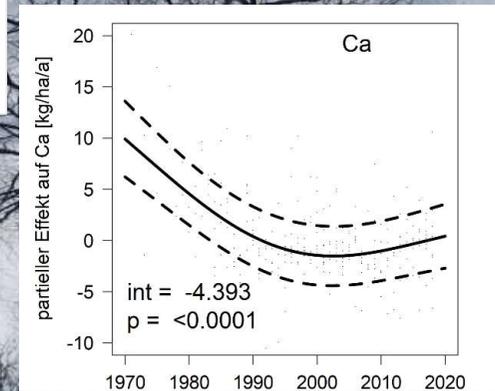
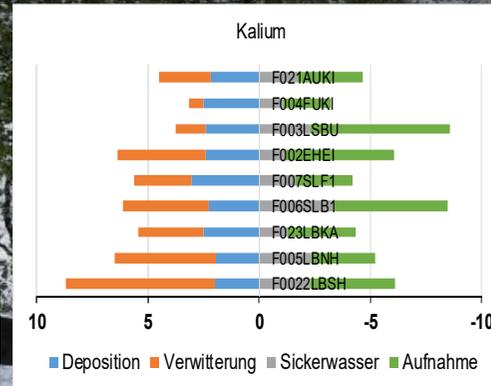
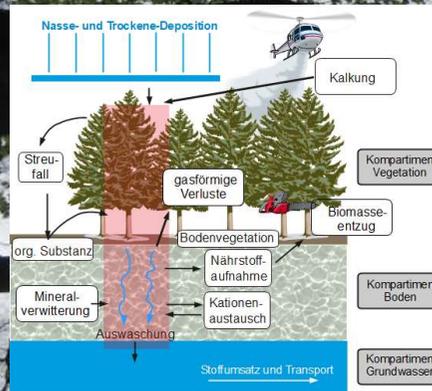


Stoffbilanzen und ihre Trends auf forstlichen BDF (BDF-F) in Niedersachsen



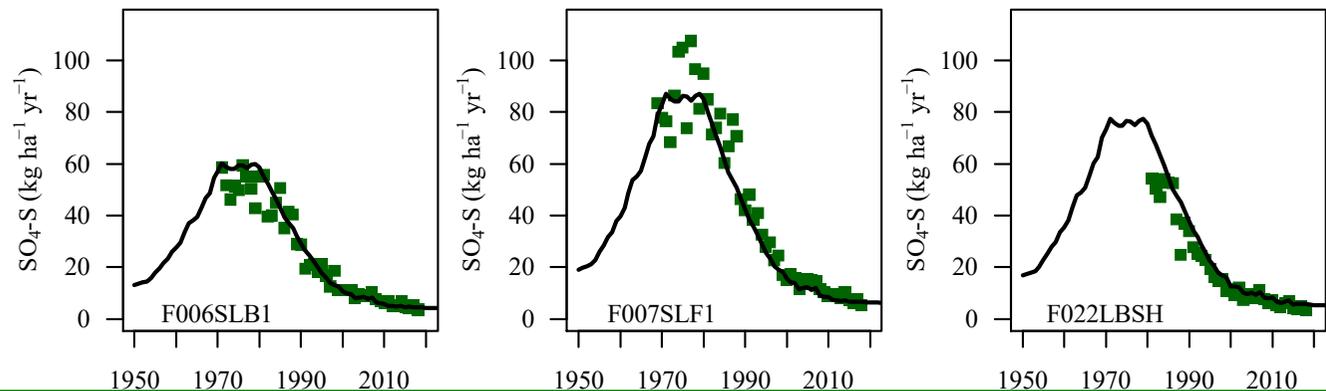
Bernd Ahrends, Birte Scheler, Markus Wagner, Stefan Fleck,
Heike Fortmann & Henning Meesenburg

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

Foto: Bernd Ahrends

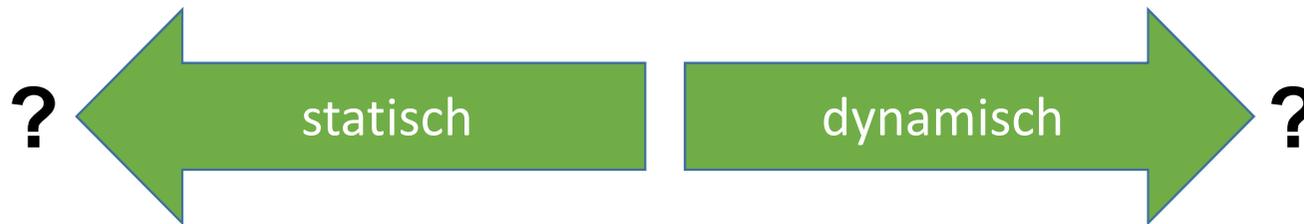
Einleitung

- ein vielfach verwendetes **Instrument zur standörtlichen Bewertung** und zur **Beschreibung der stofflichen Entwicklung** von Wäldern ist die Nährstoffbilanzierung.
- Fragestellungen: Nutzungsintensitäten, Kalkungsplanung, Critical Loads,
- auf vielen Flächen des forstlichen intensiven Bodendauerbeobachtung können Stoffbilanzen mittlerweile für **über 30 Jahre** berechnet werden.
- während dieser Zeit sind **einige Bilanzglieder** und sie beeinflussende Umweltfaktoren einer **hohen zeitlichen Dynamik** unterlegen.

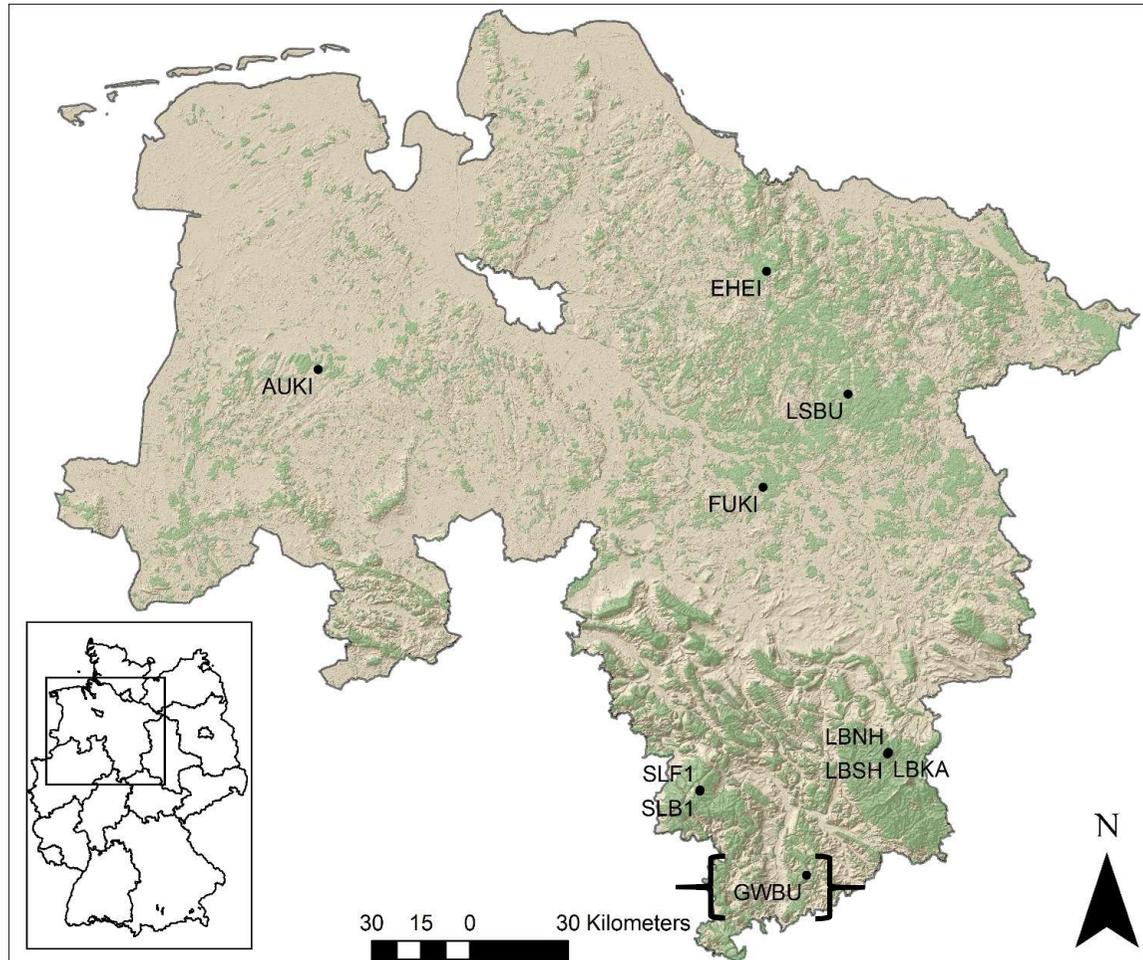


Fragestellung

- wie **stabil sind die Nährstoffbilanzsalden** trotz aller dynamischen Einflussfaktoren und Entwicklungen der Bilanzglieder aufgrund von Feedbacks innerhalb der Stoffbilanz (Eintrag – Austrag)?



Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen Forst (BDF-F)



➤ ausgeschlossen wurde F009 GWBU im Göttinger Wald mit sehr nährstoffreichen Bedingungen auf Muschelkalk. Durch die **absoluten Unsicherheiten** bei der Berechnung von **Verwitterung und Sickerwasser- austrägen** auf Kalk- und Dolomitstandorten (Weis & Ahrends 2018) würden die **Änderungssignale** durch die Einbeziehung des Standortes möglicherweise **stark verzerrt bzw. überlagert**.

Stoffbilanzierung – Bodendauerbeobachtung Forst

Die Stoffbilanz für die Elemente Ca^{2+} , Mg^{2+} und K^+ wurde nach der folgenden Gleichung ermittelt:

$$B_X = D_X + V_X - S_X - E_X \quad \text{Gl. 1}$$

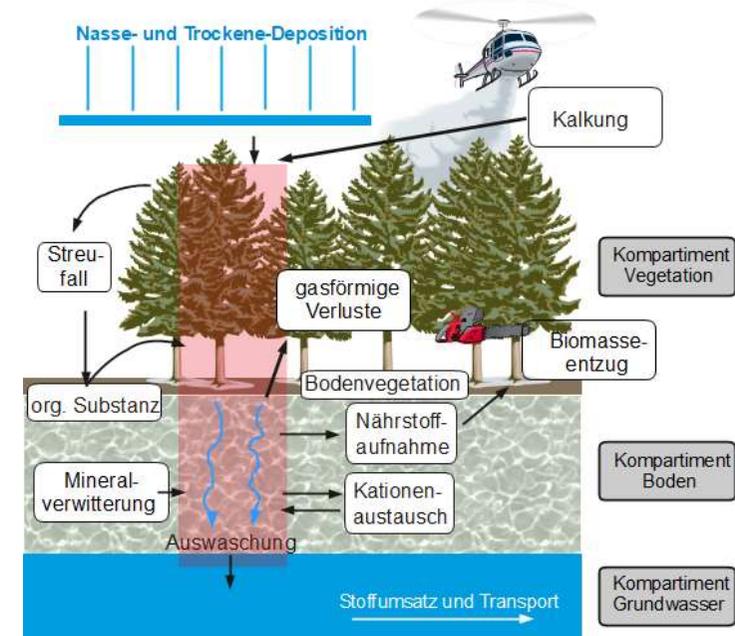
mit B = Stoffbilanz, D = Deposition, V = Verwitterung, S = Sickerwasser-austrag, E = Ernteentzüge, X = Element (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+).

Die Stickstoffbilanz berechnet sich nach Brumme et al. (2021) wie folgt:

$$B_N = D_N + F_N - S_N - E_N - G_N \quad \text{Gl. 2}$$

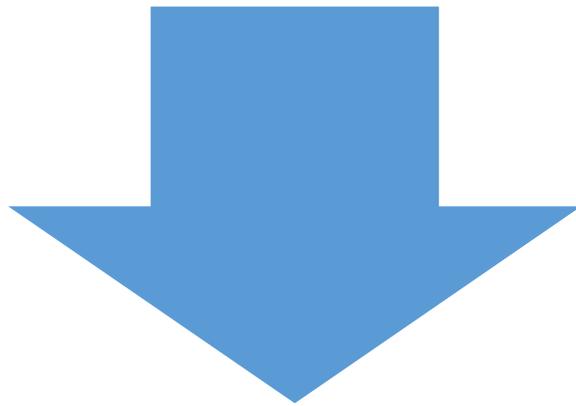
unter der Annahme, dass sich bei **tonarmen und grundwasserfernen** Waldstandorten die gasförmigen N (N_2O & NO_x) Verluste (G) in etwa der N Fixierung (F) entsprechen ergibt sich vereinfacht:

$$B_N = D_N - S_N - E_N \quad \text{Gl. 3}$$



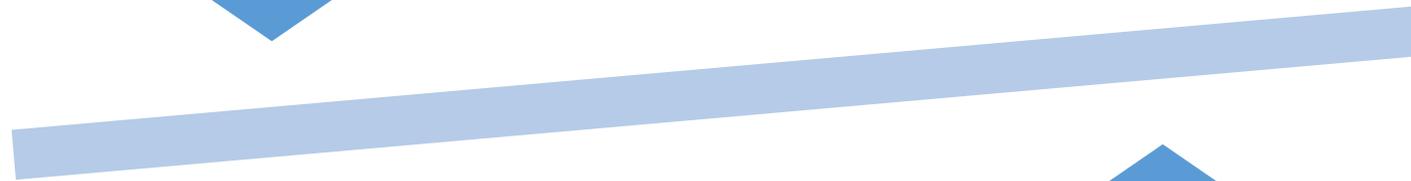
Brumme, R., B. Ahrends, J. Block, C. Schulz, H. Meesenburg, U. Klinck, M. Wagner & P. K. Khanna (2021): Cycling and retention of nitrogen in European beech (*Fagus sylvatica* L.) ecosystems under elevated fructification frequency. *Biogeosciences*, 18, (12): 3763-3779.

Stoffbilanzierung - Methodik



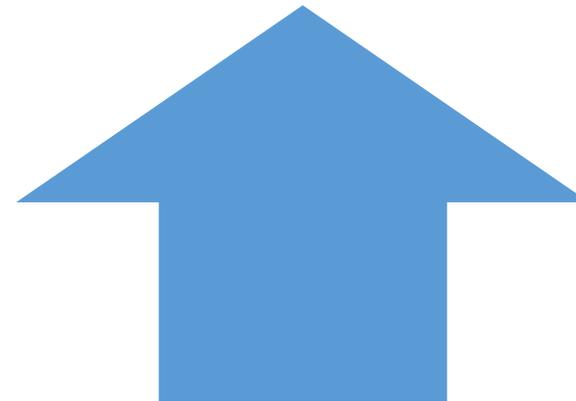
INPUT

- Verwitterung (Modell Profile 5.1 gekoppelt mit Wasserhaushaltsmodell)
- Deposition (Messungen + KRB nach Ulrich 1994)



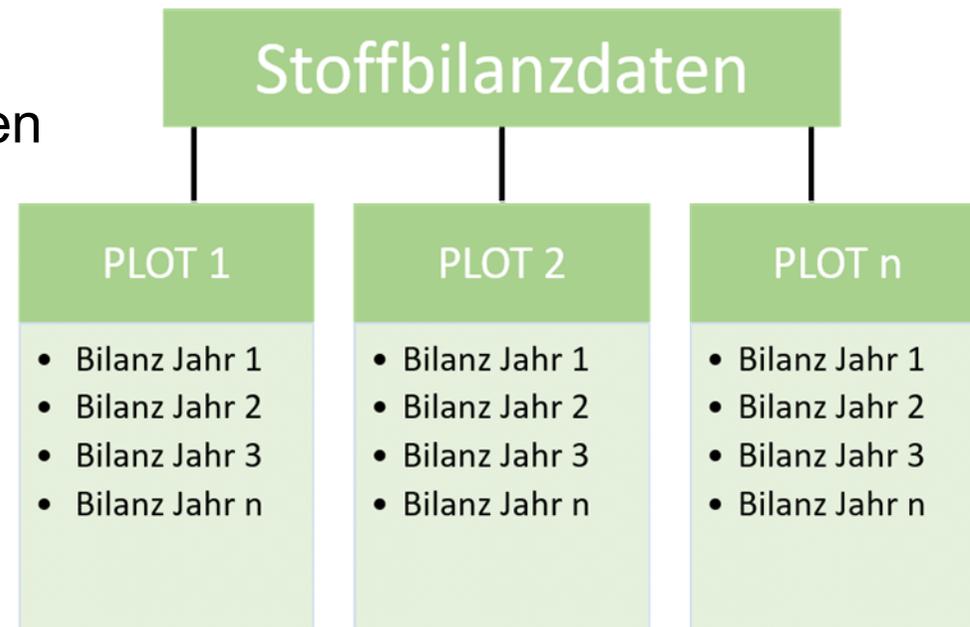
OUTPUT

- Sickerwasser (Lysimeter + LWF-Brook90)
- Festlegung (Biomasseinventuren + Bioelementgehalte)

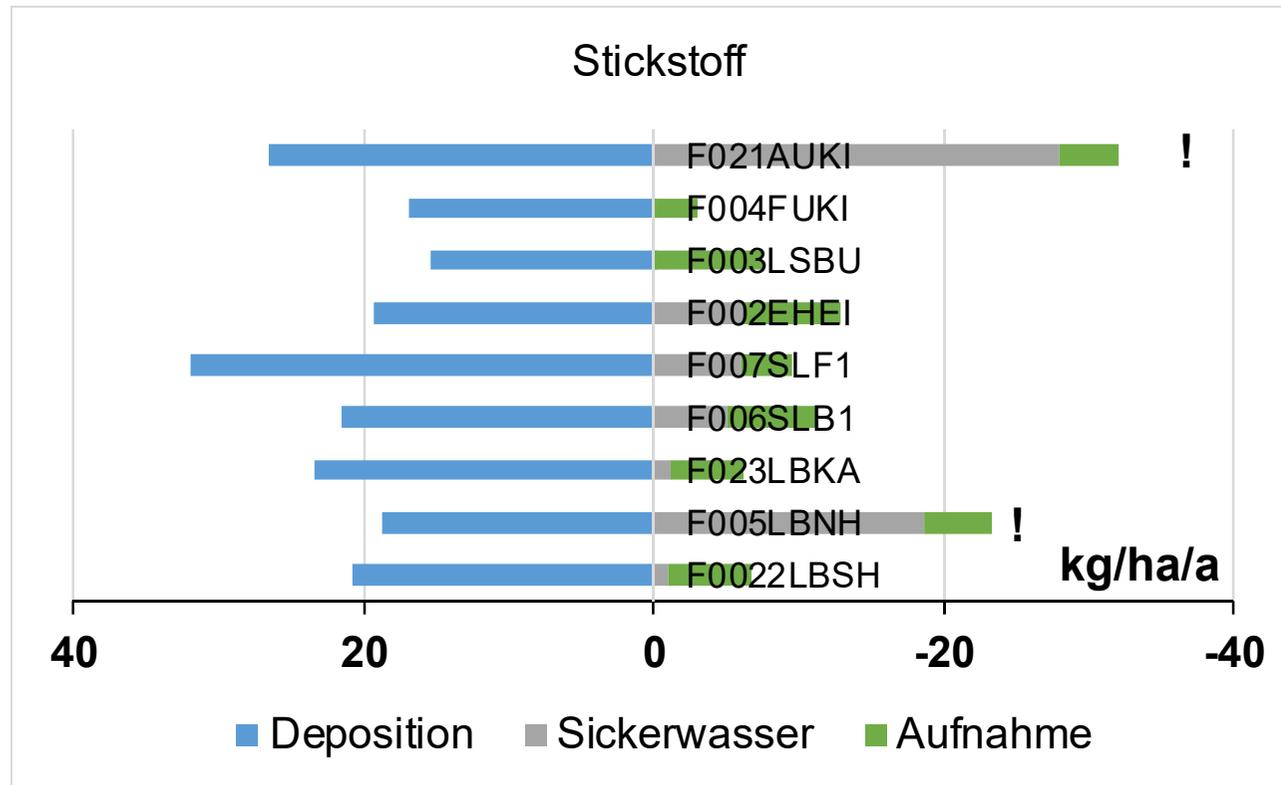


Trendanalyse

- Zur Analyse von zeitlichen Trends werden häufig gemischte Modelle mit dem **Standort** als zufälligen Effekt (random effect) und dem **Jahr** als festen Effekt (fixed effect) verwendet (Braun et al. 2020, Knape et al. 2016).
- Die Einbeziehung des **Standortes als zufälligen Effekt** ist notwendig, um die „pseudo-replicated“ Datenstruktur hinreichend zu berücksichtigen
- da die Veränderungen von Umweltvariablen häufig **nichtlinear** sind, wurde ein generalisiertes additives gemischtes Modell (GAMM) verwendet (Zurr et al. 2009).



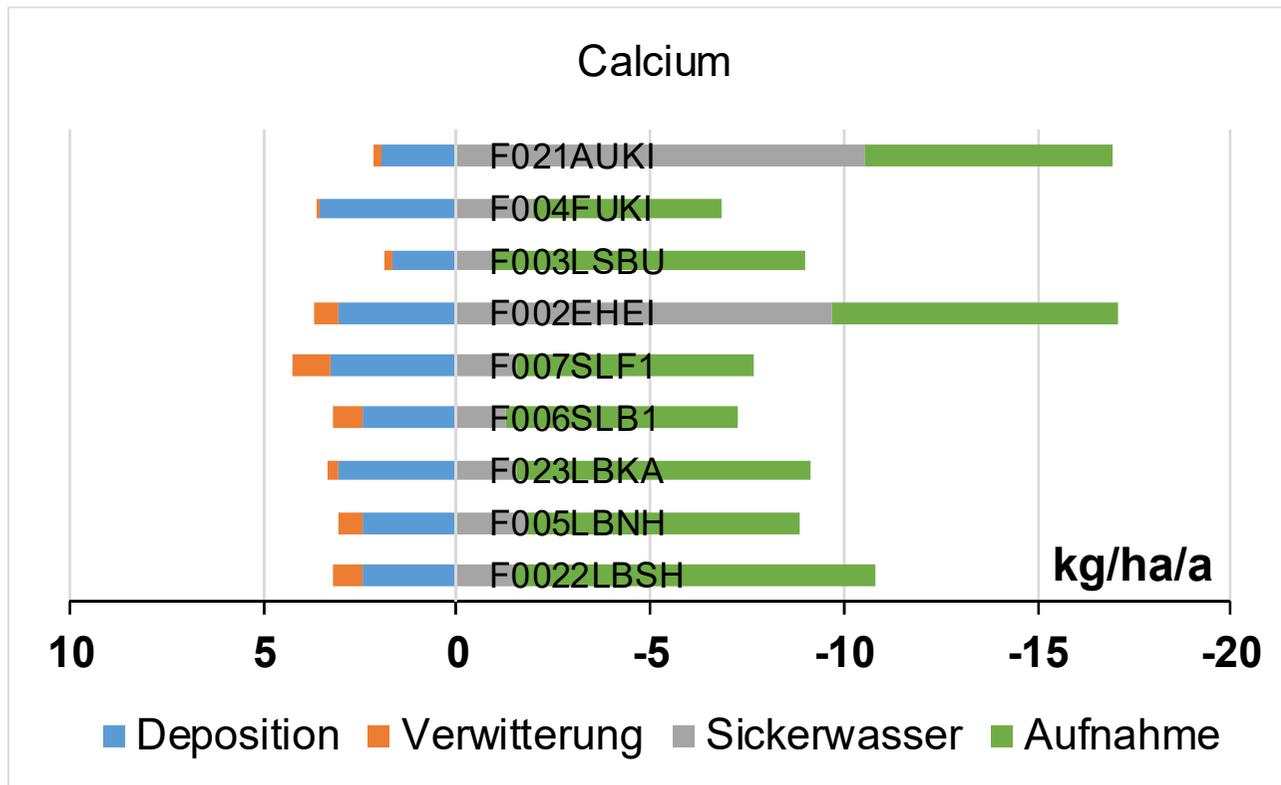
Langfristige Stoffbilanzen (1999-2018) - Stickstoff



- Stickstoffüberschuss
- Hohe Austräge bei AUKI & LBNH deuten auf Stickstoffsättigung hin
- Ø **N-Bilanzsaldo** von: $8,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$
- BZE in Niedersachsen (Evers et al. 2019) ergab ein Saldo von: $6,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aus Bilanzierungen und von $8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ aus Vorratsdifferenzen

Evers, J., I. Dammann, N. König, U. Paar, V. Stüber, A. Schulze, M. Schmidt, E. Schönfelder & J. Eichhorn (2019): Waldbodenzustandsbericht für Niedersachsen und Bremen. Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 19, 498.

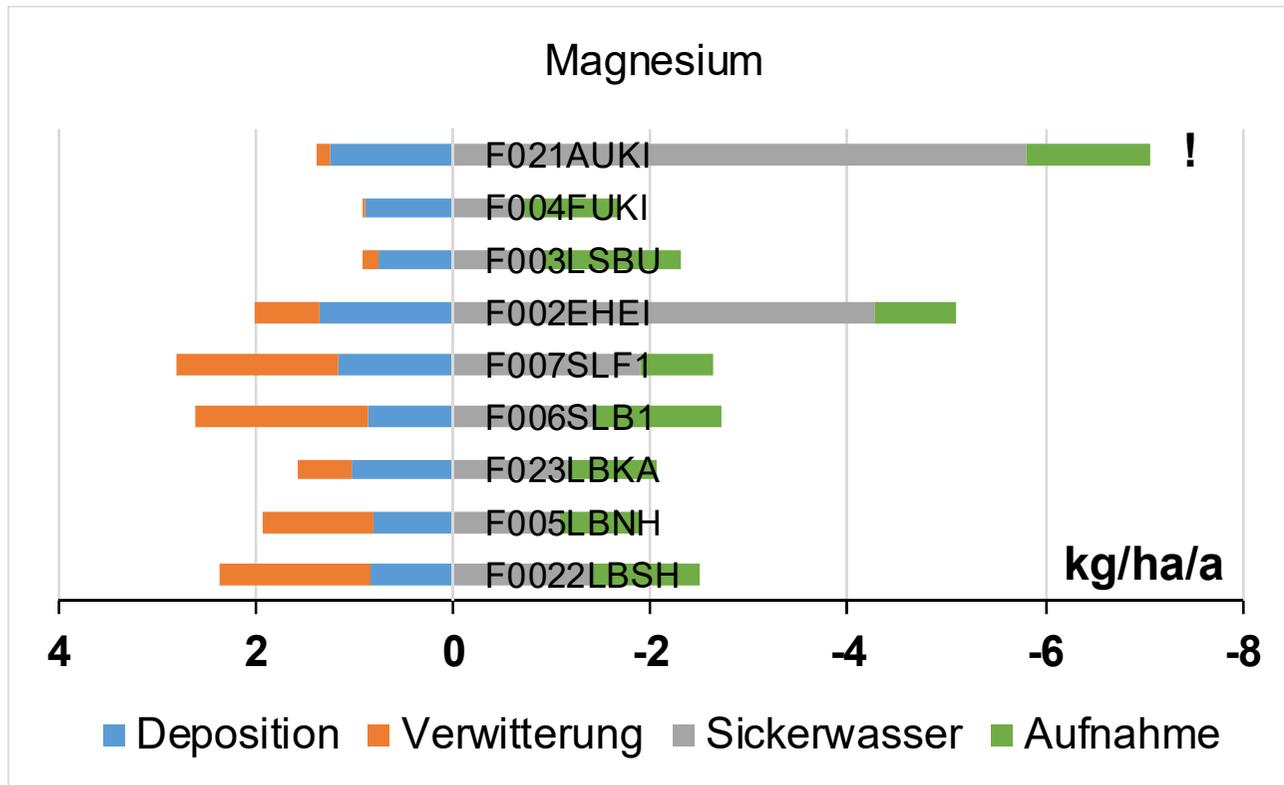
Langfristige Stoffbilanzen (1999-2018) - Calcium



- Ø Ca-Bilanzsaldo von: $-8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$
- starke Entzüge durch die Biomasseaufnahme
- AUKI & EHEI mit hohen Sickerwasserverlusten
- signifikante Abnahmen von Ca-Vorräten bei ungekalkte Standorten zeigen auch andere Studien (Evers et al. 2019; Paar et al. 2016)

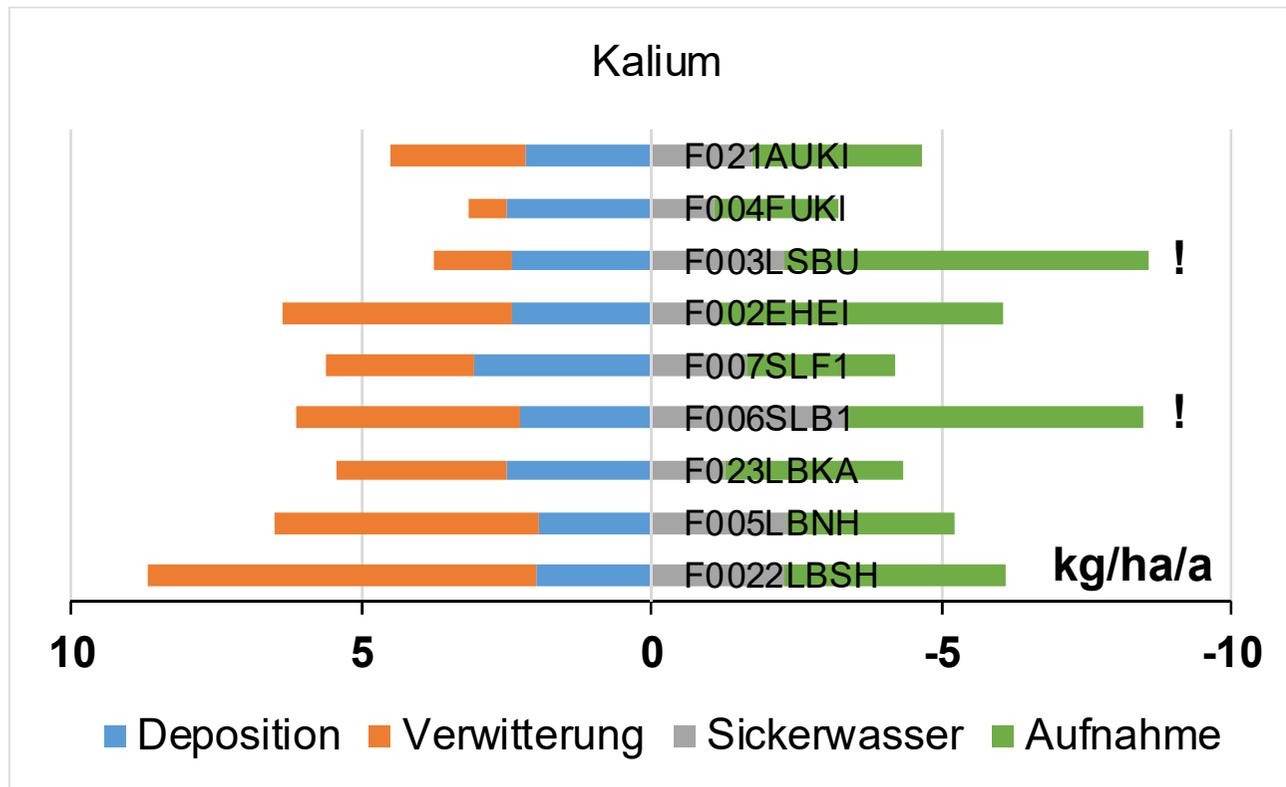
Paar, U., J. Evers, I. Dammann, N. König, A. Schulze, M. Schmidt, E. Schönfelder, B. Scheler, T. Ullrich & J. Eichhorn (2016): Waldbodenzustandsbericht für Hessen. Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 15, 456.

Langfristige Stoffbilanzen (1999-2018) - Magnesium



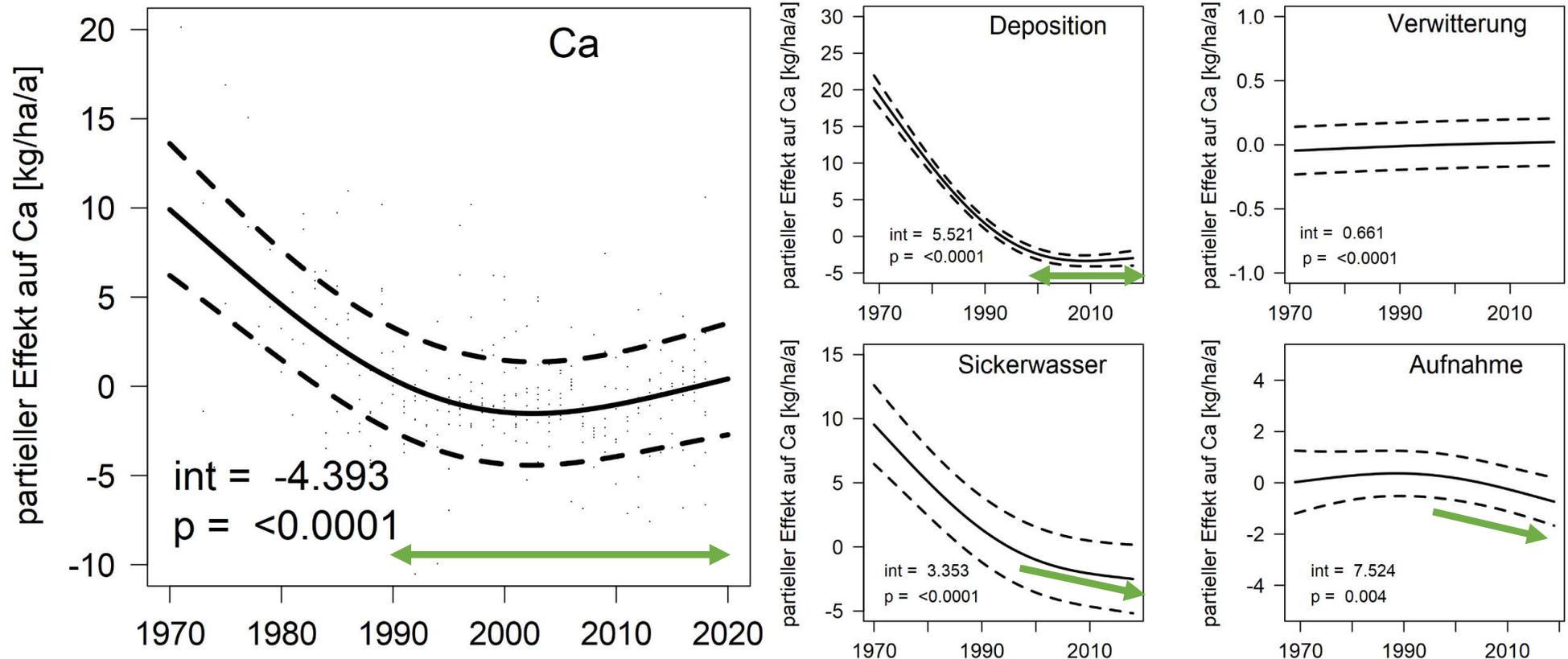
- ausgeglichene Bilanzen als bei Calcium
- AUKI & EHEI durch hohe **Sickerwasserverluste** gekennzeichnet
- bei AUKI mögliche „Nebenwirkungen“ einer Kalkung (1985)

Langfristige Stoffbilanzen (1999-2018) - Kalium



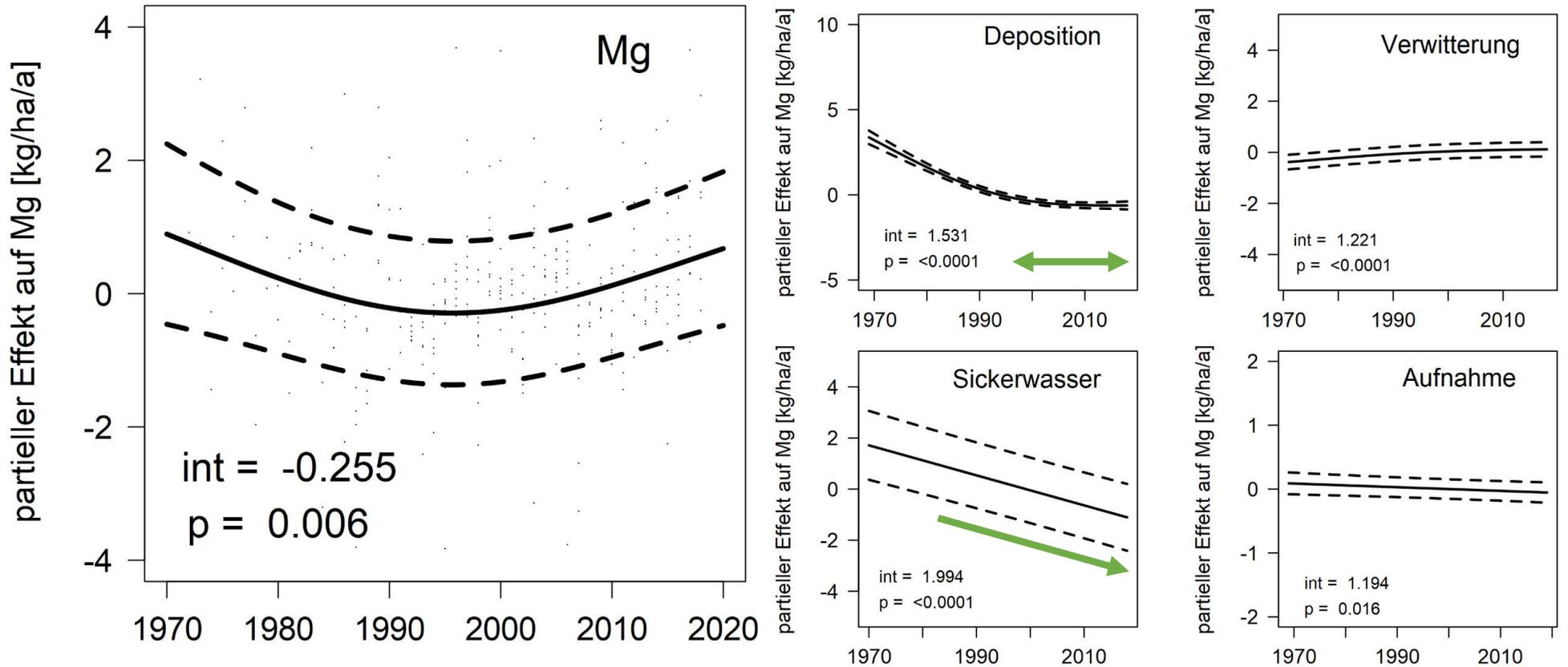
- insgesamt sehr **ausgeglichene Salden** der Kaliumbilanz
- **Buchen** (LSBU & SLB1) durch **hohe Entzüge** infolge hoher K-Gehalte in den Biomassekompartimenten gekennzeichnet.

Trend der Calciumbilanz und ihrer Bilanzglieder



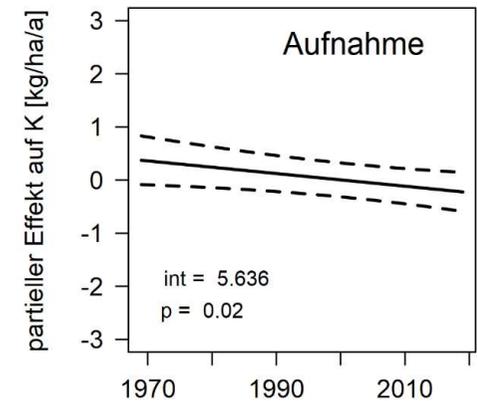
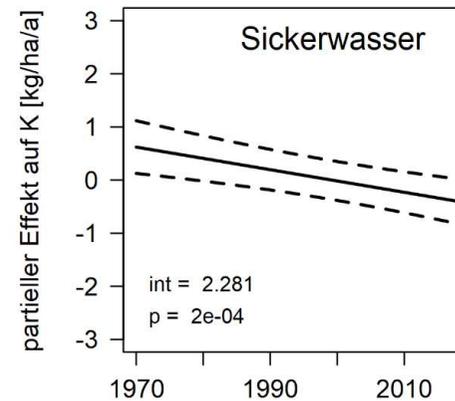
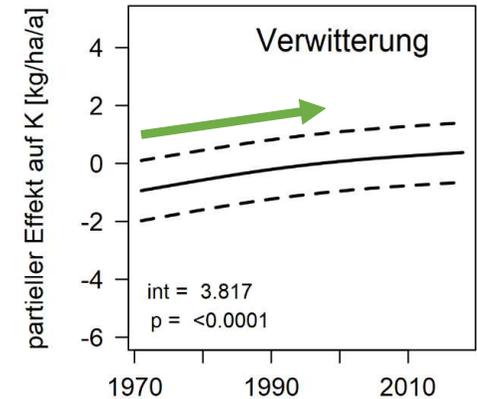
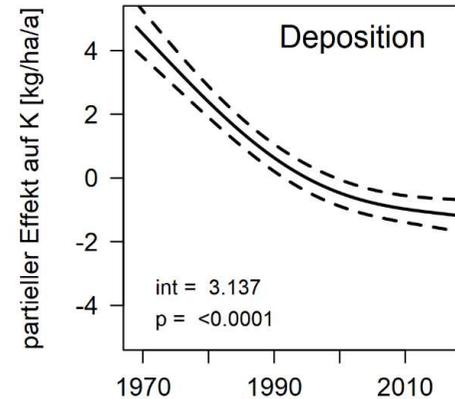
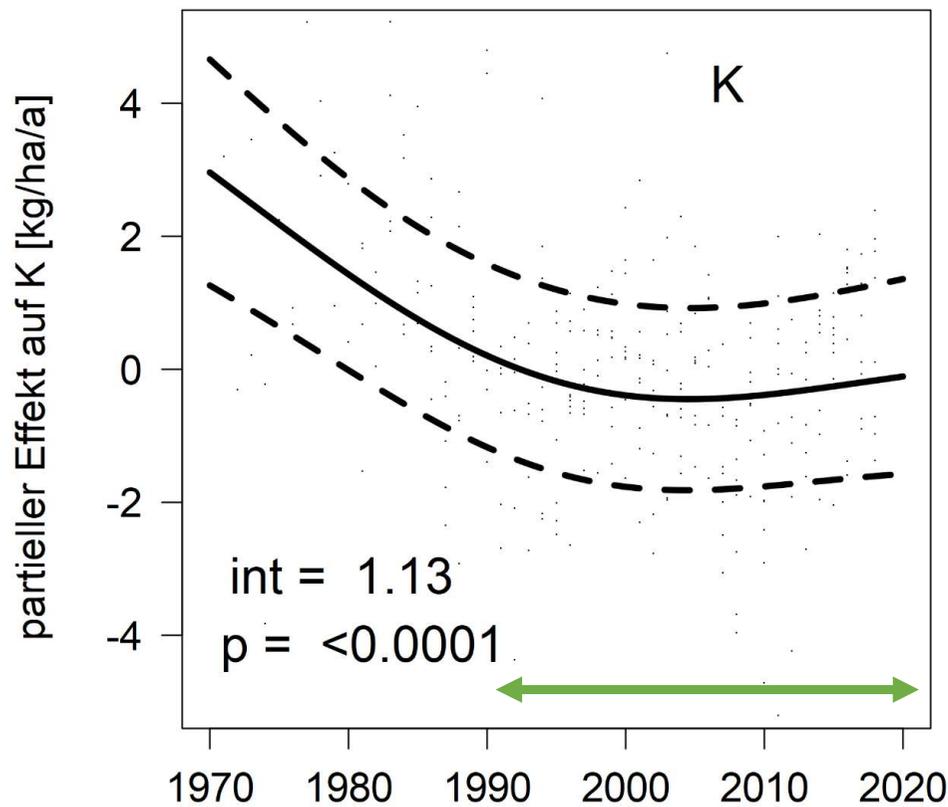
- relativ konstant seit 1990
- leichter Wiederanstieg aufgrund weiter sinkender Sickerwasserausträge

Trend der Magnesiumbilanz und ihrer Bilanzglieder



- weniger dynamisch als die Calciumbilanz
- leichter Wiederanstieg aufgrund weiter sinkender Sickerwasserausträge

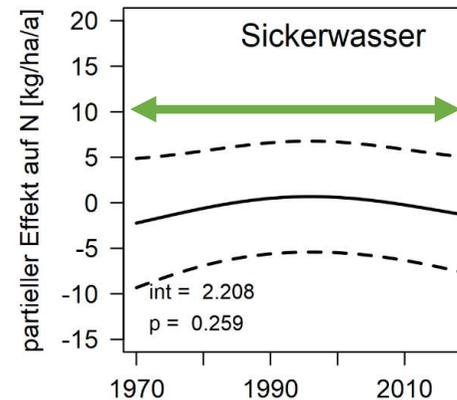
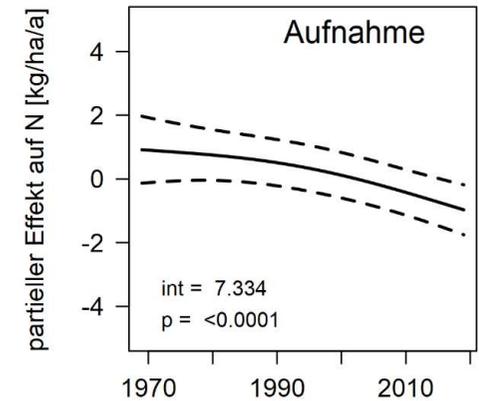
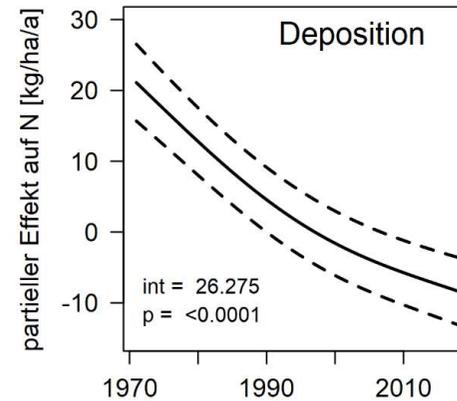
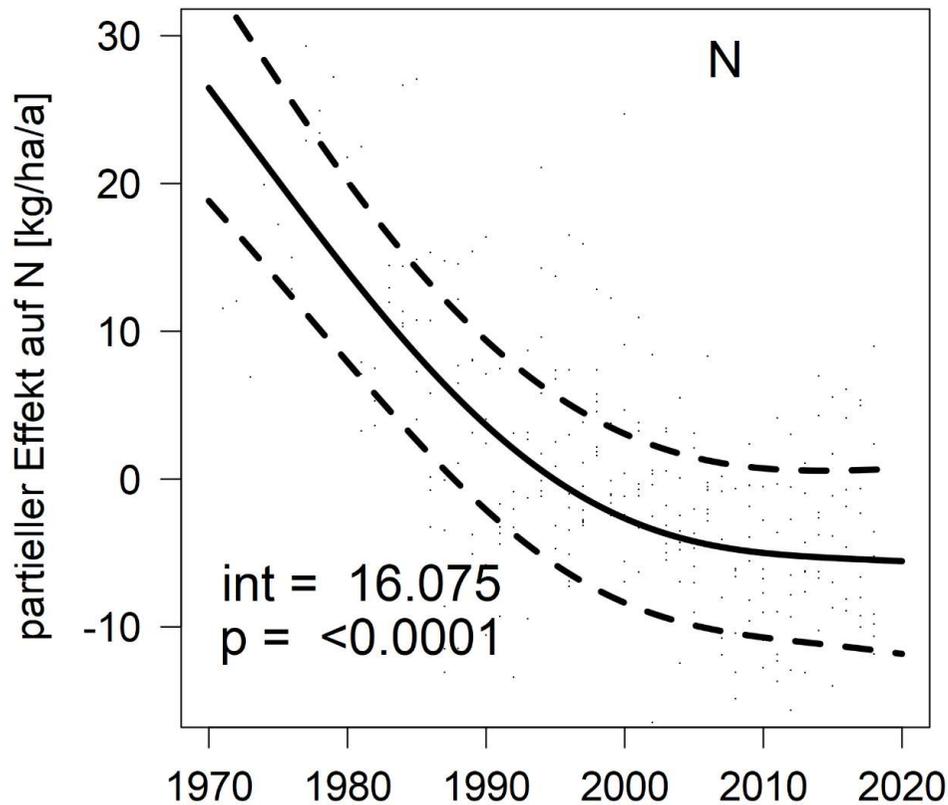
Trend der Kaliumbilanz und ihrer Bilanzglieder



➤ relativ konstant seit 1990

➤ leichter **Wiederanstieg** aufgrund weiter **sinkender Sickerwasserausträge**

Trend der Stickstoffbilanz und ihrer Bilanzglieder



- Sickerwasseraustrag relativ konstant
- große Unsicherheiten

- N-Bilanz zeigt signifikante **Abnahme des Bilanzüberschusses**
- dennoch immer noch eine vergleichsweise **hohe Anreicherung im Boden**

Schlussfolgerungen

- Die **Stoffbilanzsalden** von Ca, Mg und K der niedersächsischen Intensivmonitoringflächen unterliegen in den letzten 30 Jahren keiner starken abnehmenden Dynamik mehr. Sie sind trotz vieler dynamischer Einflussfaktoren (Bestand, Temperatur, Deposition) **beachtlich kontant**.
- Während sich noch im Zeitraum von 1970 bis 1990 ein deutlicher Trend zu abnehmenden Bilanzsalden ausgebildet hat, ist diese Entwicklung nicht nur gestoppt, sondern es deutet sich sogar eine **leichte Trendumkehr** an, da anscheinend die **Remobilisierung** und damit die Auswaschung von zwischengespeichertem **Schwefel** immer mehr **an Gewicht verliert** und die Verluste an sog. Begleitkationen mit dem Sickerwasser abnehmen.

Schlussfolgerungen

- Die dargestellte positive Entwicklung bedeutet jedoch nicht zwangsläufig, dass die Stoffbilanzsalden positive Werte erreichen. Insbesondere die **Ca-Bilanzsalden** waren in der Vergangenheit so negativ, dass für viele der nährstoffarmen forstlich genutzten Untersuchungsflächen nicht von einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz ausgegangen werden kann.
- Einen deutlichen **Überschuss** weist demgegenüber immer noch das **N-Bilanzsaldo** aus. Auch wenn sich die absolute Höhe des Überschusses in den letzten Jahrzehnten reduziert hat, wird in niedersächsischen Waldböden immer noch eine große Menge an N aus vergangenen und gegenwärtigen Überschüssen zwischengespeichert.
- Aktuell zeichnet sich jedoch noch **kein Trend zu steigenden Nitratausträgen** mit dem Sickerwasser aus Waldböden ab, aber das Retentionsvermögen dürfte weiter sinken.

Vielen Dank für die virtuelle
Aufmerksamkeit und...

Foto: Bernd Ahrends

Fragen?



Foto: Bernd Ahrends