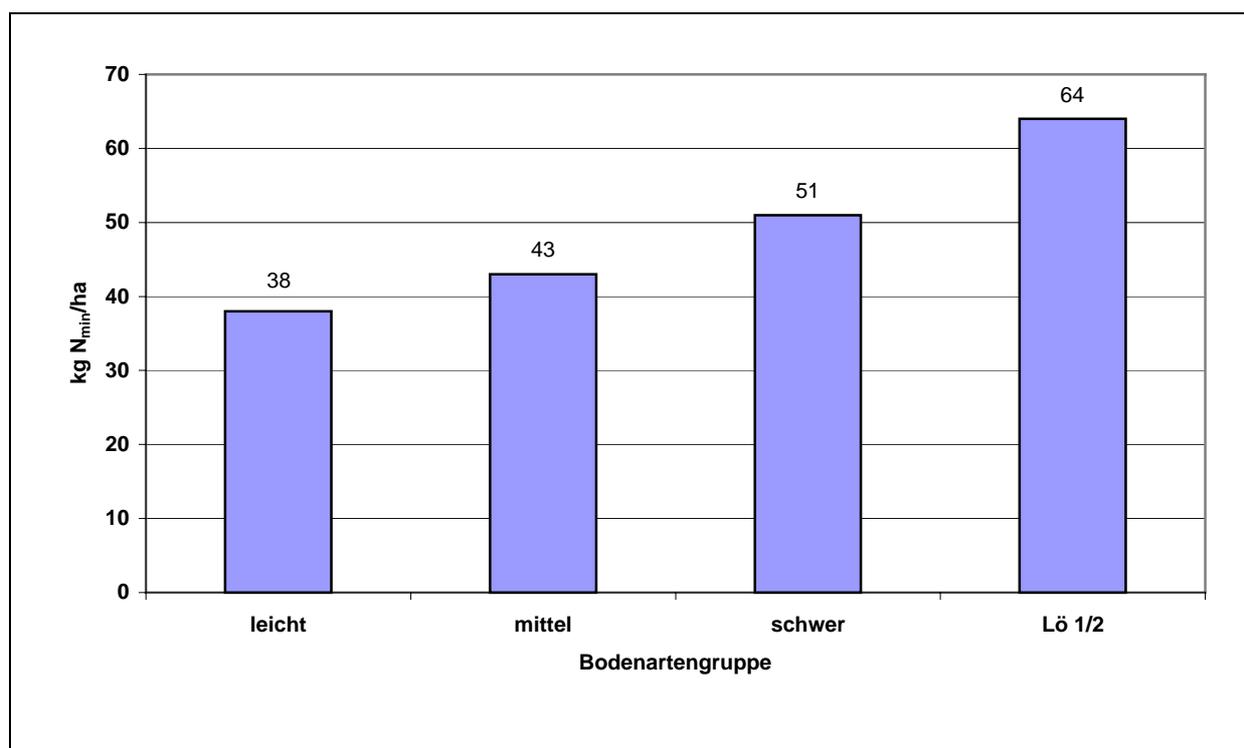


Abbildung 24: N_{\min} -Gehalt des Bodens im Frühjahr nach Bodenartengruppen 2000 bis 2009

Das bedeutet, dass zur Sicherung hoher Erträge auf den leichten und mittleren Böden über SBA im Mittel um etwa 20 kg N/ha höhere N-Düngermengen empfohlen werden müssen als auf den Schwarzerdestandorten.

Nach Agrargebieten gruppiert, sind auch im Frühjahr die höchsten N_{\min} -Gehalte im Thüringer Becken und im Ostthüringer Lössgebiet festgestellt worden. Sie lagen bei

durchschnittlich 68 bis 65 kg N_{min}/ha und damit etwa 20 bis 30 kg N_{min}/ha über den anderen Agrargebieten (Tab. 19).

Tabelle 19: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Frühjahr nach Agrargebieten

Agrargebiet	2006		2007		2008		2009		Mittel 2006-2009	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Thüringer Becken	97	82	97	73	295	63	350	55	839	68
Ostthüringer Lössgebiet	30	96	29	64	89	48	94	50	242	65
Randlagen Thüringer Becken	60	63	60	54	116	60	137	46	373	56
Eichsfeld/Harzvorland	34	43	34	39	76	37	77	44	221	41
Ostthüringer Buntsandsteingebiet	29	57	30	43	56	44	69	37	184	45
Thüringer Schiefergebirge	36	52	36	33	101	50	103	48	276	46
Südwestthüringen	60	40	60	32	130	41	148	44	398	39
Thüringer Wald/ Rhön	24	45	27	25	25	38	34	43	110	38
Summe/Mittel	370	62	373	50	888	52	1 012	49	2 643	53

Die Auswertung einer zehnjährigen Datenreihe (2000 bis 2009) ergab für die Regionen mit Lössböden mit durchschnittlich 65 kg N_{min}/ha um 15 bis 25 kg/ha höhere N_{min}-Gehalte im Frühjahr als auf den Thüringer Verwitterungsböden (Abb. 25).

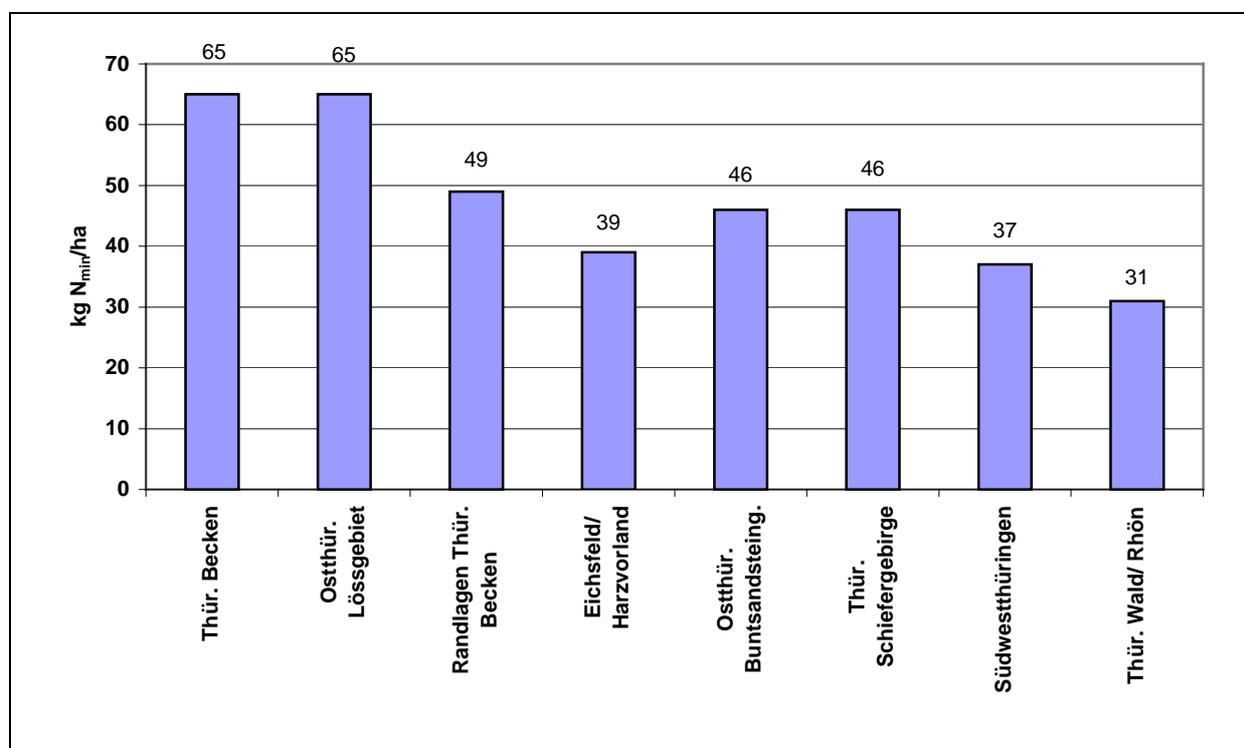


Abbildung 25: N_{min}-Gehalt des Bodens im Frühjahr nach Agrargebieten 2000 bis 2009

Im Vergleich zum vorhergehenden Auswertungszeitraum haben sich die N_{min}-Gehalte über Winter (Differenz Frühjahr - Herbst) folgendermaßen entwickelt:

Agrargebiet	1995/96 bis 1998/99	1999/00 bis 2004/05	2005/06 bis 2008/09
Thüringer Becken	-11	-25	-13
Ostthüringer Lössgebiet	-7	-26	-26
Randlagen Thüringer Becken	-7	-29	-16
Eichsfeld/Harzvorland	-12	-29	-22
Ostthüringer Buntsandsteingebiet	-11	-22	-11
Thüringer Schiefergebirge	-15	-16	-12
Südwestthüringen	-9	-24	-16
Thüringer Wald/Rhön	-11	-16	-13
Mittel	-9	-23	-15

Hierbei wird deutlich, dass sich der Rückgang des N_{\min} -Gehaltes auf alle Agrargebiete bezieht, wobei er im Ostthüringer Lössgebiet und im Eichsfeld mit >20 kg/ha am stärksten ausfiel.

Zu berücksichtigen ist, dass durch die Integration der betrieblichen N_{\min} -Testflächen ab Frühjahr 2008 die Bezugsbasis im Herbst-Frühjahr-Vergleich verschieden ist (Herbst: nur DTF, Frühjahr: DTF u. BTF).

Die Unterteilung der N_{\min} -Gehalte nach Kreisen ergab im Kreis Sömmerda die höchsten Werte, gefolgt vom Kyffhäuserkreis und der Stadt Erfurt (Tab. 20).

Tabelle 20: N_{\min} -Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Frühjahr nach Kreisen (absteigend sortiert)

Kreis	2006		2007		2008		2009		Mittel 2006 - 2009	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Sömmerda	18	77	18	97	63	71	63	68	162	78
Kyffhäuserkreis	27	91	27	65	44	61	74	55	172	68
Stadt Erfurt	8	68	8	64	23	73	25	64	64	67
Ilmkreis	14	68	14	69	38	65	42	56	108	65
Unstrut-Hainich-Kreis	24	74	24	59	65	62	79	51	192	62
Altenburger Land	23	81	22	62	58	46	58	56	161	61
Weimarer Land	32	79	32	62	75	59	69	44	208	61
Gotha	17	64	17	61	43	60	55	55	132	60
Saale-Holzland-Kreis	21	85	21	58	41	49	69	38	152	58
Greiz	22	59	22	36	67	52	75	43	186	48
Saale-Orla-Kreis	27	53	28	39	64	42	61	47	180	45
Saalfeld-Rudolstadt	13	49	13	34	27	50	39	42	92	44
Wartburgkreis	30	49	30	39	75	45	82	42	217	44
Nordhausen	29	41	19	40	45	39	46	49	129	42
Sonneberg	11	51	11	29	15	28	14	55	51	41
Eichsfeld	25	47	25	40	54	36	54	40	158	41
Schmalkalden-Meiningen	28	37	31	27	54	52	54	42	167	40
Hildburghausen	11	30	11	21	34	37	51	45	107	33
Summe/Mittel	370	62	373	50	888	52	1 012	49	2 643	53

Die Böden in den Kreisen Saalfeld-Rudolstadt, Wartburgkreis, Nordhausen, Eichsfeld, Schmalkalden-Meiningen und Hildburghausen enthielten die niedrigsten N_{\min} -Gehalte.

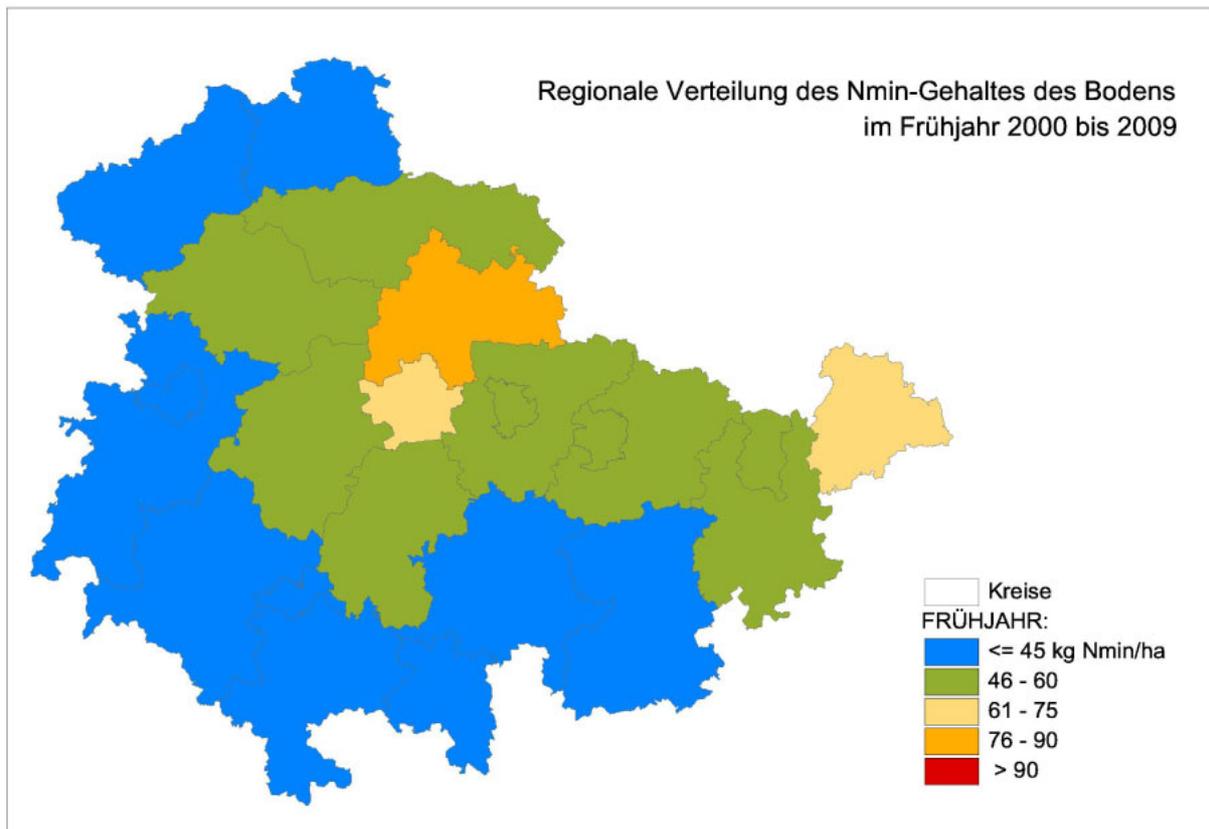


Abbildung 26: Regionale Verteilung des N_{\min} -Gehaltes des Bodens im Frühjahr nach Kreisen in den Jahren 2000 bis 2009

Die stärkste Abnahme des N_{\min} -Gehaltes vom Herbst zum Frühjahr war in den Kreisen

Ilmkreis	- 29 kg N_{\min} /ha
Gotha	- 27 kg N_{\min} /ha
Eichsfeld	- 25 kg N_{\min} /ha
Sonneberg	- 24 kg N_{\min} /ha
Unstut-Hainich-Kreis	- 22 kg N_{\min} /ha
Kyffhäuserkreis	- 21 kg N_{\min} /ha

festzustellen.

Auch im Frühjahr gab es deutliche N_{\min} -Unterschiede zwischen den Fruchtarten (als Fruchtarten gelten die Kulturen die zur Probenahme im Februar auf dem Feld standen bzw. deren Anbau im Frühjahr geplant war). Fruchtarten mit den niedrigsten Gehalten nach Winter waren Grünlandflächen, Feldgras und Wintererbsen, also Fruchtarten die für einen permanenten Nährstoffentzug stehen (Tab. 21).

Tabelle 21: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Frühjahr nach Fruchtarten (aufsteigend sortiert)

Fruchtart	2006		2007		2008		2009		Mittel 2006 - 2009	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
Wiese	9	27	9	23	6	24	7	22	31	24
Feldgras/Klee gras	17	37	17	36	15	17	23	27	72	29
Weide	11	45	11	34	8	24	7	30	37	33
Kamille	-	-	2	27	2	35	1	44	5	35
Winterraps	47	39	74	28	158	41	198	43	477	38
Getreide	205	67	200	56	490	47	609	49	1 504	55
Körnerlegumino- sen	10	74	8	72	12	53	15	43	45	61
Öllein/Sonnen- blumen	-	-	1	54	-	-	3	72	4	63
Mais	39	85	31	56	58	57	101	59	229	64
Futterleguminosen	4	64	-	-	-	-	-	-	4	64
Zuckerrüben	5	74	8	108	11	61	23	64	47	77
Gemüse	3	77	3	55	1	75	1	115	8	81
Kartoffeln	5	89	3	119	10	64	15	60	33	83
Summe/Mittel	370	62	373	50	783	46	1 012	49	2 538	52
Getreidearten										
Winterroggen	11	44	12	36	15	30	33	32	71	36
Dinkel	1	41	3	19	-	-	4	51	8	37
Wintergerste	35	42	26	33	101	32	116	43	278	38
Wintertriticale	6	42	8	42	15	38	29	45	58	42
Hafer	6	62	5	45	7	44	5	37	23	47
Winterweizen	122	74	114	60	275	53	352	53	863	60
Sommerdurum	-	-	-	-	2	52	4	68	6	60
Sommerweizen	2	126	-	-	6	57	3	44	11	66
Sommergerste	22	86	32	78	69	54	63	52	186	68
Getreide, gesamt	205	67	200	56	490	47	609	49	1 504	55

Das trifft auch auf das Getreide zu, wo die Wintergetreidearten (außer Winterweizen) die geringsten N_{min}-Gehalte aufwiesen.

Im Gegensatz dazu wurden auf den zum Zeitpunkt der Probenahme unbestellten Flächen, auf denen der Anbau von Zuckerrüben, Gemüse und Kartoffeln geplant war, hohe N_{min}-Gehalte festgestellt.

Die Auswertung 10-jähriger N_{min}-Ergebnisse im Frühjahr (2000 bis 2009) bestätigt die Aussagen, wonach unter Dauerkulturen (Grünland, Feldgras) oder Winterungen (Wintergetreide, Winterraps) zu Vegetationsbeginn die niedrigsten N_{min}-Gehalte vorgefunden wurden, während auf unbestellten Flächen mit geplantem Hackfrucht- oder

Gemüseanbau, z. T. im Vorfeld organisch gedüngt, die höchsten N_{\min} -Gehalte ermittelt wurden (Abb. 27).

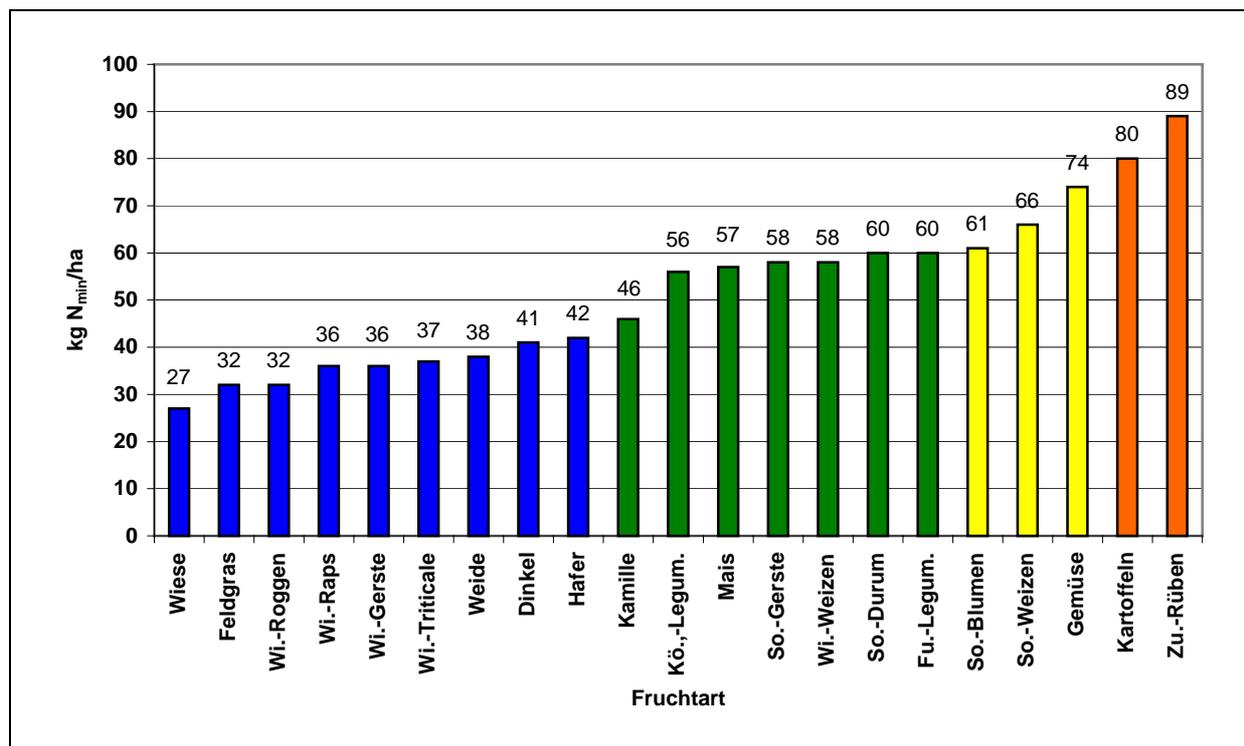


Abbildung 27: N_{\min} -Gehalt des Bodens im Frühjahr nach Fruchtarten 2000 bis 2009

Als Hauptursache für die hohen Gehalte ist die in der Regel zu diesen Fruchtarten verabreichte organische Düngung (vorwiegend Stallmist) und der fehlende N-Entzug unter Wachstumsbedingungen im Zeitraum November bis März zu nennen. Zudem verbleiben beispielsweise durch die Vorfrucht Blumenkohl große Mengen leicht mineralisierbarer Ernterückstände auf der Fläche, die sich in hohen N_{\min} -Gehalten im Frühjahr wiederfinden können.

Ein Beispiel hierfür ist auch die Zuckerrübe. Flächen, auf denen im Vorjahr Zuckerrüben standen, enthielten im Herbst im Mittel 54 kg N_{\min} /ha, während auf Schlägen, auf denen im Frühjahr Zuckerrüben ausgesät werden sollen, hohe 77 kg N_{\min} /ha festgestellt wurden.

4.1.5 Vergleich des N_{\min} -Gehaltes zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung

Zu Beginn des neuen Jahrtausends begann man, den ökologischen Landbau in Deutschland verstärkt zu fördern mit dem Ziel, den Flächenanteil auf 10 % der Anbaufläche zu erweitern. Das führte im Jahre 2002 zu einer Überprüfung der Repräsentanz der Ökoflächen im N_{\min} -Dauertestflächenmessnetz. Sie ergab, dass seit Mitte der 90er Jahre sechs Ökoflächen von drei Ökobetrieben in das N_{\min} -Monitoring integriert waren, was einem Anteil von 1,5 % entsprach. Da alle Ökobetriebe im Thüringer Becken (Agrargebiet 1) wirtschafteten, war keine repräsentative Aussage für die wichtigsten Thüringer Standorte gegeben. Um dieses Defizit zu beheben, wurden im Jahre 2002 die N_{\min} -Dauertestflächen auf insgesamt 26 Flächen erweitert und im Jahre 2007 auf 21 Flächen reduziert, so dass der Ökoflächenanteil nunmehr 6 % beträgt.

Die gegenwärtige territoriale Verteilung der Ökoflächen ist aus Abbildung 28 ersichtlich.

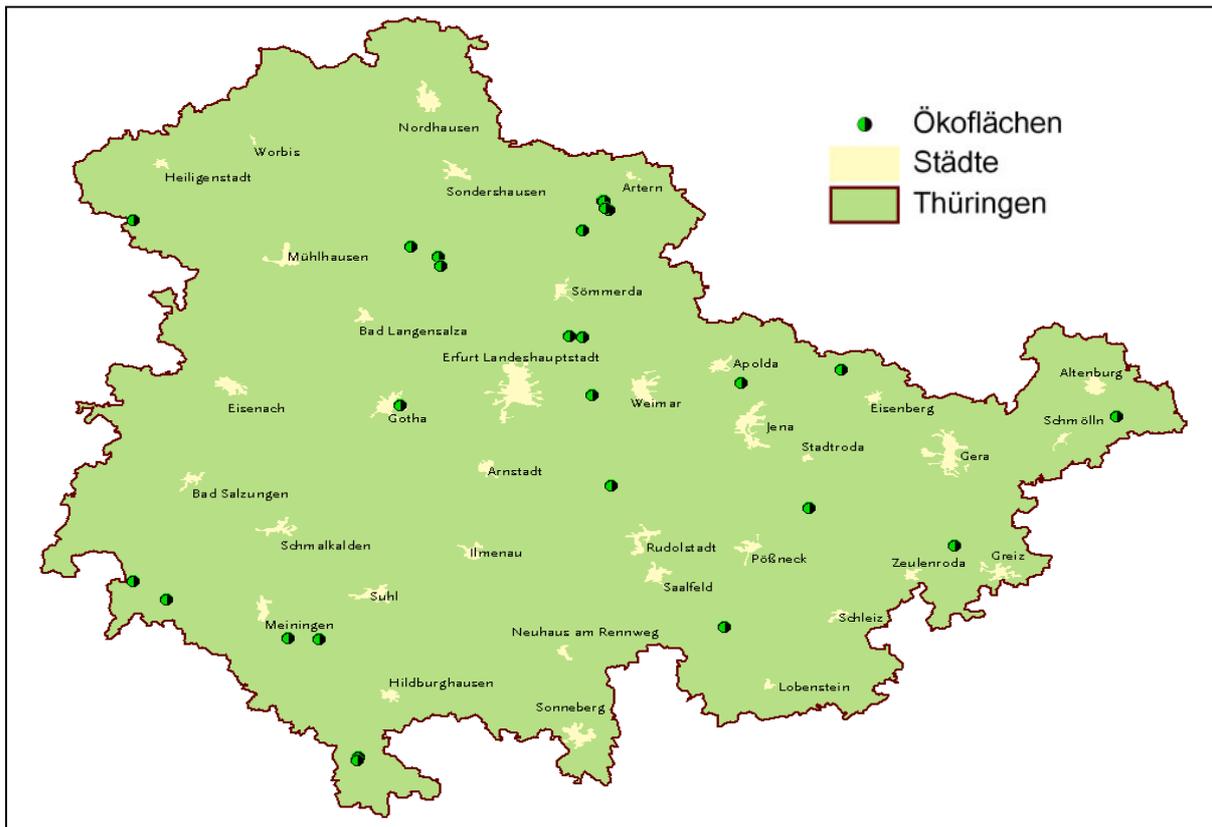


Abbildung 28: Übersicht über die N_{\min} -Ökoflächen in Thüringen (Stand: 2009)

Die ausgewählten Ökobetriebe sind nahezu auf alle Thüringer Agrargebiete verteilt und erlauben damit einen weitgehend repräsentativen Überblick über Thüringen (Tab. 22).

Tabelle 22: Übersicht über die N_{\min} -Dauertestflächen in Ökobetrieben Thüringens

Agrar- gebiet	Anzahl	Kreis	Geologische Herkunft	Bodenart	Nutzungsart
1	9	AP: 2 KYF: 2 UH: 2 GTH: 1 SÖM: 2	Löss 1/2: 4 Löss 3/4: 2 Keuper: 2 Alluvium: 1	IS: 1 sL/uL: 3 t' L: 2 tL: 2 IT: 1	AL: 8 GL: 1
2	2	ABG: 1 SHK: 1	Löss 3/4: 2	sL/uL: 2	AL: 2
3	1	SLF: 1	Muschelkalk: 1	t' L: 1	AL: 1
5	1	SOK: 1	Buntsandstein: 1	l' S: 1	AL: 1
6	2	SOK: 1 GRZ: 1	Schiefer: 2	sL/uL: 1 t' L: 1	AL: 2
7	4	SM: 2 HBH: 2	Buntsandstein: 1 Alluvium: 1 Keuper: 1 Röt: 1	IS: 1 sL/uL: 1 t' L: 1 IT: 1	AL: 4
8	2	SM: 2	Röt: 1 Muschelkalk: 1	tL: 2	AL: 1 GL: 1
	21				

Nach der Ernte

Die 9-jährigen Ergebnisse, die von den Ökoflächen nach der Ernte vorliegen, ergaben im Vergleich zu den konventionell bewirtschafteten Flächen im Mittel einen Gehaltsunterschied von 26 kg N_{min}/ha, entsprechend 35 % (konventionell: 75 kg/ha, ökologisch: 49 kg/ha), der durch den Verzicht auf eine Mineraldüngung auf Ökoflächen zurückzuführen ist (Tab. 23).

Tabelle 23: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) nach der Ernte nach der Bewirtschaftungsform

Bewirtschaftung	Mittel 1999 - 2004		2005		2006		2007		2008	Mittel 2005 - 2007		Mittel 1999 - 2007	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha		n	kg/ha	n	kg/ha
konventionell	1 368	80	345	74	349	75	308	56	keine Probenahme	1 002	69	2 370	75
ökologisch	94	54	25	52	25	46	22	33		72	44	166	49
Summe/Mittel	1 462	78	370	73	374	72	330	55		1 074	67	2 536	73

In den letzten drei Jahren betrug die N_{min}-Differenz 25 kg N_{min}/ha.

Die jährlichen N_{min}-Differenzen schwankten zwischen -22 kg N_{min}/ha (2005) und -29 kg N_{min}/ha (2006). Längerfristig betrachtet, ergibt sich nach der Ernte folgende Entwicklung (Abb. 29).

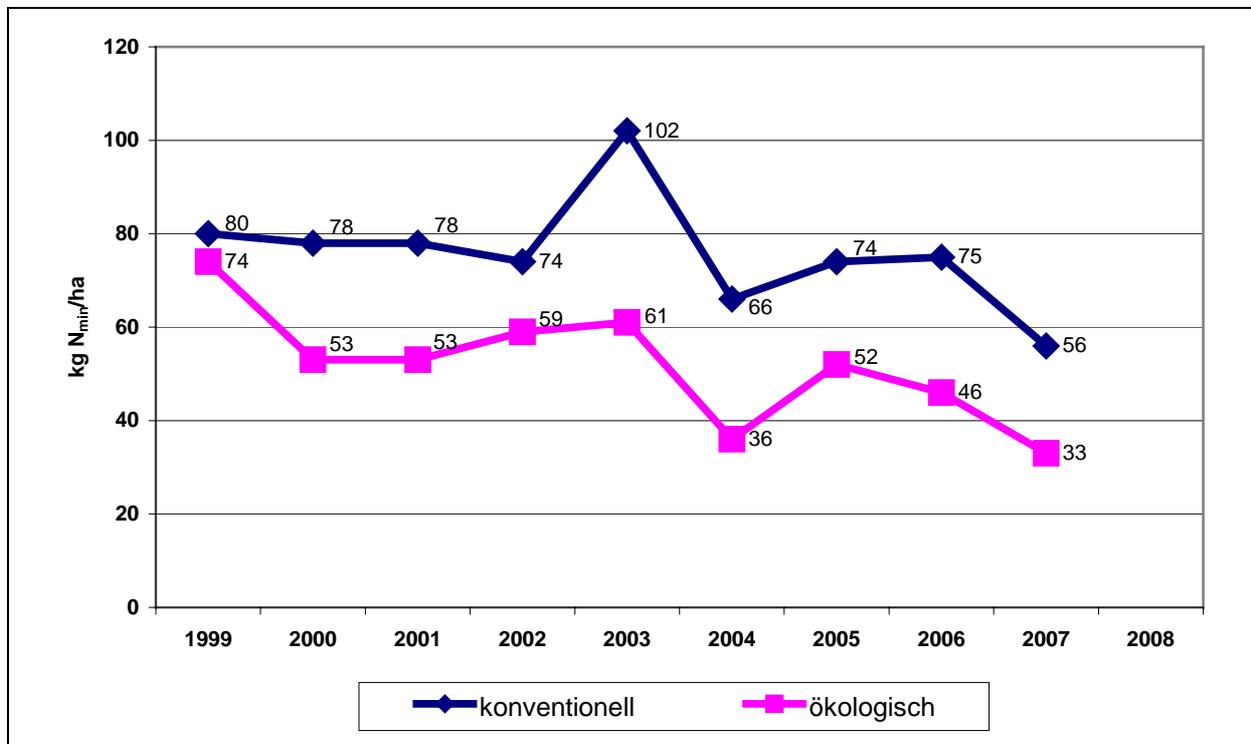


Abbildung 29: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung nach der Ernte 1999 bis 2007

Herbst (nach Vegetationsende)

Bis zur Herbstprobenahme hatte sich der Unterschied zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Flächen in den letzten vier Jahren von ursprünglich 25 kg/ha auf durchschnittlich 7 kg N_{min}/ha verringert (konventionell: 68 kg/ha, ökologisch: 61 kg/ha) [Tab. 24].

Tabelle 24: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Herbst nach der Bewirtschaftungsform

Bewirtschaftung	Mittel 1999 - 2004		2005		2006		2007		2008		Mittel 2005 - 2008		Mittel 1999 - 2008	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
konventionell	1 378	81	351	76	349	75	302	61	304	61	1 306	68	2 684	75
ökologisch	95	66	25	72	24	70	22	59	22	45	93	61	188	64
Summe/Mittel	1 473	80	376	76	373	75	324	60	326	60	1 399	68	2 872	74

Die jährlichen Schwankungen erreichten Werte von - 2 kg N_{min}/ha (2007) bis - 16 kg N_{min}/ha (2008). Die großen N_{min}-Gehaltsunterschiede zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftungsweise, in der vorhergehenden Auswertungsperiode 1999 bis 2004 festgestellt, traten in den letzten Jahren so nicht mehr auf (Ausnahme: Herbst 2008). Bei nahezu gleichbleibenden N_{min}-Gehalten auf den konventionell bewirtschafteten Flächen beruhte die Verringerung der N_{min}-Differenz vom Sommer zum Herbst ausschließlich auf der Zunahme der N_{min}-Gehalte auf den Ökoflächen. Das resultiert aus dem möglicherweise höheren N-Mineralisierungspotential der Ökoflächen.

Im zehnjährigen Mittel (1999 bis 2008) hat sich die Gehaltsdifferenz nach der Ernte zum Herbst von 26 kg/ha auf 11 kg N_{min}/ha verändert.

Die letzten 13 Jahre betrachtet, ergibt sich für die N_{min}-Gehalte im Herbst folgende Entwicklung (Abb. 30):

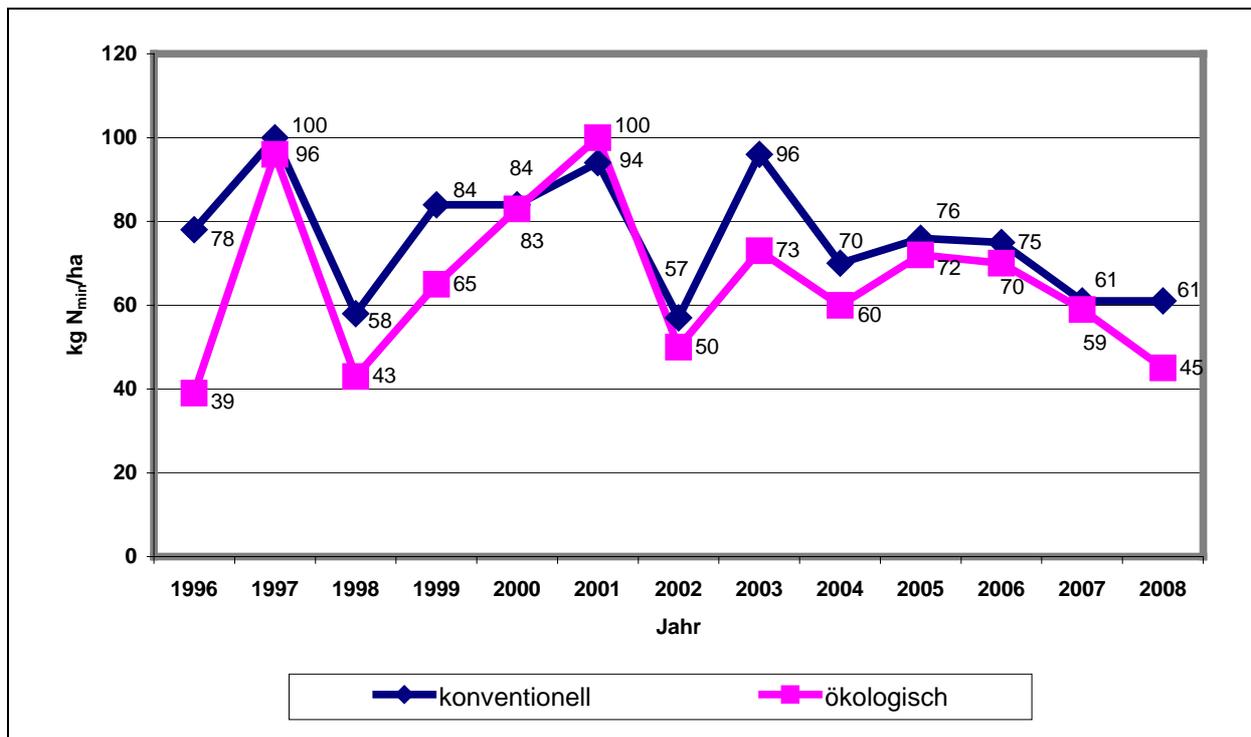


Abbildung 30: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung Herbst 1996 bis 2008

Frühjahr (Vegetationsbeginn)

Über Winter ging der N_{min}-Gehalt auf den konventionell bewirtschafteten Flächen von 58 kg/ha (2000 bis 2005) auf 49 kg/ha (2006 bis 2009), d.h. um 9 kg N_{min}/ha zurück, auf den Ökoflächen hingegen blieb er unverändert bei 47 kg/ha (Tab. 25).

Tabelle 25: N_{min}-Gehalt des Bodens (0 bis 60 cm Tiefe) im Frühjahr nach der Bewirtschaftungsform

Bewirt- schaftung	Mittel 2000 - 2005		2006		2007		2008		2009		Mittel 2006 - 2009		Mittel 2000 - 2009	
	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha	n	kg/ha
konventio- nell	1 359	58	347	63	300	48	304	39	306	44	1 257	49	2 616	54
ökologisch	95	47	25	60	22	49	22	38	22	41	91	47	186	47
Summe/ Mittel	1 454	57	372	63	322	49	326	39	328	43	1 348	49	2 802	53

Das bedeutet eine weitere Verringerung der Gehaltsdifferenz zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten Flächen von 11 kg N_{min}/ha (Spanne zwischen 0 kg/ha und 27 kg/ha) auf 2 kg/ha (Spanne: +1 bis -3 kg/ha).

Im zehnjährigen Mittel beträgt die Gehaltsdifferenz im Frühjahr noch 7 kg N_{min}/ha.

Aus den Untersuchungsergebnissen der letzten 14 Jahre ergibt sich folgende Entwicklung (Abb. 31).

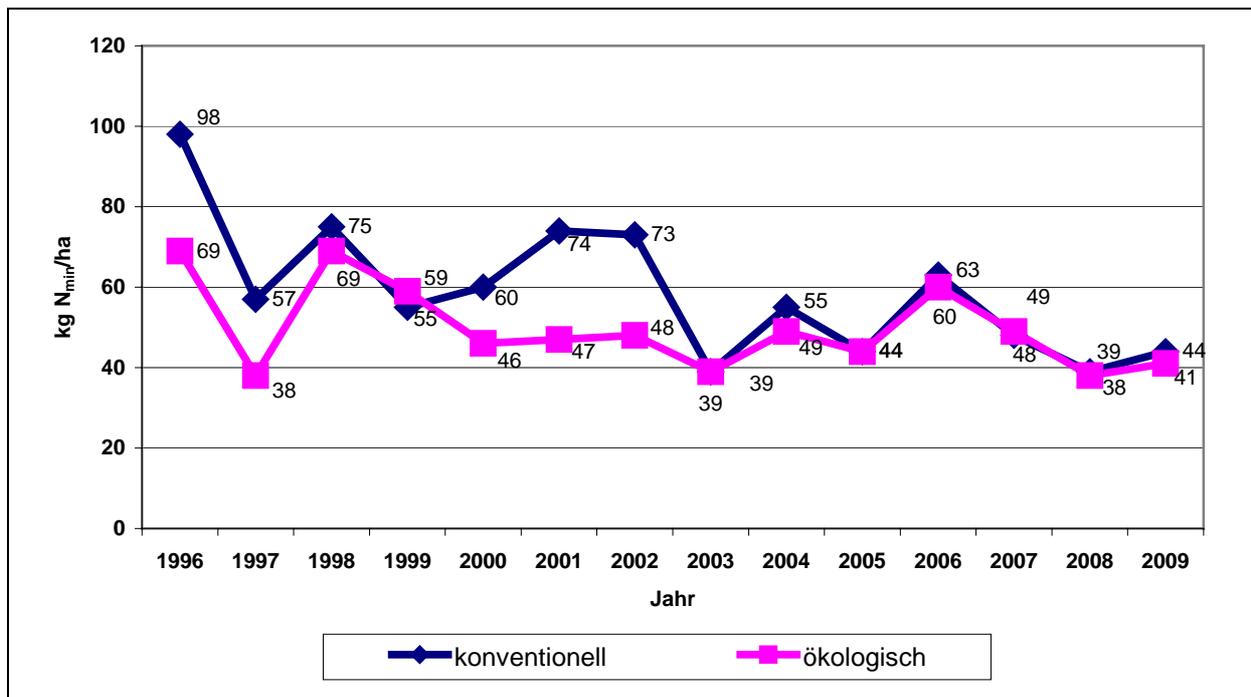


Abbildung 31: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung Frühjahr 1996 bis 2009

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zu allen Probenahmeterminen und den meisten Untersuchungsjahren auf Ökoflächen ein geringerer N_{min}-Gehalt ermittelt wurde als auf konventionell bewirtschafteten Flächen. Der N_{min}-Unterschied war zur Ermittlung der N_{min}-Restmengen im Boden nach der Ernte mit einer Minderung von etwa 26 kg N_{min}/ha besonders ausgeprägt. Der Verzicht auf die Anwendung synthetisch hergestellter Mineraldünger in Ökobetrieben ist als Hauptgrund hierfür zu nennen. Im Herbst betrug die N_{min}-Differenz im Mittel nur noch 11 kg N_{min}/ha und im Frühjahr nur noch 7 kg N_{min}/ha (Abb. 32).

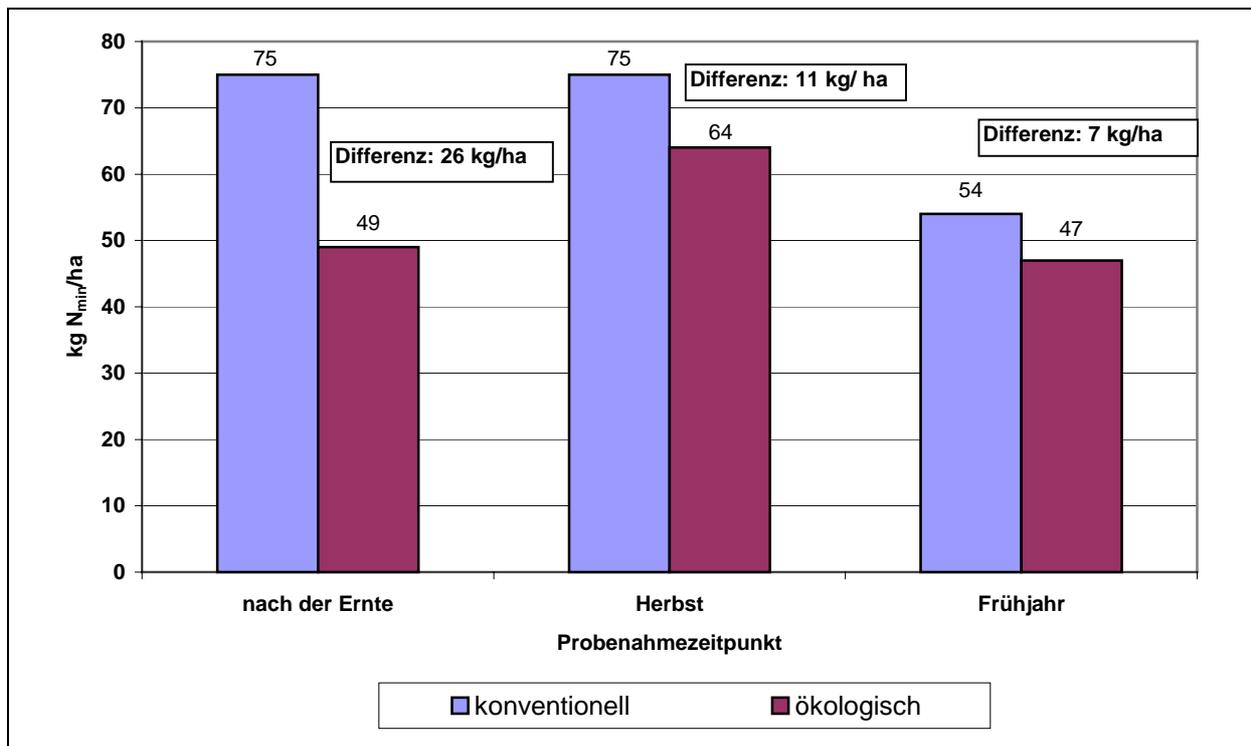


Abbildung 32: Entwicklung der N_{min}-Gehalte bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung in den Jahren 1999/2000 bis 2008/2009

Der deutliche Anstieg des N_{min}-Gehaltes auf den Ökoflächen im Zeitraum nach der Ernte bis Vegetationsende ist höchstwahrscheinlich auf die stärkere N-Mineralisierung der organischen Substanz zurückzuführen. Sie hat ihre Ursache in der intensiveren Bodenbearbeitung (Pflugfurche, mechanische Pflege), der stärkeren Anwendung organischer Dünger und dem vermehrten Anbau humus- und stickstoffmehrender Kulturen.

Das Ergebnis ist, dass im Frühjahr zu Vegetationsbeginn der Unterschied der N_{min}-Gehalte zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung nur noch <10 kg N_{min}/ha betrug. Die Ökoflächen sind offenbar in der Lage, im Zeitraum nach der Ernte bis Vegetationsbeginn den pflanzenverfügbaren N-Pool so aufzufüllen, dass das N-Angebot zum Vegetationsstart nahezu auf dem Niveau konventionell wirtschaftender Flächen angehoben wird und damit aufgrund der höheren N-Mineralisierungsleistung bessere Startbedingungen für die neue Ernte vorliegen als allgemein anzunehmen wäre.

4.1.6 Jahresverlauf der N_{min}-Gehalte bei 14-tägigen Probenahmeintervallen

Nach der Ernte 2003 wurde damit begonnen, vier N_{min}-Dauertestflächen das ganze Jahr über in 14-tägigen Abständen zu beproben. Das Ziel der Beprobung mit hoher zeitlicher Probenahmedichte war es, einen besseren Einblick in die N-Dynamik des Bodens unter verschiedenen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen zu erlangen. Dazu wurden auf Löss-Schwarzerde-Standorten im Thüringer Becken und auf Verwitterungsstandorten im Ostthüringer Buntsandsteingebiet je eine Dauertestfläche mit konventioneller und ökologischer Bewirtschaftungsweise ausgewählt. In Tabelle 26 sind wesentliche Standortangaben zusammengestellt.

Tabelle 26: Standortcharakteristik der N_{\min} -Dauertestflächen mit 14-tägiger Probenahme

DTF-Nr.	Bewirtschaftung	Bodenart	Geologische Herkunft	Ackerzahl	Agrargebiet	Steingehalt Ober-/Unterboden %	Humusgehalt %
20 DTF 12	Konv.	sL/uL 4	Löss	68	1	<5	3,1
416 DTF 11	Öko.	sL/uL 4	Löss	65	1	<5	2,6
159 DTF 7	Konv.	IS 3	Buntsandstein	32	5	<5	1,7
432 DTF 13	Öko.	IS 2	Buntsandstein	24	5	<5	1,5

Mit der 14-tägigen Probenahme ist es besser möglich festzustellen, zu welchen Zeiten des Jahres sehr hohe N_{\min} -Gehalte im Boden auftreten, die unter Umständen in der vegetationslosen Zeit zu einer Gefahr für die Umwelt werden könnten. Andererseits sind Zeiträume mit geringen N_{\min} -Gehalten erkennbar, in denen eine eventuelle N-Unterversorgung für das Pflanzenwachstum vorliegt. Von den nunmehr fünf Untersuchungs Jahren sind erste Informationen hierzu möglich.

Auf dem konventionell bewirtschafteten Lössstandort stieg der N_{\min} -Gehalt vom Sommer bis zum Herbst 2003 aufgrund der zu dieser Zeit günstigen N-Mineralisierungsbedingungen und der guten Vorfrucht Körnererbsen um etwa 40 kg N_{\min} /ha an (Abb. 33). Im Frühjahr 2004 sank dieser aufgrund der N-Aufnahme durch den Winterweizen und eventueller N-Verlagerung/N-Auswaschung auf etwa 40 kg N_{\min} /ha ab. Die in der Hauptwachstumsphase verabreichten mineralischen N-Gaben beeinflussten den N_{\min} -Gehalt nicht und wurden direkt pflanzenproduktiv verwertet. Zum Zeitpunkt der Abreife und Ernte war der Boden fast vollständig von pflanzenverfügbarem N entleert. Nach der Ernte stieg der N_{\min} -Gehalt infolge Bodenbearbeitungsmaßnahmen sowie Gülle- und Stallmistdüngung bis zum Spätherbst von 20 kg N_{\min} /ha auf 160 kg N_{\min} /ha an, um bis zum Frühjahr unter Schwarzbrachebedingungen auf etwa 100 kg N_{\min} /ha abzusinken, bevor die Kartoffelpflanzung erfolgte. In der Zeit des Kartoffelanbaus verharrte der N_{\min} -Gehalt dank mineralischer N-Düngung auf hohem Niveau, was sich auch bis zum Winter 2005/06 (Herbstaussaat von Winterweizen) nicht änderte. Erst mit Beginn der Vegetationszeit im Frühjahr 2006 sank der N_{\min} -Gehalt auf ca. 60 kg/ha, um nach der 2. und 3. N-Gabe wieder stetig anzusteigen. Offensichtlich wurde von den späteren N-Gaben nicht aller verabreichte Stickstoff von den Pflanzen verwertet. Im Winter 2006/07 erreichte der N_{\min} -Gehalt unter Schwarzbrache mit ca. 180 kg/ha seinen Höhepunkt. Der Anbau von Braugerste mit einer geringen Düngung von 30 kg N/ha senkte ihn auf 50 kg N_{\min} /ha ab, um sich im Herbst und Winter 2007/08 auf etwa 70 kg/ha einzupegeln.

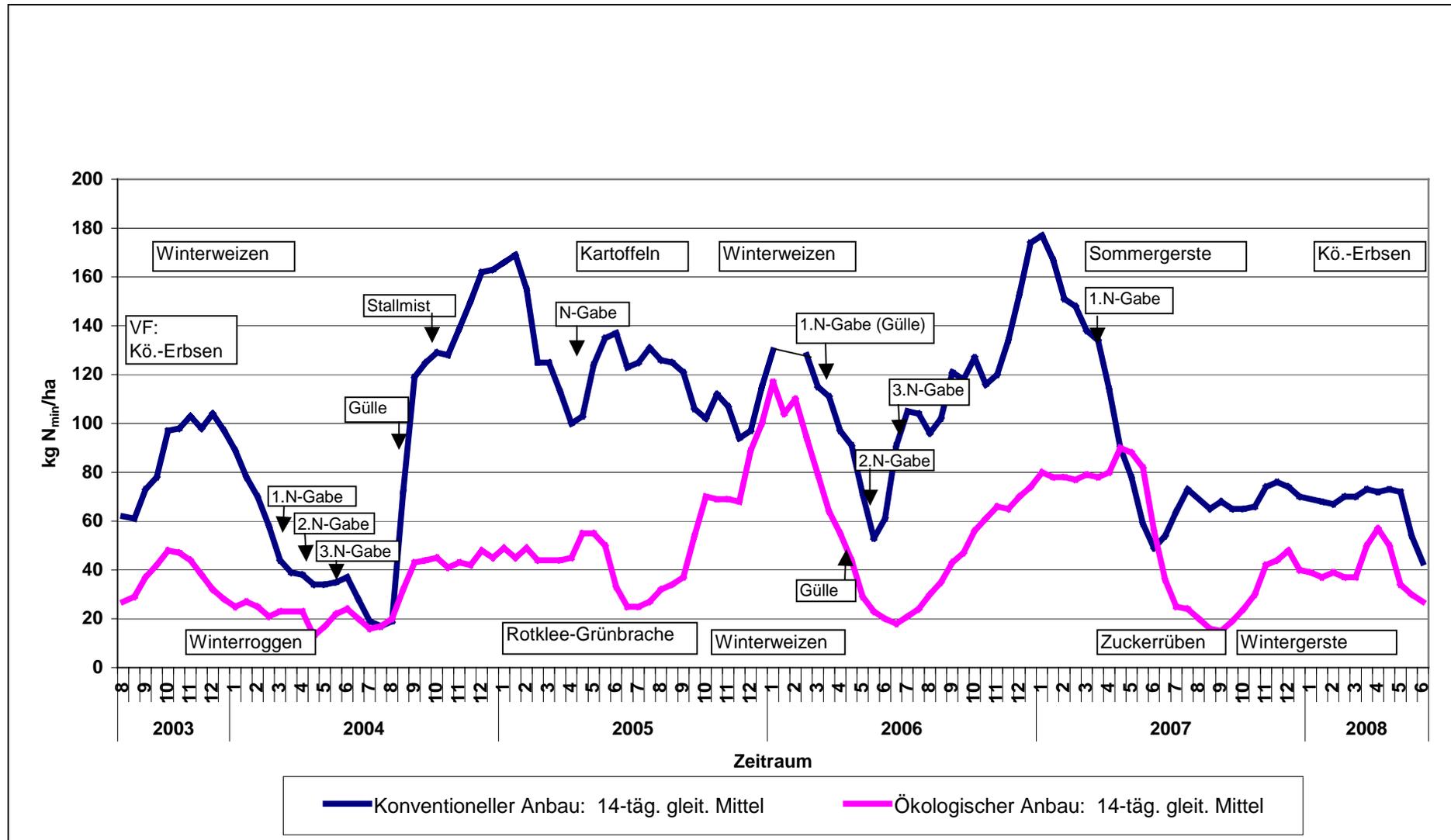


Abbildung 33: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftungsweise
Standorte: Löss-Schwarzerde

Auf dem vergleichbaren Standort mit ökologischer Bewirtschaftung fand im Herbst 2003 durch N-Mineralisierung ein N-Anstieg von 20 kg N_{\min} /ha auf 45 kg N_{\min} /ha statt, der bis zum Frühjahr 2004 durch die N-Aufnahme des Winterroggens wieder verbraucht wurde. Im Zeitraum Vegetationsbeginn bis zur Ernte wurden im Boden nur sehr niedrige N-Mengen festgestellt, die auf eine suboptimale N-Versorgung der Pflanzen schließen lassen. Durch N-Mineralisierung infolge Bodenbearbeitung stieg der N_{\min} -Gehalt bis zum Herbst von 20 kg N_{\min} /ha auf 45 kg N_{\min} /ha an, der sich bis zur Aussaat des Rotklees im Frühjahr 2005 kaum veränderte. Da im gesamten Untersuchungszeitraum keine N-Zufuhr über mineralische und organische Dünger erfolgte, bewegte sich der N_{\min} -Gehalt immer auf einem gering schwankenden, niedrigen Niveau. Nach Umbruch der Leguminosen-Grünbrache im Sommer und der Winterweizenaussaat stieg der N_{\min} -Gehalt bis zum Winter 2005/06 auf ca. 115 kg/ha steil an. Aufgrund des N-Entzuges des Winterweizens und trotz Gülledüngung sank der N_{\min} -Gehalt bis kurz vor der Ernte 2006 auf 20 kg/ha ab. In den folgenden Herbst- und Wintermonaten stieg der N_{\min} -Gehalt unter unbewachsenem Boden bis zum Frühjahr auf >80 kg/ha an, um nach der Zuckerrübenaussaat im Frühjahr 2007 bis zur Ernte im Herbst auf niedrige 10 kg/ha zurückzugehen. Das verbliebene N-reiche Zuckerrübenblatt führte zu einer Erhöhung des N-Pools, so dass die Wintergerste im Anbaujahr 2008 40 bis 50 kg N_{\min} /ha zur Verfügung hatte, was jedoch relativ schnell verbraucht war.

Eine ähnliche Entwicklung war auch auf dem Buntsandsteinstandorten zu beobachten. Das Wintergetreide auf dem konventionellen Standort hatte nach der Ernte 2003 geringe Rest-N-Mengen im Boden hinterlassen, die nach der Gülledüngung zu Winterraps von 40 kg N_{\min} /ha rasch auf über 100 kg N_{\min} /ha anstiegen (Abb. 30). Die hohen N-Mengen blieben bis zum Januar 2004 im Boden erhalten, um anschließend von den Rapspflanzen aufgenommen bzw. durch die Winterniederschläge im Boden verlagert zu werden. Zu Vegetationsbeginn 2004 war nur noch wenig N im Boden vorhanden. Durch N-Düngungsmaßnahmen wurde die N-Ernährung des Bestandes gesichert, was im April zu einem kurzfristigen N_{\min} -Anstieg im Boden führte. Nach der Ernte hatten sich wieder normale N_{\min} -Gehalte eingestellt. Bodenbearbeitungsmaßnahmen verursachten im Herbst einen N-Mineralisierungsschub von 20 bis 30 kg N_{\min} /ha. Im Frühjahr 2006 ging der N_{\min} -Gehalt, wahrscheinlich durch N-Verlagerung, auf 50 kg/ha zurück, um nach der Anwendung von Gärresten aus der Biogasanlage (Biogasgülle) auf über 200 kg/ha anzusteigen. Auch der Anbau von Silomais im Jugendstadium konnte wegen geringem N-Entzug den Anstieg nicht abbremsen. Nach der Maisernte betrug der N_{\min} -Gehalt noch 80 kg/ha und stieg nach einer Gülledüngung zu Winterweizen erneut an. Im Jahr 2007 ging der N_{\min} -Gehalt trotz dreier N-Gaben auf ein niedriges Niveau <50 kg/ha zurück. Der dem Winterweizen folgende Winterraps nahm den im Sommer 2007 ausgebrachten Stickstoff in Form von Biogasgülle ab Spätherbst 2007 auf. Auch zwei mineralische N-Gaben im Frühjahr 2008 erhöhten den N_{\min} -Gehalt nur unbedeutend, der Stickstoff wurde von den Rapspflanzen direkt verwertet.

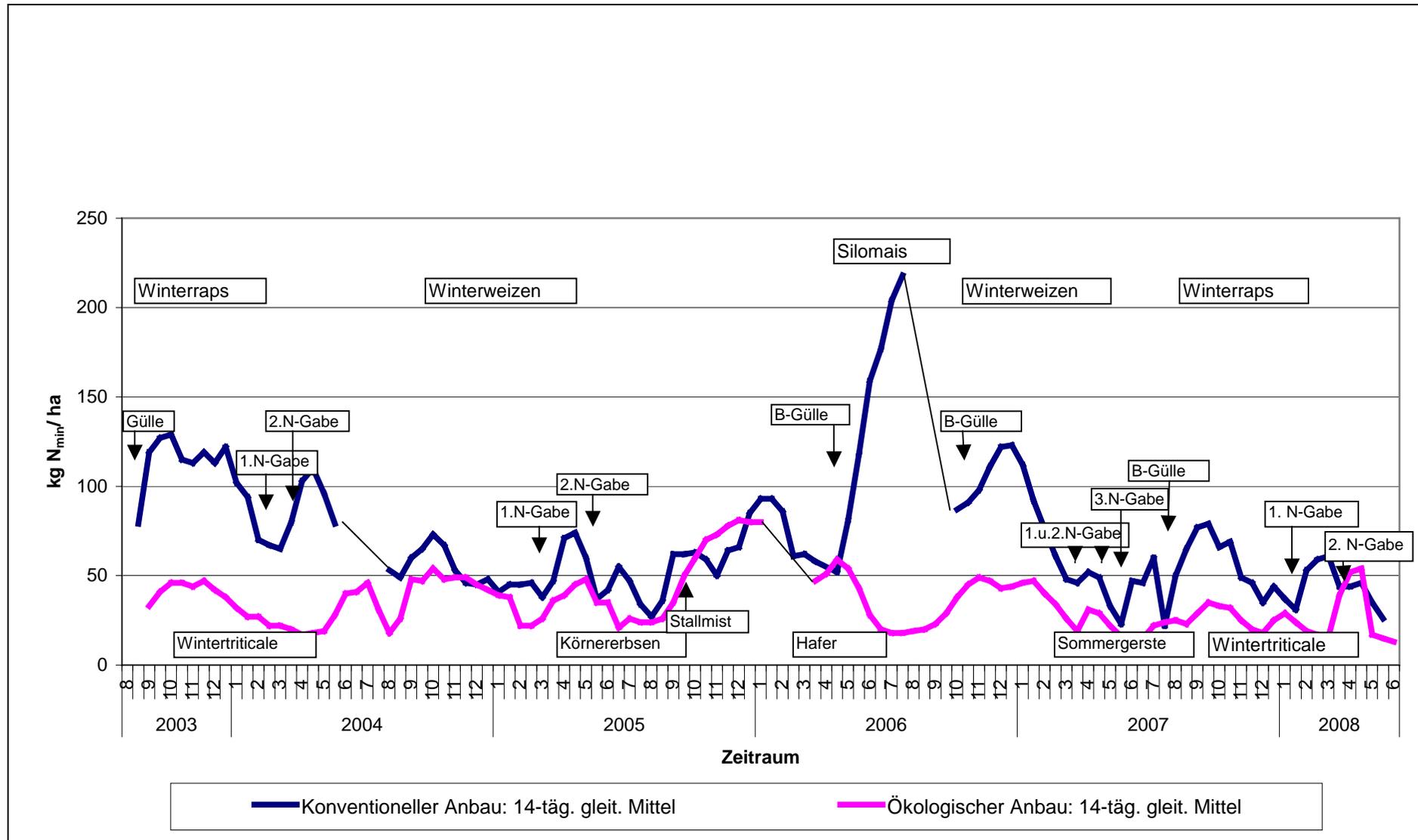


Abbildung 32: Entwicklung des N_{min}-Gehaltes bei konventioneller und ökologischer Bewirtschaftungsweise
Standorte: Buntsandstein

Auf dem leichten, ökologisch bewirtschafteten Buntsandsteinstandort wurde nach der Getreideernte 2003 ein sehr niedriger N_{\min} -Gehalt festgestellt. Durch N-Nachlieferung aus dem Bodenpool stieg der N_{\min} -Gehalt im Herbst um ca. 20 kg N_{\min} /ha an. N-Aufnahme durch die Pflanzen (Wintertriticale) und mögliche N-Verlagerung reduzierten den N-Vorrat im Boden bis zum Vegetationsbeginn beträchtlich. In der Hauptwachstumszeit war kaum Stickstoff vorrätig und die Pflanzen dürften in dieser Zeit unter N-Mangel gelitten haben. Ende Mai 2004 war infolge der N-Mineralisierung ein deutlicher Anstieg des N_{\min} -Gehaltes im Boden festzustellen, der bis zur Ernte von den Pflanzen wieder aufgenommen worden ist. Während der anschließenden Winterbrache stieg der N_{\min} -Gehalt im Herbst leicht an, um bis zum Frühjahr infolge möglicher N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten auf ein sehr niedriges Niveau abzusinken.

Nach der Körnererbsenernte im Sommer 2005 führte eine Stallmistdüngung in Verbindung mit der Umsetzung der N-reichen Ernte- und Wurzelrückstände zu einem N_{\min} -Anstieg auf ca. 80 kg/ha im Herbst und Winter 2005/06. Der folgende Haferanbau reduzierte den N_{\min} -Gehalt erneut. Nach der Ernte 2006 stieg der N_{\min} -Gehalt im Herbst infolge N-Mineralisation (Nachwirkung der Stallmistdüngung) erneut an. Die folgenden Kulturen Sommergerste (2007) und Wintertriticale (2008) mussten mit sehr wenig pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden auskommen und dürften wohl in der Vegetation unter N-Mangel gelitten haben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass N-Düngungsmaßnahmen (min.-org.) und N-Mineralisierung, überwiegend verursacht durch Bewirtschaftungs-(Bodenbearbeitungs-)maßnahmen zu einem mehr oder weniger starken Anstieg des N_{\min} -Gehaltes im Boden führen können. In der Vegetationsperiode ist das weitgehend unproblematisch, da der Stickstoff unmittelbar durch die Pflanzen verwertet werden kann. Tritt diese Konstellation jedoch in der vegetationslosen Winterperiode auf, besteht die Gefahr einer vermeidbaren N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten bzw. die N-Auswaschung in den Grundwasserleiter, was letztlich eine Umweltbelastung darstellt.

Auf den Flächen mit ökologischer Bewirtschaftungsweise waren hohe N_{\min} -Vorräte im Boden im gesamten Untersuchungszeitraum selten zu beobachten, aber nicht auszuschließen. Im Gegenteil, das geringe N-Angebot in der Hauptwachstumsphase führt hier in der Regel zu einer N-Unterversorgung der Pflanzenbestände.

4.2 Stickstoffbilanz (N-Saldo) auf Dauertestflächen

Die bisherige und neue Düngeverordnung schreiben im § 5 (Nährstoffvergleiche) die jährliche Berechnung von Stickstoffbilanzen (Stickstoffvergleichen) auf Betriebsebene vor. Für die N_{\min} -Dauertestflächen wurden auf dieser fachlichen Grundlage Stickstoffbilanzen als Schlagbilanz (Flächenbilanz) berechnet.

Dabei werden die N-Zufuhr (kg N/ha)

- aus Handelsdüngern,
- aus Wirtschaftsdüngern,
- aus Abfällen (Klärschlamm, Kompost o.ä.),
- aus legumer N-Bindung

und die N-Abfuhr

- mit dem Erntegut (Pflanzenentzug), abzüglich Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld (z.B. Stroh, Rübenblatt),
- durch Beweidung

gegenübergestellt und saldiert.

Als Berechnungsgrundlage dienen:

Düngermengen, Ernteerträge	betriebliche Angaben, Übernahme der Daten aus der Schlagkarte
Nährstoffgehalte der Pflanzen	Broschüre: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“, Heft 7/2007, Anlage 11
Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern und anderen organischen Düngestoffen	Broschüre: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“, Heft 7/2007, Anlage 9
Symbiotische N-Bindung	Broschüre: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“, Heft 7/2007, Anlage 10

Bei Wirtschaftsdüngern wurden gemäß Düngeverordnung folgende Verlustquellen bereits berücksichtigt:

Lagerungsverluste: Stallmist: 25 %, Gülle, Jauche: 10 %
Ausbringungsverluste: Stallmist: 20 %, Gülle, Jauche: 20 %

Bei den berechneten N-Salden handelt es sich demnach um eine Netto-N-Bilanz gemäß Düngeverordnung, N-Mineraldüngeräquivalente wurden nicht berücksichtigt.

4.2.1 N-Saldo nach Jahren

Die Berechnung von N-Salden erfolgte analog zu den letzten Auswertungen jährlich für den Zeitraum 2005 bis 2008 und als Mittel der vier Jahre. Zur Erlangung eines langjährigen Gesamtüberblicks wurden Daten von vorangegangenen Auswertungen der Jahre 1993 bis 1998 bzw. 1999 bis 2004 zusätzlich in die Betrachtungen einbezogen (Tab. 27; Abb. 33).

Tabelle 27: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo auf N_{min}-Dauertestflächen in den Jahren 1993 bis 2008 (kg N/ha)

Position	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2005 - 2008	1999 - 2004	1993 - 1998	1993 - 2008	
Anzahl Schläge	359	357	387	389	392	393	393	393	407	407	405	375	373	370	338	331	1 412	2 380	2 277	6 069	
N-Zufuhr	min.	-	-	120	103	113	114	123	128	129	134	124	125	121	116	115	124	119	127	(113)	120
	organ.	-	-	32	39	39	40	32	39	32	33	32	35	33	38	35	30	34	34	(38)	35
	legum	-	-	12	14	12	10	7	7	8	6	7	5	7	8	8	7	8	7	(12)	9
N-Zufuhr, gesamt	152	141	164	156	165	164	162	174	170	173	163	165	161	163	159	161	161	168	157	163	
N-Abfuhr	126	120	126	129	133	135	135	137	143	127	117	150	132	134	138	135	135	135	128	133	
N-Saldo	26	21	38	27	32	29	27	37	27	46	46	15	29	29	22	26	26	33	29	30	
Min.	-	-	-339	-220	-188	-159	-198	-162	-151	-159	-122	-133	-183	-118	-199	-123	-199	-198	-339	-339	
Max.	-	-	430	466	344	733	552	561	325	624	346	344	310	279	614	264	614	624	733	624	
Median	4	0	23	5	20	18	16	18	25	38	38	7	23	20	17	23	21	24	12	20	
s %	96	87	225	350	251	298	306	237	259	191	166	466	244	226	377	268	271	241	218	247	
90. Perzentil	-	-	-	-	-	-	128	140	115	133	155	102	112	109	110	110	110	132	-	121	
s	25	18	86	95	80	86	81	88	71	87	77	72	70	66	81	69	72	80	65	73	

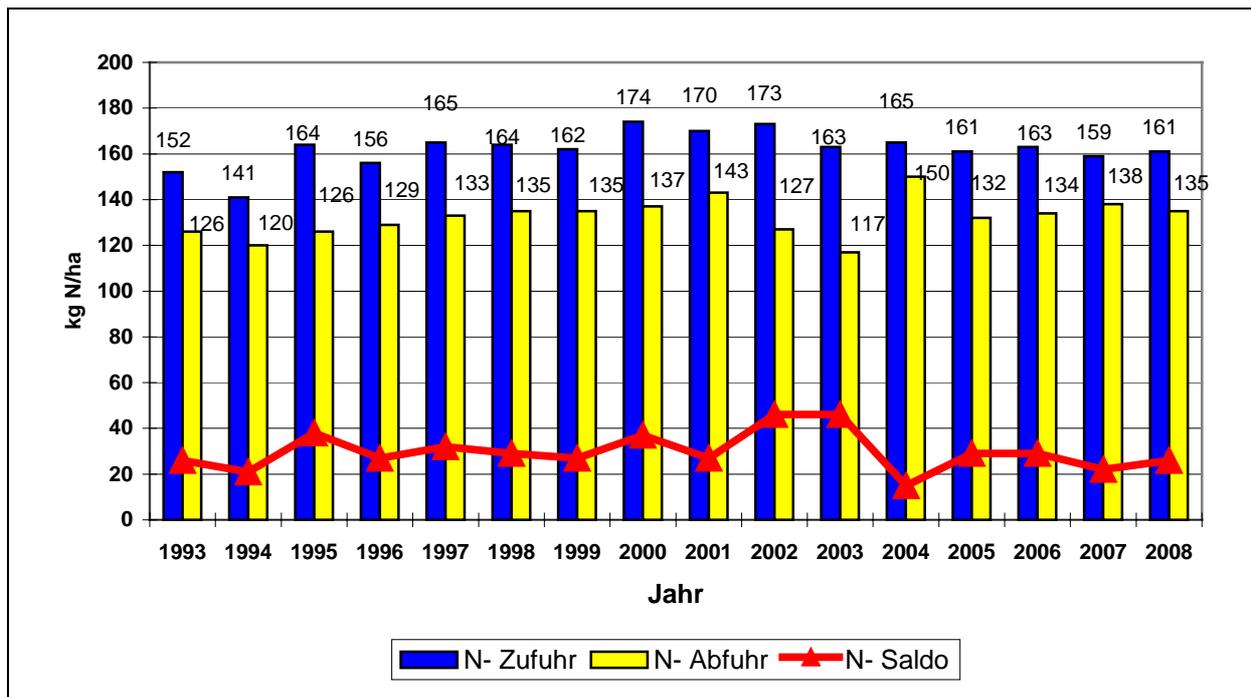


Abbildung 33: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo in den Jahren 1993 bis 2008

Die Gesamt-N-Zufuhr betrug im Mittel der Jahre 2005 bis 2008 = 161 kg N/ha (Min. - Max.: 159 bis 163 kg N/ha) und im 16-jährigen Zeitraum 1993 bis 2008 163 kg N/ha. Dem stand eine N-Abfuhr von 135 kg N/ha (Min. - Max.: 132 bis 138 kg N/ha) im vier-jährigen Mittel 2005 bis 2008 und 133 kg N/ha im 16-jährigen Mittel gegenüber. Aus beiden Werten errechnete sich ein N-Saldo von 26 kg N/ha (Min. - Max.: 22 bis 29 kg N/ha) im Zeitraum 2005 bis 2008 bzw. 30 kg N/ha im Zeitraum 1993 bis 2008. Die N-Zufuhr lässt sich in die

- Zufuhr über Mineraldünger

2005 bis 2008: 119 kg N/ha (Min. - Max.: 115 bis 124 kg N/ha)
 1999 bis 2004: 127 kg N/ha (Min. - Max.: 123 bis 134 kg N/ha)
 1995 bis 2004: 120 kg N/ha

- Zufuhr über organische Dünger

2005 bis 2008: 34 kg N/ha (Min. - Max.: 30 bis 38 kg N/ha)
 1999 bis 2004: 34 kg N/ha (Min. - Max.: 32 bis 39 kg N/ha)
 1995 bis 2004: 35 kg N/ha und

- Zufuhr über die legume N-Bindung

2005 bis 2008: 8 kg N/ha
 1999 bis 2004: 7 kg N/ha
 1995 bis 2004: 9 kg N/ha

aufsplitten.

Die höheren N-Salden (2002, 2003) errechneten sich in der Regel in Jahren niedrigerer Erträge und die geringeren N-Salden (2004, 2007, 2008) in Jahren mit höheren Durchschnittserträgen.

Im Vergleich zu den Bilanzrechnungen in früheren Jahren haben sich keine gravierenden Änderungen ergeben. Die durchschnittlichen jährlichen N-Salden resultieren aus sehr stark streuenden Einzelwerten, wie die Angabe der Minimum-/Maximum-Werte und anderer statistischer Maßzahlen zeigt. Der Medianwert weicht zum Teil stark vom arithmetischen Mittel ab, so dass auch bei derartigen Auswertungen die Angabe beider Mittelwerte erforderlich ist.

Während die N-Zufuhr über organische Dünger bzw. legume N-Bindung im Auswertungszeitraum im Vergleich zu den Vorjahren nahezu gleich geblieben ist, sank der N-Mineraldüngereinsatz tendenziell.

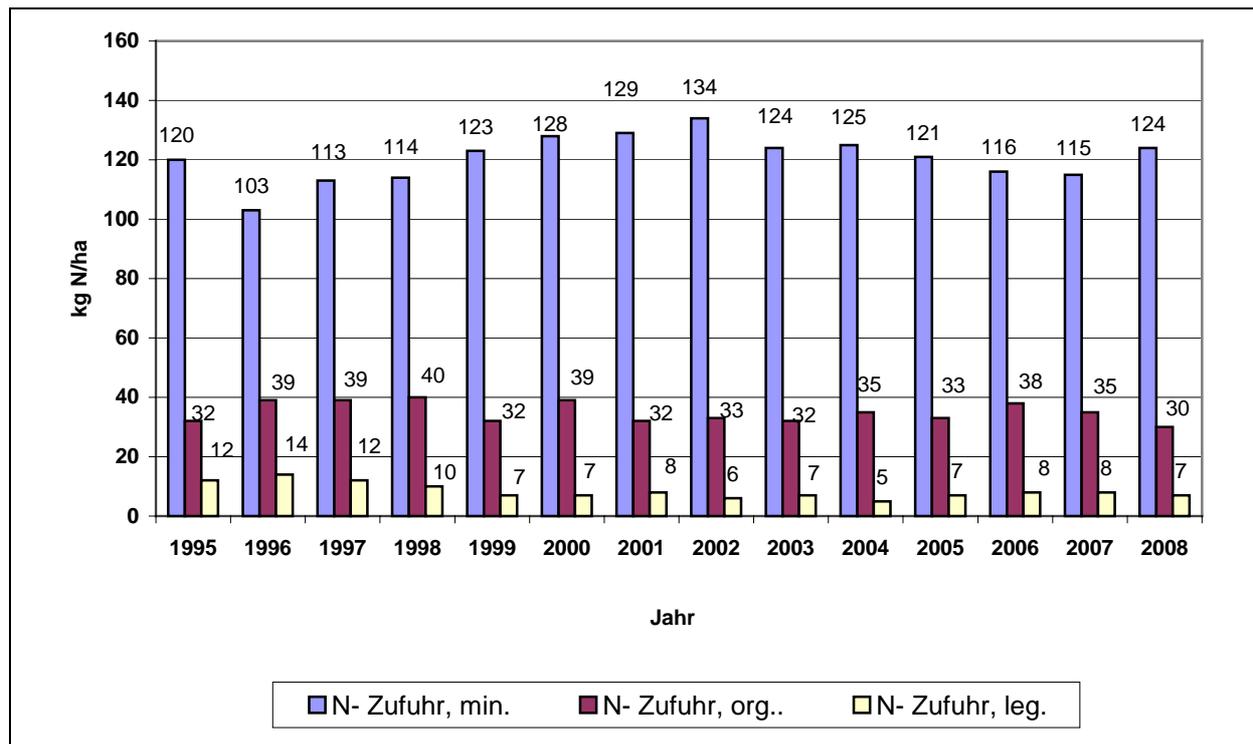


Abbildung 34: N-Zufuhr auf N_{min} -Dauertestflächen in den Jahren 1995 bis 2008

4.2.2 N-Saldo nach Fruchtartengruppen und Kulturen

Die Unterteilung der N-Salden nach Fruchtarten und deren Gruppierung nach steigenden N-Salden ergab im Mittel der Jahre 1999 bis 2008 negative N-Bilanzen bei Feldgras, Futterleguminosen und Grünland (Abb. 35).

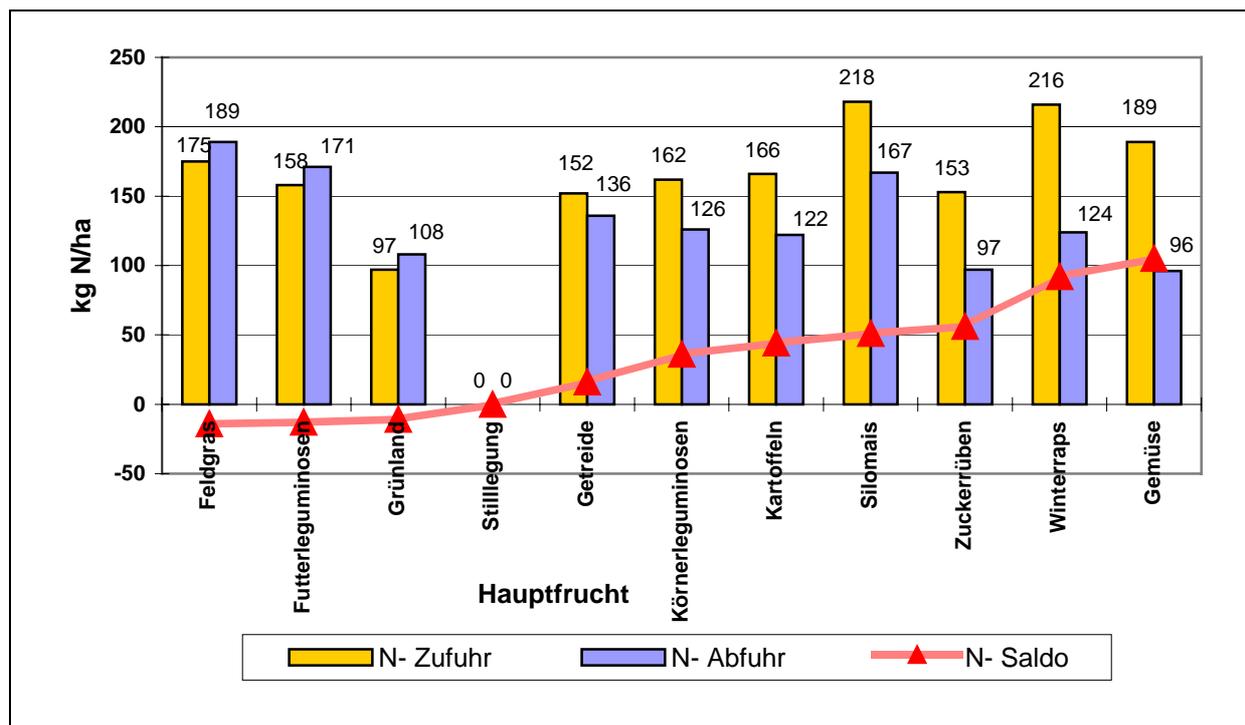


Abbildung 35: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo nach Fruchtarten in den Jahren 1999 bis 2008

Ausgeglichene N-Salden wurden auf Stilllegungsflächen, bei Getreide und Körnerleguminosen und positive N-Salden in der Reihenfolge nach Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben, Winterraps und Gemüse errechnet (Tab. 28).

Tabelle 28: N-Saldo von N_{\min} -Dauertestflächen nach Fruchtarten in den Jahren 1999 bis 2008 (kg N/ha)

Fruchtart	Anzahl	N-Zufuhr gesamt	N-Abfuhr	N-Saldo
Feldgras	132	175	189	-14
Kleegrass	56	158	171	-13
Grünland	178	97	108	-11
Stilllegung	23	0	0	0
Getreide	2 168	152	136	16
Körnerleguminosen	100	162	126	36
Kartoffeln	59	166	122	44
Silomais	343	218	167	51
Zuckerrüben	60	153	97	56
Winterraps	600	216	124	92
Gemüse	58	193	88	105
gesamt	3 792	165	135	30

Bei Kartoffeln und Silomais sind in erster Linie die im Rahmen der Fruchtfolge ausgebrachten N-Mengen aus der organischen Düngung (Gülle bei Mais, Stallmist bei Kartoffeln), deren N-Mengen im Anwendungsjahr auf die Fruchtarten voll angerechnet werden, für den positiven N-Saldo verantwortlich. Bei Zuckerrüben ist die gleiche Situation gegeben, nur verbleibt hier noch zusätzlich das Rübenblatt auf dem Feld

und ist deshalb nicht bei der N-Abfuhr anrechenbar. Da Zuckerrübenblatt besonders N-reich ist, wird ein an sich negativer bzw. ausgeglichener N-Saldo zu einem N-Bilanzüberschuss.

Der hohe N-Bilanzüberschuss bei Winterraps ergab sich einerseits aus dem sehr hohen Mineraldüngereinsatz bei zusätzlicher Gülleanwendung (N-Zufuhr >200 kg/ha) und andererseits aus dem Verbleib des Rapsstrohs auf dem Feld, so dass nur der vom Korn entzogene Stickstoff als N-Abfuhr angerechnet werden kann. Bei Gemüse (vorwiegend Blumenkohl) ist die sehr hohe N-Mineraldüngung von >190 kg/ha und die geringe N-Abfuhr mit den Ernteprodukten (<100 kg N/ha) Ursache für den hohen positiven N-Saldo.

Der fruchtartenabhängige Vergleich von N-Bilanz und N_{\min} -Gehalt im Herbst führte nicht immer zu analogen Ergebnissen. Kulturen mit negativem N-Saldo wiesen zwar die niedrigsten N_{\min} -Gehalte im Herbst auf, aber hohe N_{\min} -Gehalte resultieren nicht immer aus hohen N-Bilanzüberschüssen (Abb. 36).

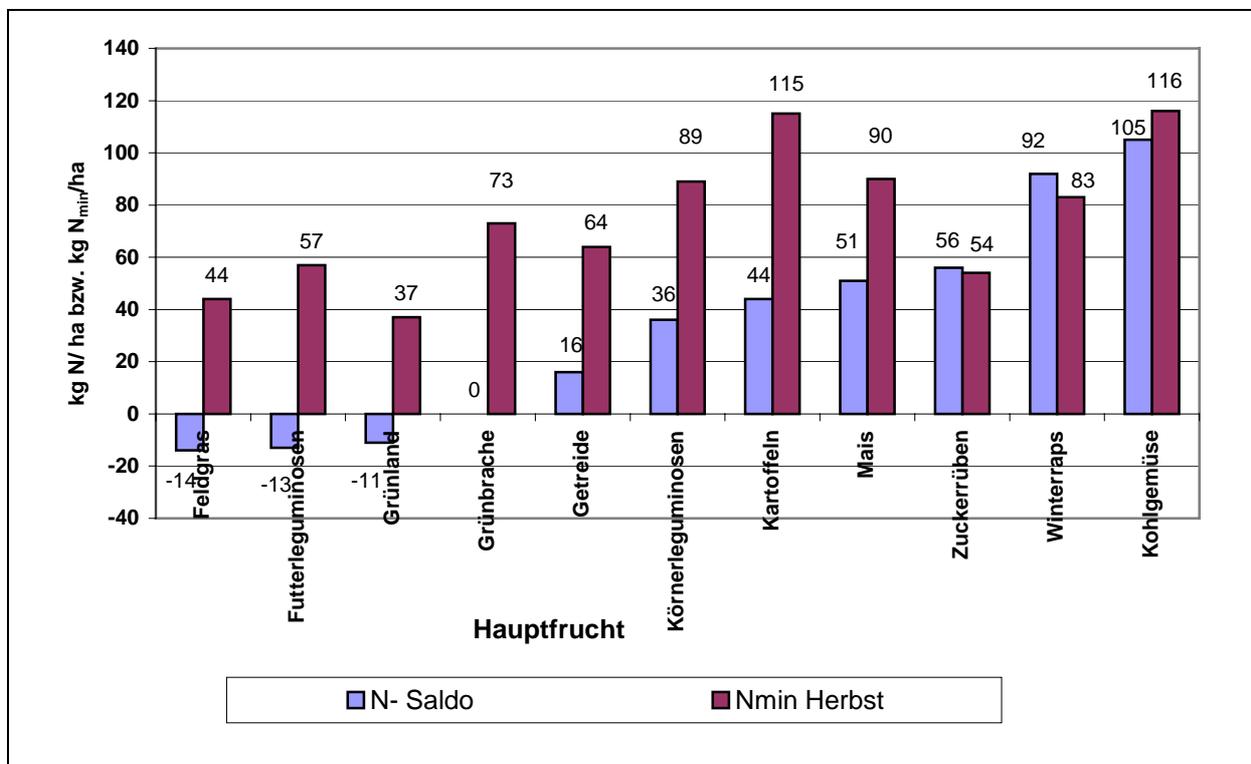


Abbildung 36: Beziehung zwischen N-Saldo und N_{\min} -Gehalt im Herbst auf Dauertestflächen 1999 bis 2008

Abweichende Beziehungen wurden bei Körnerleguminosen und Kartoffeln festgestellt, wo ein niedriger N-Saldo höhere N_{\min} -Gehalte verursachte. Bei Zuckerrüben hingegen wurde ein relativ hoher N-Saldo errechnet, obwohl die folgenden N_{\min} -Gehalte im Herbst niedrige Werte aufwiesen. Trotz Nichtberücksichtigung des in der Regel auf dem Feld verbleibenden Nebenernteproduktes Zuckerrübenblatt bei der N-Bilanzierung das, wie bereits festgestellt, hohe N-Mengen auf dem Feld hinterlässt, lagen die N_{\min} -Gehalte unter denen vergleichbar hoher N-Salden. Als Ursache kann gelten, dass das Rübenblatt noch nicht mineralisiert war und demzufolge der Stickstoff nicht als N_{\min} erfasst wurde. Bei Winterraps und Gemüse (Blumenkohl) sind sowohl hohe N-Salden, als auch hohe N_{\min} -Gehalte im Herbst festgestellt worden.

Die weitere Unterteilung des Getreides in die einzelnen Kulturen führte zu dem Ergebnis, dass die Getreidearten Dinkel (extensiv bewirtschaftet) und die Sommerungen Braugerste und Sommerweizen bei unterschiedlichem N-Düngungsniveau alle einen negativen N-Saldo aufwiesen (Abb. 37).

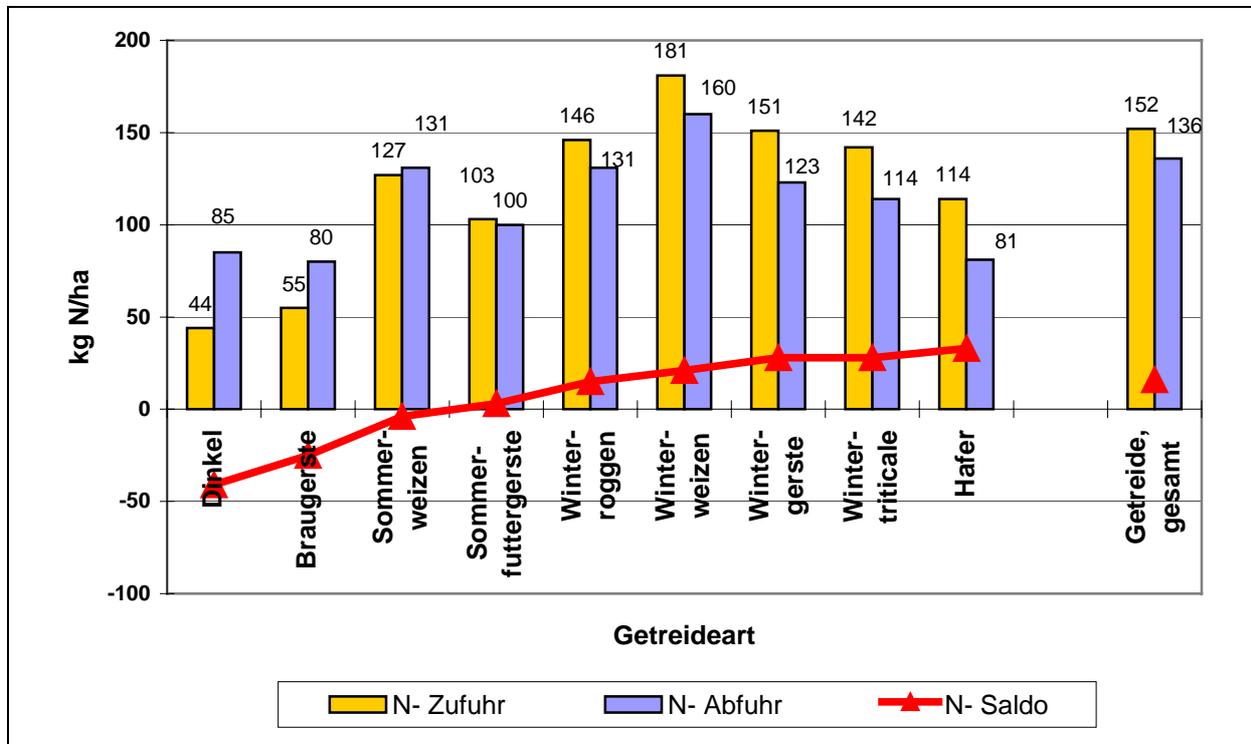


Abbildung 37: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo nach Getreidearten in den Jahren 1999 bis 2008

Winterweizen als die am intensivsten gedüngte Getreideart (ca. 80 % des Winterweizens wird als Qualitätsweizen [E- und A-Weizen] angebaut) erzielte aber auch den höchsten N-Entzug, so dass daraus ein mittlerer N-Saldo von 22 kg/ha resultierte. Höhere N-Salden ergaben sich trotz geringerer N-Düngung beim Anbau von Wintergerste und Wintertriticale, da auch das Ertragsniveau deutlich niedriger als bei Winterweizen war. Der hohe N-Bilanzüberschuss bei Hafer überrascht, weil die N_{\min} -Gehalte im Herbst ähnlich niedrig lagen wie bei Dinkel und Braugerste. Auffällig war, dass eine Reihe von Haferschlägen eine organische Düngung erhielten. Hier kam es offensichtlich auch zu kurzfristigen Anbauveränderungen (Hafer anstelle von Kartoffeln, Zuckerrüben oder Mais).

Die Unterteilung der Winterweizenergebnisse nach Qualitätsklassen ergab, dass E-Weizen aufgrund der 3. und zum Teil 4. N-Gabe (Qualitätsgaben) die höchste N-Zufuhr aufwies, aber auch dem Boden die höchsten N-Mengen entzog (Abb. 38). Zwischen A- und B-Weizen bestanden geringe Unterschiede bei N-Zufuhr und N-Abfuhr. Insgesamt unterschieden sich die N-Salden zwischen den Qualitätsklassen nur geringfügig.

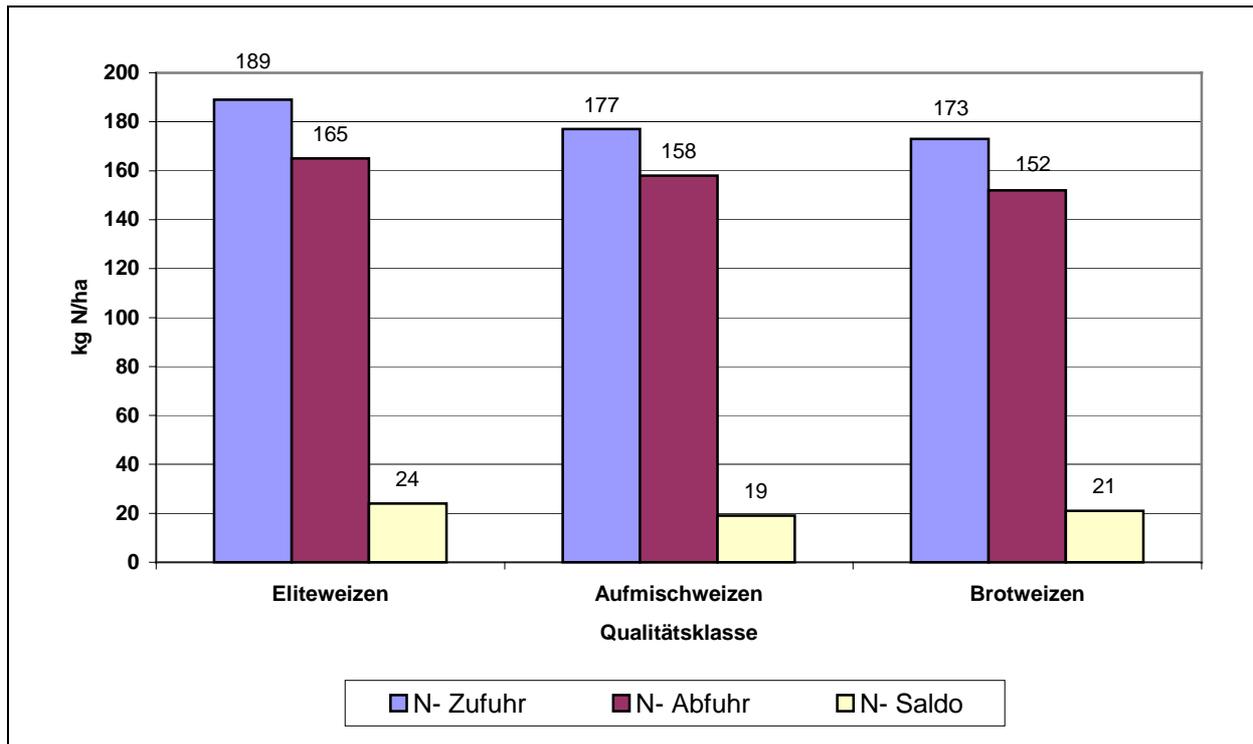


Abbildung 38: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo bei Winterweizen nach Qualitätsklassen 1999 bis 2008

Die gegenwärtige Diskussion, dass durch den sehr hohen E- und A-Weizenanteil am Winterweizenanbau in Thüringen hohe positive N-Salden verursacht werden, kann anhand der zehnjährigen Einzelschlagenerhebungen von über 1 000 Weizenschlägen nicht bestätigt werden.

Auch eine Aufteilung der Untersuchungsergebnisse auf die zwei Untersuchungszeiträume 1999 bis 2004 und 2005 bis 2008 führt zu nur marginalen N-Saldo-Unterschieden (Abb. 39).

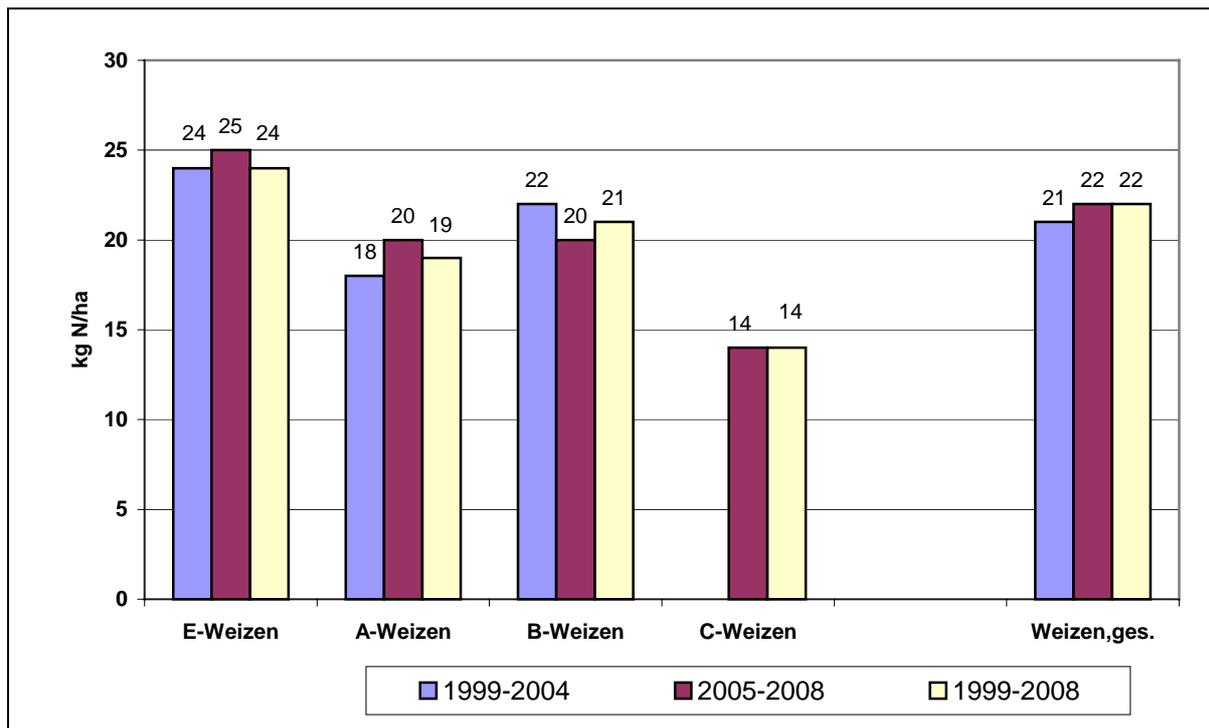


Abbildung 39: N-Saldo bei Winterweizen nach Qualitätsklassen 1999 bis 2008

4.2.3 N-Saldo mit und ohne Strohdüngung

Auf den in den Jahren 1999 bis 2008 ausgewerteten Getreideflächen wurde das Nebenernteprodukt Stroh zu 51 % der Schläge vom Feld abgefahren und zu 49 % verblieb es auf dem Acker.

Die N-Zufuhr war auf den Flächen, auf denen das Stroh auf dem Feld verblieben war, um 9 kg N/ha höher als auf den Flächen wo das Stroh abgefahren wurde. Die N-Abfuhr lag auf letzterem aber um 14 kg höher.

Daraus resultiert, dass im Mittel mit dem Stroh 23 kg N/ha vom Feld abgefahren wurden (Abb. 40).

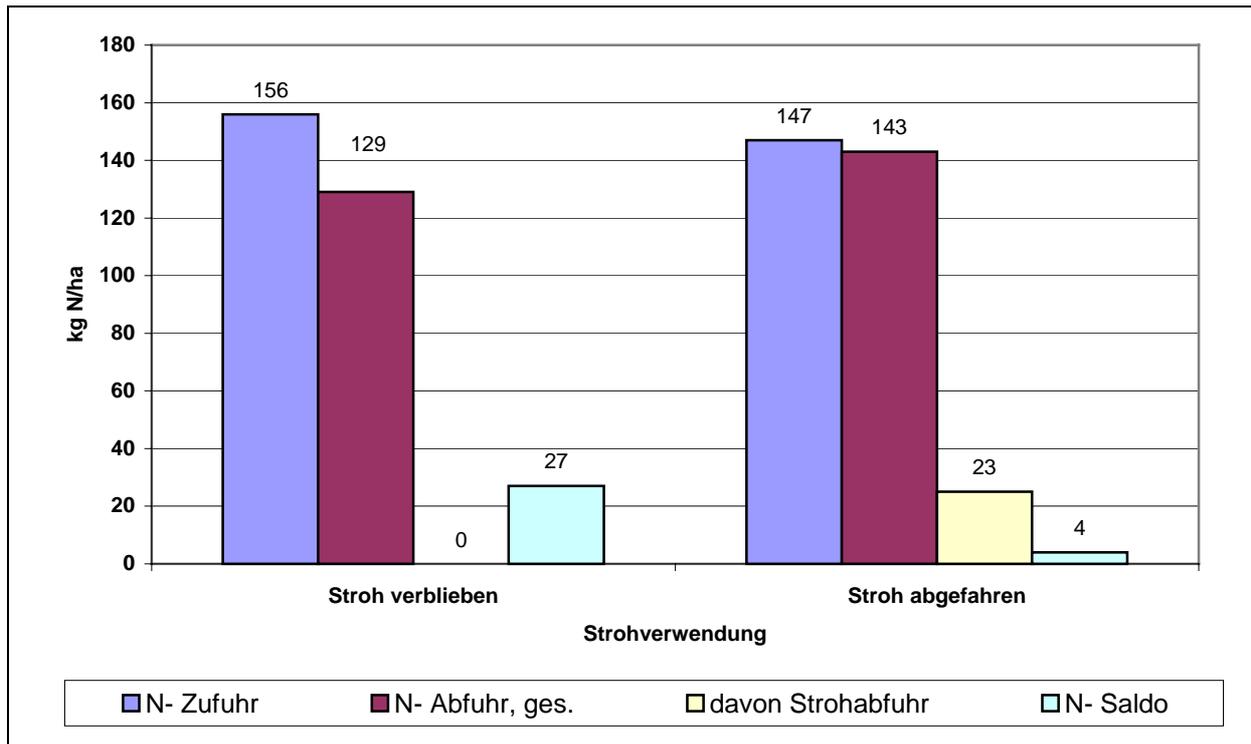


Abbildung 40: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo mit und ohne Strohdüngung 1999 bis 2008

Der N-Saldo war um 23 kg N/ha niedriger (anstatt +27 kg/ha +4 kg/ha).

4.2.4 N-Saldo in Abhängigkeit von der organischen Düngung

Die Nährstoffe der organischen Dünger werden bei der N-Bilanzierung nach Düngeverordnung als Netto-N-Mengen (also abzüglich Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverlusten) angerechnet.

Bei der Düngeplanung wird im Anwendungsjahr in der Regel nur der pflanzenverfügbare Anteil (N-MDAE) des organischen Düngers berücksichtigt. Bei Kulturen, die eine organische Düngung erhalten, kommt es deshalb bei der N-Bilanzierung zwangsläufig zu N-Bilanzüberschüssen. Aus diesem Grund wird bei der Stickstoffbilanzierung nicht eine jährliche Betrachtung, sondern nach Düngeverordnung eine N-Saldobewertung im dreijährigen Mittel bevorzugt.

Im Mittel der letzten zehn Jahre wurden jährlich auf 26 % der N_{\min} -Dauertestflächen organische Dünger mit einer Brutto-N-Menge von 144 kg/ha ausgebracht. Auf den Flächen ohne organischen Dünger errechnete sich aus N-Zufuhr minus N-Abfuhr im Mittel der Jahre ein nahezu ausgeglichener N-Saldo (+8 kg/ha), während mit organischer Düngung ein stark positiver N-Saldo (+98 kg/ha) festgestellt wurde (Abb. 41).

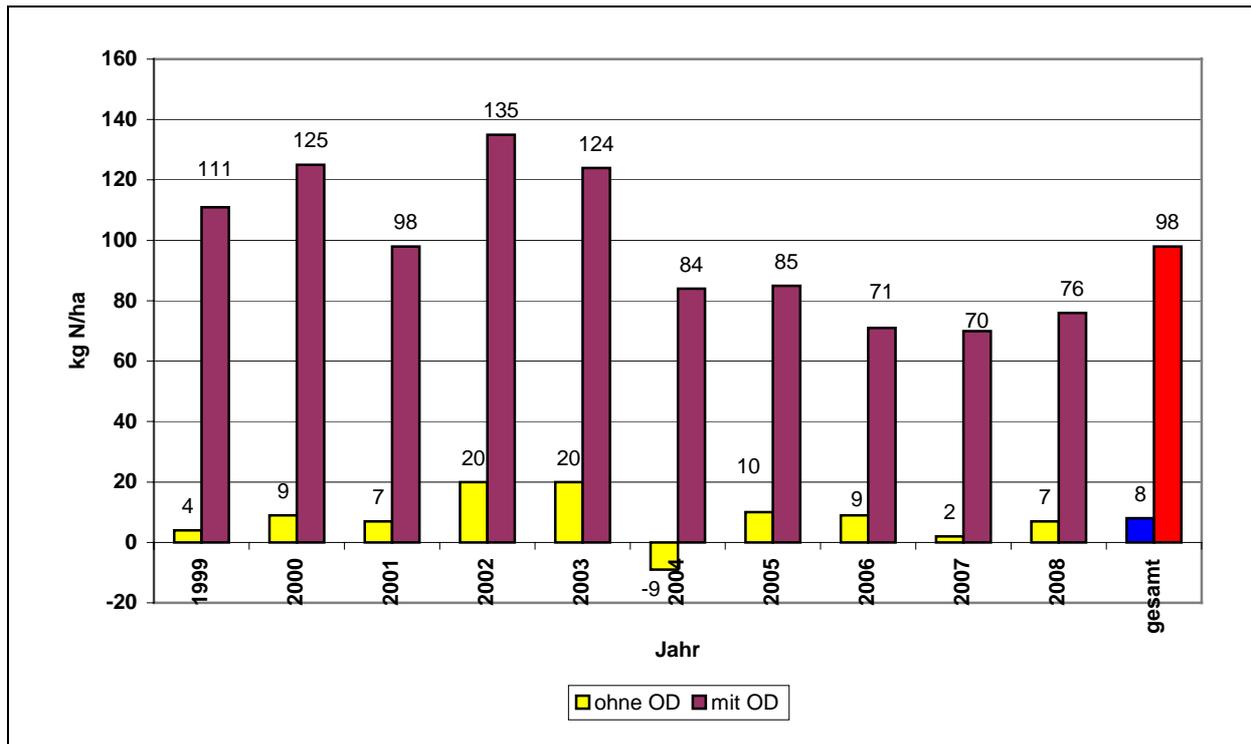


Abbildung 41: N-Saldo ohne und mit organischer Düngung 1999 bis 2008

Der hohe N-Saldoüberhang resultiert auch daraus, weil bei einer Brutto-N-Zufuhr aus organischen Düngern in oben genannter Größenordnung auf diesen Flächen die Mineraldüngeraufwendungen im Mittel um lediglich 28 kg N/ha reduziert worden sind (Tab. 29).

Tabelle 29: N-Zufuhr und N-Abfuhr ohne und mit organischer Düngung, Mittel 1999 bis 2008

Kriterium	ohne organische Düngung	mit organischer Düngung
Anzahl Flächen	2 820	976
<u>N-Zufuhr (kg/ha)</u>		
mineralisch	131	104
organisch	0	133
legum	8	4
gesamt	140	241
N-Abfuhr (kg/ha)	132	143
N-Saldo (kg/ha)	8	98

Das Ergebnis war eine um 101 kg N/ha höhere Gesamt-N-Zufuhr (brutto) gegenüber Flächen ohne organischer Düngung, was bei einer geringfügig höheren N-Abfuhr diese hohen N-Saldenunterschiede ergab.

Ableitend daraus ist die landwirtschaftliche Praxis gefordert, die N-Mineraldüngeräquivalente der organischen Dünger noch stärker zu berücksichtigen und die Einsatzzeiten noch besser dem Bedarf der Pflanzen anzupassen.

65 % der organischen Dünger wurden in Form von Gülle und 32 % als Stallmist ausgebracht, die restlichen 4 % entfielen auf Klärschlamm, Kompost, Jauche und Knochenmehl. Der N-Saldo erreichte im Mittel bei Gülle ein Plus von 79 kg N/ha und bei Stallmist von 140 kg N/ha (Abb. 42).

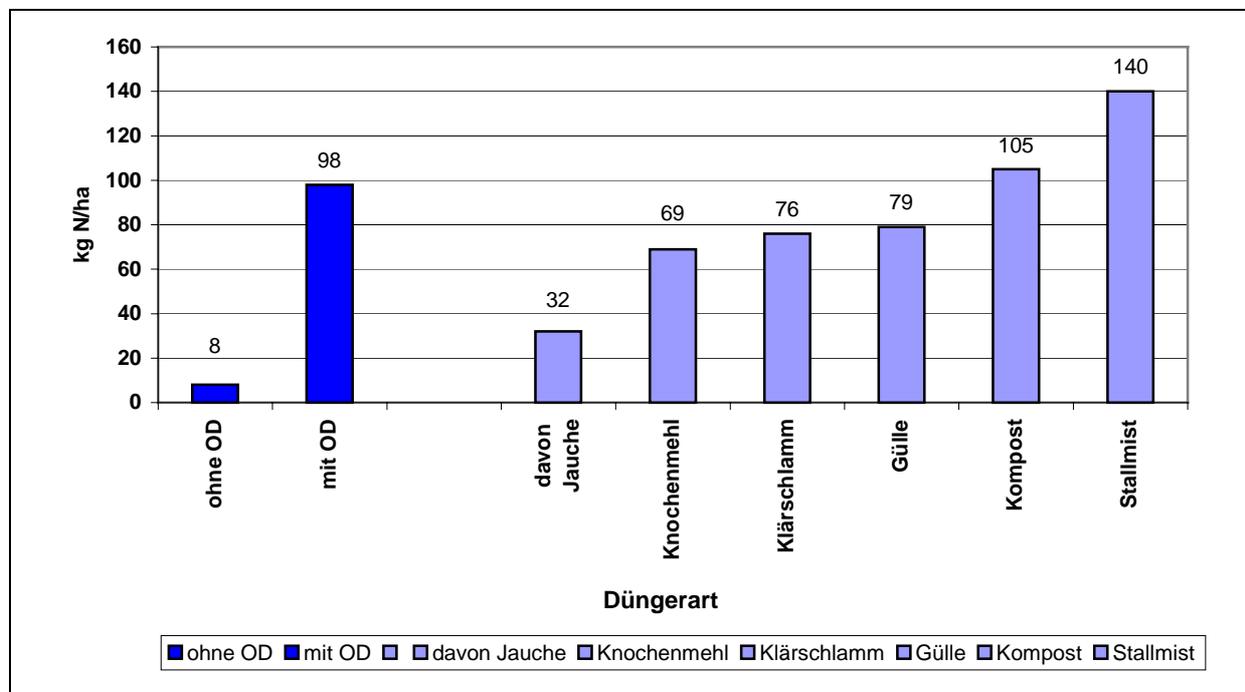


Abbildung 42: N-Saldo nach organischen Düngerarten 1999 bis 2008

Ein hoher N-Saldo von 105 kg/ha wurde auch nach Kompostanwendung ermittelt, während die N-armen Jauche und Knochenmehl den geringsten N-Bilanzüberschuss bewirkten.

Kulturen, die bevorzugt eine organische Düngung erhielten, waren:

- Silomais (135 kg N/ha)
- Kartoffeln (101 kg N/ha)
- Zuckerrüben (86 kg N/ha)
- Feldgras (42 kg N/ha)
- Winterraps (40 kg N/ha)

4.2.5 N-Saldo nach Bewirtschaftungsform

Von den insgesamt 3 615 berechneten Schlagbilanzen stammten 95 % von konventionell bewirtschafteten und 5 % von ökologisch bewirtschafteten Flächen. Der N-Saldo bei konventioneller Bewirtschaftung betrug +34 kg N/ha und bei ökologischer Bewirtschaftung -27 kg N/ha (Abb. 43).

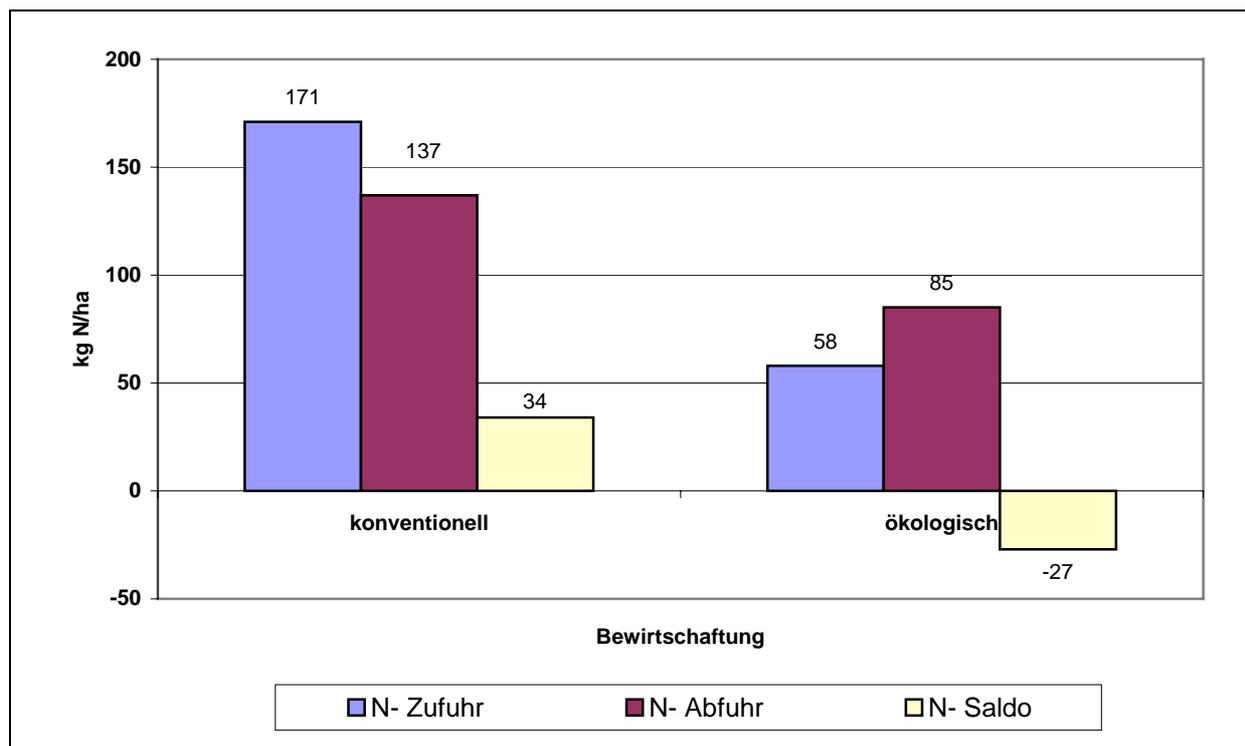


Abbildung 43: N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Saldo nach Art der Bewirtschaftung 1999 bis 2008

Die N-Zufuhr erreichte auf ökologischen Flächen 34 % und die N-Abfuhr 62 % der konventionell bewirtschafteten Schläge.

Die auf Ökoflächen untersagte mineralische N-Düngung wurde durch eine geringfügig höhere organische Düngung und vermehrten Leguminosenanbau zum Teil ausgeglichen (Tab. 30).

Tabelle 30: N-Zufuhr und N-Abfuhr nach Art der Bewirtschaftung, Mittel der Jahre 1999 - 2008

Kriterium	konventionell			ökologisch		
	1999 - 2004	2005 - 2008	1999 - 2008	1999 - 2004	2005 - 2008	1999 - 2008
Anzahl Flächen	2 292	1 323	3 615	88	93	181
<u>N-Zufuhr (kg/ha)</u>						
mineralisch	132	129	131	0	0	0
organisch	33	34	34	45	33	40
legum	6	7	6	19	16	18
gesamt	172	170	171	64	49	58
N-Abfuhr (kg/ha)	136	139	137	91	75	85
N-Saldo (kg/ha)	36	31	34	-27	-26	-27

Gravierende Unterschiede zwischen den Auswertungsperioden 1999 bis 2004 (sechs Jahre) und 2005 bis 2008 (vier Jahre) waren nicht festzustellen.

Bei ökologischer Bewirtschaftung ist langfristig ein negativer N-Saldo festzustellen, der eine Aushagerung des Bodens und letztlich keine nachhaltige Landbewirtschaftung

tung bedeuten kann. Der Reproduktion der organischen Bodensubstanz ist deshalb auf Ökoflächen eine besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

4.2.6 N-Saldo nach Bodenartengruppen

Die Differenzierung der N-Salden nach den Bodenartengruppen (leicht, mittel, schwer, Löss) führte in der Tendenz mit zunehmender Bodengüte zu einer Abnahme des N-Saldoüberhanges (Abb. 44).

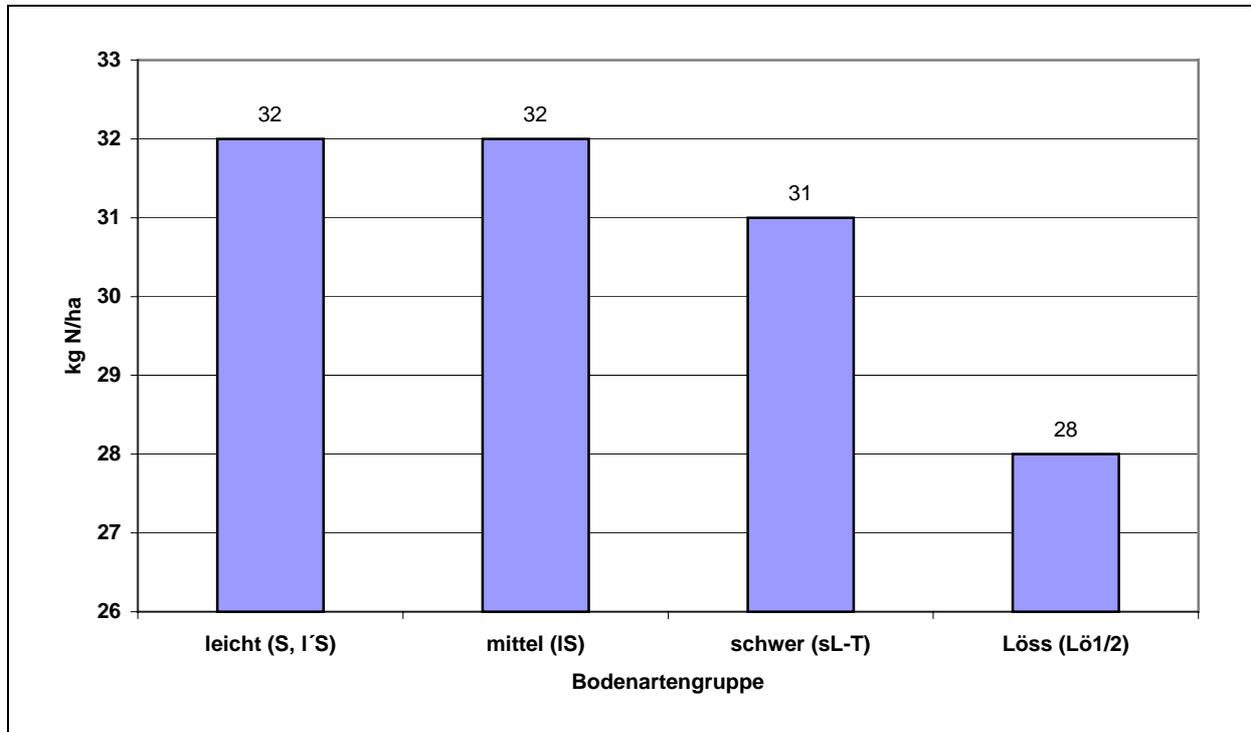


Abbildung 44: N-Saldo nach Bodenartengruppen 1999 bis 2008

Die Unterschiede zwischen den Bodenartengruppen waren erstaunlicherweise gering, auf den Schwarzerdestandorten lässt sich aber im zehnjährigen Mittel ein geringerer N-Saldo erkennen.

4.2.7 N-Saldo nach Agrargebieten

Die Unterteilung der errechneten N-Salden nach Agrargebieten lieferte Ergebnisse, die von der N_{\min} -Auswertung abweichen. Die Dominanz der Agrargebiete 1 und 2 bei N_{\min} war hier nicht zu erkennen. Die Lössstandorte im Thüringer Becken wiesen vergleichsweise niedrige N-Salden auf, ebenso die Buntsandstein- und Schieferverwitterungsböden, während in Südwestthüringen die höchsten N-Salden festgestellt wurden, dort, wo bei N_{\min} niedrige Gehalte vorherrschten (Abb. 45).

Die Unterschiede sind sachlogisch nicht zu erklären, unter Umständen besteht eine Abhängigkeit zu den unterschiedlich hohen Tierbesätzen in den verschiedenen Regionen.

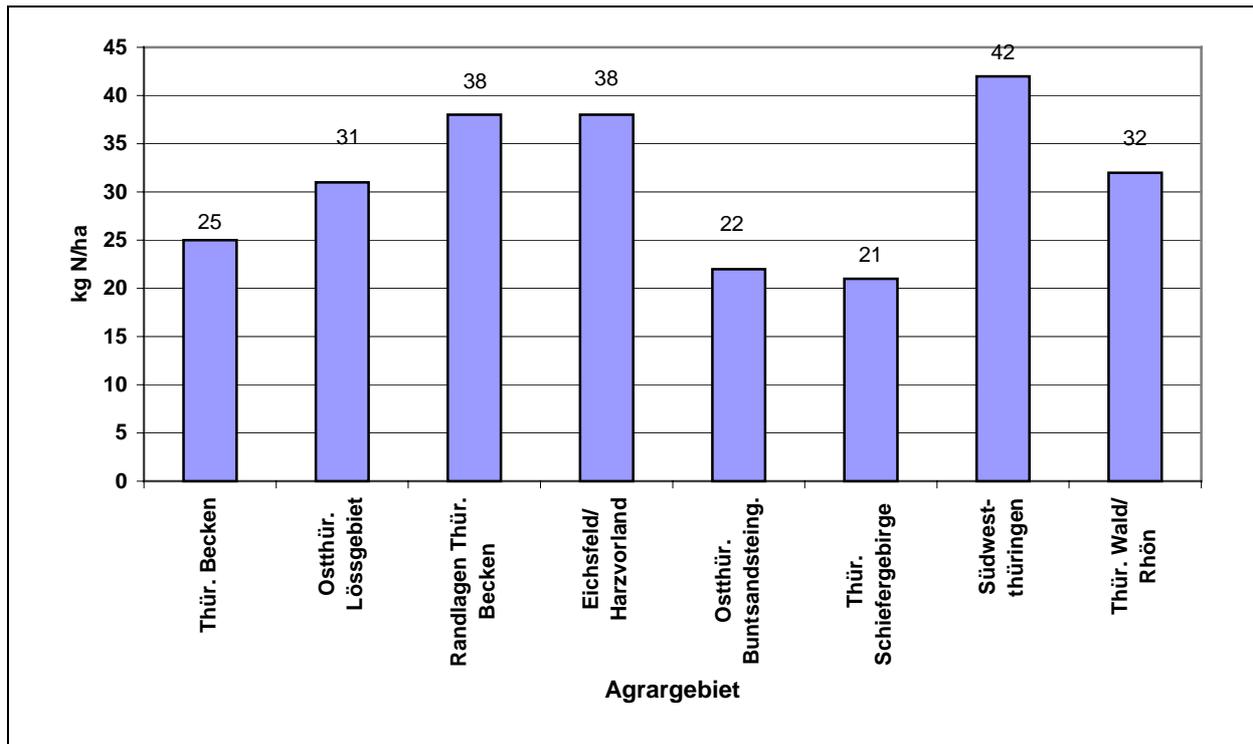


Abbildung 45: N-Saldo nach Agrargebieten 1999 bis 2008

4.2.8 N-Saldo nach Kreisen

Zwischen den Kreisen Thüringens wurden deutliche Unterschiede zwischen 8 kg N/ha (Saalfeld-Rudolstadt) und 54 kg N/ha (Ilmkreis) sichtbar. Wenn auch die Zuordnung zwischen N_{\min} und N-Saldo nicht immer passfähig war, erreichten die Kreise mit hohen N-Bilanzüberschüssen (z.B. IK, EF, SON, EIC) auch die höchsten N_{\min} -Gehalte nach der Ernte (Abb. 46). Insofern ist eine gewisse Ergebnisübereinstimmung vorhanden.

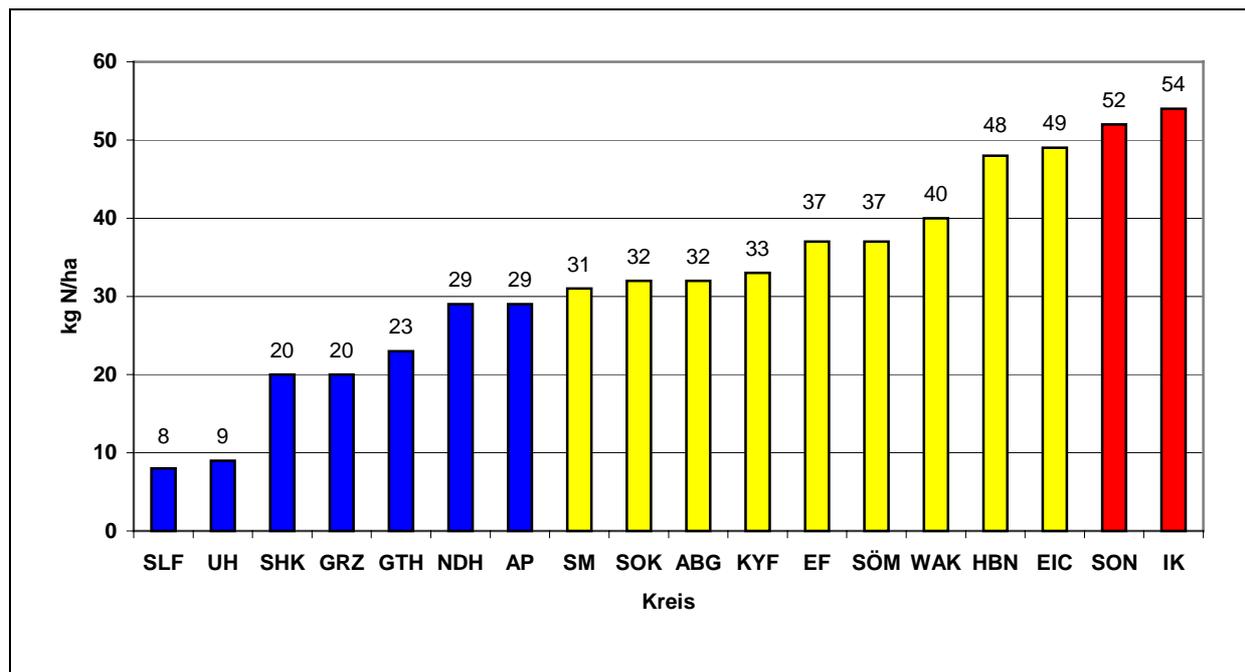


Abbildung 46: N-Saldo nach Kreisen 1999 bis 2008

5 Diskussion

Seit 1991 wird vom Freistaat Thüringen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ein Netz von N_{\min} -Dauertestflächen betrieben und jährlich einer dreimaligen Beprobung im Frühjahr, Sommer (nur bis 2007) und Herbst unterzogen. Die Untersuchungen werden im Rahmen des Forschungsprojektes Agrarmonitoring als N_{\min} -Monitoring durchgeführt. Neben der Bestimmung des N_{\min} -Gehaltes werden von den beprobten 331 Schlägen Standort- und Bewirtschaftungsdaten erfasst und jährliche Schlagbilanzen für Stickstoff berechnet. Seit 2008 wurden im Frühjahr die Ergebnisse der betrieblichen N_{\min} -Testflächen (BTF) in die Auswertung einbezogen.

Der vierte Bericht, der nach den Jahren 1996, 2000 und 2005 vorgelegt wird, wertet die Untersuchungsjahre 2005 bis 2008 (Sommer 2005 bis Frühjahr 2009) aus.

Zu Beginn wird in einer langjährigen Betrachtung eine 24-jährige Zeitreihe (1985 bis 2008) zur Entwicklung des N_{\min} -Gehaltes in Thüringen ausgewertet, die sowohl im Herbst als auch im Frühjahr den positiven Trends abnehmender N_{\min} -Gehalte bis Mitte der 90er Jahre dokumentiert. Seit dieser Zeit ist es nicht gelungen, diesen positiven Trend fortzusetzen und den mittleren N_{\min} -Gehalt weiter abzusenken. Offenbar erlaubt die gegenwärtige Bewirtschaftungsstrategie in Thüringen keine weitere Absenkung der N_{\min} -Gehalte nach der Ernte bzw. zu Vegetationsende. Thüringen ist das Bundesland mit dem höchsten Anteil (>80 %) an Qualitätsweizen am Winterweizenanbau, hinzu kommt, dass der Winterrapsanbau mittlerweile einen Anteil von nahezu >20 % der Ackerfläche erreicht hat. Beide Kulturen weisen aus unterschiedlichen Gründen einen hohen N-Bedarf auf, der die Gefahr hoher N-Salden in sich birgt. Eine Reduzierung der N_{\min} -Gehalte wird nur gelingen, wenn

1. bei gleichem Produktionsmitteleinsatz, insbesondere was die mineralische und organische Düngung betrifft, eine weitere Steigerung der Erträge und damit der N-Entzüge erreicht werden kann oder

2. der gegenwärtige Mitteleinsatz, insbesondere die mineralische N-Zufuhr, reduziert und sie noch gezielter dem N-Bedarf der Pflanzen angepasst wird mit dem Ziel, das vorhandene Ertragsniveau zu stabilisieren.

Reserven liegen in der noch besseren Nutzung von N-Düngungsempfehlungen auf der Grundlage schlagkonkreter N_{\min} -Untersuchungen, der Verabreichung folgender N-Gaben auf der Basis des N-Sensors bzw. N-Testers oder des Nitratschnelltestes und in der effizienteren Anwendung der organischen Dünger, wie z. B. Gülleausbringung in wachsende Pflanzenbestände, Injektion in den Boden bzw. unmittelbare Einarbeitung.

Wenn die Landwirtschaftsbetriebe aus den verschiedensten Gründen die eigenen N_{\min} -Probenahmen und -untersuchungen reduzieren, muss das Beratungsangebot gemäß § 3 Abs. 3 der Düngeverordnung durch die zuständige Fachbehörde die TLL verbessert werden.

Hierzu hat die TLL in den letzten Jahren folgende Aktivitäten entfaltet:

- Ausdehnung des N_{\min} -Testflächennetzes von 330 auf über 1 000 Testflächen (DTF und BTF) ab 2008.
- Einführung des Informationsservices „ **N_{\min} aktuell**“ ab 2009 mit Veröffentlichung detaillierter aktueller kumulativer N_{\min} -Gehalte in etwa wöchentlichem Abstand (Anlage 2), zusätzlich zum altbewährten „Aktuellen Rat zur N_{\min} - und S_{\min} -Situation“ (Anlage 1).
- Bereitstellung des PC-Programmes „**SBA-L**“ (für Landwirte) zur Ermittlung des N-Düngerbedarfes ab 2009 und kostenlosem Download unter
www.tll.de/ainfo/prog/sba-l.exe
- Einführung der Internetvariante des SBA-Systems **SBA-Net** ab 2010 mit Zugriff über www.tll.de/ainfo.

Die Untersuchungen im Zeitraum der letzten vier Jahre haben erneut den Einfluss von Witterung (Niederschlag, Temperatur), Boden (Bodenart, geologische Herkunft) und Bewirtschaftung (Fruchtart, Bodenbearbeitung, Düngung) auf die Höhe des N_{\min} -Gehaltes untermauert. Die z. T. beträchtlichen jährlichen Schwankungen des N_{\min} -Gehaltes sind überwiegend dem Einfluss der Witterung geschuldet, wie das Jahr 2003 exemplarisch zeigte.

Mit der Witterung in Zusammenhang steht auch die Entwicklung der N_{\min} -Gehalte im Zeitraum nach der Ernte bis Vegetationsende im November. Dem Rückgang der N_{\min} -Gehalte in diesem Zeitraum in den 90er Jahren steht neuerdings verstärkt eine Zunahme dieser gegenüber. Dieser Trend lässt erkennen, dass es immer weniger gelingt, durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen den N_{\min} -Gehalt bis zum Wintereintritt weiter abzusenken, sondern geringere Niederschläge und höhere Temperaturen im Herbst zu einer Dominanz der N-Mineralisierung mit dem genannten N-Anstieg führen. Diese Entwicklung ist weiterhin aufmerksam zu beobachten, um zu erkennen, ob es sich dabei um eine zufällige Erscheinung handelt oder ob sie bereits Bestandteil der langfristigen Klimaveränderung ist.

Auf den Lössstandorten, die sich auf das Thüringer Becken und das Ostthüringer Lössgebiet konzentrieren, war diese Entwicklung besonders auffällig. Hier ist noch zu klären, ob die Ursachen allein in den Standortbedingungen zu suchen sind (besonders hohe N-Mineralisierungsleistung), oder ob die Ertragsentwicklung in den eher

trockenen Gebieten hinter den N-Aufwendungen zurückgeblieben ist. Positiv zu bewerten ist, dass im 24-jährigen Vergleich in den letzten zehn Jahren die „N-Verluste“ über Winter (Differenz Frühjahr zu Herbst) deutlich geringer geworden sind. Das hängt zum einen mit dem geringeren N_{\min} -Ausgangsniveau im Herbst und der Witterung in der vegetationslosen Winterperiode zusammen.

Deutlich geworden ist, dass die Höhe der N-Verlagerung in tiefere Bodenschichten über Winter nicht vordergründig an der monatlichen Niederschlagssumme festgemacht werden kann, sondern die Vorgänge offenbar komplizierter und differenzierter ablaufen. Starkniederschlagsereignisse, plötzliches Tauwetter bei nicht gefrorenem Boden können zu starken N-Verlagerungen führen, während Frost den Boden vor N-Verlusten schützt und den Stickstoff mitunter bis zum Vegetationsbeginn im Boden konserviert.

Wie aus vorangegangenen Untersuchungen bekannt, beeinflusst die Bodennutzung (Bewirtschaftung) den N_{\min} -Gehalt des Bodens ebenfalls in entscheidendem Maße. Der Anbau jeder Kultur unterliegt einer bestimmten Bewirtschaftungsstrategie. Dazu gehören beispielsweise Höhe und Zeitpunkt der mineralischen N-Düngung auf der Grundlage des N-Bedarfs- und des N-Aneignungsvermögens ebenso wie die Zufuhr organischer Dünger oder die Stellung der Kultur in der Fruchtfolge.

Die Fruchtarten/Kulturen unterscheiden sich nach ihrem Rest- N_{\min} -Gehalt, der nach ihrer Aberntung im Boden verbleibt und der bis zum Vegetationsende in der Regel erhalten bleibt, recht deutlich. Mehrjährige Fruchtarten, die einen ständigen Bewuchs und damit Nährstoffentzug auf den Flächen sichern, wie Feldgras, Klee gras, Grünland hinterlassen bekanntermaßen niedrige N_{\min} -Gehalte im Boden, gefolgt von den Getreidearten (außer Winterweizen).

Im Gegensatz dazu hinterlassen Gemüse (Blumenkohl), Kartoffeln, Mais (Silo- und Körnermais), Körnerleguminosen (Erbsen, Ackerbohnen) und Winterraps sehr hohe und hohe N_{\min} -Gehalte.

Das Ziel der Landbewirtschaftung sollte es aus ökologischer und ökonomischer Sicht sein, nach der Ernte geringe N_{\min} -Restmengen im Boden zu hinterlassen bzw. diese bis Vegetationsende auf ein möglichst niedriges Niveau abzusenken. Das ist die beste Möglichkeit, N-Verluste über Winter zu vermindern und so die Umwelt und den Geldbeutel des Landwirts zu schonen. Möglichkeiten zur Realisierung wurden in den vorangegangenen Berichten beschrieben. Im vorliegenden Bericht wird auf die Möglichkeit der gezielten Nutzung von Vorfrucht-Nachfrucht-Kombinationen eingegangen.

Im Bericht konnten Aussagen zum Vergleich des N_{\min} -Gehaltes zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung getroffen werden. Durch den Verzicht auf eine Mineraldüngung auf Ökoflächen reduzierte sich der N_{\min} -Gehalt nach der Ernte im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung um ca. ein Drittel. Die stärkere Zunahme des N_{\min} -Gehaltes auf den Ökoflächen vor Winter deutet auf ein höheres N-Mineralisierungspotenzial hin, was vermutlich auf die vermehrte Anwendung organischer Dünger, den verstärkten Leguminosenanbau und die intensivere Bodenbearbeitung (Pflugfurche, mechanische Unkrautbekämpfung) zurückzuführen ist. Untersuchungen mit 14-tägigen Probenahmeintervallen bestätigen, dass auf den Ökoflächen einerseits die hohen N_{\min} -Peaks über Winter vermieden werden können, die Pflanzen aber andererseits in der Hauptwachstumsphase unter N-Mangel leiden und damit in etwa auf die Hälfte bis ein Drittel des Ertrages verzichtet wird.

Mit den von den N_{\min} -Dauertestflächen erfassten jährlichen düngungsrelevanten Bewirtschaftungsdaten sind für den Untersuchungszeitraum N-Saldenberechnungen nach den Vorgaben der Düngeverordnung durchgeführt worden. Dabei konnte fest-

gestellt werden, dass sich längerfristig (16-jährig) der schlagbezogene N-Saldo ohne bedeutende jährliche Schwankungen zwischen +20 und +40 kg N/ha bewegt und dieser Bereich nur in den Jahren 2002 und 2003 überschritten wird.

So wie die einzelnen Fruchtarten unterschiedlich hohe N_{\min} -Mengen im Boden hinterlassen, fallen auch die N-Salden unterschiedlich aus. Dabei bleibt im Wesentlichen die Rang- und Reihenfolge erhalten. Eine Ausnahme bilden die Zuckerrüben, die spät geerntet werden und deren N-reiches Rübenblatt auf dem Feld verbleibt, also keine N-Abfuhr stattfindet.

Bei den Getreidearten ist es nicht so, dass der am höchsten gedüngte Winterweizen auch die höchsten N-Salden aufweist, sondern hier auch die höchsten Erträge und N-Entzüge festzustellen sind. Selbst zwischen den Winterweizen-Qualitätsklassen waren nur geringe N-Saldenunterschiede erkennbar.

Ökologische Bewirtschaftungsformen führten bei den N-Salden ebenso wie bei den N_{\min} -Gehalten im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung zu deutlich abweichenden Ergebnissen. Der durchgängig negative N-Saldo auf Ökoflächen entlastet zwar den N-Haushalt, führt aber längerfristig zu einer Aushagerung des Bodens und erfüllt letztlich nicht den Anspruch auf Nachhaltigkeit.

Die Untersuchungsergebnisse belegen, dass sowohl die Untersuchung des N_{\min} -Gehaltes im Boden, als auch die Berechnung von N-Bilanzen (N-Salden) geeignet sind zur Bewertung der Umweltverträglichkeit in der Landwirtschaft, zur Optimierung der N-Düngungspraxis und zur Schwachstellenanalyse in den Landwirtschaftsbetrieben.

6 Fazit

- Die N_{\min} -Gehalte in Thüringen gingen seit Anfang der 90er Jahre kontinuierlich zurück und verharren seit Mitte/Ende der 90er Jahre auf diesem Niveau.
- Haupteinflussfaktoren auf den N_{\min} -Gehalt sind:

Witterung	(Niederschlag, Temperatur, ...)
Boden	(Bodenart, geologische Herkunft)
Bewirtschaftung	(Fruchtart, Bodenbearbeitung, Düngung, ...)

- Da Witterung und Boden vom Landwirt nicht zu beeinflussen sind, müssen sich die N_{\min} -Minderungsstrategien auf die Bewirtschaftungsmaßnahmen konzentrieren.
- Das vordringliche Ziel ist, nach der Ernte geringe N_{\min} -Restmengen im Boden zu hinterlassen bzw. diese bis Vegetationsende auf ein möglichst niedriges Niveau abzusenken. Die Möglichkeiten hierzu bestehen.
- Die Landwirtschaftsbetriebe sind verstärkt auf eigene N_{\min} -Probenahmen auf repräsentativen Flächen zu orientieren (Zielstellung: ca. ein Drittel der Flächen beproben).
- Bei der N-Düngerbemessung sollte die schlagkonkrete N_{\min} -Untersuchung weiterhin Vorrang vor der Übernahme von Empfehlungen der zuständigen Fachbehörde haben.
- Ungeachtet dessen müssen die Landwirtschaftsbetriebe besser in die Lage versetzt werden, den N-Bedarf selbst zu berechnen. Hierzu werden neue Beratungsangebote bereitgestellt.

- Die Berechnung schlagbezogener N-Salden kann längerfristig zur Optimierung der Düngepraxis und zur Schwachstellenanalyse empfohlen werden.
- Das N_{\min} -Monitoringprogramm sollte zur wissenschaftlichen Erfassung langfristiger Entwicklungstrends und zur Bereitstellung von Beratungswissen (hoheitliche Aufgabe) weitergeführt werden.



Aktueller Rat

zur N_{\min} - und S_{\min} -Situation

Thüringer Böden im Frühjahr **2010**

N_{\min} -Gehalt

Die Landwirtschaftsbetriebe sind auch nach der neuen Düngeverordnung verpflichtet, vor dem Aufbringen wesentlicher Nährstoffmengen die im Boden verfügbaren Stickstoffmengen zu ermitteln. Nach § 3 Abs. 3 hat das für Stickstoff (N_{\min}) auf jedem Schlag bzw. jeder Bewirtschaftungseinheit (mehrere Schläge mit vergleichbaren Standortverhältnissen, einheitlicher Bewirtschaftung und gleicher Pflanzenart) - außer Dauergrünland - für den Zeitpunkt der N-Düngung, mindestens aber jährlich (Frühjahr) zu erfolgen.

Der Landwirt hat dabei die Wahl zwischen den Varianten

- Probenahme auf repräsentativen Schlägen und Untersuchung in einem zugelassenen Untersuchungslabor (Vorzugsvariante) oder
- Nutzung von Empfehlungen der TLL Jena als der nach Landesrecht für die landwirtschaftliche Beratung zuständigen Fachbehörde.

Zu letztgenannter Variante veröffentlicht die TLL in jedem Frühjahr die nach Bodenarten, Agrargebieten und Fruchtarten differenzierten N_{\min} - und S_{\min} -Untersuchungsergebnisse von repräsentativen Dauertestflächen (DTF). Darüber hinaus werden auch die Ergebnisse der mit den Landwirtschaftsbetrieben vertraglich vereinbarten betrieblichen N_{\min} -Testflächen (BTF) in die Auswertung einbezogen (Tabellen 1 bis 4).

Nach der Formel

N -Düngebedarf = N -Basis-Sollwert - N_{\min} -Gehalt \pm Zu- bzw. Abschläge für sonstige Standortfaktoren

kann jeder Landwirt, der keine eigenen N_{\min} -Untersuchungen durchgeführt hat, den N -Düngebedarf seiner Kulturen für die aktuelle Frühjahrs- N -Düngung selbst ableiten.

In der Broschüre „Düngung in Thüringen 2007 nach Guter fachlicher Praxis“ (Schriftenreihe der TLL, Heft 7/2007, Seite 33 ff.) sind die N -Basis-Sollwerte und die möglichen Zu- bzw. Abschläge veröffentlicht und ein Berechnungsbeispiel vorgestellt.

Ab 2009 steht darüber hinaus ein speziell für die Landwirtschaftsbetriebe entwickeltes **PC-Programm SBA-L** zur Verfügung, welches über das AINFO der TLL unter www.tll.de/ainfo/prog/sba-l.exe kostenlos heruntergeladen werden kann. Damit ist der Landwirt in der Lage, mit repräsentativen N_{\min} -Gehalten für jeden seiner Schläge eigene N -Düngungsempfehlungen zu berechnen und die Ergebnisse zur Dokumentation auszudrucken.

Sollten bei der N -Düngebedarfsermittlung Unklarheiten bestehen, wenden Sie sich an den zuständigen Außendienstmitarbeiter der TLL in Ihrer Region.

Seit 1992 werden in Thüringen N_{\min} -Dauertestflächen und seit 2008 betriebliche N_{\min} -Testflächen auf Praxisschlägen einer regelmäßigen Beprobung unterzogen.

Für die N_{\min} -Beprobung im Frühjahr 2010 herrschten im Februar ungünstige Witterungsbedingungen für die Probenahme vor. Die Beprobung war wegen starkem Frost und z.T. Schnee in vielen Regionen erst ab Ende Februar/Anfang März möglich.

Die TLL verfügt für die N-Düngungsberatung gegenwärtig über ein Netz von über 1 000 N_{\min} -Testflächen. Bisher liegen Untersuchungsergebnisse von 814 (80 %) N_{\min} -Dauertestflächen und betrieblichen N_{\min} -Testflächen vor, welche die Datenbasis für die nachfolgenden Orientierungswerte bilden.

Unterteilt nach Bodenarten ergibt sich folgender Überblick (Tabelle 1).

Tabelle 1: Mittlerer N_{\min} -Gehalt nach Bodenarten

Nr.	Bodenart	Symbol	Bezeichnung in der Düngungspraxis	N_{\min} -Gehalt (kg/ha), 0 bis 60 cm Tiefe			
				Frühjahr 2008	Frühjahr 2009	Herbst 2009	Frühjahr 2010 ¹⁾
1	Sand	S	leicht	-	-	-	-
2	schwach lehm. Sand	I'S	leicht	28	39	58	38
3	stark lehm. Sand	IS	mittel	35	44	48	41
4	sand./schluff. Lehm	sL/uL	schwer	43	50	58	45
5	ton. Lehm bis Ton	t'L-T	schwer	50	53	55	47
44	sand./schluff. Lehm	sL/uL	Schwarzerde	61	52	75	43
54	ton. Lehm bis Ton	t'L-T	Schwarzerde	64	51	68	42
alle Schläge				46	50	58	44

¹⁾ normierter N_{\min} -Gehalt: N_{\min} -Gehalt in steinfreiem Boden und auf eine Probenahmetiefe von 0 bis 60 cm (0 bis 30 und 31 bis 60 cm) berechnet

Der **mittlere N_{\min} -Gehalt** von allen untersuchten Standorten liegt im Frühjahr 2010 bei **44 kg/ha** (Oberboden: 23 kg/ha, Unterboden: 21 kg/ha) und schwankt von 38 kg N_{\min} /ha auf den sandigen Böden bis zu 47 kg N_{\min} /ha auf den tonigen Böden.

Auf den sandigen, lehmigen und tonigen Böden ist mit zunehmendem Tongehalt ein gewisser Anstieg der N_{\min} -Gehalte festzustellen, wenngleich die Gehaltsunterschiede zwischen den Bodenarten nicht so ausgeprägt sind wie in den Vorjahren. Die Schwarzerden unterscheiden sich im N_{\min} -Gehalt im Gegensatz zu den Vorjahren kaum von den übrigen lehmigen und tonigen Böden.

Im Durchschnitt sind die N_{\min} -Gehalte um 6 kg/ha niedriger als im Frühjahr 2009, letztmalig sind 2005 so niedrige N_{\min} -Gehalte festgestellt worden. Das bedeutet einen etwas höheren N-Bedarf bei der aktuellen N-Düngerbemessung im Frühjahr 2010. Zu bemerken ist, dass sich die Stickstoffmengen relativ gleichmäßig auf Ober- und Unterboden verteilen (52 % : 48 %).

Im Herbst sind auf den N_{\min} -Dauertestflächen N_{\min} -Gehalte von durchschnittlich 58 kg N_{\min} /ha festgestellt worden. Das bedeutet, dass sich aufgrund der erhöhten Niederschläge im 4. Quartal 2009 und der N-Aufnahme der Winterungen der N_{\min} -Gehalt um 14 kg/ha reduziert hat.

Die mittleren N_{\min} -Gehalte in Tabelle 1 können als N_{\min} -Richtwert für das bodenartenabhängige N_{\min} -Niveau in Thüringer Böden im Frühjahr 2010 herangezogen werden.

Regional betrachtet weisen die Schiefer- und Buntsandsteinverwitterungsböden und die Lössstandorte des Thüringer Beckens und Ostthüringens im Durchschnitt mit 45 bis 50 kg/ha die höchsten N_{\min} -Gehalte auf (Tabelle 2). Die übrigen Agrargebiete weisen N_{\min} -Gehalte zwischen 40 und 45 kg/ha auf, ausgenommen die höheren Lagen im Thüringer Wald und der Rhön mit 30 kg N_{\min} /ha.

Die geringsten N_{\min} -Gehalte wurden 2010 wie in den Vorjahren auch unter Grünland und Feldgras vorgefunden (N_{\min} -Gehalt: 30 bis 33 kg/ha) [Tabelle 3]. Etwas höher lagen sie auf Winterraps-, Wintergerste- und Winterroggenflächen (N_{\min} -Gehalt: 40 kg/ha). Auf Win-

terweizenflächen wurden höhere N_{\min} -Gehalte ermittelt, ebenso auf den zz. noch unbestellten Flächen, auf denen Kartoffeln, Silomais, Sommergerste, Erbsen und Zuckerrüben angebaut werden sollen (45 bis 55 kg N_{\min} /ha).

Zur Hauptfrucht Mais sollte die N_{\min} -Probenahme eigentlich kurz vor der N-Düngung im April durchgeführt werden. Deshalb wird der in Tabelle 3 zur Vororientierung ausgewiesene N_{\min} -Gehalt für Mais durch eine zweite Probenahme auf den Dauertestflächen im April aktualisiert.

Tabelle 2: Mittlerer N_{\min} -Gehalt nach Agrargebieten

Lfd. Nr.	Agrargebiet	N_{\min} -Gehalt (kg/ha), 0 bis 60 cm Tiefe		
		Frühjahr 2009	Herbst 2009	Frühjahr 2010 ¹⁾
1	Thüringer Becken	56	68	46
2	Ostthüringer Lössgebiet	52	70	47
3	Randlagen Thüringer Becken	43	62	44
4	Eichsfeld/Harzvorland	46	49	38
5	Ostthüringer Buntsandsteingebiet	41	54	46
6	Thüringer Schiefergebirge	52	56	49
7	Südwestthüringen	46	49	39
8	Thüringer Wald/Rhön	37	38	31
Mittel		50	58	44

¹⁾ normierter N_{\min} -Gehalt

Zwischen den Hauptfrüchten bestehen folgende Gehaltsunterschiede (Tabelle 3):

Tabelle 3: Mittlerer N_{\min} -Gehalt nach Hauptfrüchten

Hauptfrucht	N_{\min} -Gehalt (kg/ha), 0 bis 60 cm Tiefe ¹⁾		
	Frühjahr 2008	Frühjahr 2009	Frühjahr 2010 ¹⁾
Grünland	24	26	30
Feldgras/Kleegrass	17	29	33
Winterraps	41	43	39
Wintergerste	32	43	40
Winterroggen	30	34	41
Kartoffeln	64	72	43
Wintertriticale	38	50	45
Silomais	57	60	45
Hafer	44	34	46
Winterweizen	53	56	48
Sommergerste	55	54	49
Körnererbsen	54	45	51
Zuckerrüben	61	59	55
Mittel	46	50	44

¹⁾ normierter N_{\min} -Gehalt

Da die Schwankungsbreite zwischen den Feldern nicht unbedeutend ist (Vorfrucht, org. Düngung, Witterungsunterschiede u.a.), wird den Agrarunternehmen geraten, N_{\min} -Untersuchungen auf möglichst vielen Schlägen durchzuführen und N-Düngeempfehlungen mit dem PC-Programm „Stickstoff-Bedarfs-Analyse (SBA)“ rechnen zu lassen.

Alternativ dazu kann von Betrieben, die keine eigenen N_{\min} -Untersuchungen bzw. diese nicht auf allen Schlägen durchführen, das bereits erwähnte PC-Programm „SBA-L“ genutzt werden. Hierzu bietet die TLL als Erweiterung des „Aktuellen Rates“ den **Informa-**

tionsservice „N_{min} aktuell“ im Internet (AINFO) an. Mit Beginn der Probenahmekampagne werden in etwa wöchentlichen Abständen aktuelle N_{min}-Gehalte für die wichtigsten Hauptfrüchte, auch untergliedert nach Bodenarten, kumulativ aufbereitet, bereitgestellt. Damit stehen ständig aktualisierte Richtwerte für mittlere normierte N_{min}-Gehalte zur Verfügung.

In diesem Jahr ist von den leichten Böden bis hin zu den schweren Böden in Abhängigkeit vom Tongehalt eine Zunahme des N_{min}-Gehaltes festzustellen. Das erfordert insbesondere bei Wintergetreide und Winterraps eine zeitliche Differenzierung der 1. N-Gabe. Vom Grundsatz her müssen Flächen mit den niedrigsten N_{min}-Gehalten bzw. die, die im Oberboden (0 bis 30 cm) wenig pflanzenverfügbaren Stickstoff enthalten, zuerst mit N versorgt werden.

Aufgrund der niedrigeren N_{min}-Gehalte im Boden werden über SBA höhere N-Düngermengen empfohlen, die öfter eine Unterteilung in eine 1a- und 1b-Gabe vorsehen, um eine optimale N-Ausnutzung zu erreichen. Auf den Flächen mit höheren N_{min}-Gehalten steht zu Vegetationsbeginn in der Regel ausreichend Stickstoff zur Verfügung, so dass verhalten angedüngt und Stickstoff eingespart werden kann, damit die Bestände nicht überwachsen.

Abschließend noch ein Hinweis für alle Internetnutzer:

Ab Ende März wird unter www.tll.de/ainfo die Internetvariante des SBA-Systems **SBA-NET** freigeschaltet. Mit diesem Programm lassen sich Online schlagbezogene SBA-Düngungsempfehlungen berechnen. Als Datengrundlage dienen die Ergebnisse des N_{min}-Testflächen-netzes der TLL.

S_{min}-Gehalt

Vom TLL-Testflächennetz (N_{min}-Dauertestflächen und betriebliche Testflächen) stehen zz. Ergebnisse von 803 gipsfreien Standorten zur Verfügung, die für die Ermittlung der Schwefelversorgung Thüringer Böden herangezogen werden können (Tabelle 4).

Tabelle 4: Mittlerer S_{min}-Gehalt nach Bodenarten

Nr.	Bodenart	Symbol	Bezeichnung in der Dün- gungspraxis	S _{min} -Gehalt (kg/ha), 0 bis 60 cm Tiefe		
				Frühjahr 2008	Frühjahr 2009	Frühjahr 2010
1	Sand	S	leicht	-	-	-
2	schwach lehm. Sand	l'S	leicht	30	34	27
3	stark lehm. Sand	IS	mittel	32	41	33
4	sand./schluff. Lehm	sL/uL	schwer	40	47	43
5	ton. Lehm bis Ton	t'L-T	schwer	45	51	42
44	sand./schluff. Lehm	sL/uL	Schwarzerde	44	44	40
54	ton. Lehm bis Ton	t'L-T	Schwarzerde	61	80	37
alle Schläge				42	49	39

Im Mittel der untersuchten Flächen beträgt der S_{min}-Gehalt in 0 bis 60 cm Tiefe **39 kg S/ha**. Er liegt damit um 10 kg S_{min}/ha unter dem Gehaltsniveau des Vorjahres. Wie in jedem Frühjahr wurden in den sandigen Böden mit 27 kg S/ha die niedrigsten und auf den Lehm- und Tonböden mit 43 kg S/ha die höchsten S_{min}-Gehalte festgestellt. Die übrigen Bodenarten weisen im Durchschnitt 40 kg S/ha auf.

Zur Ermittlung des S-Düngebedarfes sind der S-Bedarf der Kultur, der S_{min}-Gehalt im Boden sowie die zu erwartende S-Mineralisierung aus der organischen Substanz zu berücksichtigen. Im Ergebnis einer langjährigen Versuchsserie auf Thüringer Versuchsstationen wurden die Richtwerte zur S-Düngung präzisiert. Zu Kulturen mit hohem S-Bedarf (Winter- und Sommerraps, Ölrettich, Öllein) wird bei einem S_{min}-Gehalt in 0 bis 60 cm Bodentiefe von weniger als 50 kg S/ha eine S-Düngung von 30 bis 40 kg S/ha empfohlen. Kulturen mit mittlerem S-Bedarf (alle Getreidearten, Zucker- und Futterrübe) benötigen eine S-Düngung von

ca. 20 bis 30 kg S/ha, wenn der S_{\min} -Gehalt unter 40 kg S/ha liegt. Bei nachgewiesenem S-Düngebedarf sollte die Applikation der S-Gabe bereits zu Vegetationsbeginn erfolgen, zum Beispiel durch Verwendung schwefelhaltiger N-Dünger.

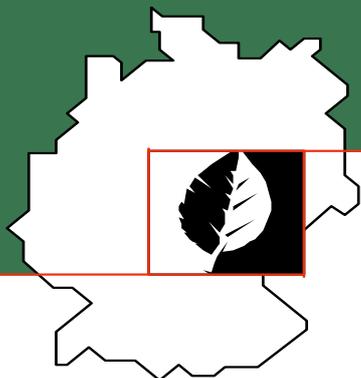
Zum Erfassen der S-Versorgung der Böden im eigenen Betrieb ist beim Anbau von Kulturen mit hohem und mittlerem S-Bedarf eine Untersuchung des S_{\min} -Gehaltes ausgewählter Schläge in Verbindung mit der N_{\min} -Analyse anzuraten. Lediglich auf sehr leichten Böden und solchen Standorten, auf denen in den Vorjahren bereits sichtbarer S-Mangel aufgetreten ist, kann auf die S_{\min} -Untersuchung verzichtet und eine prophylaktische S-Düngung durchgeführt werden. Unter diesen Bedingungen ist eine niedrige S-Versorgung sehr wahrscheinlich. Intensiv genutztes Grünland und Ackerfutter können auf Standorten mit hoher Sickerwassermenge ebenfalls von S-Mangel betroffen sein. Hier wird eine Düngung in Höhe von ca. 30 kg S/ha empfohlen.

Jena, im März 2010

Abteilung Untersuchungswesen
Abteilung Pflanzenproduktion/Agrarökologie

Ansprechpartner: Dr. Lothar Herold (Tel. 03641 683-418)
Dr. Wilfried Zorn (Tel. 03641 683-417)

Besuchen Sie uns auch im Internet:
www.tll.de/ainfo



N_{min} aktuell 2010

Bei der Stickstoffdüngung im Frühjahr muss jeder Landwirt nach § 3 DüV die im Boden verfügbaren N-Mengen kennen und berücksichtigen. Dabei haben eigene N_{min}-Untersuchungen auf möglichst vielen Schlägen immer den Vorrang. Es können aber auch die Beratungsempfehlungen der TLL in Form des „Aktuellen Rat zur N_{min}- und S_{min}-Situation Thüringer Böden im Frühjahr“ genutzt werden. In ihm werden in jedem Jahr Anfang März einmalig mittlere N_{min}-Gehalte, unterteilt nach Bodenart, Agrargebiet und Hauptfrucht, mitgeteilt. Die Informationen stehen als Merkblatt (über die Landwirtschaftsämter) bzw. im Internet (www.tll.de/ainfo) zur Verfügung.

Ab dem Wirtschaftsjahr 2009 steht in Thüringen ein speziell für die Landwirtschaftsbetriebe entwickeltes PC-Programm „SBA-L“ (www.tll.de/ainfo/prog/sba-l.exe) zur Nutzung bereit. Damit ist der Landwirt in der Lage, mit repräsentativen N_{min}-Gehalten (z. B. eigene N_{min}-Untersuchungen von Nachbarschlägen oder N_{min}-Gehalte von TLL-Dauertestflächen) für jeden seiner Schläge eigene N-Düngungsempfehlungen zu berechnen und die Ergebnisse zur Dokumentation auszudrucken. Dazu sind möglichst aktuelle N_{min}-Gehalte zu nutzen.

Auf der Grundlage von über 1 000 N_{min}-Testflächen in Thüringen bietet die TLL ebenfalls seit 2009 den **Informationsservice „N_{min} aktuell“** an. Der Unterschied zum „Aktuellen Rat“ besteht darin, dass mit Beginn der N_{min}-Probenahmekampagne in etwa wöchentlichen Abständen aktuelle mittlere N_{min}-Gehalte, kumulativ aufbereitet, bereitgestellt werden. Die Informationen werden für alle wesentlichen Hauptfrüchte – für die am häufigsten angebauten Kulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Sommergerste und Silomais auch untergliedert nach Bodenarten – mitgeteilt. Damit stehen den Betrieben vor geplanten N-Düngungsmaßnahmen ständig aktualisierte Richtwerte für mittlere normierte N_{min}-Gehalte zur Verfügung (siehe Tabelle). Normierte N_{min}-Gehalte beziehen sich auf steinfreien Boden und eine Probenahmetiefe von 0 bis 60 cm (0 bis 30 und 31 bis 60 cm). Damit können mit dem PC-Programm SBA-L N-Düngungsempfehlungen berechnet werden.

Steinigkeits- und Probenahmetiefe werden in SBA-L-Menü abgefragt und sind den tatsächlichen Verhältnissen des Schlages entsprechend einzutragen.

Die vorliegenden Ergebnisse stellen eine Zwischeninformation dar, die in den nächsten Wochen laufend aktualisiert wird.

Fragen zu den N_{min}-Gehalten richten Sie an Dr. Herold, Tel. 03641/683418, Fragen zur Programmnutzung von SBA-L an Herrn Heß, Tel. 03641/683312.

7. Mitteilung und Endstand

Stand: 30.04.2010

Hauptfrucht	Bodenart	Anzahl Flächen	N _{min} -Gehalt (normiert) ¹⁾		
			0 - 60 cm kg/ha	0 - 30 cm kg/ha	31 - 60cm kg/ha
Winterweizen	2 schwach lehmiger Sand	24	44	21	23
	3 stark lehmiger Sand	41	48	26	22
	4 sandiger / schluffiger Lehm	120	47	23	24
	5 toniger Lehm bis Ton	133	52	26	26
	44 sandiger / schluffiger Lehm - Schwarzerde	39	47	23	24
	54 toniger Lehm bis Ton – Schwarzerde	48	44	22	22
	Mittel	406	49	25	24
Wintergerste	2	7	45	29	16
	3	15	30	16	14
	4	26	40	22	18
	5	49	44	24	20
	44	6	40	19	21
	54	5	41	20	21
	Mittel	108	40	22	18
Winterraps	1 u. 2	14	31	18	13
	3	26	45	27	18
	4	58	42	25	17
	5	54	44	24	20
	44	9	34	17	17
	54	22	42	24	18
	Mittel	183	42	24	18
Sommergerste	3	5	51	24	27
	4	17	56	26	30
	5	20	45	22	23
	44	9	44	18	26
	54	6	55	27	28
	Mittel	58	49	23	26
Silomais ²⁾	2	10	47	26	21
	3	13	39	22	17
	4	34	51	28	23
	5	38	60	32	28
	44 u. 54	10	66	34	32
	Mittel	105	54	29	25
Winterroggen	1 u.2	5	32	17	15
	3	8	35	19	16
	4	5	37	22	15
	5	6	50	26	24
	44 u. 54	5	32	18	14
	Mittel	29	37	20	17

Hauptfrucht	Bodenart	Anzahl Flächen	N _{min} -Gehalt (normiert) ¹⁾		
			0 - 60 cm kg/ha	0 - 30 cm kg/ha	31 - 60cm kg/ha
Wintertriticale	2 u.3	14	36	19	17
	4	5	38	20	18
	5	13	57	29	28
	44 u. 54	5	37	19	18
	Mittel	37	44	23	21
Sommerweizen	Mittel	8	47	19	28
Sommerdurum	Mittel	7	53	27	26
Hafer	Mittel	10	45	24	21
Zuckerrüben	Mittel	13	55	25	30
Kartoffeln	Mittel	14	46	23	22
Ackerbohnen	Mittel	5	45	24	21
Körnererbsen	Mittel	15	49	26	23
Feldgras/Kleegras	Mittel	19	32	18	14

	Bodenart	Anzahl Flächen	N _{min} -Gehalt (normiert) ¹⁾		
			0 - 60 cm	0 - 30 cm	31 - 60cm
			kg/ha	kg/ha	kg/ha
Mittel je Bodenart ³⁾	2	77	37	20	17
Mittel je Bodenart	3	134	43	24	19
Mittel je Bodenart	4	292	46	24	22
Mittel je Bodenart	5	344	50	26	24
Mittel je Bodenart	44	81	43	21	22
Mittel je Bodenart	54	112	47	24	23
Mittel aller Bodenarten	2 bis 54	1040	46	24	22

1) normierter N_{min}-Gehalt: N_{min}-Gehalt in steinfreiem Boden und auf eine Probenahmetiefe von 0 bis 60 cm (0 bis 30 und 31 bis 60 cm) berechnet

2) N_{min}-Probenahme wurde bei den Dauertestflächen kurz vor der N-Düngung wiederholt und die aktuellen Ergebnisse sind in diese Auswertung einbezogen.

3) In die Mittelwerte der Bodenarten sind alle untersuchten Flächen einbezogen, auch Kulturen mit zu geringer Flächenanzahl und Grünlandflächen.