

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

KENNWERT: 8.2 Dauer des Basenvorratsaufbrauchs bis zum Zeitpunkt des Eintritts saurer Sickerwässer in den Grundwasserleiter

QUELLE:

MALESSA, V. (1997): AcidProgress - ein Prognoseverfahren zur quantitativen Ableitung des Eintritts von Gewässerversauerung in bewaldeten Einzugsgebieten: Modell und Verfahren. - Arbeitshefte Boden, Heft 1997/3, 17-34; Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

MALESSA, V. & MÜLLER, U. (Hrsg.) (2001): AcidProgress - Das Planungsverfahren für die Forst- und Wasserwirtschaft zur Prognose des Eintritts von Gewässerversauerung in bewaldeten Einzugsgebieten. - Arbeitshefte Boden, Heft 2001/2; Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

EINGANGSDATEN:

- Feinbodenanteil
- Tongehalt
- Schluffgehalt
- Humusgehalt
- pH-Wert
- Rohdichte, trocken
- "mittlere Verwitterungsdeckenmächtigkeit" (regionaler Mittelwert)
- Reliefformtyp
- Hangneigung
- geologisches Ausgangsmaterial
- Waldbestandsart

- Säureinput aus atmosphärischer Deposition,  
z.B. zu erschließen aus vorliegenden Publikationen / Karten  
der potentiellen Netto-Säure-Gesamtdeposition  $AC(pot)_{dep}$   
von GAUGER et al. (2000)

(ersatzweise bei Fehlen detaillierter bodenkundlicher Informationen zur Schätzung der als Eingangsdaten benötigten Parameter im Tiefenintervall unterhalb des Solums:)

- geologisches Ausgangsmaterial
- Tiefenstufe

VERKNÜPFUNGS-  
REGELN: 1.28, 2.2, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10

ERLÄUTERUNG:

AcidProgress ist ein prozessorientiertes Bilanzmodell, das eine quantitative Prognose des Eintritts einer Gewässerversauerung in bewaldeten Einzugsgebieten zum Ziel hat. Unter dem Begriff "Eintritt einer Gewässerversauerung" wird der Zeitpunkt verstanden, an dem alle Basenvorräte des Bodens und des Sickerwasserleiters in der ungesättigten Zone aufgebraucht sind und der Grundwasserleiter mit einer der Deposition und den ökosysteminternen Quellen äquivalenten und ungepufferten Säuremenge belastet wird. Als Ergebnisgrößen können die kumulierte Gesamtsäurebelastung, die kumulierte Säurepufferung, der kumulierte Säureaustrag sowie der Basenvorrat zum Ende des bilanzierten Zeitraums ermittelt werden.

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

Um die Darstellung der Modellstruktur transparenter zu gestalten, wurde das Flussplandiagramm in zwei Teile gegliedert: Teil 1 zeigt die Ableitung der bodenchemischen Parameter bis zur Ermittlung des Basenvorrats im Sickerwasserleiter, Teil 2 zeigt die stoffhaushaltliche Bilanzierung bis zum Zeitpunkt des Eintritts saurer Sickerwässer in den Grundwasserleiter.

Wie aus Teil 2 des Flussplandiagramms in Abb. 36 ersichtlich wird, steht dem von bodenkundlichen Parametern bestimmten Basenspeicher auf der anderen Seite der Bilanz der effektive Säureinput gegenüber, der seinerseits aus dem Säureeintrag aus atmosphärischer Deposition und der Silikatverwitterungsrate abgeleitet wird. Insofern ist die Modellstruktur von AcidProgress mit dem Ansatz von LENZ (1991) identisch (s. Abb. 26 zur Methode 8.1). Im Unterschied zum Verfahren von LENZ erlaubt AcidProgress jedoch auf der Seite der Belastungsfaktoren sowohl beim Depositionsrisiko von Säurebildnern als auch bei der Silikatverwitterungsrate nicht nur eine relative Einstufung der Einflussfaktoren, sondern berücksichtigt absolute Stoffeinträge und Nachlieferungsraten aus der Silikatverwitterung in der Einheit " $\text{kmol}_c \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ". Im Unterschied zur Methode 8.1 können damit auf der Ausgabeseite nicht nur ordinal skalierte Ergebnisse, sondern langfristige Basenverlusten ausgewiesen werden.

Wie aus Teil 1 des Flussplandiagramms in Abb. 36 ersichtlich wird, fungiert auch beim Modell AcidProgress der Speicher austauschbarer basischer Kationen als Maß für den aktuellen Versauerungsgrad (s. Abb. 26 zur Methode 8.1). In diesem Punkt bestehen daher die gleichen Einschränkungen wie schon für den Ansatz von Lenz (1991). Neu ist beim Modell AcidProgress allerdings das Konzept der Tiefenlage der Versauerungsfront. Nach dieser Modellvorstellung durchläuft der Boden im Verlauf seiner Entwicklung verschiedene Pufferbereiche mit spezifischen Pufferreaktionen, was unter natürlichen Bedingungen ohne Säureinput aus atmosphärischer Deposition nur zum Erreichen des Silikat-Pufferbereiches mit pH-Werten von minimal ca. 4,8 - 5 führt. Erst bei permanentem Säureüberschuss aus langjährigem Eintrag atmosphärischer Säurebildner können nacheinander Austauscher-Pufferbereich (pH 4,2 - 5) und Aluminium-Pufferbereich (pH 3,8 - 4,2) erreicht werden. Parallel dazu erfolgt ein Absinken der Tiefenlage der Versauerungsfront, die als räumliche Grenze zwischen Austauscher- und Aluminium-Pufferbereich definiert wird. Beim Modell AcidProgress wird hinsichtlich der Pufferstrecke das gesamte Tiefenintervall von der Versauerungsfront bis zur Untergrenze der Verwitterungsdecke betrachtet. Erst wenn dieser gesamte Tiefenbereich vollständig entbast ist, werden die dort deponierten und gebildeten Säuren ohne weitere Pufferung direkt an den Grundwasserleiter weitergegeben.

Für die betrachtete Pufferstrecke bis zur Untergrenze der Verwitterungsdecke werden Eingangsdaten benötigt, für die Bodenkarten mit Beschreibungen repräsentativer Profile bis in 2 m Tiefe üblicherweise keine Informationen bereitstellen. Ersatzweise bietet Verknüpfungsregel 2.7 Tabellen, die den Feinbodenanteil, die Rohdichte, trocken und die effektive Kationenaustauschkapazität für das Tiefenintervall unterhalb des Solums näherungsweise aus dem geologischen Ausgangsmaterial und der Tiefenstufe abzuschätzen erlauben.

Das Modell AcidProgress benötigt neben bodenkundlichen Parametern mit der Mächtigkeit der Verwitterungsdecke, der Tiefenlage der Versauerungsfront, dem Säureeintrag aus atmosphärischer Deposition und der Silikatverwitterungsrate vier zentrale Inputgrößen. Von diesen ist nur die Silikatverwitterungsrate mit Hilfe von Verknüpfungsregel 2.8, für die eine Vielzahl von Literaturbefunden ausgewertet wurde, präzise aus leicht erhebbaren Standortinformationen abzuschätzen. Im begrenzten Maße gilt dies auch für den Säureinput aus atmosphärischer Deposition, der aus vorliegenden Publikationen / Karten der potentiellen Netto-Säure-Gesamtdosition von GAUGER et al. (2000) zumindest großräumig zu erschließen ist. Die unter Verknüpfungsregel 1.28 angebotenen Algorithmen zur Ermittlung der Verwitterungsdeckenmächtigkeit zeichnen sich dagegen durch einen äußerst begrenzten Einsatzbereich aus, da sie nur für die lithostratigraphische Einheit "Mittlerer Buntsandstein" gelten. Bei anderem geologischen Ausgangsmaterial müssen dagegen vor Anwendung des Modells AcidProgress eigene Geländeerhebungen mit mit Spindel- oder Rammkernbohrungen eines bestimmten Mindeststichpro-

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

benumfangs durchgeführt werden. Gleiches gilt für die unter Verknüpfungsregel 2.6 angebotenen Algorithmen zur Ermittlung der Tiefenlage der Versauerungsfront, die ebenfalls zunächst nur für den Mittleren Buntsandstein aus empirischen Befunden im Einzugsgebiet "Oberes Niestetal" einen groben Schätzwert liefern, der nur bei Übereinstimmung im geologischen Ausgangsmaterial in erster Näherung verwendet werden darf. Eine präzise Beurteilung der Zielgröße erfordert wiederum eigene Geländeerhebungen. Für die Zukunft zeichnen sich hierfür geoelektrische Messverfahren ab, die eine günstigere Aufwand-/Nutzenrelation als Bohrverfahren versprechen.

Zur Anwendung von AcidProgress werden regionalspezifische Informationen über atmogene Einträge von Säurebildnern auf der mittleren Maßstabsebene (1 : 25.000 / 1 : 50.000) benötigt. In dem Verfahren von LENZ (1991) (Methode 8.1) ist ein Algorithmus vorgesehen, der die Zielgröße als Funktion der Waldbestandsart, der Exposition und der mittleren Zahl jährlicher Nebeltage beschreibt, jedoch nur ein ordinal skaliertes "Protonen-Depositionsrisiko" relativ zum Freiland näherungsweise abzuschätzen erlaubt. Da für eine Vielzahl an Standorten innerhalb Deutschlands Ergebnisse parallel vorgenommener Messungen der stofflichen Deposition im Freiland- und Bestandsniederschlag vorliegen, wurde im Rahmen mehrerer Forschungsvorhaben versucht, stoffspezifische Quotienten der Gesamtdeposition zur Freilanddeposition zu ermitteln. Exemplarisch seien an dieser Stelle die Arbeiten von HABER et al. (1991) genannt, deren Ergebnisse bei Kenntnis der Freilanddeposition die Gesamtdeposition in Waldbeständen abzuschätzen erlauben, indem drei standortspezifische Anreicherungsfaktoren den Einfluss der Exposition gegenüber der Hauptwindrichtung, der Nebelhäufigkeit und der Waldbestandsart stoffspezifisch quantifizieren. Derartige Koeffizienten konnten zumindest für die wichtigsten Säurebildner (H, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N und SO<sub>4</sub>-S) ermittelt werden und bieten eine regionale Fallunterscheidung auf der Maßstabsebene von Bundesländern. Mit den in jüngster Zeit vorgelegten Karten der potentiellen Netto-Säure-Gesamtdeposition AC(pot)<sub>dep</sub> von GAUGER et al. (2000) wird der Nutzer von AcidProgress von der Pflicht individueller Berechnungen entbunden und kann auf diese Weise den Säureinput aus atmosphärischer Deposition auf einer modelläquivalenten Skala erschließen.

Für die von MALESSA & MÜLLER 2001 publizierte Version von AcidProgress wurden zusätzliche Module entwickelt, die u.a. die Konsequenzen waldbaulicher Maßnahmen in Abhängigkeit von Baumartenwahl, Altersstruktur und Waldbauverfahren ("Waldbau-Modul") als auch die potenziell mobilisierbare Schwefelmenge abzubilden erlauben. Beide Module werden in der hier vereinfacht dokumentierten Version von AcidProgress nicht berücksichtigt.

AcidProgress ist zur Anwendung auf der mittleren Maßstabsebene (1 : 25.000 / 1 : 50.000) konzipiert und bietet als Planungsinstrument für Forst- und Wasserwirtschaft folgende Einsatzmöglichkeiten:

- eine langfristige Prognose der Wassergüte und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Versauerungsschüben im Rohwasser,
- die Ausweisung versauerungsempfindlicher Flächen eines Einzugsgebietes zur optimalen Brunnensteuerung,
- eine gezielte Steuerung des Versauerungsgeschehens durch Kalkung und waldbauliche Maßnahmen zur Beeinflussung der Depositionsrate.

ERGEBNIS: Metrisch skaliertes Kennwert (z.B. "135 a")

MASSTABSEIGNUNG: Konzipiert für den mittleren Maßstabsbereich (1 : 25.000 / 1 : 50.000)

EINSCHRÄNKUNGEN:

- AcidProgress ist in seiner Anwendung begrenzt auf Verwitterungsdecken im Austausch-Pufferbereich.

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

- AcidProgress ist in seiner Anwendung räumlich begrenzt auf Klimate mit positiver klimatischer Wasserbilanz.
- Seitens geogener Faktoren sind hinsichtlich der Anwendbarkeit von AcidProgress alle Standorte mit Kalk- oder Gipsgesteinen als geologischem Ausgangsmaterial auszuschließen, da hier eine natürliche Pufferung saurer Sickerwässer erfolgen kann.
- Seitens geogener Faktoren sind hinsichtlich der Anwendbarkeit von AcidProgress ebenfalls alle Standorte auszuschließen, an denen sich aufgrund der hydrologischen Verhältnisse keine Versauerungsfront ausbilden kann. Hierzu gehören Böden aus festem oder lockerem Carbonat- oder Sulfatgestein, Moore und Marschen.
- Wird AcidProgress für Zwecke der Prognose einer Gewässerversauerung auf mittlerer Maßstabsebene eingesetzt, so sollte die Anwendung vorzugsweise an Standorten erfolgen, an denen die gesättigte Zone von Kluftgrundwasserleitern eingenommen wird, in denen schneller Transport auf präferenziellen Bahnen eventuelle Säurepufferung nur noch in sehr begrenztem Maße stattfinden lässt.
- Das Modell bestimmt die Auswaschungsrate basischer Kationen ( $M_b$ -Kationen) ausschließlich anhand der Säureeintragsrate und der Verwitterungsrate. Der Einfluss der Vegetation in Form einer Protonenproduktion durch den Biomassezuwachs bleibt (in der hier dokumentierten Modellversion) unberücksichtigt.
- AcidProgress ist ein stark aggregiertes Prognosemodell, das sämtliche  $M_b$ -Kationen (Na, K, Mg und Ca) zu einem Pool zusammenfasst.
- Der hohe Aggregationsgrad zeigt sich außerdem darin, dass weder Bodenlösungskonzentrationen noch Wasserflussraten explizit berücksichtigt werden.
- Daher ist das Modell nicht anhand von Freilanddaten, z.B. Bodenlösungskonzentrationen von Saugkerzen oder Lysimetern, validierbar.
- Da zudem die mit AcidProgress erstellten Prognosen zum Eintritt saurer Sickerwässer in den Grundwasserleiter langfristigen Charakter besitzen, ist auch die Genauigkeit der Zielgröße nicht direkt überprüfbar.
- Die Gleichung zur Ermittlung der Sorptionskapazität unter Verknüpfungsregel 2.2 besitzt nur dann Gültigkeit, wenn die bodenchemischen Zustandsvariablen sich nahe dem Gleichgewichtszustand befinden. Unter dem Einfluss der sauren Deposition akut versauernde Böden können so weit von diesem Gleichgewichtszustand entfernt sein, dass keine gesicherte Beziehung zwischen pH, AKe/AKt oder Basensättigung besteht. Daher kann die verwendete Formel für den Al-Pufferbereich eine Überschätzung der Sorptionskapazität und damit insgesamt eine Unterschätzung der Versauerungsgefährdung bedeuten.
- Ein Verlust basisch wirkender Kationen unter dem Einfluss saurer Deposition kennzeichnet nur einen Teilprozess der Bodenversauerung, der für die meisten Waldökosysteme bereits überschritten sein dürfte. An diesen Standorten kann der Bestand an Kationenbasen nicht mehr durch Silikatverwitterung ergänzt, aber auch nicht mehr nennenswert vermindert werden. Bei niedriger Basensättigung und mittlerer oder hoher Protonenbelastung kann sich dennoch mit der Pufferung durch Aluminium-Hydroxide oder Aluminium-Hydroxo-Polymere ein hohes ökologisches Gefährdungspotential ergeben, ohne dass dieses mit dem Modell exakt zu bestimmen wäre.

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

- Die Karten von GAUGER et al. (2000) bieten für die potentielle Netto-Säure-Gesamtdeposition  $AC(pot)_{dep}$  nur klassierte Angaben, Mittelwerte des Beobachtungszeitraumes von 1993 bis 95 und für Teilräume Deutschlands nur Informationen begrenzter räumlicher Auflösung.
- Die Algorithmen zur Ermittlung der Verwitterungsdeckenmächtigkeit unter Verknüpfungsregel 1.28 sind in ihrer gegenwärtigen Form nur lokal begrenzt anwendbar und müssen noch für eine Vielzahl lithostratigraphischer Einheiten weiterentwickelt werden.
- Die Algorithmen zur Ermittlung der Tiefenlage der Versauerungsfront unter Verknüpfungsregel 2.6 sind in ihrer gegenwärtigen Form nur lokal begrenzt anwendbar und müssen noch für eine Vielzahl lithostratigraphischer Einheiten weiterentwickelt werden.
- Die Algorithmen zur Ermittlung bodenkundlicher Parameter im Tiefenintervall unterhalb des Solums unter Verknüpfungsregel 2.7 bieten nur grobe Schätzwerte der gesuchten Zielgrößen und sind in ihrer gegenwärtigen Form ebenfalls nur lokal begrenzt anwendbar.

DATUM: April 2002

STATUS: Im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung testweise zur Erstellung bodenkundlicher Auswertungskarten eingesetzt.

Weiterführende Literatur:

GAUGER, TH., KÖBLE, R. & ANSHELM, F. (2000): Luftreinhaltung. Kritische Luftschadstoffkonzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme. Teil 1: Deposition Loads 1987 - 1989 und 1993 - 1995. - Endbericht zum Forschungsvorhaben 297 85 079 im Auftrag des Umweltbundesamtes.

GAUGER, TH., KÖBLE, R. & ANSHELM, F. (2000): Luftreinhaltung. Kritische Luftschadstoffkonzentrationen und Eintragsraten sowie ihre Überschreitung für Wald und Agrarökosysteme sowie naturnahe waldfreie Ökosysteme. Teil 2: Kartierung von Critical Levels. - Endbericht zum Forschungsvorhaben 297 85 079 im Auftrag des Umweltbundesamtes.

HABER, W., LENZ, R., SCHALL, P., BACHHUBER, R., GROSSMANN, W.-D., TOBIAS, K. & KERNER, H. F. (1991): Prüfung von Hypothesen zum Waldsterben mit Einsatz dynamischer Feedbackmodelle und flächenbezogener Bilanzierungsrechnung für vier Schwerpunktforschungsräume der Bundesrepublik Deutschland. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 20, Göttingen.

# Ad-hoc-AG Boden

## der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR

---

Abbildung 36: Flußlanddiagramm zur Ableitung des Kennwerts "Dauer des Basenvorratsaufbrauchs bis zum Zeitpunkt des Eintritts saurer Sickerwässer in den Grundwasserleiter" gemäß Modell AcidProgress

Teil 1 ("Basenvorrat im Sickerwasserleiter")

Anmerkung: Gestrichelte Linien zeigen eine mögliche alternative Vorgehensweise für das Tiefenintervall unterhalb des Solums, falls die idealerweise zu berücksichtigenden Eingangsdaten nicht bekannt sind.

Teil 2 ("Dauer des Basenvorratsaufbrauchs")