

Zuviel des Guten? Über die Gefährdung von Waldböden durch Stickstoffeinträge

Karl H. Mellert,
Gernot Rücker



Agenda

- ZEBRIS - Unternehmensvorstellung
- Hintergrund: Stickstoffeintrag und Stickstoffsättigung von Wäldern
- Regionalisierung der Stickstoffsättigung in Bayern:
 - Konzept
 - Datengrundlagen und Methode
 - Ergebnisse



ZEBRIS GIS und Consulting

Unser Ziel:
Unterstützung der
nachhaltigen
Nutzung natürlicher
Ressourcen durch
(Geo-) Information



Firmenprofil ZEBRIS



- Produkte, Lösungen und Dienstleistungen in GIS, Fernerkundung und Ressourcenmanagement für Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Bodenschutz, Feuermanagement
- National und International
- Gründung 1998 in München
- Zwei Gesellschafter
- Fachkräfte aus Geoinformatik, Forstwissenschaften, Geografie und Biologie



Hintergrund

Einträge aus der Atmosphäre in die Waldböden hauptsächlich aus zwei Quellen:

- NO_3 → Verbrennungsvorgänge bei hohen Temperaturen (67 % Abgase von **Kraftfahrzeugen**, der Rest aus **Kraftwerken** und anderen Feuerungsanlagen),
- NH_4 → Ausgasung beziehungsweise Verdunstung von Ammoniak (zu 85 % aus der **landwirtschaftlichen Produktion**)

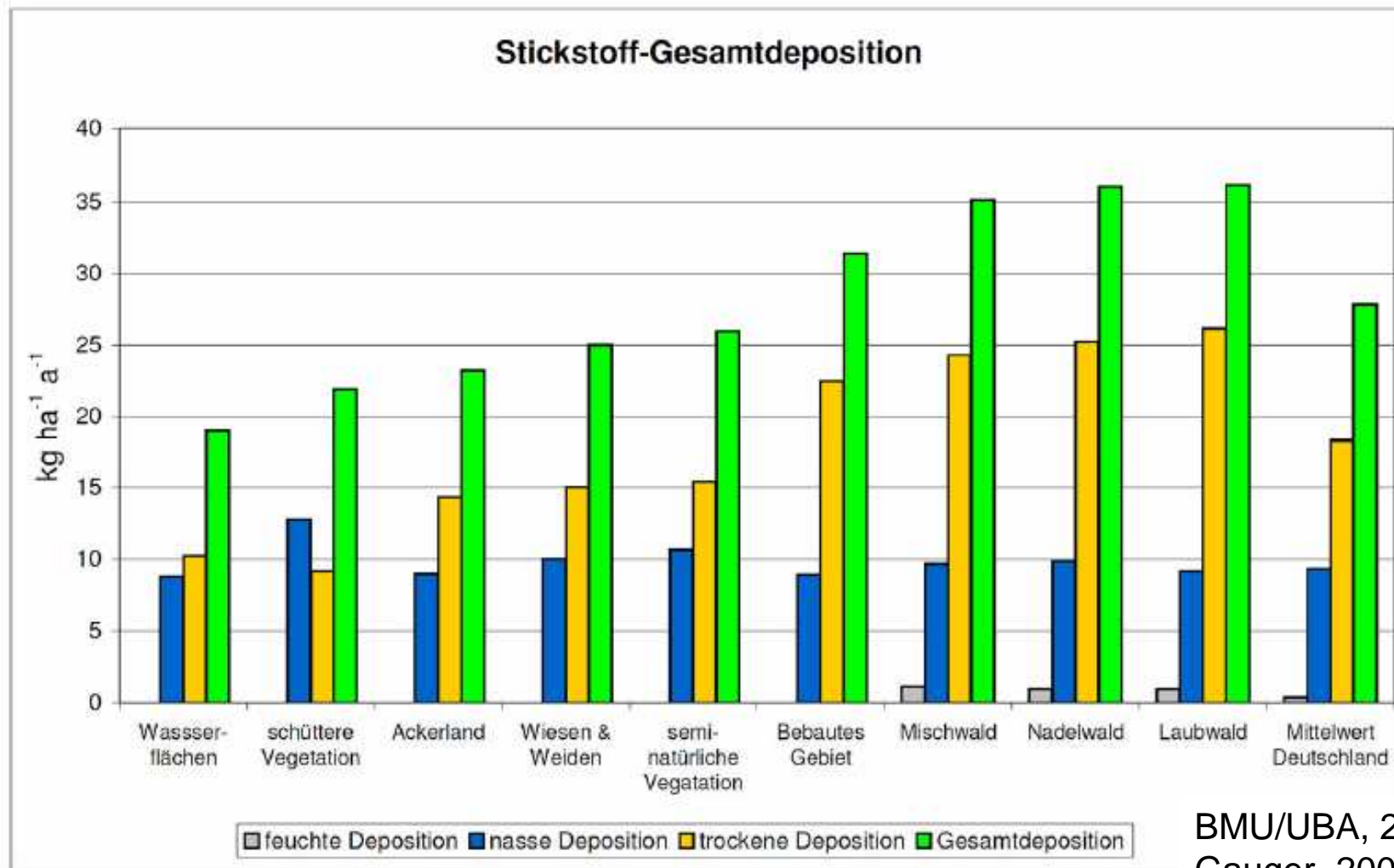


Hintergrund

Landwirtschaft: kumulativer
Stickstoffüberschuss von 1950 bis 2007
> **4 t / ha** (alte BL)
mittlerer Stickstoffüberhang
in Deutschland
> **85 kg / ha * a**



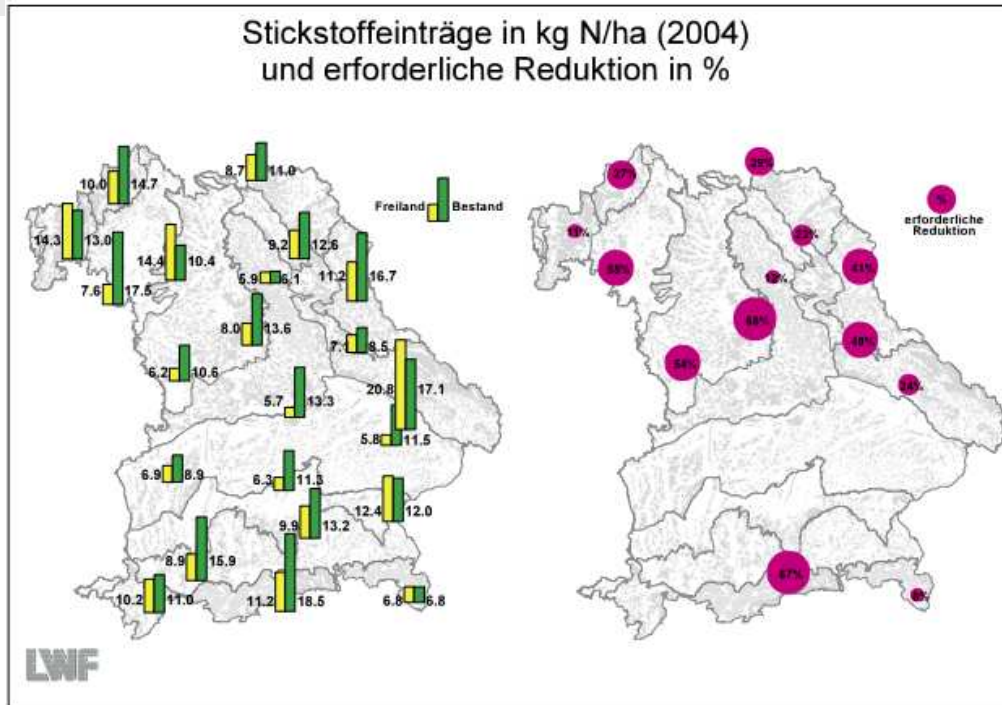
Hintergrund: Stickstoffsättigung



BMU/UBA, 2004,
Gauger, 2008



Hintergrund



aus Waldzustandsbericht (BayMLF
2004/2008)

- Stickstoffeintrag stagniert seit Anfang der 1990er Jahre auf hohem Niveau
- 50% der 22 Waldklimastationen in Bayern Stickstoffeinträge zu hoch (gemessen an CL)
- Die Werte streuen stark ohne erkennbare regionale Schwerpunkte.



Hintergrund: Stickstoffsättigung

Folgen der N-Deposition:

- Stickstoffdüngung, -eutrophierung und schließlich N-Sättigung mit N-Austrag
- Verschiebungen des Artenspektrums (mehr als 70 % der Rote-Arten-Listen in Deutschland sind Stickstoffmangelzeiger)
- Nährelementungleichgewichte in den Böden
- Bodenversauerung und Verarmung des Bodens an wichtigen Nährstoffen

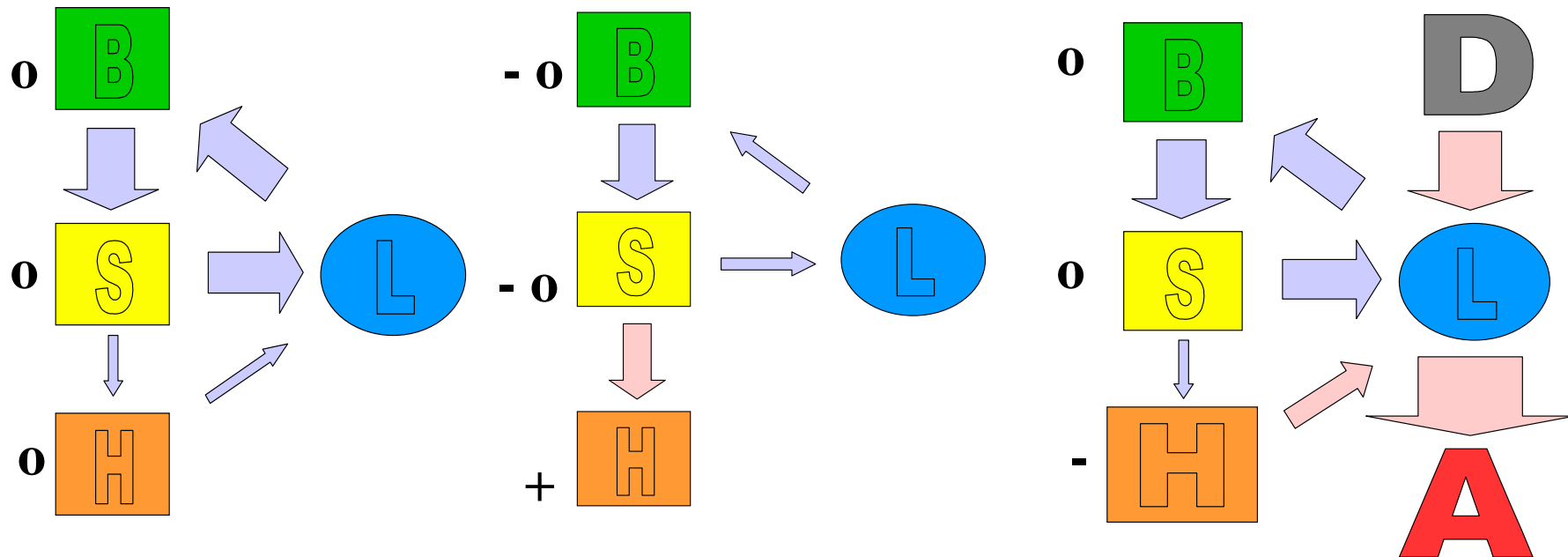


Hintergrund: Stickstoffsättigung

Naturnaher Zustand

N-Limitierung

N-Sättigung

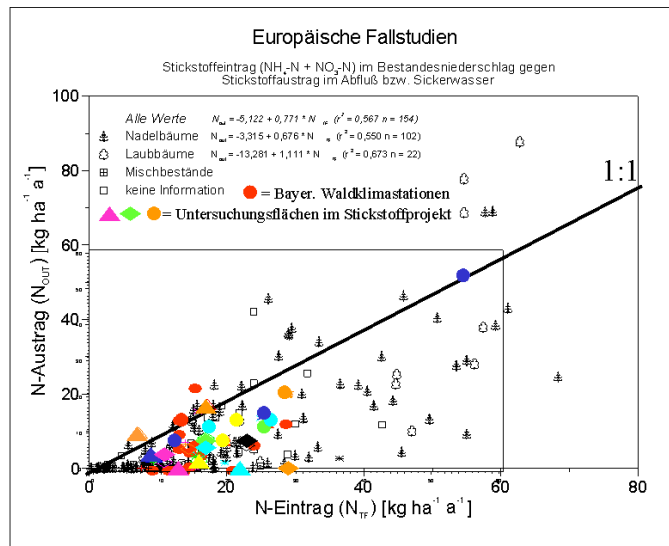


B: Bestand, S: Streu, H: Humus, L: Lösung, A: Austrag



Hintergrund: Stickstoffsättigung

- Beurteilung der Stickstoffsättigung von Wäldern



aus Spangenberg & Kölling (2004)
nach ARMBRUSTER (2000)

	Kennwerte für die N-Sättigung			
Phase	1	2	3	4
N-Status	nicht gesättigt	gesättigt auf niedrigem Niveau	gesättigt auf hohem Niveau	N-Freisetzung im Ökosystem
N-Eintrag [kg N/ha*a]	< 25	5 – 35	> 15	
N-Austrag [kg N/ha*a]	< 5	5 – 15	> 15	
Austrag : Eintrag	≤ 1	≤ 1	≤ 1	> 1

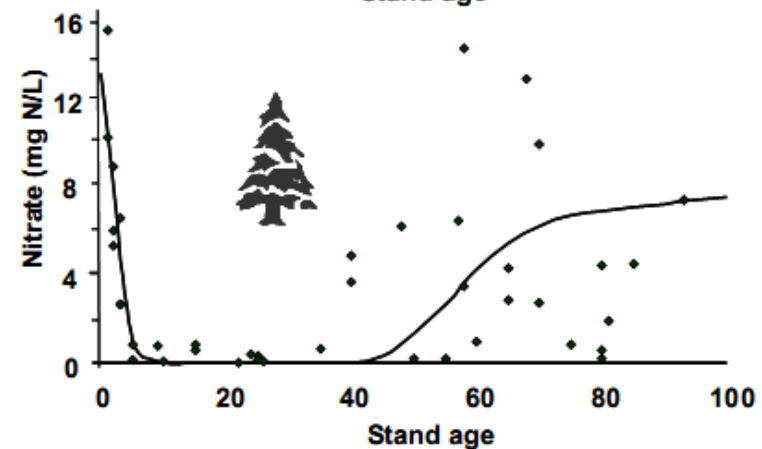
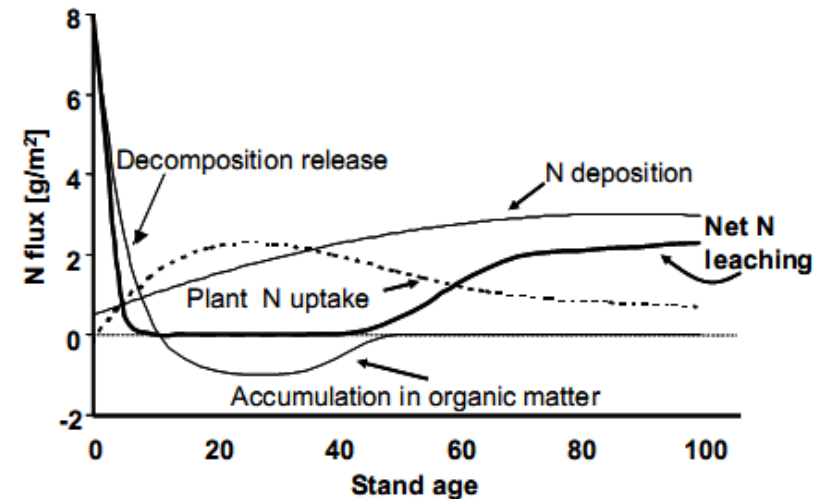
aus BML (2000)



Hintergrund: Stickstoffsättigung

Alterseffekt

- im Jungendalter
 - höherer N-Bedarf
 - geringerer Eintrag
- bei Hiebsmaßnahmen im Alter zusätzlicher N-Austrag



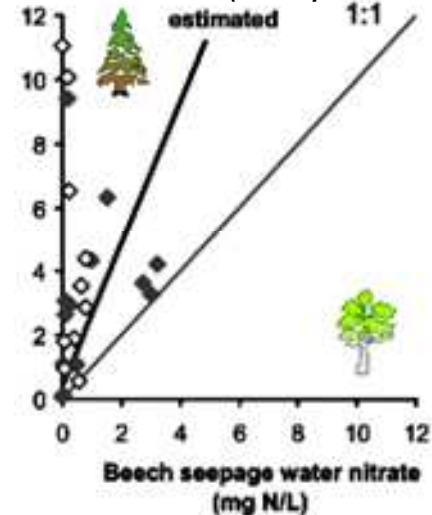
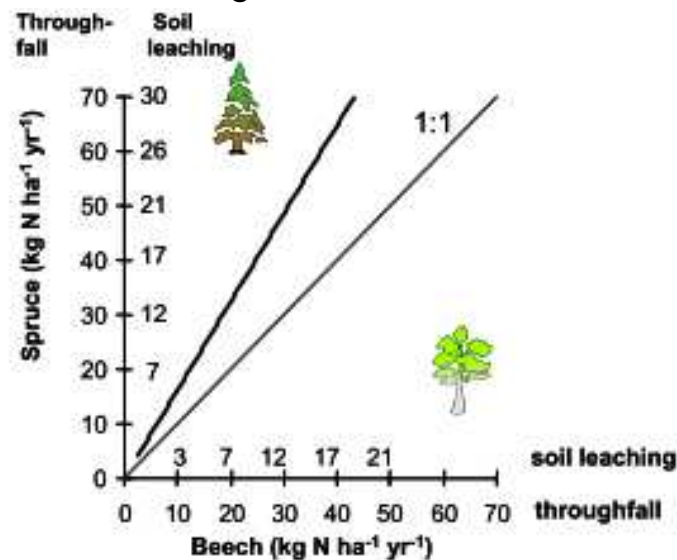
Grafiken aus ROTHE & MELLERT 2004, ROTHE et al. 2005

Hintergrund: Stickstoffsättigung

Baumarteneffekt

- Höher Nitrataustrag aus Fichten im Vergleich zu Buchenbeständen
- Hauptursache höherer N-Eintrag

Paarvergleiche von Beständen auf vergleichbarem Standort (europ. Studien)



Grafiken aus ROTHE et al. 2005



Hintergrund: Stickstoffsättigung

Stickstoffsättigung unterschiedlich weit voran geschritten, je nach

- Eintragsituation
- Bestandsalter und -typ
- Standort

N-STATUS N-Sättigungszustand	nicht gesättigt	nicht gesättigt oder gesättigt auf niedrigem Niveau	gesättigt auf hohem Niveau	N-Freisetzung im Ökosystem
VERLAUF DES N-SÄTTIGUNGSPROZESSES ursprünglicher → aktueller N-Status				
<i>Fallbeispiele mitteleuropäischer Standorte mit unterschiedlichem N-Status</i>				
1. Mittelfranken, Oberpfalz	→	Kiefer		
2. Lechfeld b. Landsberg	→	Laubholz Fichte		
3. Höglwald, Eurasburger Forst	→	Buche Fichte		
4. Rhön WKS BBR	→	Buche		
5. Niederlande Speuld Ysselsteyn	→	Douglasie Kiefer		
N-Status in der Münchener Schotterebene				
südöstliche Münchener Schotterebene WKS EBE, B54, B57	→	Fichte Mischbestand	←	Rückumwandlung von Fichtenreinbeständen

Regionalisierung des Stickstoffaustragsrisikos

Konzept

Datengrundlagen

Inventurergebnisse

Regionalisierung für Bayern

Regionalisierung für Raum München

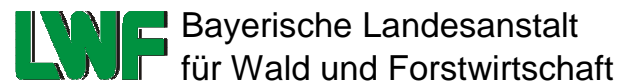


Regionalisierung Stickstoffaustrag: Partner

- Technische Universität München



- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft



- ZEBRIS GbR



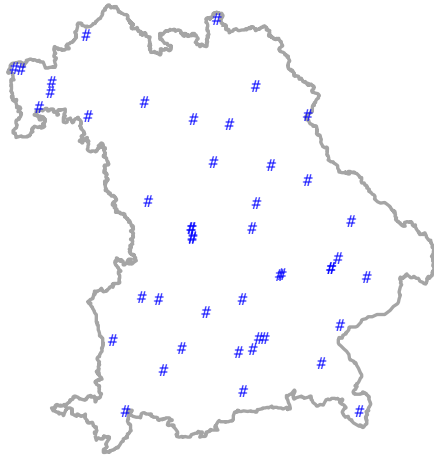
- Finanzierung:

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

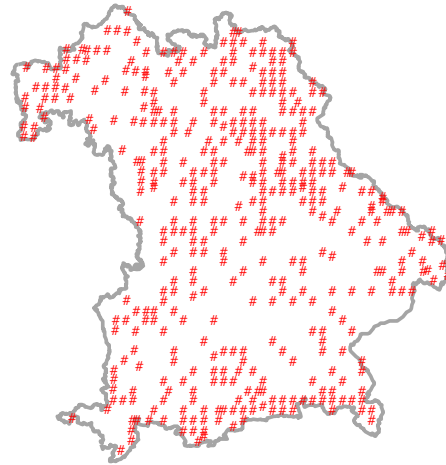


Konzept

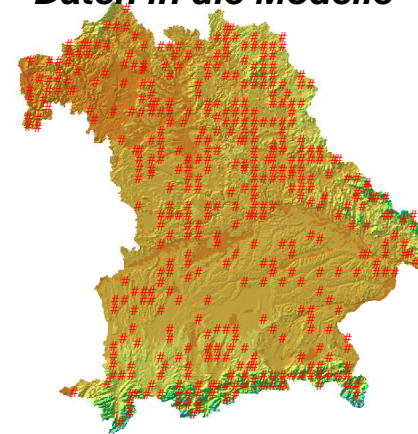
I. Vervollständigung der Datengrundlagen



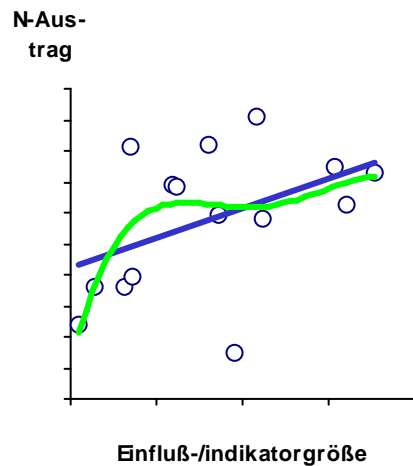
II. Landesweiter Überblick anhand der Nitratinventur



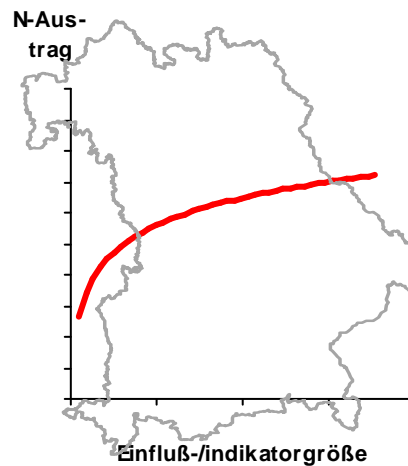
III. Aquisition und Anpassung von GIS-Daten, Einspeisung der Daten in die Modelle



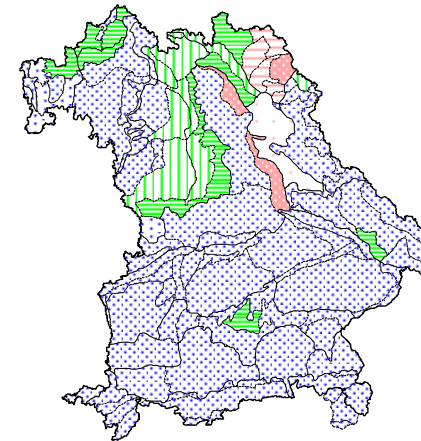
III. Modellentwicklung



IV. Regionalisierung



IV. Landesweite Übersicht



Datengrundlagen

Indikator für N-Status = $[\text{NO}_3]$ in der Bodenlösung unterhalb des Hauptwurzelraumes

- bestimmt mittels N_{\min} -Methode an 399 WBI-Punkten
- aus einer Mischprobe aus 9 Einzelproben (BZE-Methode)
- zu einem bestimmten Zeitpunkt im Inventurzeitraum (09.2001 - 12.2002)
- $[\text{NO}_3]$ bei aktuellem WG → bei Feldkapazität

Angestrebtes Modell – allgemeine Form

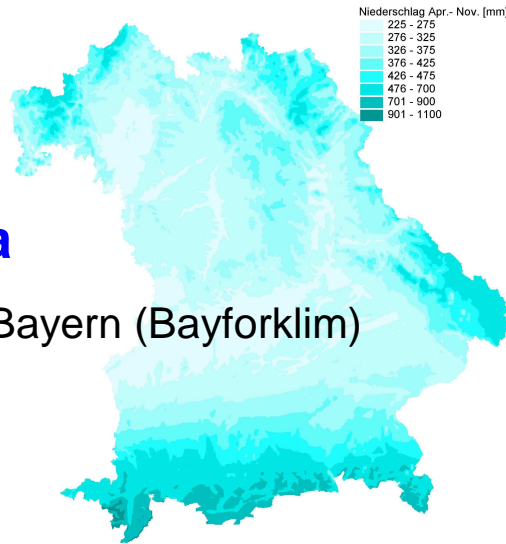
$$[\text{NO}_3] = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Wald} + \alpha_2 \text{Boden} + \alpha_3 \text{Deposition} + \alpha_4 \text{Klima} + \alpha_5$$



Datengrundlagen → Prädiktoren

→ **Klima**

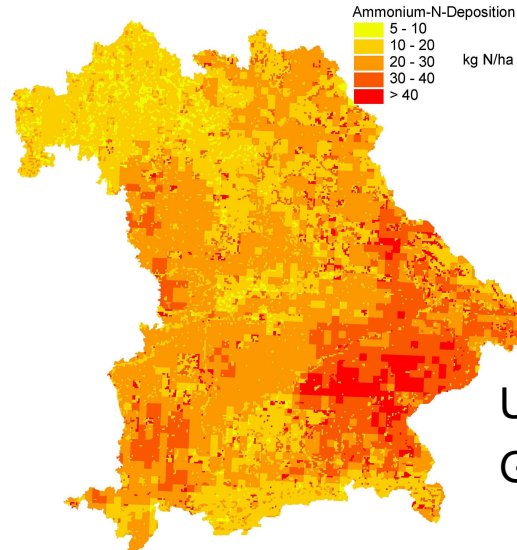
Klimaatlas Bayern (Bayforklim)



→ **Deposition**

UBA

Gauger et al. 2000



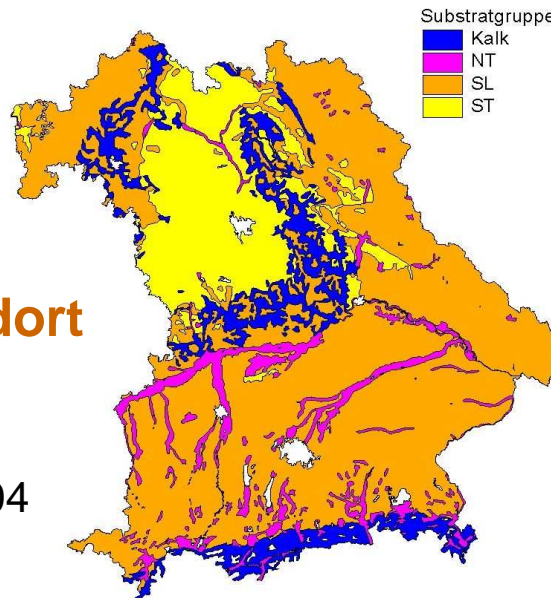
→ **Standort**

BÜK 1000

und BayGLA 2004



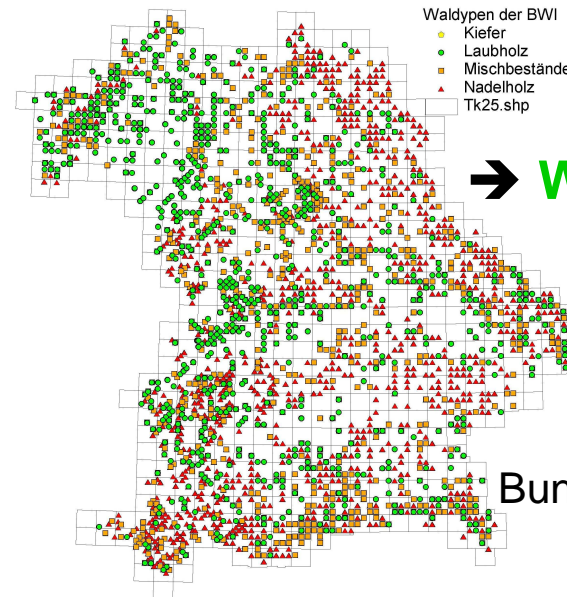
ZEBRIS GIS



→ **Waldbestand**

Bundeswaldinventur

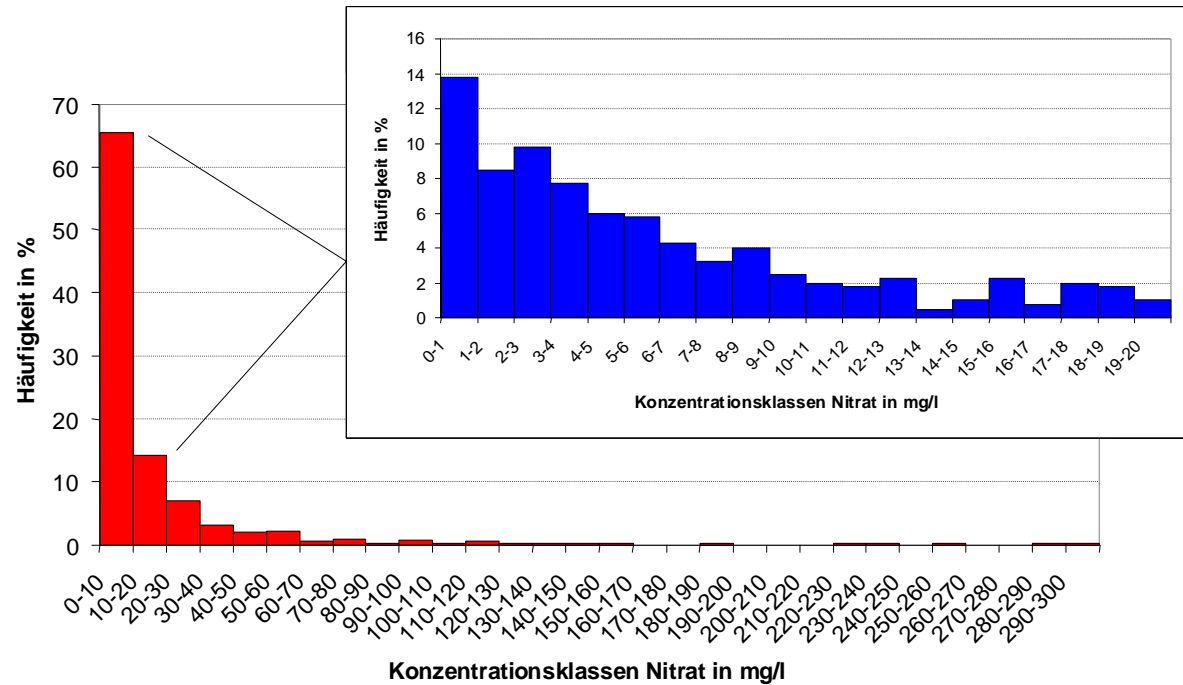
12 Essen 2010



Inventurergebnisse

Häufigkeitsverteilung der Nitratkonzentrationen:

- 50% der Bestände über 5 mg/l
- Ein Drittel > 10 mg/l
- Knapp ein Viertel > 25 mg/l
- Jeder 12. Bestand > 50 mg/l



Inventurergebnisse: Risikofaktoren

	Kiefer	Laubholz	Mischbestand	Fichte und sonstige Nadelhölzer
Tone und tonige Lehme	n = 1	10	5	4
Sande und Skelettböden	19	3	6	6
Sandige Lehme und lehmige Sande	10	13	38	48
Lehme	10	20	35	70
Humus-Karbonatböden	1	2	6	3
Kalkverwitterungslehme	3	6	8	9

Nitrat mg/l



→ Risiko erhöhter [NO₃] steigt von links nach rechts und von oben nach unten

→ Klassifizierung in Gruppen unterschiedlicher Austragsrisiken trotz hoher Streuung möglich

Inventurergebnisse: Risikofaktoren

Plausibilität: Befunde aus Intensivstudien werden weitgehend bestätigt

→ Fichte

→ **hohes Risiko**

(hoher Auskämmeffekt, niedrige NO₃-Aufnahme, höhere Denitrifikation...)

→ Kiefer

→ **niedriges Risiko**

(Indikator für N-arme, devastierte Standorte)

→ Kalkböden

→ **hohes Risiko**

(hohe Nitrifikation, meist flachgründig)

→ Sandböden

→ **niedriges Risiko**

(gebremsten N-Umsatz, geringe N-Depo)

→ Tonböden

→ **niedriges Risiko**

(geringe Wasserleitfähigkeit, Denitrifikation)



■ Regionalisierung für Bayern

Schwellenwertkonzept

- ➔ Abkehr von quantitativer Schätzung
- ➔ Einschätzung des Risiko erhöhter Nitratkonzentration (semiquantitativ)

Schwellenkonzentration ➔ 10 mg/l Nitrat

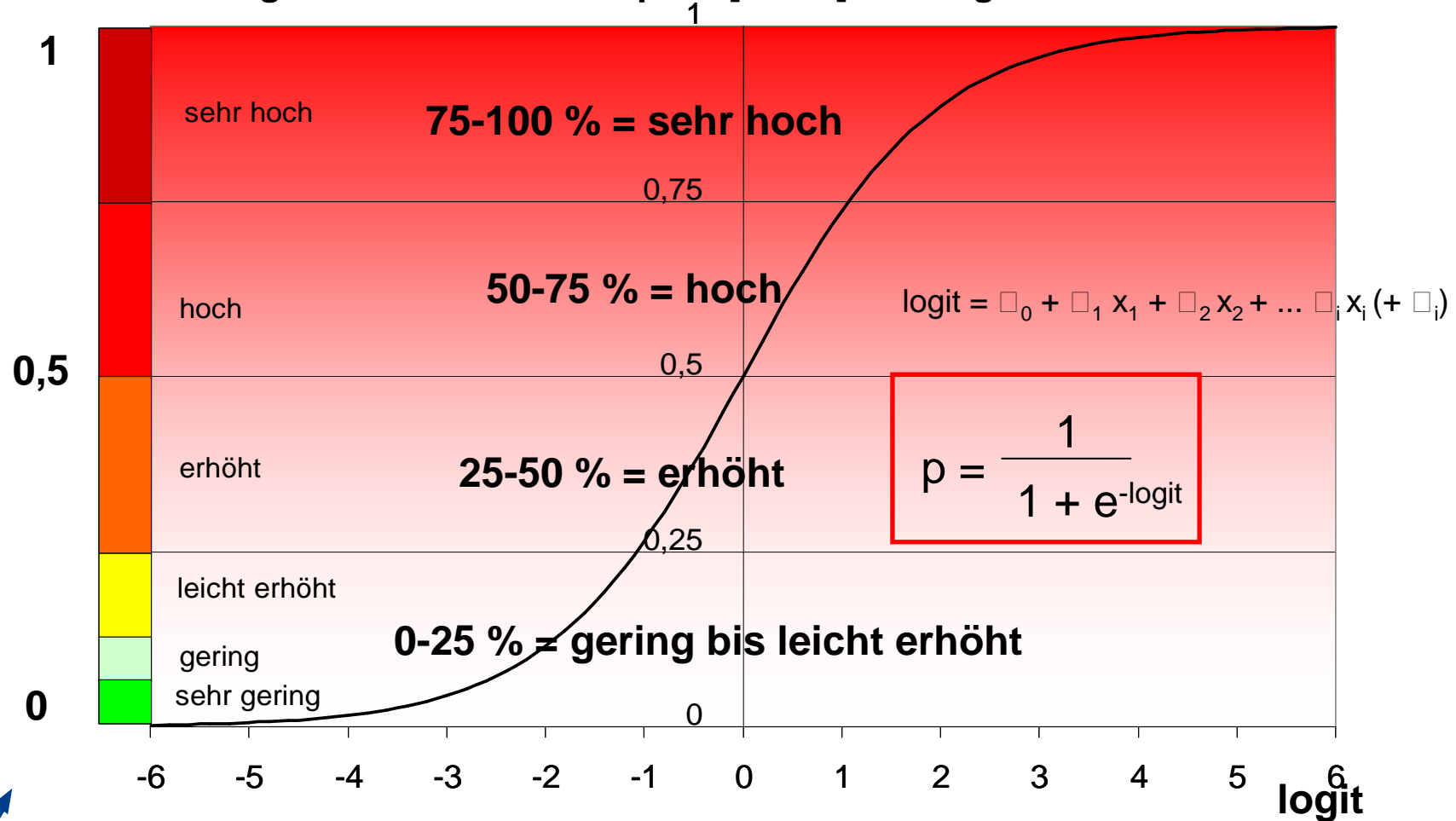
Begründung:

1. Wasserrechtliche Fundierung: **Mineral- u. TafelwasserVO** f. Säuglingsnahrung
2. „**Natürlicher Hintergrundwert**“ nach Angaben deutscher Wawi-Behörden
3. Anspruch „**sauberes Grundwasser aus dem Wald**“ wird bei Unterschreitung dieser Schwelle daher gerade noch erfüllt
4. Gemessen am naturnahen Zustand **Indiz für starke Belastung**: mittel- bis langfristig Nährstoffverluste, -imbalancen, Bodenversauerung; Änderungen im Artengefüge...



Regionalisierung: Risiko erhöhter Nitratkonzentrationen

Überschreitungswahrscheinlichkeit p für [Nitrat] > 10 mg/l



Regionalisierung für Bayern

Ergebnis der logistischen Regression

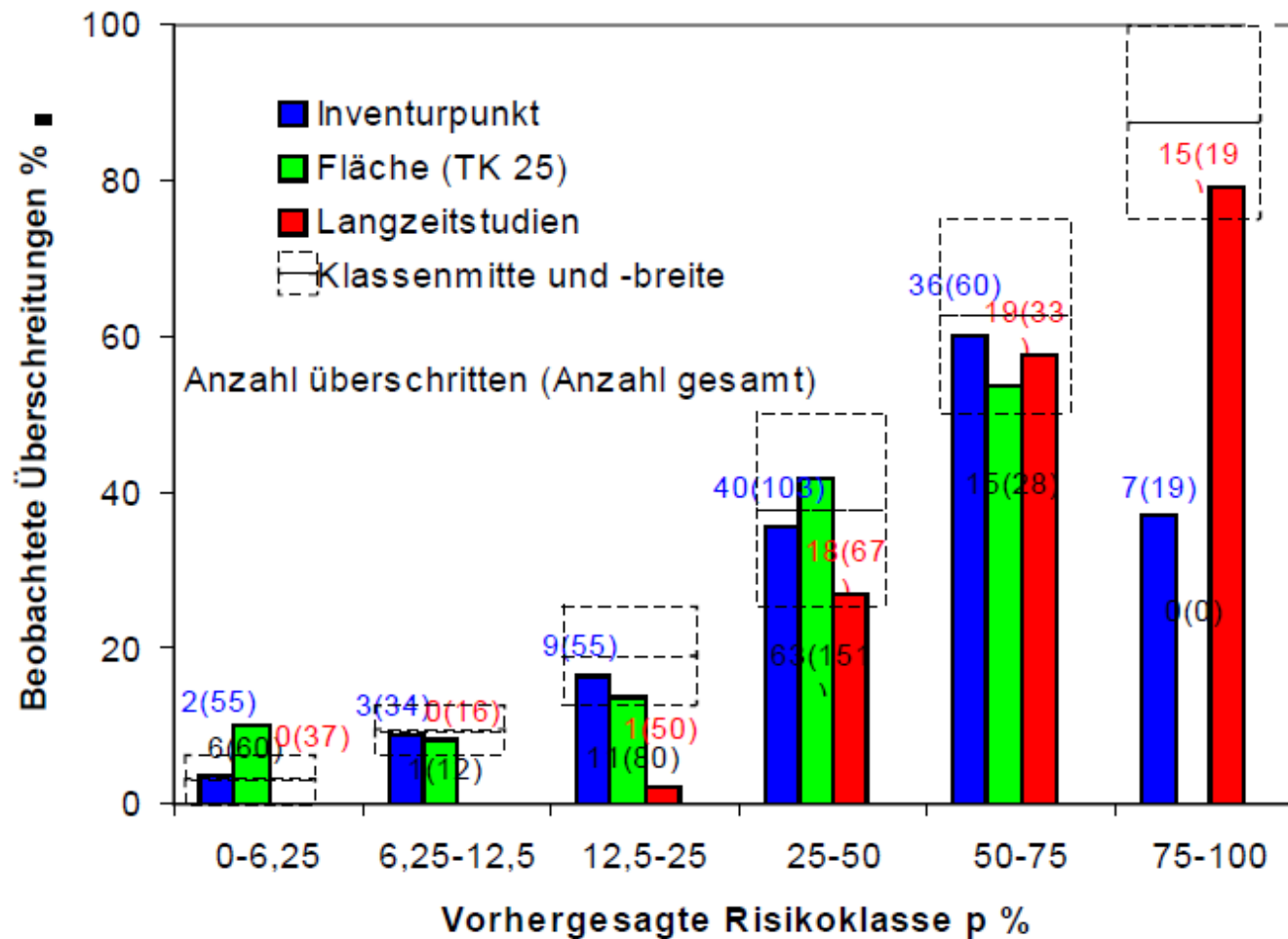
Signifikante Einflußgrößen:

- Bestandstyp
- Bodenartengruppe
- Ammoniumdeposition; + Parameter → landwirtschaftliche Emissionen
- Winterniederschlag; - Parameter → Nitratauswaschung dominiert im Winterhalbjahr



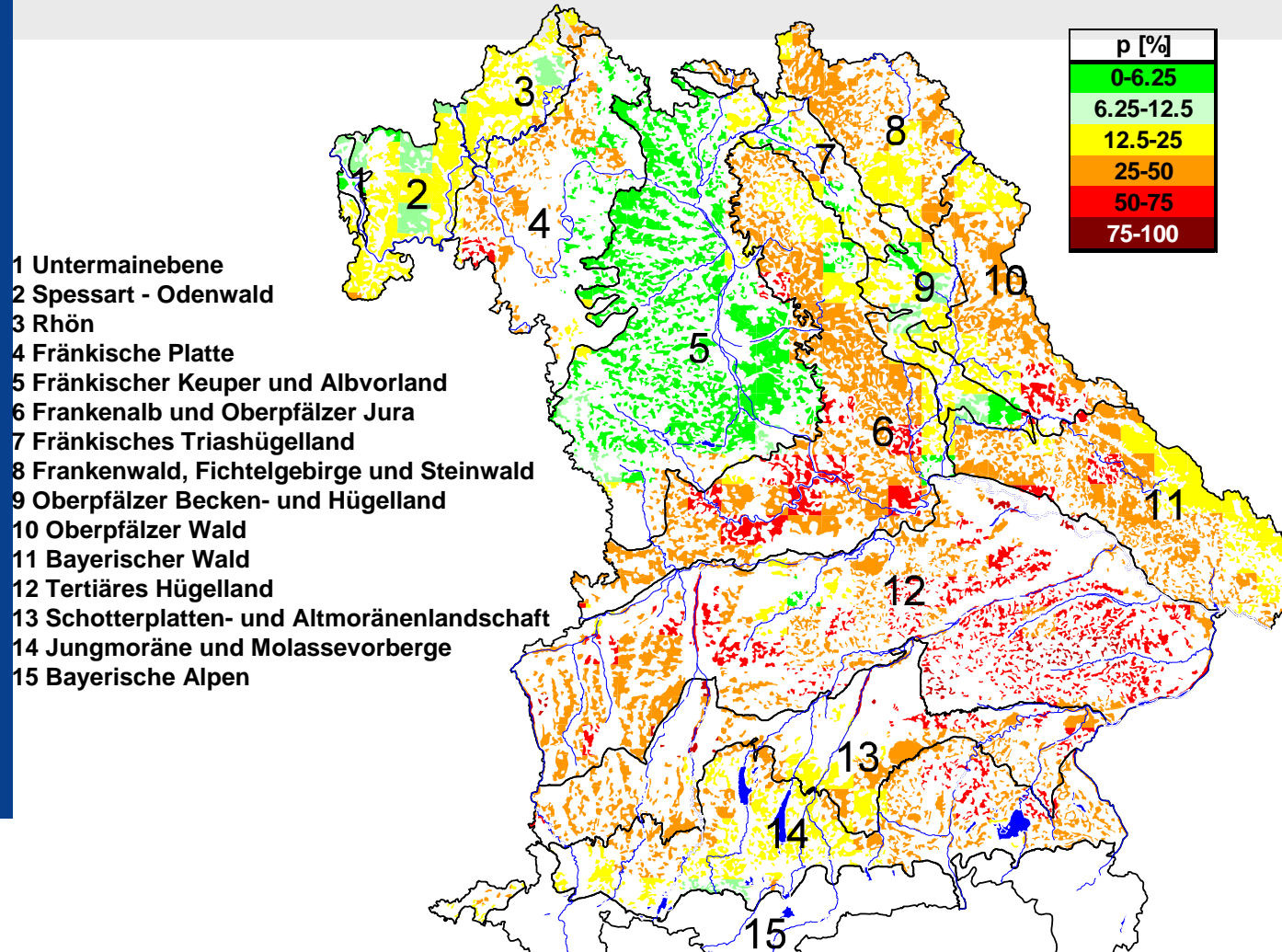
Regionalisierung für Bayern: Validierung

Validierung an unabhängigen Datensatz (25 Flächen m. Langzeitbeobachtung)

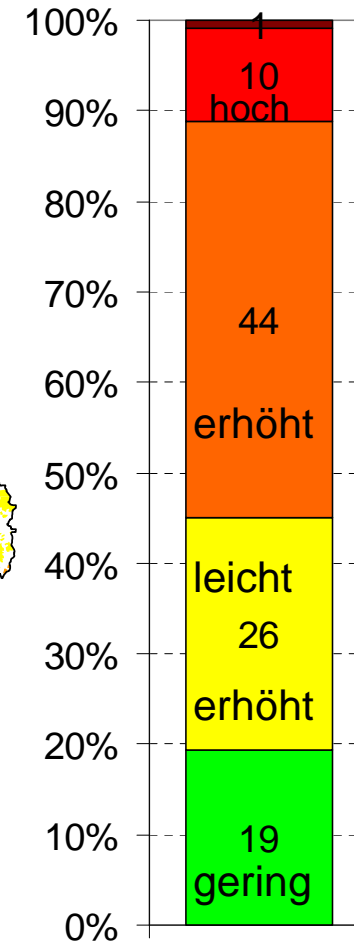


Regionalisierung für Bayern: Karte

Risikoklassen Nitrat > 10 mg/l



- 1 Untermainebene
- 2 Spessart - Odenwald
- 3 Rhön
- 4 Fränkische Platte
- 5 Fränkischer Keuper und Albvorland
- 6 Frankenalb und Oberpfälzer Jura
- 7 Fränkisches Triashügelland
- 8 Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald
- 9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland
- 10 Oberpfälzer Wald
- 11 Bayerischer Wald
- 12 Tertiäres Hügelland
- 13 Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft
- 14 Jungmoräne und Molassevorberge
- 15 Bayerische Alpen



Bayern

➔ N-Status überregional stark differenziert

➔ auf großer Fläche fortgeschrittene N-Sättigung

renz Essen 2010



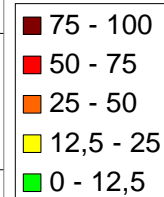
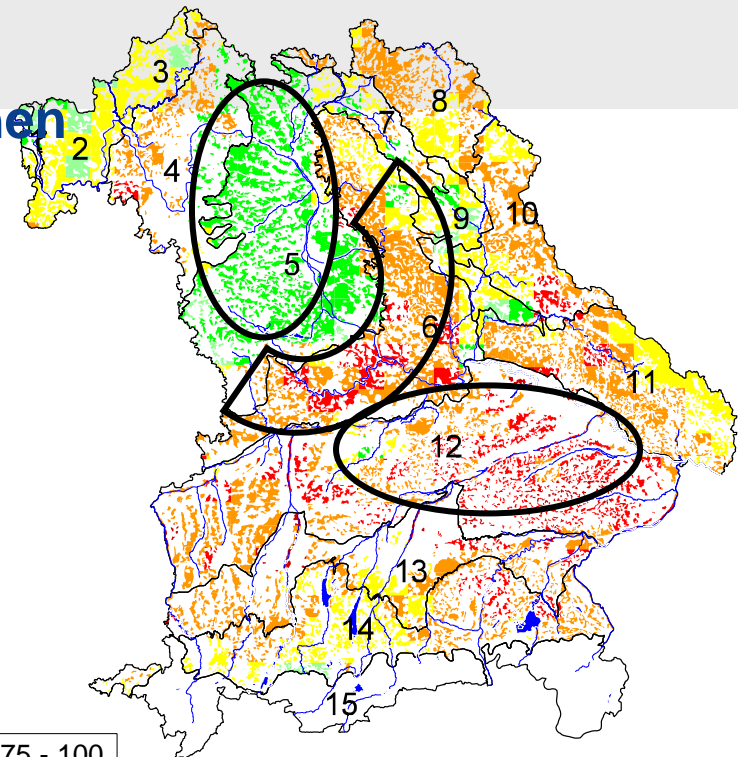
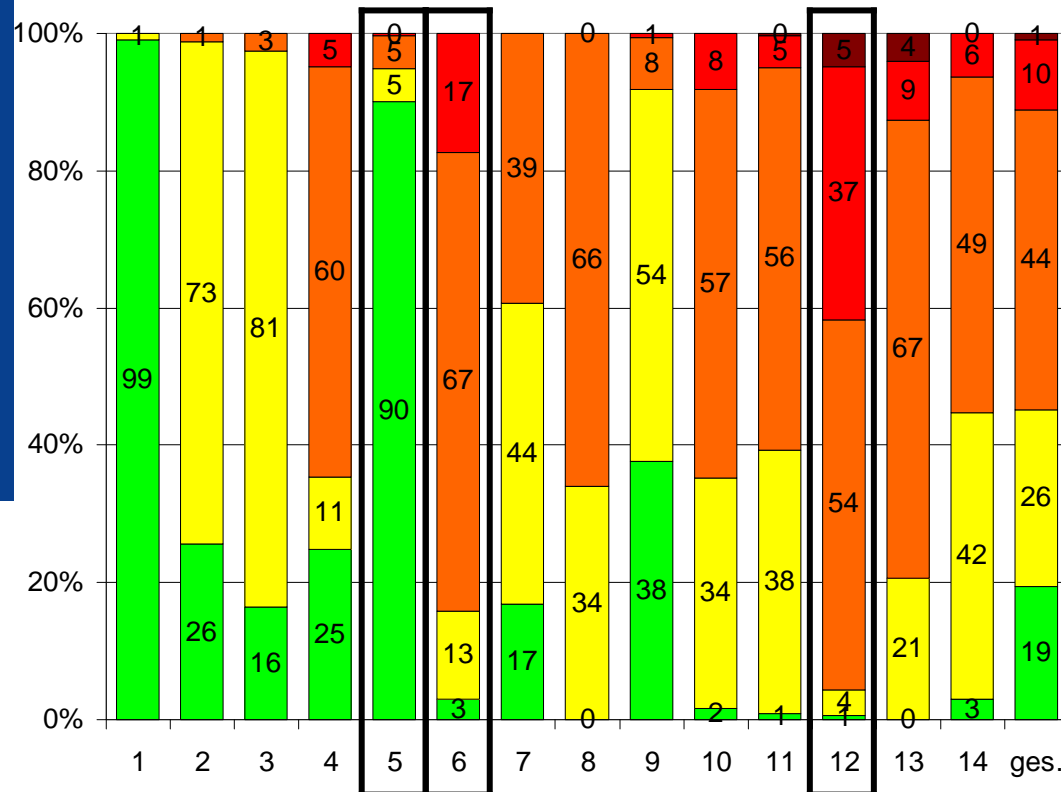
Regionalisierung für Bayern

Unterschiedliche Risiken in den bayerischen Wuchsgebieten:

WG 5 – Fränk. Keuper u. Albvorl.: Kie, Sand

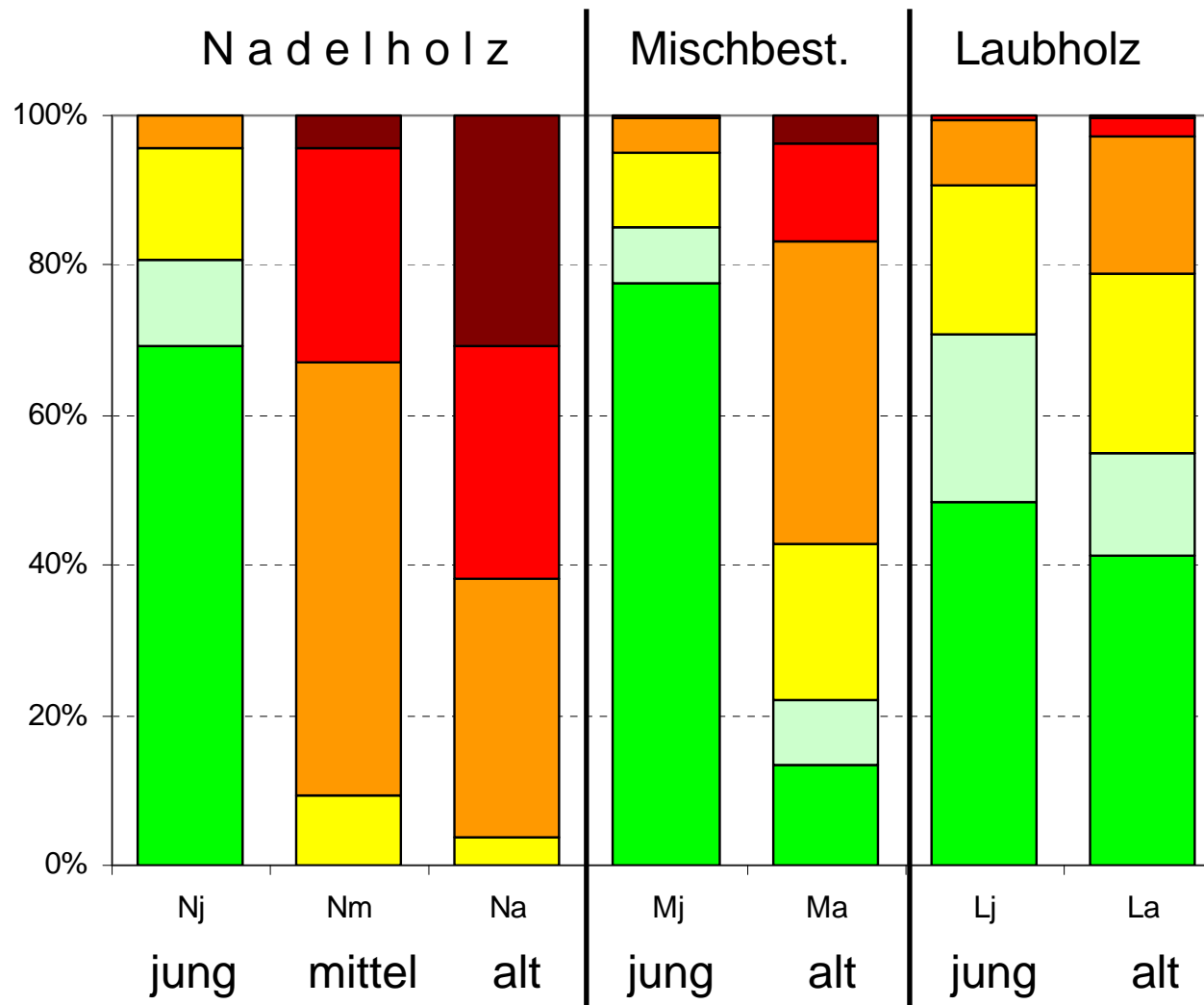
WG 12 – Tert. H.: Fi, hohe N-Depo

WG 6 – Fr. Alb: Kalkeinfluss, trotz Lbh, Kie



- 1 Untermainebene
- 2 Spessart - Odenwald
- 3 Rhön
- 4 Fränkische Platte
- 5 Fränkischer Keuper und Albvorland
- 6 Frankenalb und Oberpfälzer Jura
- 7 Fränkisches Triashügelland
- 8 Frankenwald, Fichtelgebirge und Steinwald
- 9 Oberpfälzer Becken- und Hügelland
- 10 Oberpfälzer Wald
- 11 Bayerischer Wald
- 12 Tertiäres Hügelland
- 13 Schotterplatten- und Altmoränenlandschaft
- 14 Jungmoräne und Molassevorberge
- 15 Bayerische Alpen

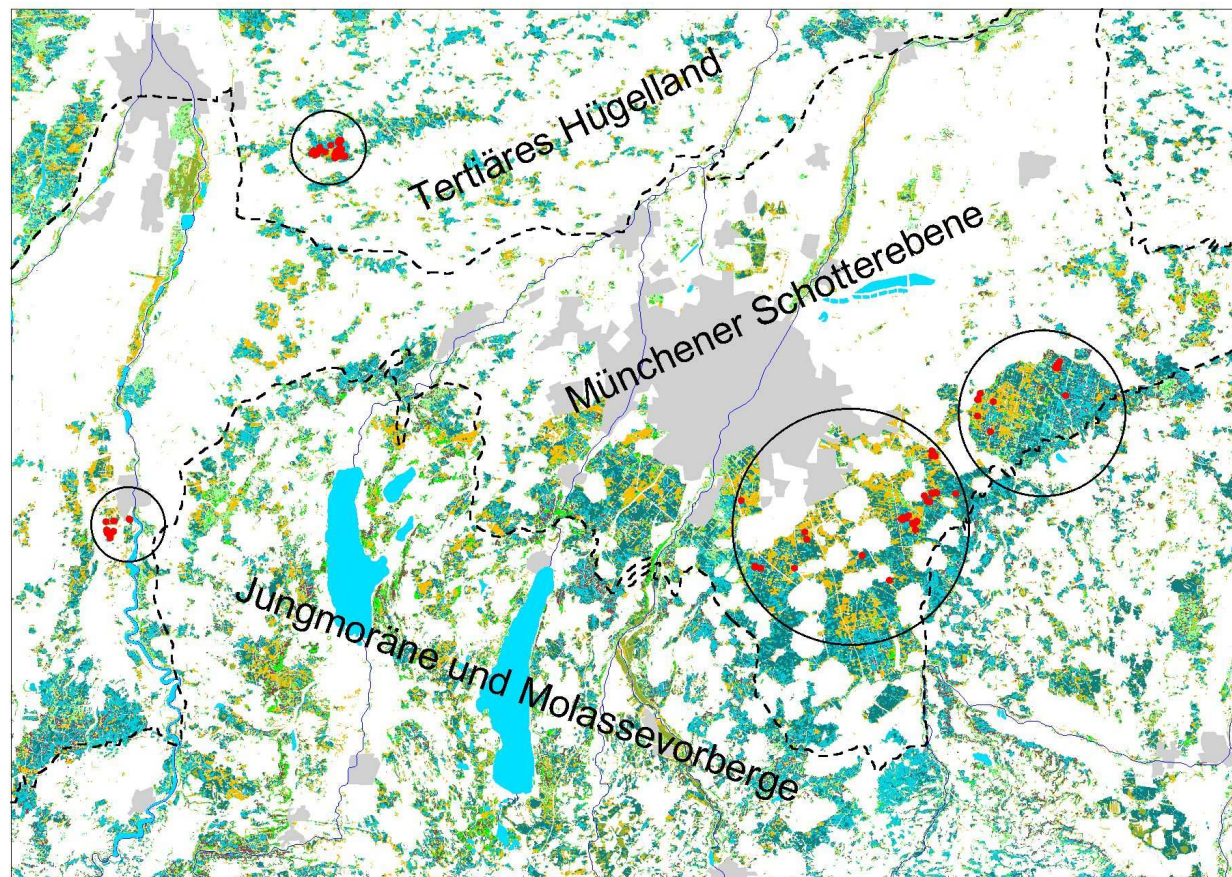
Verteilung der Risikoklassen nach Waldtyp (Flächenanteile)



Regionalisierung für Modellgebiet: Satellitendaten

Landsat 7 Szenen aus wolkenfreiem Überflug (Enhanced Thematic Mapper [ETM+]-Sensor)
Überwachten Klassifikation nach dem Maximum Likelihood-Verfahren

Validierung mit digitalen Forsteinrichtungsdaten sowie Geländeaufnahmen



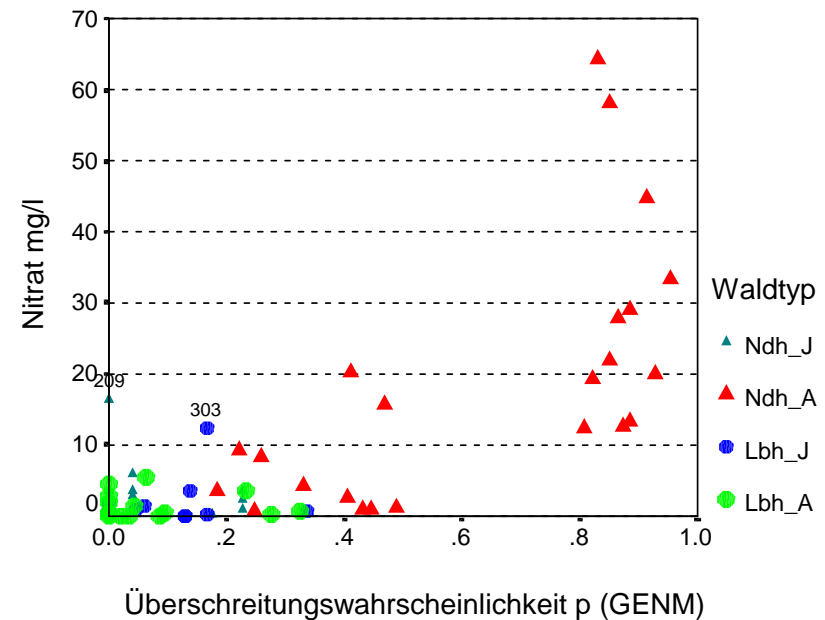
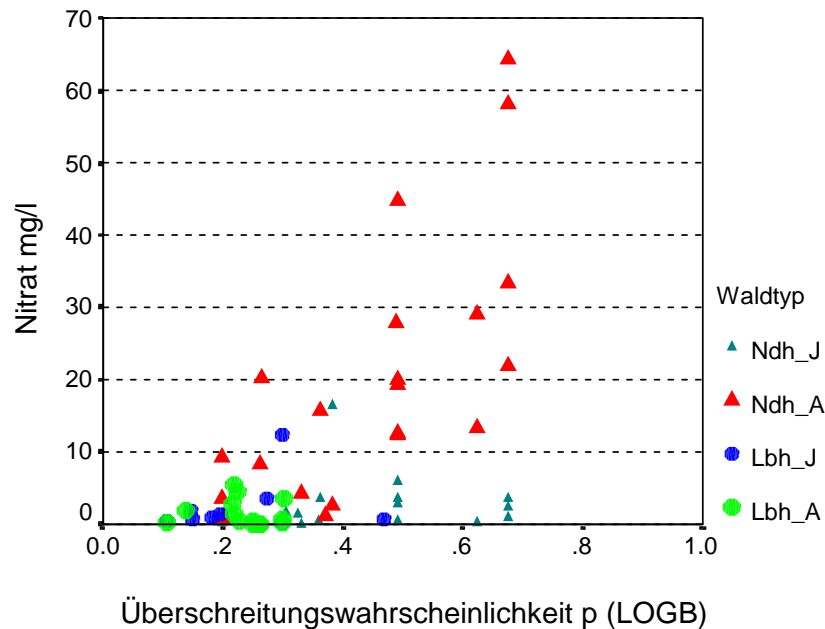
Ergebnis:

Waldtypen in 7 Klassen
mit Relevanz für den
N-Kreislauf

Laubwald jung
Laubwald alt
Mischwald jung
Mischwald alt
Nadelwald jung
Nadelwald mittelalt
Nadelwald alt

Regionalisierung für Modellgebiet: genestetes Modell

Sickerwasseruntersuchung in 65 Beständen



→ Die Präzision der Schätzung konnte verbessert werden

→ **Bewaldungsgrad** und das **Bestandesalter** als zusätzliche Prädiktoren

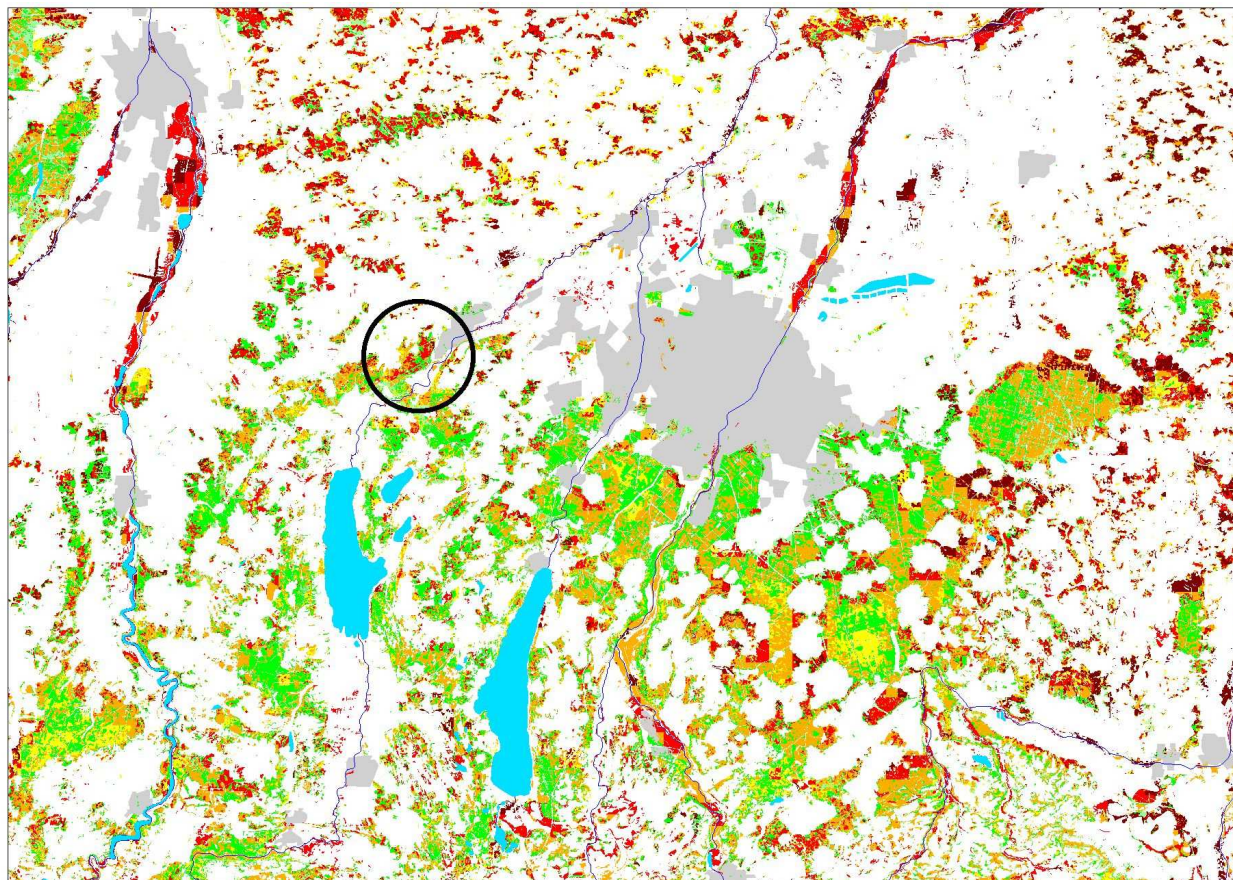


Regionalisierung für Modellgebiet: Ergebnisse

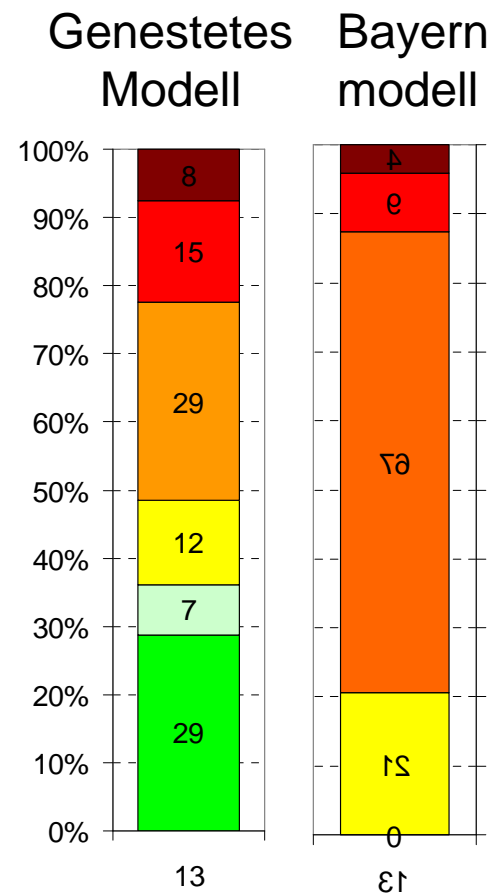
hoher Bewaldungsgrad und Jungbestände

→ Absenkung der **geschätzten Risiken** gegenüber „Bayernmodell“

→ stärkere Differenzierung der **geschätzten Risiken** im genesteten Modell



Risikoklassen



Zusammenfassung Regionalisierung

Nitratmessungen → unerwartet hohe Nitratkonzentrationen unter Wald
→ dringender Handlungsbedarf

Regionalisierungsmodelle

→ **Genestete Modellierung** effiziente Methode für Risikoschätzung auf der jeweils betrachteten Skalenebene

Möglichkeiten → Risikofaktoren identifizieren ✓

→ Karten als Planungsgrundlage ✓

→ Risikogebiete ausweisen ✓

→ Flächenanteile erhöhten Risikos abschätzen ✓

→ Handlungsprioritäten festlegen ✓

→ Szenarien ✓

→ Quantitative Schätzung für den Einzelfall ✗

Grenzen !



Schlußfolgerungen

- Stickstoffeinträge führen zu massiven Belastungen für Bestände, Waldböden und Grundwasser
- Nadelwälder und Gebiete mit erhöhter Ammoniumdeposition aus der Landwirtschaft haben höheres Risiko der N-Sättigung
 - > Umbau zu Mischwäldern
 - > Reduktion der landwirtschaftlichen Emissionen
- Regionalisierung der N-Sättigung ermöglicht Planung in der Fläche auf verschiedenen Maßstabsebenen

