

# GIS-gestützte Planung und Dokumentation von Bodenschutzkalkungen im Wald

Karl Josef Meiwes, Jörg Ackermann, Michael Mindrup und Volker Stüber

*Die nachhaltige Sicherung aller Waldfunktionen erfordert angesichts umweltbedingter Ökosystembelastungen und wegen gesteigerter Ansprüche an die Nutzung des Rohstoffes Holz eine besondere Beachtung der standörtlichen Nachhaltigkeit. In diesem Zusammenhang wird die Bodenschutzkalkung im Wald wegen der starken Bodenversauerung in einigen Regionen auf absehbare Zeit weiterhin unverzichtbar bleiben. Eine bedarfsgerechte und effiziente Umsetzung von Kalkungsmaßnahmen erfordert ein digitales Kalkungskataster und eine GIS-basierte Planung sowie Vollzugssteuerung.*

## Notwendigkeit der Kalkung auf versauerten Standorten

Der Umstieg von Holz auf Kohle vor gut 150 Jahren und die Verfügbarkeit von Minereraldüngern in der Landwirtschaft haben eine beispiellose Erholung der forstlichen Standorte und der Wälder bewirkt. Dieser Prozess wurde in Regionen mit starker Devastierung, wie z.B. im norddeutschen Tiefland, durch Meliorationen unterstützt, um die großflächigen Aufforstungen in produktive Wälder zu überführen.

Seit einigen Jahrzehnten gibt es jedoch auch eine gegenteilige Tendenz zu diesem Erholungsprozess. Die luftbürtigen Säureeinträge der 1960er- bis 1990er-Jahre haben zu einer bis dahin unbekannt flächenhaften Ausdehnung der Nährstoffverarmung in Waldböden geführt. Mittlerweile ist zwar das Problem der hohen Schwefeleinträge gelöst. In Niedersachsen muss jedoch infolge der gespeicherten

Schwefelmengen sowie der anhaltend hohen Stickstoffeinträge die Bodenversauerung weiterhin als problematisch betrachtet werden. Mit der Versauerung ist die Verarmung der Böden an Calcium und Magnesium verbunden. Vielfach reichen die Verwitterungsraten nicht aus, um in absehbarer Zeit eine Erholung der Böden aus eigener Kraft zu ermöglichen.

Um den genannten und insgesamt gestiegenen Ansprüchen an den Nährstoffhaushalt der Wälder und einer nachhaltigen Nutzung der Ökosysteme gerecht werden zu können, ist eine standörtlich differenzierte Planung von Kalkungen erforderlich. Basis hierfür ist eine Standortkartierung, die über die Ansprache von Standortstypen hinaus bodenchemische Daten liefert und die Anwendung von Stoffhaushaltsmodellen gestattet. Unverzichtbar ist zudem die umfassende Dokumentation von Kalkungen.

Im Folgenden wird ein Verfahren für die Planung von Bodenschutzkalkungen beschrieben, das in den Niedersächsischen Landesforsten Anwendung findet und angemessen berücksichtigt, dass sich die Säurebelastung durch Deposition verringert

hat und dass während der letzten dreißig Jahre bereits umfangreiche Kalkungen durchgeführt worden sind.

## GIS-basiertes Planungsverfahren

In Niedersachsen waren die Waldböden Ende der 1970er-Jahre so stark versauert, dass Mitte der 1980er-Jahre großflächig mit einem Kalkungsprogramm begonnen wurde. Damals konnten die kalkungsbedürftigen Böden pauschal nach Standortstypen ausgewählt werden. Inzwischen sind alle kalkungsbedürftigen Flächen mindestens einmal gekalkt worden und der Säureeintrag hat nachgelassen. Dies hat zwar zu einer deutlichen Entlastung der Böden geführt. Dennoch sind in den Böden weiterhin erhebliche Mengen an Säure gespeichert, die eine Fortsetzung der Bodenschutzkalkungen erfordern. Die Auswahl der zu kalkenden Standorte muss heute allerdings wesentlich differenzierter erfolgen. Der Grad der aktuellen Bodenversauerung und der Säurebelastung muss hierbei berücksichtigt werden. Nähere Informationen über bodenökologische und verfahrenstechnische Gesichtspunkte bei Wald- oder Bodenschutzkalkungen finden sich in einem Merkblatt der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA; [www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation\\_id=20026&article\\_id=5181&psmand=7](http://www.ml.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=20026&article_id=5181&psmand=7)).

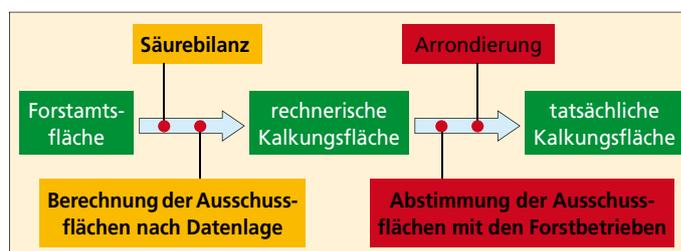
Mit Beginn des Jahres 2005 wurde in Zusammenarbeit zwischen der heutigen NW-FVA und den Niedersächsischen Landesforsten (NLF) bzw. dem Niedersächsischen Forstplanungsamt (NFP) ein Verfahren zur Planung und Umsetzung von Wald-

Dr. K. J. Meiwes ist Leiter des Sachgebietes Nährstoffmanagement an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in Göttingen. J. Ackermann ist Leiter des Sachgebietes Fernerkundung und GIS an der NW-FVA. Dr. M. Mindrup ist Mitarbeiter im Sachgebiet Nährstoffmanagement an der NW-FVA. Dr. V. Stüber ist Leiter des Dezernats Forst-GIS/Standortkartierung am Niedersächsischen Forstplanungsamt in Wolfenbüttel.



Karl Josef Meiwes  
karl.josef.meiwes@nw-fva.de

Abb. 1:  
Ablauf der GIS-basierten Planung von Bodenschutzkalkungen in den Niedersächsischen Landesforsten



kalkungen entwickelt. Seither ist dieses Verfahren in den NLF auf einer Fläche von über 100 000 ha angewendet worden.

Das Verfahren arbeitet GIS-basiert und besteht aus verschiedenen Teilen:

- Erstellung einer Säurebilanz,
- Ermittlung von Ausschlussflächen,
- Herleitung der Kalkungsflächen,
- Erstellung von Karten und Aufbereitung von Daten als Basis für die Kalkausbringung,
- Vollzugskontrolle und Dokumentation der durchgeführten Bodenschutzkalkungen.

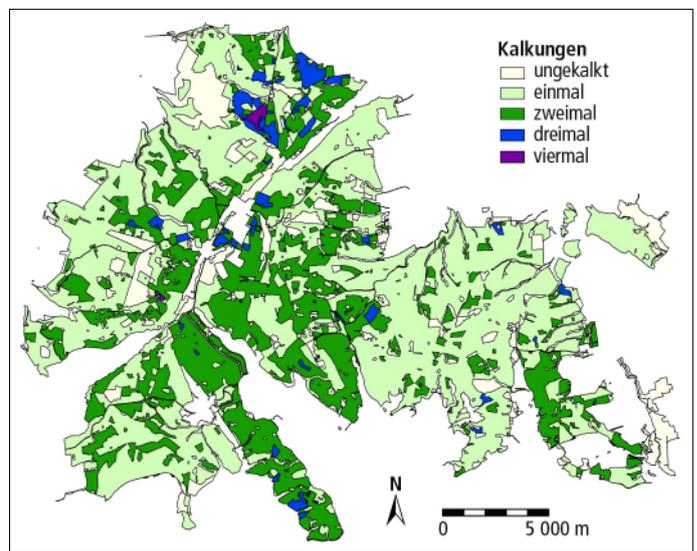
Ziel dieser Verfahrensentwicklung war es, differenzierter planen zu können, rechtliche, ökologische und betriebliche Aspekte besser berücksichtigen zu können und die begrenzten finanziellen Mittel durch Lenkung auf vorranglich zu kalkende Flächen optimal einzusetzen. Zudem sollte das gesamte Planungsverfahren mithilfe der GIS-Technik effektiver gestaltet werden. Letzteres erforderte – was die Säurebilanzierung betrifft – eine Abkehr von den bisherigen dezentralen Planungen in den Forstämtern hin zu einer zentralen Vorplanung durch das NFP sowie die NW-FVA. Trotz zentraler Planung verbleibt die Entscheidungshoheit in Detailfragen wie auch die Durchführung der Kalkung nach wie vor bei den Forstämtern. Hier ist die Ortskenntnis angesiedelt, die kein GIS-System vollständig bieten kann und ohne die derartige Maßnahmen nicht umsetzbar sind.

## Erstellung von Säurebilanzen

Kern der Planung von Bodenschutzkalkungen ist ein standortangepasstes Modell der Säurebilanz. Dieses berücksichtigt den Versauerungszustand des Bodens, die aktuelle und erwartete Säurebelastung sowie die Entlastungen durch Säurepufferung. Die Eingangsdaten basieren auf den Aufzeichnungen bisheriger Kalkungen, bodenchemischen Untersuchungen aus Bodenzustandserhebung und forstlicher Standortskartierung, den Messungen auf Flächen des intensiven Monitorings sowie auf Kalkungsversuchen. Bisher liegen dem Modell räumlich begrenzt einfache Annahmen zugrunde. An der Entwicklung leistungsfähiger Regionalisierungsmodelle wird gearbeitet.

Größter Posten der Säure puffernden Prozesse sind die bereits durchgeführten Kalkungen. Daher ist ein digitales Kalkungskataster der bisherigen Kalkungen von elementarer Bedeutung. Dessen Erstellung bedeutet einen großen Aufwand, da 30 und mehr Jahre alte Unterlagen zu Kalkungen (Schriftverkehr, handgezeichnete Karten etc.) gesichtet, geprüft, aufbereitet und digitalisiert werden müssen. Durch die vielen Umorganisationen in diesem Zeit-

Abb. 2:  
Übersichtskarte  
des digitalen  
Kalkungskatasters  
im Solling  
(Waldfläche  
35 000 ha)



raum ist das kein leichtes Unterfangen. Angesichts der Kalkungskosten von ca. 200 €/ha lohnt sich dieser Aufwand jedoch, da Flächen nicht unnötig gekalkt und hierdurch insgesamt Kosten gespart werden.

Das Ergebnis der Digitalisierung der analogen Kalkungsinformationen sind Geodatenätze mit den Abgrenzungen gekalkter Flächen und Angaben zu den jeweiligen Kalkungsjahren, ausgebrachten Kalkmengen und Elementgehalten an Calcium, Magnesium und Phosphor (s. Abb. 2). Seit 2005 wurde das digitale Kalkungskataster auf einer Fläche von knapp 250 000 ha fertiggestellt (ca. 70 % der Fläche des niedersächsischen Landeswaldes).

Die Säurebilanzrechnung teilt die jeweiligen Planungsräume in Bereiche mit Säurebilanzüberschüssen oder -defiziten. Flächen mit einem Bilanz-Defizit von äquivalent  $> 3$  t Kalk/ha werden vorranglich gekalkt, während Flächen mit einem Defizit von äquivalent 1,5 bis 3 t Kalk/ha nachrangig behandelt werden. Für Flächen mit einem Defizit von äquivalent  $< 1,5$  t Kalk/ha wird keine Kalkung empfohlen.

## Ermittlung von Ausschlussflächen

Bestimmte Bereiche werden aus rechtlichen oder betrieblichen Gründen von der Kalkausbringung ausgenommen. Rechtlich spielt u.a. der jeweilige Schutzstatus von Flächen eine Rolle, etwa als Naturschutzgebiet oder FFH-Gebiet. Bei betrieblichen Ausschlussgründen kann es um ökonomische oder ökologische Aspekte und auch Sicherheitsüberlegungen gehen. Etwa ob Nichtholzbodenflächen mitgekalkt werden sollen oder ob es zusätzlich ökologisch wertvolle Bereiche ohne rechtlichen Schutzstatus gibt.

Die Herleitung der Ausschlussflächen findet in zwei Stufen statt. Zunächst werden zentral im NFP alle digital verfügbaren Geoinformationen dazu gesammelt, aufbereitet und miteinander verrechnet. Hierzu zählen:

- Auszüge aus dem Digitalen Landschaftsmodell (Basis-DLM) des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (Straßen, Gewässer, Siedlungsbereiche, Bauwerke, Moore, Heideflächen usw.),
- geschützte Bereiche (Naturschutzgebiete, Nationalparks, FFH-Gebiete, Kernzonen der Wasserschutzgebiete, Naturwälder usw.),
- forstliche Informationen (Nichtholzbodenflächen, Biotope, nicht kalkungsbedürftige Standortstypen, Versuchsflächen usw.).

Besonders schützenswerte Objekte bekommen zusätzlich noch Randstreifen zugewiesen, die ebenfalls ausgespart bleiben. Deren Weite hängt vom jeweiligen Objekt sowie von der Art der Kalkausbringung ab. Die Breite der Randstreifen ist bei der Kalkausbringung per Hubschrauber generell größer als bei bodengebundener Ausbringung und liegt zwischen 10 und 150 m.

Die Daten der Ausschlussflächen müssen nach dieser ersten Stufe überprüft und notfalls auch korrigiert oder ergänzt werden. Hierfür ist eine umfassende Ortskenntnis erforderlich, die in den Forstämtern angesiedelt ist. Deshalb werden Kartendrucke mit den Ergebnissen der ersten Stufe erstellt und vom jeweiligen Forstamt überarbeitet (vgl. Abb. 3). Auf diese Weise finden Sonderbiotope, Befahrbarkeitsinformationen, zusätzliche schützenswerte Objekte und weitere Informationen Eingang in die Planungen. Nach diesem Korrekturdurchgang im Forstamt werden die endgültigen digitalen Karten der Ausschlussflächen erstellt, indem die auf den Kartendruck vermerkten Änderungen im NFP digitalisiert und die zugehörigen Randstreifen aktualisiert werden.

## Herleitung der Kalkungsflächen

Die zu kalkenden Flächen werden durch eine Verschneidung von Sollflächen der Säurebilanzrechnung mit den Ausschlussflächen hergeleitet. Da Daten sehr unterschiedlicher Quellen miteinander kombiniert werden, entsteht ein teilweise sehr kleingewirkter Flickenteppich von Kal-

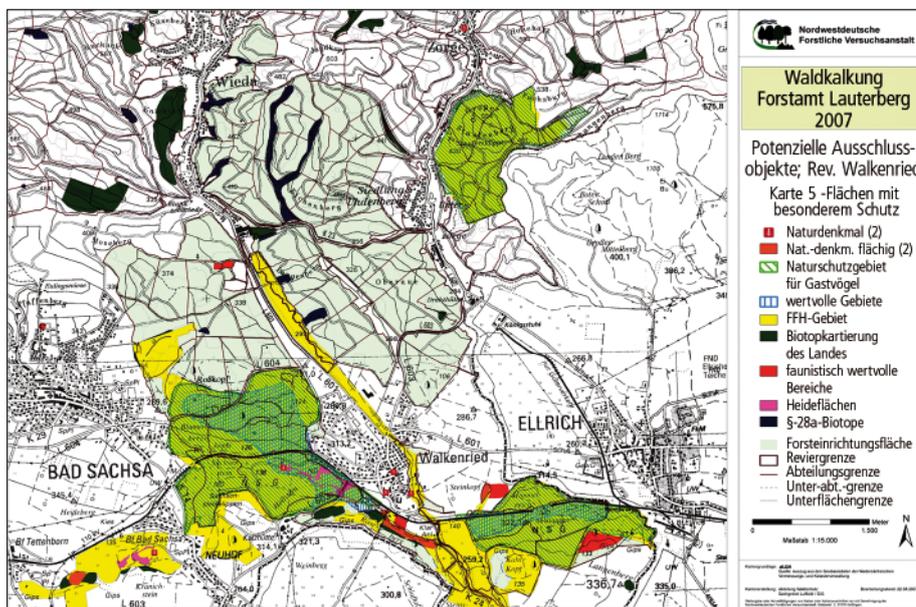


Abb. 3: Übersichtskarte mit Darstellung von Ausschlussflächen. Legende wegen Abbildungsgröße vereinfacht

kungsflächen. Dies erfordert eine Nachbearbeitung, um für die Ausbringung akzeptable Mindestflächengrößen von 10 bis 20 ha und geglättete Grenzlinienverläufe der Kalkungsflächen zu erhalten. Die Nachbearbeitung erfolgt GIS-technisch weitgehend manuell. Kleine Splitterflächen werden entfernt, zu ungünstig geformte und zu kleine Ausstülpungen der Kalkungsflächen abgeschnitten, Einstülpungen in den Randbereichen werden gefüllt. Hierbei werden die Ergebnisse der Säurebilanzrechnung und die Ausschlussflächen berücksichtigt. Flächen mit rechnerischem „Kalküberschuss“ werden in diese Arrondierungsarbeiten nicht mit einbezogen, ebensowenig Ausschlussflächen. Die Arrondierung wird zudem an weiteren ausbringungstechnischen Aspekten ausgerichtet, z.B. der Länge der Flugstreifen.

Auf Basis der so festgelegten Kalkungsflächen werden dann die Kalkungen ausgeschrieben.

### Karten und Daten für die Bodenschutzkalkungen

Bei der Bodenschutzkalkung werden gedruckte Karten sowie digitale Geodatenätze benutzt. Gedruckte Karten werden forstamtsweise für jedes für Kalkungen vorgesehene Revier sowie für den Forstbetrieb als Ganzes in Maßstäben zwischen 1 : 10 000 und 1 : 50 000 erstellt (s. Abb. 3). Die Karten beinhalten vor einem topographischen Hintergrund die genaue Lage und Abgrenzung der Kalkungsflächen sowie Informationen über Ausschlussbereiche oder Objekte von besonderer Bedeutung, etwa Hochspannungsleitungen. Diese Karten bilden die Grundlage für Planungen und Abstimmungen zwischen den Ausführenden der Kalkungen und den Kalkungsbeauftragten der Forstämter.

Zusätzlich werden Geodatenätze mit den Umrissen der zu kalkenden Flächen erstellt. Diese Geodatenätze werden in den bordeigenen Navigationssystemen der Hubschrauber genutzt und dienen der zuverlässigen Ortung der Kalkungsflächen. Dies ist um so wichtiger, als die Grenzlinienverläufe der Kalkungsflächen nicht mehr auf die Grenzen der forstlichen Buchungseinheiten abgestimmt sind und aus der Luft in den wenigsten Fällen anhand natürlicher Merkmale wie z.B. Schneisen, zu erkennen sind (s. Abb. 4).

Bei der vergleichsweise geringen Fluggeschwindigkeit und durch eine exakte GPS-Positionsbestimmung des Hubschraubers können Grenzlinien von Kalkungsflächen sehr genau berücksichtigt werden. Dies gilt selbst bei sehr wechselhaften Grenzlinienverläufen. Randstreifen um Ausschlussflächen herum bieten eine zusätzliche Sicherheit, dass Kalk auch nur dort ausgebracht wird, wo er erwünscht ist und benötigt wird.

### Vollzugskontrolle und Dokumentation

Die Vollzugskontrolle umfasst neben fortlaufenden Untersuchungen der Qualität der ausgebrachten Kalke die Überwachung der gelieferten Kalkmengen, die Überprüfung der Gleichmäßigkeit bei der Ausbringung sowie auch die Analyse von Flugbahnaufzeichnungen. Alle Flugbewegungen während der Kalkung werden als GPS-Daten aufgezeichnet. Zusätzlich wird der Streuvorgang dokumentiert. Diese Daten werden in ein Geoinformationssystem übernommen. Ihre Analyse hilft bei der Bewertung der durchgeführten Kalkungen (s. Abb. 5).

Gleichzeitig dienen die Flugbahnaufzeichnungen der Fortschreibung des digi-

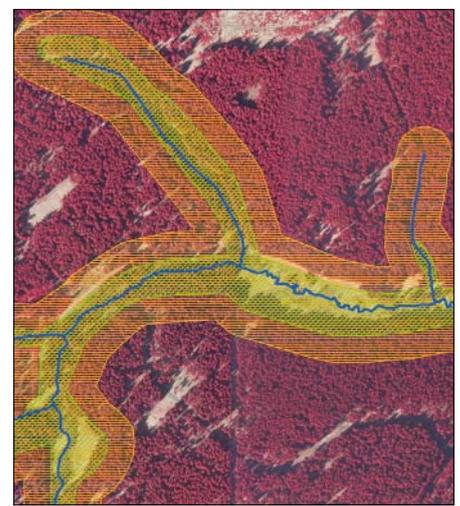


Abb. 4: Fichtenbestände Kalkungsflächen mit von der Kalkung auszustappenden Bachtälern (grün schraffiert FFH-Gebiet, orangefarbene Schraffur zusätzlicher Randstreifen)

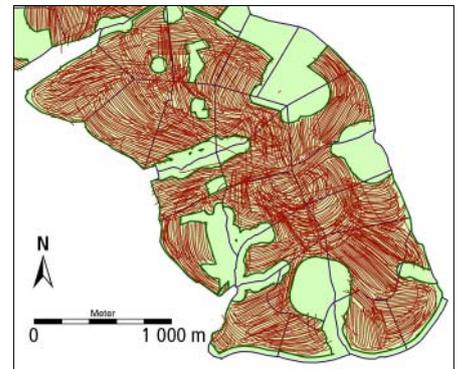


Abb. 5: Flugbahnverläufe der Kalkausbringung (rote Linien) mit Abteilungslinien (violett) und unregelmäßigen Grenzverläufen der zu kalkenden Flächen

talen Kalkungskatasters, die als abschließender Arbeitsschritt einer Kalkungsmaßnahme durchgeführt wird. Das digitale Kalkungskataster wird zentral am NFP geführt. Gegenüber früher sind somit alle Kalkungsinformationen für die gesamten Landesforsten jederzeit auf jeweils aktuellem Stand digital verfügbar. Die Forstämter werden hierauf über das betriebliche forstliche Informationssystem (WebGIF) Zugriff erhalten.

### Schlussfolgerungen

Bodenschutzkalkungen lassen sich mit GIS-basierter Planung und Dokumentation besser und effektiver organisieren. Dabei werden die finanziellen Mittel für Kalkungen auf die Standorte gelenkt, die zum Zeitpunkt der Planung den höchsten Bedarf haben. Ökologisch sensible Standorte bleiben gezielt ausgespart. Die Forstämter werden entlastet. Für mittelfristige Planungen der Betriebsleitung steht eine solide Datengrundlage zur Verfügung. Gleichzeitig wird, z.B. für die Zertifizierung, ein weiterer Beleg für die Nachhaltigkeit der Waldbewirtschaftung erbracht.