

# Waldbewirtschaftung im Zeichen des Trinkwasserschutzes

## Empfehlungen zum Waldumbau

mit Ergebnissen aus dem Pilotprojekt  
Grundwasserschutzwald im Fuhrberger Feld



Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie

**enercity**<sup>®</sup>  
positive energie

Die Marke der Stadtwerke Hannover AG

# Inhalt

- 3 Vorwort
- 4 Funktionen des Waldes
  - >> Ökosystem allgemein
  - >> Wald und Grundwasserschutz
  - >> Qualität des Sickerwassers unter Wald
  - >> Quantität des Sickerwassers unter Wald
- 8 Entwicklung der Waldbewirtschaftung im norddeutschen Flachland
  - >> Die Waldnutzung nach dem Mittelalter
  - >> Die Aufforstungsperiode der letzten 200 Jahre
  - >> Die Waldwirtschaft heute
- 10 Waldbewirtschaftung im Zeichen des Grundwasserschutzes
  - >> Verfahren zum Waldumbau
  - >> Nutzen des Waldumbaus für den Naturhaushalt
  - >> Nutzen des Waldumbaus für den Grundwasserschutz
  - >> Nutzen des Waldumbaus für die Waldwirtschaft
- 19 Kosten und Effizienz des Waldumbaus
  - >> Kostenermittlung
  - >> Vergleich mit anderen Grundwasserschutzmaßnahmen
- 21 Fazit
- 21 Literaturverzeichnis
- 23 Impressum

# Vorwort

Der Wald trägt mit seinen positiven Wirkungen für den Naturhaushalt auch zur Sicherung des Trinkwassers bei. Die Filterwirkung eines durch intakten Humusgehalt biologisch aktiven Waldbodens verbessert die Wasserqualität.

Erkenntnisse über eine noch bessere Sickerwasserqualität und höhere Sickerwasserquantität unter Laubwald gegenüber Nadelwald, waren Anlass für Anstrengungen zum Grundwasserschutz auch in der Waldwirtschaft. Hierzu haben das Niedersächsische Landesamt für Ökologie und die Stadtwerke Hannover AG in den Jahren von 1996 bis 1999 ein Pilotvorhaben „Grundwasserschutzwald im Fuhrberger Feld“ durchgeführt. Erstmals wurde in eine grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftung vorhandener Wälder ein Waldumbau auf größerer Fläche hin zu mehr Laubwald einbezogen. Das Pilotvorhaben wurde im Fuhrberger Feld beispielhaft für das norddeutsche, pleistozän geprägte Flachland durchgeführt.

Die Entwicklung wirtschaftlich günstiger Verfahren für den Waldumbau und die Ermittlung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und Wasserqualität waren Hauptziele des Vorhabens. Aber auch die Erhöhung der ökologischen Vielfalt, die Vermeidung des Pestizideinsatzes durch vitalere und stabilere Wälder, die Verringerung der Schadstoffeinträge aus der Luft sowie die Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Bindung waren Ziele des Pilotvorhabens. In der vorliegenden Broschüre werden die wesentlichen Ergebnisse vorgestellt.

**Der nachhaltige Schutz der Ressource Trinkwasser ist dringender denn je. Wald leistet zum Nutzen aller einen wichtigen Beitrag hierzu.**

Diese Broschüre richtet sich an die wasser- und forstwirtschaftlichen Fachbehörden, Waldbesitzer und Wasserversorger. Sie erhalten Hinweise für eine Optimierung der Waldbewirtschaftung in Wasserschutzgebieten. Darüber hinaus ist diese Broschüre auch für interessierte Laien und als Anschauungsmaterial für Schüler- und Studentengruppen geeignet.

# Funktionen des Waldes

## Ökosystem allgemein

Wald ist unter allen Vegetationsformen eine Lebensgemeinschaft, die sich durch hohe Vielfalt und Stabilität besonders auszeichnet. Als langlebiges Ökosystem ist Wald zur Selbstregulierung fähig. Er speichert viel Biomasse und bindet so CO<sub>2</sub>. Dies trifft auch für den standortgerechten und naturnah aufgebauten Wirtschaftswald zu.

Manche Waldfunktionen wie der Schutz gegen Bodenabtrag und Lawinen haben schon seit dem letzten Jahrhundert in der Waldwirtschaft in Deutschland Gewicht. Der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen von Mensch und Tier, wie Boden, Klima und Wasser hat erst seit jüngerer Zeit mehr Beachtung erhalten.

## Wald und Grundwasserschutz

Wald wird oft als natürlicher Wasserspeicher bezeichnet. Der oberflächliche Wasserabfluss ist hier besonders gering. Der Waldboden saugt die Niederschläge wie ein Schwamm auf und sichert so lange seinen Wasserbedarf. Er führt allerdings weniger Wasser ins Grundwasser ab als waldfreie Landnutzungsformen. Die folgende Abbildung stellt schematisch den Wasserkreislauf im Wald dar.

## Wasserumsatz im Ökosystem Wald

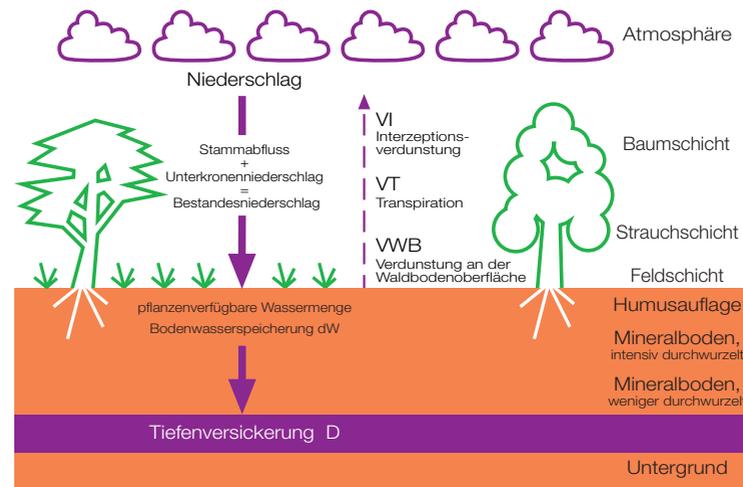


Abbildung 1: Wasserkreislauf im Wald (Quelle Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Eberswalde)

Wald an sich ist die für den Grundwasserschutz günstigste Landnutzungsform. Unter intakten Waldböden gebildetes Grundwasser ist nitratarm. Auch mit vielen anderen Schadstoffen ist es kaum belastet. Diese hohe Qualität ist zudem auf Dauer stabil, da es sich bei den Austrägen fast ausschließlich um natürlich bedingte Stoffflüsse handelt. Sofern der Bodenversauerung langfristig begegnet werden kann, sind die versauerungsbedingten Verlagerungen von Aluminium und Schwermetallen noch zu stoppen. In Folge ihrer charakteristischen Nachhaltigkeit kann Waldwirtschaft einen langfristigen Beitrag zur Sicherung der Qualität des Grundwassers in einem Einzugsgebiet leisten.

## Qualität des Sickerwassers unter Wald

Nitratkonzentrationen im Sickerwasser unter Wald liegen nach aktuellen Messungen in der Regel deutlich unter dem Richtwert der Trinkwasserverordnung (TVO) von 25 mg NO<sub>3</sub>. Laubwald kann gegenüber Nadelwald noch geringere Werte haben. Der Auskämmeffekt der Baumkronen bewirkt, dass Stoffeinträge aus der Luft im Wald höher sind, als auf anderen Flächen. Insbesondere die Säureeinträge können als dauerhafte Belastung für den Grundwasserschutz problematisch werden.

Wald ist Qualitäts-  
garant für hoch-  
wertiges Trinkwasser

Auswaschung von  
Schadstoffen durch  
Bodenversauerung

## Nitratkonzentrationen im Sickerwasser

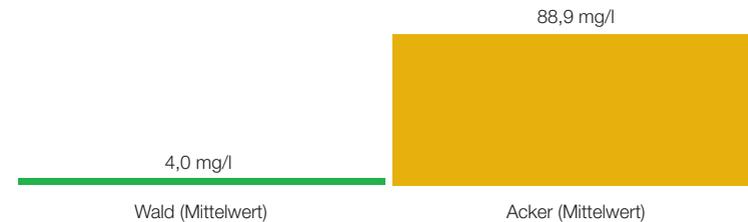


Abbildung 2: Vergleich der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld unter Wald und Acker (nach Ringe, 1999 und IGLU, 1999)

Säureeinträge in den Waldböden lösen bei sehr niedrigen pH-Werten (pH < 4,2) Aluminium und Schwermetalle aus dem Boden, die mit dem Grundwasserstrom langsam in Richtung der Trinkwasserbrunnen wandern. Insbesondere die basenarmen eiszeitlichen Sande des norddeutschen Flachlandes haben nur eine geringe natürliche Pufferwirkung, so dass die Versauerung rasch fortschreiten kann. So wurde für das Grundwasser unter Wald eine Aluminiumkonzentration von über 13 mg/l festgestellt, die mehr als 50fach über dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung liegt.

Derzeit kann die weitere Versauerung über eine Waldkalkung abgepuffert werden (vgl. NMELF, 1996), eine Melioration der versauerten Bodenbereiche ist jedoch kaum möglich. D. h. eine heute versäumte Waldkalkung ist durch eine spätere Maßnahme nicht zu heilen. Ein abnehmender Trend der Luftbelastungen auf Grund verschärfter Emissionsgrenzwerte entspannt die Situation etwas, bzw. lässt die Intervalle der Kalkungsmaßnahmen länger werden. Durch die Kalkung wird jedoch die Mineralisation im Humus erhöht, was zu einer zusätzlichen Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser führen kann. Die Höhe der Nitratauswaschung mit dem Sickerwasser ist von der Kalkmenge und von der Stickstoffsättigung des Bodens abhängig, auch wird diese Erhöhung i. d. R. nur im Jahr nach der Kalkung beobachtet (vgl. Matzner, 1985; Marschner, 1990; Beese et al., 1995; Rothe et al., 1998). Hier ist daher eine Risikoabschätzung zwischen den Schadstoffen Nitrat und Aluminium zu treffen. Ggf. sollte über eine Verkürzung der Kalkungsintervalle mit dann geringeren Kalkmengen nachgedacht werden.

Laubwälder können der Versauerung im Oberboden besser begegnen als Nadelbäume, da sie Basen – sofern vorhanden – aus dem Unterboden und dem wurzelerreichbaren Grundwasser stärker in die Blattmasse und mit dem Blattfall in den Oberboden transportieren. Zudem bewirken die geringeren Einträge von Schadstoffen im Laubwald hier eine günstigere Situation.

Verbunden mit den Säureinträgen sind ebenfalls atmosphärische Sulfateinträge in den Wald messbar, die jedoch im letzten Jahrzehnt abgenommen haben, so dass diese Sulfatmenge an sich für den Grundwasserschutz unkritisch wäre. Es gibt jedoch Wassergewinnungsgebiete in denen zusätzlich Sulfat aus anderen Quellen, in der Regel dem Untergrund, freigesetzt wird. Außerdem dient Sulfat dem ansonsten recht immobilen Aluminium als „Chauffeur“ ins Grundwasser. Daher muss den atmosphärischen Sulfateinträgen ebenfalls Beachtung geschenkt werden.

### Sickerwassermengen



Abbildung 3: Sickerwassermenge unter verschiedenen Nutzungsformen auf grundwasserfernen Standorten im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld (Stadtwerke Hannover AG, 1999; Wald=Einzelwerte)

Waldkalkung als Gegenmaßnahme der Bodenversauerung nur nach Risikoabschätzung

Stoffkonzentration unter Laubwald ist günstiger als unter Nadelwald

### Quantität des Sickerwassers unter Wald

Ebenso wie die Qualität unterscheidet sich auch die Quantität des Sickerwassers unter den verschiedenen Landnutzungsformen. Die Sickerwassermenge unter Wald ist gegenüber anderen Nutzungsformen geringer. Aber auch je nach Waldtyp, Laub-, Misch- oder Nadelwald, gibt es noch einmal deutliche Unterschiede in der Sickerwassermenge (vgl. Abbildungen 3 und 4).

### Grundwasserneubildung

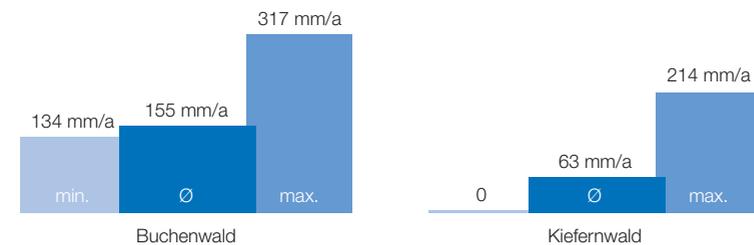


Abbildung 4: Variation der Sickerwassermengen in Kiefern- und Buchenwäldern des nordostdeutschen Tieflandes während ihres Bestandeslebens (nach: Müller, 1996)

Die Sickerwassermenge im Wald wird erheblich von den Interzeptionsverlusten (Verdunstung des an der Vegetation anhaftenden Niederschlages) der Waldvegetation und der Speicherfähigkeit der Humusaufgabe beeinflusst. Ebenso hat der Verbrauch der unter lichten Kiefernbeständen häufig vorhandenen dichten Grasdecke hierauf einen negativen Einfluss.

Den Blättern der Laubbäume haftet, bedingt durch ihre winterkahlen Kronen, eine geringere Niederschlagsmenge an als den Nadeln der Nadelbäumen. Entsprechend höher ist in einem Laubwald die Niederschlagsmenge, die auf den Waldboden trifft (Bestandesniederschlag). In der Folge ist die Menge des Sickerwassers unter Laubwald etwa 80 bis 100 mm höher als unter Nadelwald. In einem Mischwald aus Nadel- und Laubbäumen kann die Sickerwassermenge auch schon um 40 mm über der eines vergleichbaren Nadelwaldes liegen.

Unter Laubwald entsteht mehr Sickerwasser als unter Nadelwald

## Entwicklung der Waldbewirtschaftung im norddeutschen Flachland

Um waldbauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Sickerwassermenge ergreifen zu können muss zunächst die heutige waldbauliche Situation analysiert werden. Hierzu ist besonderes Wissen über die Entstehung des heutigen Waldes erforderlich.

### Die Waldnutzung nach dem Mittelalter

Nachdem Norddeutschland zuvor größtenteils mit Laubwald bedeckt war, wurde bis in die vorindustrielle Zeit (bis 18. Jahrhundert) der Wald zunächst siedlungsnah, später auch in immer größerer Entfernung zu Städten übernutzt. Es wurde mehr Holz eingeschlagen als nachwachsen konnte. In den lichten Beständen fand das Vieh Weidemöglichkeit und verhinderte eine natürliche Waldverjüngung. Auch wurden die Streu- und Humusaufgaben zur Nutzung als organische Felddüngung aus den Wäldern abgetragen (Plaggennutzung) und damit die Nährstoffe dem Wald entzogen (vgl. Bezirksregierung Hannover, 1996). Diese Ausbeutung führte zu einer ökologischen Katastrophe für den Wald. Im norddeutschen Flachland entstanden großflächig Heiden und Böden fielen der Winderosion anheim. In Extremfällen wurden Häuser im Binnenland von Wanderdünen überweht.

### Die Aufforstungsperiode der letzten 200 Jahre

Mit der Einführung des Nachhaltigkeitsprinzips, d. h. nicht mehr Holz zu nutzen als nachwächst, in eine nun geregelte Waldwirtschaft fand ab Mitte des 18. Jahrhunderts keine weitere Verminderung der Waldfläche statt. Vielmehr wurden zur Beseitigung der Rohstoffknappheit Aufforstungen vorangetrieben. Diese waren auf den riesigen, nährstoffarmen Freiflächen nur mit Pionierbaumarten möglich. Unter Berücksichtigung einer späteren Holznutzung als Funktion des Waldes kamen auf den wenigen reicheren Standorten Eichen, ansonsten fast ausschließlich Kiefern in Frage. Auch standen nur von Kiefern kontinuierlich größere Mengen an Saatgut zur Verfügung.

In Wäldern aus dieser Zeit finden sich heute oftmals von Vögeln und Wind über Samen eingetragene Eichen, Birken und Ebereschen in einer zweiten Bestandesschicht, sofern der Wildverbiss nicht zu hoch ist. Eiche und insbesondere die Eberesche weisen auf einen durch den Humusaufbau der ersten Waldgeneration gestiegenen Nährstoffvorrat im Boden hin.

Wald wird durch Übernutzung vernichtet

Einführung des Prinzips der Nachhaltigkeit in eine geregelte Waldwirtschaft

Kiefernauaufforstung als Pionierwald

### Die Waldwirtschaft heute

Ohne weitere Einflussnahme des Menschen würde die Waldentwicklung über mehrere Jahrhunderte auf den meisten Flächen im norddeutschen Flachland zum buchendominierten Mischwald (Drahtschmielen-Buchewald, Eichen-Buchewald) führen, der mit den Sukzessionsstadien des Eichen-Kiefern-Birkenwaldes vergesellschaftet wäre.

### Walddynamik

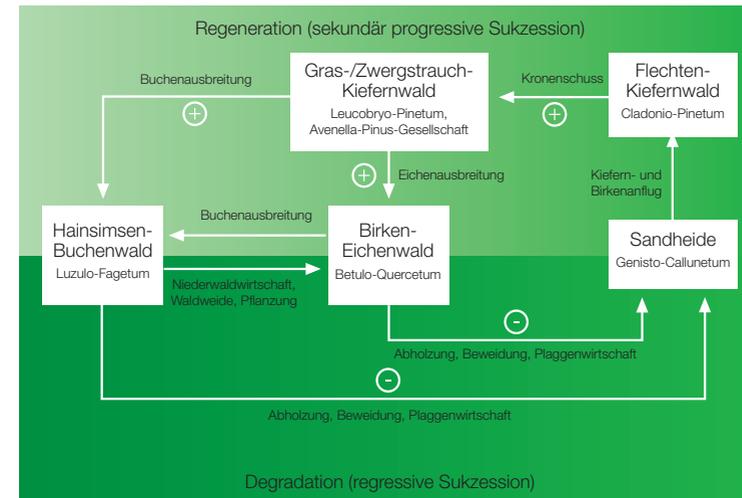


Abbildung 5: Schema der Walddynamik auf silikatarmen Sanden (nach Heineken, 1996, verändert)

Sich an diesem Leitbild orientierend steht die Waldwirtschaft der 80er und 90er Jahre für den Wandel in Richtung einer naturnahen Bewirtschaftung.

In Niedersachsen ist dies im Löwe-Programm der Niedersächsischen Landesregierung (1991) für die Bewirtschaftung des landeseigenen Waldes festgeschrieben worden. Zunehmend wird auf Mischbestände und natürliche Prozesse in der Waldverjüngung gesetzt. Für das norddeutsche Flachland bedeutet dies, dass mit Eiche, Kiefer, Fichte, Birke und Eberesche über natürliche Verjüngung gearbeitet wird. Buche, von der fast keine Samenbäume in der ehemaligen Heide zu finden sind, und weitere Baumarten wie die Douglasie werden zusätzlich über Pflanzung eingebracht. Neben den Baumarten der jeweiligen natürlichen Waldgesellschaft finden sich weitere Baumarten wie die Douglasie zur Steigerung der Wertschöpfung als Einzelbaum- und Gruppenmischungen in diesen Beständen wieder.

Heutiges Leitbild: natürliche Waldentwicklung

## Waldbewirtschaftung im Zeichen des Grundwasserschutzes

Das Thema dieser Broschüre ist primär die Laubwaldvermehrung in bestehenden Nadelwäldern. Die für den Grundwasserschutz ebenfalls sehr positive Waldvermehrung durch Erstaufforstung wird hier daher nicht erläutert. Besondere Informationen zur Erstaufforstung in Wassergewinnungsgebieten finden Sie bei Anton (1999), Drachenfels (1997) und Olschewski (1999).

### Verfahren zum Waldumbau

Die Vermehrung des Laubwaldes durch Umwandlung bestehender Nadelholzbestände wird daher mit waldbaulichen Verfahren einer Dauerwaldwirtschaft umgesetzt. Dies geschieht vor ggf. auch noch in der Naturverjüngungsphase eines Waldbestandes: In die bestehenden Nadelholzbestände werden Laubbäume als zweite Bestandesschicht eingebracht. Diese zweite Bestandesschicht wird nach 20 bis 60 Jahren – in diesem Zeitraum sollen die Nadelbäume genutzt werden – den Wald bilden. Ein radikaler Wechsel des Waldtyps von Nadel- zu Laubwald über einen Kahlschlag und Neupflanzung würde große Menge von im Humus gespeichertem Nitrat mobilisieren und zu dessen Auswaschung mit dem Sickerwasser führen. Auch waldbaulich ist man von der Kahlschlagswirtschaft u. a. wegen höherer Risiken für die Jungpflanzen abgerückt und setzt mehr auf eine Vorverjüngung in älteren Waldbeständen.

Die Begründung des Laubwaldes kann durch Förderung von Laubholznaturverjüngung, sowie gezielte Saat und Pflanzung von Laubbäumen erfolgen. Diese Verfahren werden im folgenden kurz vorgestellt:

#### Naturverjüngung

Die Naturverjüngung von Laubholz durch Hähersaat und Anflug durch Wind kann man lokal sehr unterschiedlich stark beobachten. Insbesondere in der Nähe von Siedlungen mit Hofeichen und bei einer hohen Zahl an samentragenden Altbäumen im Wald findet sich leidlich Naturverjüngung an Birke, Eberesche, Eiche und Buche. Wo diese zudem für den Waldbauern ausreichende Qualität und Quantität erreicht, kann über die gezielte Förderung der Laubbäume und das Beseitigen ggf. vorhandener direkter Nadelbaumkonkurrenz kostengünstig eine Entwicklung zum Laubwald gesteuert werden. Derart günstige Verhältnisse finden sich nur selten. Insbesondere die Eiche wird durch Wildverbiss oft wieder aus den Beständen herausselektiert (siehe auch unter Schutz gegen Wildverbiss). Zudem fehlen häufig die

Zweite Schicht aus Laubbäumen in Nadelwäldern einbringen und fördern

Natürliche Ansamung ist durch hohe Wildstände und wenig samentragende Altbäume eingeschränkt

Samenbäume, so dass der natürliche Prozess den gewünschten Flächenfortschritt nur über mehrere Waldgenerationen erreichen kann.

### Saat



Abbildung 6: Buchensaat im zweiten Jahr

Saat eine Bodenverwundung unbedingt erforderlich ist. Saatk mengen von 20 kg/ha Buchen- bzw. 90 kg/ha Eichensaatgut haben für genügende Sämlingszahlen ausgereicht.

Von der maschinellen Saat verspricht man sich neben etwas geringeren Kosten als bei der Pflanzung vor allem eine ungestörte Wurzel ausbildung der Sämlinge und damit einen besseren Wuchs der Pflanzen.

### Pflanzung

Die Pflanzung von Laubbäumen ist die in der regionalen Waldwirtschaft derzeit verbreitetste Art der Begründung. Hierbei reichen aus wasserwirtschaftlicher Sicht Pflanzenzahlen von 2.000 bis 3.000 Pflanzen je Hektar im Vor- und Nachanbau aus.

Bei der Pflanzung ist es ebenso wie bei der Saat wichtig, den Pflanzen einen ausreichend großen Pflanzplatz ohne Konkurrenzvegetation zu geben, um eine hohe Anwuchsrate zu erzielen. Bei geringen Niederschlägen, dichtem Grasbewuchs oder mächtigen Humusdecken sowie geringem Bodenspeicher, ist eine Freilegung des Mineralbodens für die Jungpflanzen erforderlich. Hierdurch gelangen die ohnehin geringen Bestandesnieder schläge im Sommer nach der Pflanzung an die Wurzeln der Jungpflanzen.

Die gezielte Saat von Eiche und Buche wurde bisher kaum durchgeführt, da dies vornehmlich Handarbeit und somit kostenintensiv war. Sowohl das höhere Risiko als auch das unregelmäßige Vorhandensein preisgünstigen Saatgutes (nur nach Mastjahren – Jahren mit reicher Samenbildung) lassen diese Art der Begründung in den Hintergrund treten. Es finden sich jedoch durch Saat begründete, gelungene Laubholzbestände auch in den norddeutschen Kieferengebieten. Im Rahmen des Pilotvorhabens Grundwasserschutzwald wurden zwei maschinelle Saatgeräte getestet.

Dabei zeigte sich, dass auch in der

Saat ist kostengünstig, aber risikoreicher als Pflanzung

Pflanzplätze sichern den Anwuchs

**Geringe  
Bodenverwundung  
durch Einzelplätze**

Eine Kalkung des Pflanzplatzes beeinflusst das Wachstum der Pflanzen positiv. Die Wachstumssteigerung führt zu einem schnelleren Eintritt der Wirkung des Laubwaldes im Hinblick auf den Grundwasserschutz. Den Gegebenheiten des Nadelholztaltbestandes entsprechend ist ein geeignetes Verfahren auszuwählen. Nachfolgend werden ausschließlich pflanzplatzweise arbeitende Verfahren beschrieben, die auf Grund kleinflächiger Bodenverwundung (<10% der Fläche) eine natürliche Verjüngung von Nadelholz begrenzen:

**Kulla**



Abbildung 7: Das Kullagerät an einer Schmalspurraupe

Das Kulla-Gerät wird hinter einer Zugmaschine montiert und zieht für die Pflanzplätze in einem Reihenverband, der über die Fahrspur festgelegt ist, den Bodenbewuchs und Humus vom Mineralboden ab. Innerhalb der Reihe werden die Plätze in gleichen Abständen erstellt. Je nach Platzlänge können eine oder mehrere Pflanzen gesetzt werden.

Das Erstellen der Pflanzplätze mit dem Kulla-Gerät ist ein sehr kostengünstiges und damit wirtschaftliches Verfahren. Es setzt allerdings die flächige Befahrbarkeit des Bestandes voraus.

**Pflanzfuchs**



Abbildung 8: Der Pflanzfuchs

Mit einem an einem schubkarreähnlichen Gestell aufgehängten Erdlochbohrer im Durchmesser von 25 bis 35 cm wird ein Pflanzloch von 30 bis 40 cm Tiefe gebohrt. Die Vegetation und der Boden werden in einem Wall um das Pflanzloch aufgehäuft. Der Pflanzplatz ist relativ klein und wächst daher schnell wieder zu.

Hingegen ist das Verfahren für nicht mit Maschinen befahrbare Flächen (z. B. wegen Rabattengraben) geeignet. Die Kosten für einen mit diesem Verfahren erstellten Pflanzplatz liegen um das 2 bis 3-fache über dem Kulla-Verfahren.

**Kulla mit Kalk (und Pflanzfuchs)**



Abbildung 9: Die Kalkgabe auf den Kulla-Platz

Das Entfernen der Bodenvegetation erfolgt wie beim einfachen Kullagerät. Zusätzlich wird eine kompakte Kalkgabe je Platz abgesetzt. Der Kalk wird auf die Bodenoberfläche gegeben. Die Einarbeitung des Kalkes erfolgt in einer ersten Variante durch die Bodenbewegung bei der Pflanzung, sofern ein Pflanzloch ausgehoben wird und keine Spaltpflanzung

(z. B. Klemm- oder Winkelpflanzung) erfolgt. In einer zweiten Variante wird durch Bohren mit dem Pflanzfuchs der Boden mit dem Kalk vermischt. Bei diesem Verfahren gibt es Einschränkungen im Einsatzgebiet: In flachwurzelnenden Fichtenbeständen und bei Hindernissen wird die Kalkgabe oft nicht korrekt abgesetzt, und das Verfahren erzielt keine befriedigende Arbeitsqualität. Dies ist die günstigste gekalkte Pflanzplatzvariante.

**Lochbohrer (LoBo)**



Abbildung 10: Das LoBo-Gerät an einem Minibagger

Das Lochbohrverfahren, in Fachkreisen LoBo-Verfahren genannt, arbeitet mit einem hydraulisch betriebenen Bohrkopf mit manuell auszulösender Kalkdosierung an einer Trägermaschine mit Schwenkarm. Mit Bohrzinken wird zunächst am Pflanzplatz die Bodenvegetation abgezogen. Anschließend wird der Bodenauf einer Fläche von durchschnittlich 50 cm gerührt und dabei der Kalk eingearbeitet.

Mit diesem Gerät kann von einer Fahrspur aus auch über Hindernisse hinweg ein Pflanzloch erstellt werden. Die Pflanzlöcher können punktgenau platziert werden, bzw. der Fahrer kann bei Einzellöchern auf Hindernisse durch geringe Platzverlagerung reagieren. Der Bestand muß nicht flächig, aber in Abständen von ca. 6 m reihenweise befahrbar sein. Das LoBo-Verfahren ist daher auf nahezu allen Flächen einsetzbar. Die Kosten liegen jedoch über dem zuvor beschriebenen Kulla mit Kalk-Verfahren.

## Verfahrenskosten

Verfahren	Verfahren ohne Kalk		Verfahren mit Kalkbeigabe		
	Kulla	Pflanzfuchs	Kulla	Kulla/Pflanzfuchs	LoBo
Ø Preis/Platz	0,20 DM	0,45 DM	0,40 DM	0,75 DM	0,90 DM

Tabelle 1: Verfahrenskosten auf einen Blick

### Praxisversuch zu Pflanzplatzvorbereitungsverfahren und Pflanzensortimenten

Die Kosten der Pflanzplatzvorbereitungsverfahren weichen doch erheblich voneinander ab. Ein im Rahmen des Pilotvorhabens 1997 angelegter Praxisversuch soll zeigen, ob die teuren Verfahren deutliche bessere Wuchserfolge zeigen und damit ggf. die höheren Kosten rechtfertigen.

In einer ersten Aufnahme und Interpretation dieses Versuches zeigt sich,

- >> dass das Verfahren mit Pflanzfuchseinsatz den Kalk am besten einarbeitet. Hier war bis in die untersuchte Tiefe von 30 cm eine pH-Wert-Erhöhung nachzuweisen. Das LoBo-Verfahren fällt bereits nach 20 cm Tiefe auf das pH-Wert-Niveau der Nullprobe zurück.
- >> dass das Höhenwachstum der Pflanzen in allen gekalkten Varianten über der ungekalkten Variante liegt.
- >> dass die gekalkten Varianten untereinander bisher keine signifikanten Unterschiede im Höhenwachstum zeigen.
- >> dass die Bohrverfahren (LoBo, Pflanzfuchs, Kulla und Pflanzfuchs) sich in einer summarischen Auswertung mehrerer Vitalitätskriterien deutlich von den nur oberflächlich arbeitenden Verfahren (Kulla mit und ohne Kalk) abheben.
- >> dass alle Sortimente und Verfahren mindestens befriedigende Anwuchs- und Zuwachsergebnisse liefern, die bei einigen Sortimenten und Verfahren besser ausfallen.

### Verfahren zum Schutz der Kulturen gegen Wildverbiss

Bereits bei der Planung der Maßnahmen muss neben der Art der Kulturbegründung auch über den Schutz der Kultur entschieden werden. So ist bei allen Verfahren der Laubholzeinbringung in der Regel ein Schutz der Pflanzen gegen Wildverbiss zu überdenken. Reh- und Rotwild haben eine Vorliebe für Laubbäume. Je nach Wilddichte und natürlicher Laubbaumverjüngung in der näheren Umgebung muss örtlich über die Notwendigkeit eines Verbissschutzes entschieden werden.

Zum Schutz von Forstkulturen sind diverse Verfahren bekannt:

### Einzelerschutz

Einzelerschutzmaßnahmen scheiden wegen der hohen Kosten pro Pflanze von vornherein aus. Sie sind tatsächlich nur für einzelne Pflanzen, beispielsweise bei einer Alleepflanzung sinnvoll.

### Flächenschutz



Abbildung 11: Kulturzaun aus Holz (Hordengatter)

Für eine Zäunung werden seit Jahrzehnten Drahtzäune verwendet. Diese werden als Pfosten- oder Scherenzäune gebaut und müssen, sobald die Pflanzen dem Wildverbiss entwachsen sind, abgebaut werden, um das Lebensraumareal wieder zugänglich zu machen.

Seit Anfang der 90er Jahre werden auch wieder aus Holz gefertigte

Zäune, sogenannte Hordengatter, im Wald eingesetzt. Hordengatter werden aus vorgefertigten Holzelementen gebaut. Berücksichtigt man die notwendigen Abbau- und Entsorgungskosten für Drahtzäune, können Hordengatter zu gleichen Preisen wie herkömmliche Drahtzäune erstellt werden.

Zusätzliche Argumente sprechen für den Einsatz von Hordengattern:

- >> Eine Verwendung des eigenen Produktes Holz ist möglich.
- >> Die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz ist durch Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes Holz günstiger als beim Drahtzaun.
- >> Sie fügen sich gut in das Landschaftsbild ein.
- >> Sie stellen eine sichtbare Barriere für das Wild dar, die auch vom Schwarzwild nicht durchbrochen wird.
- >> Wildtiere können sich nicht darin verfangen.
- >> Die Horden können i. d. R. an Ort und Stelle verrotten und müssen nicht abgebaut werden.

Um Kulturen ohne Zaun begründen zu können, müssen große zusammenhängende Flächenkomplexe bepflanzt werden. Im Pilotvorhaben wird derzeit von einer Mindestflächengröße von 15 bis 20 Hektar ausgegangen. Bei den Pflanzen soll das Größensortiment 50/80 nicht unterschritten werden, da kleinere Pflanzen durch den zu erwartenden Verbiss zu starke Vitalitätsverluste erleiden. Eine vorübergehend intensivierte Bejagung auf den Kulturflächen zur Minderung der Verbissschäden sollte mit den Jagdausübungsberechtigten vereinbart werden.

Ohne Zaunschutz muß der Jagddruck erhöht werden

### Weitere Sicherungsmaßnahmen

In den Jahren nach der Pflanzung ist das Anwachsen der Kulturen und das ausreichende Überleben und Wachstum der Pflanzen sicherzustellen.

Hierfür sind:

- >> je nach vorkommenden Wildarten die Kulturzäune während einer Zeitspanne von 5 bis 10 Jahre zu kontrollieren und wilddicht zu halten,
  - >> die Pflanzen ggf. von starkem Konkurrenzschwund freizustellen,
  - >> bei Massenvermehrungen ggf. Forstschutzmaßnahmen gegen Mäuse zu ergreifen,
  - >> bei übermäßigem Ausfall von Pflanzen Nachbesserungen vorzunehmen.
- Diese Maßnahmen übernehmen die jeweiligen Waldbesitzer als Eigenleistung. Hierdurch gelten sie ihren betriebswirtschaftlichen Vorteil durch die ansonsten kostenlose Pflanzung ab.

Die Pflanzungen sind 10 Jahre zu überwachen

### Kooperation aller Waldbesitzerarten

In Anlehnung an die in den Wasserschutz- und -vorranggebieten vorhandenen landwirtschaftlichen Kooperationen, empfiehlt sich als Vorbereitung von großflächigen Umbaumaßnahmen die Gründung einer Forstkooperation. Wasserversorger, die im Wassergewinnungsgebiet tätige Beratungsinstitution, die Bezirksregierung als Obere Wasserbehörde und die Privatwaldeigentümer, ggf. in Vertretung durch ihre forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse, gehören ebenso hierzu wie die, den Privatwald betreuenden

Landwirtschaftskammerdienststellen (LWK-Forstämter), die den Staatswald bewirtschaftenden Dienststellen (Bundes- und Landesforstämter) und die Landkreise als Untere Wasserbehörden.

Im Pilotvorhaben kam durch eine derartige Kooperation ein reger Austausch der Beteiligten mit in der Folge hohen Flächenmeldungen für den Umbau zustande. Ebenso wurde durch die Kooperation eine Kofinanzierung der Unterbaumaßnahmen aus Mitteln des waldbaulichen Landesförderprogrammes angeregt und entsprechend umgesetzt.

### Nutzen des Waldumbaus für den Naturhaushalt

Die Anpflanzung weiterer Baumarten in monostrukturierte Nadelwälder erhöht an sich schon die Artenvielfalt. Durch die zusätzlichen Strukturen wird über die erhöhte Habitatvielfalt mittelbar weiteren Tier- und Pflanzenarten Lebensraum geboten. Aktuell wertvolle Biotope, insbesondere §28a-Biotope, dürfen selbstverständlich nicht verändert werden. Eine vorausgehende flächendeckende Biotopkartierung ist daher empfehlenswert.

Kräfte von Wald- und Wasserwirtschaft zum beiderseitigen Nutzen bündeln

Erhöhung der ökologischen Vielfalt

Die zweite Bestandesschicht, aus mehreren Laubbaumarten in monostrukturierte Kiefernbestände gepflanzt, erhöht die Habitat- und Artenvielfalt und fördert damit die Belange des Naturschutzes.

Bei der Pflanzung von Schattbaumarten wie der Buche unter Lichtbaumarten wie der Kiefer wird zusätzliche Biomasse während der Mischbestandsphase im Unterstand produziert. Das CO<sub>2</sub>-Speicherpotential dieser nunmehr zweischichtigen Bestände wird deutlich gesteigert.

Zu vergleichbaren Kiefernwäldern ist die CO<sub>2</sub>-Speicherfähigkeit von Buchenwäldern um 1,5 t CO<sub>2</sub>/Jahr und Hektar erhöht. Bezogen auf eine Lebensdauer der Buchen von 160 Jahren ergibt sich eine um 240 t CO<sub>2</sub>/ha verbesserte Bilanz (Anders et al., 1997). Die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Einsparungseffekte, die sich durch die Verwendung des zusätzlich produzierten Holzes ergeben, beschreibt u. a. Burschel (1993).

Durch Buchenunterpflanzung in Kiefernbestände kann in der Umwandlungsphase eine CO<sub>2</sub>-Bindungserhöhung des Waldes mit bis zu 3 t CO<sub>2</sub> jährlich erreicht werden (Burschel et al., 1993).

### Nutzen des Waldumbaus für den Grundwasserschutz

Zu den Stoffausträgern sowie der Sickerwassermenge gibt es zu Laub- und Nadelwald klare Aussagen. Für die Mischbestandsphase, wenn junge Laubbäume als Übergang vom Nadel- zum Laubwald unter einem Nadelholzschild heranwachsen, ist die Datenbasis aber noch relativ klein. Diese Werte sind nachfolgend aber verwendet worden, da die Tendenz erkennbar ist. Die Konzentrationen vieler Stoffe im Sickerwasser unter Laubbaumbeständen ist geringer als unter Nadelbaumbeständen. So liegt die Nitratkonzentration der Laubwälder etwa 2-3 mg/l niedriger. Lediglich in der Mischbestandsphase ist eine gleich hohe bis leicht erhöhte Nitratkonzentration gegenüber einem reinen Kiefernwald feststellbar, die aber durch die erhöhte Sickerwassermenge wieder ausgeglichen wird.

Um die Gesamtleistung des Umbaus für den Trinkwasserschutz bewerten zu können, ist nachfolgend die Erhöhung der Sickerwassermenge ermittelt worden, die während der „waldwirtschaftlichen Produktionszeit“ der Buche (160 Jahre von der Pflanzung bis zur Fällung) entsteht. Die tatsächliche Wirkung wird bei nachfolgenden Generationswechsellern über Naturverjüngung noch weit darüber hinaus anhalten.

Bei der Entwicklung des Buchenwaldes und der kontinuierlichen Nutzung der Nadelbäume kommt es zu einem langsamen Anstieg der Sickerwassermengen. Bei der Berechnung ist jedoch vereinfachend angenommen worden, dass bis 20 Jahre nach der Pflanzung keine Wirkung eintritt. Im Alter von 21 bis 60 Jahre wurde eine im Pilotvorhaben ermittelte Erhöhung der Sickerwassermenge im Mischbestand, der eine Übergangsphase darstellt, von

Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Bindung

Nach dem Waldumbau sinkt langfristig und nachhaltig der Nitrataustrag

40mm mehr Sickerwasser im Mischwald, 100mm mehr Sickerwasser im Laubwald als im Nadelwald

### Sickerwassermengen (Tm<sup>3</sup>/ha) Jahren nach der Pflanzung

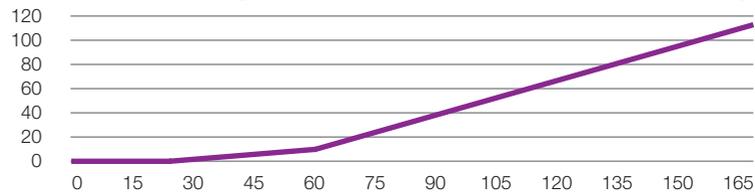


Abbildung 12: Summe zusätzlicher Sickerwassermenge (m<sup>3</sup>/ha) in einem Umbaubestand in den Jahren nach der Laubholzpflanzung

40 mm/Jahr und ab dort, im dann reinen Laubholzbestand, eine Erhöhung der Sickerwassermenge von 100 mm/Jahr zugrunde gelegt. Der so ermittelte Gewinn reinen Sickerwassers wird aus der nachfolgenden Abbildung deutlich. Die so abgeschätzte Erhöhung der Sickerwassermenge von 116.000 m<sup>3</sup>/ha in 160 Jahren bzw. 72,5 l/m<sup>3</sup> jährlich dient aus Sicht der Wasserwirtschaft der Verdünnung stärker belasteter Sickerwassermengen von z. B. landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Bei dieser rein auf den Sickerwassermengengewinn ausgerichteten Betrachtungsweise bleibt die im Vergleich zu Nadelbaumbeständen geringfügig günstigere Nitratkonzentration des Laubholzbestandes ebenso unberücksichtigt, wie deren vorübergehend möglicherweise leichter Anstieg in der Mischbestandsphase. Diese Größenverschiebungen gleichen sich im Zweifelsfall aus.

### Nutzen des Waldumbaus für die Waldwirtschaft

Die stärkere Wasseranlieferung an den Boden findet nicht nur in der winterlichen Sickerwasserperiode, sondern auch während der Sommermonate statt. Dies führt zumindest in Trockenjahren zu einer besseren Wasserversorgung des Baumbestandes und damit zu höheren Einzelbaumzuwächsen der Nadelbäume (vgl. Müller et al., 1998).

Neben dieser leichten Erhöhung des Holz- und Wertetrages sind Mischbestände gegenüber Reinbeständen weniger stark durch biogene Schadeinflüsse gefährdet:

- >> So wird durch den Buchenunterbau eine brennbare Grasvegetation ausgedunkelt. Auch ist die Brennbarkeit von Buchen gegenüber Kiefern geringer.
- >> Massenvermehrungen von Schadorganismen treten nicht in der Intensität wie in monostrukturierten Nadelwäldern auf.
- >> Die Bestandessicherheit wird durch die vertikale Strukturierung der Mischbestände erhöht, Sturmschäden fallen in der Regel geringer aus. Diese Punkte dienen mittelbar durch die Vermeidung ungewollter Kahlflecken auch dem Grundwasserschutz.

Waldumbau bewirkt je Hektar zusätzlich 116.000 m<sup>3</sup> reinen Sickerwassers

Verminderung biogener Schadeinflüsse bedeutet höhere Betriebssicherheit für Waldbesitzer

## Kosten und Effizienz des Waldumbaus

Um die Effizienz einer Waldumbaumaßnahme zu ermitteln, werden hier die im Rahmen des Pilotvorhabens festgestellten Wirkungen auf das Sickerwasser und die im Pilotvorhaben entstandenen Kosten verglichen.

### Kostenermittlung

Während des Pilotvorhabens beliefen sich die Kosten pro Hektar Waldumbau auf im Mittel 4.900 DM (Gesamtkosten). Hiervon waren aus der Wasserentnahmegebühr und durch den Wasserversorger rund 2.150 DM (Wasserwirtschaftskosten) zu tragen, weitere 2.750 DM/ha wurden aus waldbaulichen Fördermitteln der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz bezuschusst. Als Erhöhung der Sickerwassermenge wird die Summe von 116.000 m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.

Im Anschluss werden die Kosten für die Erhöhung der Sickerwassermenge sowohl für die Gesamtkosten, als auch für die Kosten der Wasserwirtschaft ermittelt. Für einen Effizienzvergleich mehrerer Grundwasserschutzmaßnahmen untereinander sind aus Sicht der Wasserwirtschaft lediglich ihre Kosten zugrunde zu legen.

### Kostendarstellung

	Wasserwirtschaftskosten	Gesamtkosten
Maßnahmekosten je Hektar	2.150 DM	4.900 DM
Erhöhung der Sickerwassermenge je Hektar	116.000 m <sup>3</sup>	116.000 m <sup>3</sup>
Kosten je m <sup>3</sup> zusätzlichen Sickerwassers	0,0185 DM	0,0422 DM

Tabelle 2: Kostendarstellung

### Vergleich mit anderen Grundwasserschutzmaßnahmen

Für den Effizienzvergleich wird hier ausschließlich der Leitparameter Nitratkonzentration im Sickerwasser betrachtet. Entsprechend sind die absolute Stofffracht und die Sickerwassermenge die Kenngrößen.

### Kostenvergleich

Da es sich bei dem Waldumbau um die einzige Maßnahme zur Erhöhung der Sickerwassermenge handelt, bei der eine Kosten-Nutzenrechnung angestellt wurde, ist die Vergleichbarkeit mit Maßnahmen zur Reduzierung der Nitratfracht herzustellen.

Für das Projektgebiet Fuhrberger Feld kann unterstellt werden, daß mit der Verminderung des Nitrataustrages um 1 kg Stickstoff auf einer landwirtschaftlichen Nutzfläche derselbe Effekt erreicht wird, wie mit einer Erhöhung der Sickerwassermenge unter Wald um 50 m<sup>3</sup>. Hieraus errechnen sich die Vergleichswerte der verschiedenen nachfolgend aufgeführten Grundwasserschutzmaßnahmen (s. Tabelle 3).

### Kostenvergleich von Schutzmaßnahmen

	DM/kg eingespartem N	DM/kg zusätzlichen relativ unbelasteten Sickerwassers
Waldbau (Nadel- und Laubwald Wirkung für 160 Jahre berücksichtigt)	0,925	0,0185
Aufforstung landw. Nutzfläche (Wirkung für 160 Jahre berücksichtigt)	0,591	0,0118
Zwischenfruchtanbau	5,00	0,10
Umwandlung von Acker zu Grünland	8,00 – 10,00	0,16 – 0,20

Tabelle 3: Kostenvergleich verschiedener Grundwasserschutzmaßnahmen, weiße Zahlen: tatsächliche Kosten; schwarze Zahlen: über Äquivalentwert (siehe Text) errechnete Vergleichskosten

Bei dem reinen Kostenvergleich ergibt sich eine klare Führung der nachhaltig wirkenden forstlichen Grundwasserschutzmaßnahmen.

Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass die Erhöhung der Sickerwassermenge unter Wald durch eine Einmalzahlung dauerhaft erzielt wird, während die landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Stickstoffeinsparung wiederholt zu entschädigen sind.

#### Vergleichbarkeit der Maßnahmen

Die tatsächliche Anwendung bestimmter Grundwasserschutzmaßnahmen ist aber noch von weiteren Faktoren abhängig.

- >> Soll langfristig die Grundwasserqualität gesichert werden (Vorsorge), oder ist eine kurzfristige Senkung der N-Einträge erforderlich (Sanierungsfall)?
- >> Wieviel Fläche steht für geplante Maßnahmen zur Verfügung?
- >> Welche Maßnahmen werden von den Flächennutzern akzeptiert, bzw. sind umsetzbar?

## Fazit

Der Einsatz waldbaulicher Maßnahmen im Grundwasserschutz ist neben landwirtschaftlichen Maßnahmen eine weitere Möglichkeit die Trinkwasserversorgung langfristig zu sichern.

Der Waldumbau ist eine kosteneffiziente und dauerhaft wirkende Maßnahme. Die Verzögerung des Wirkungseintritts von etwa 2 Jahrzehnten – mit aber dann ohne weitere Zuschüsse fortbestehender Wirkung – prädestiniert den Waldumbau für den vorsorgenden Grundwasserschutz in Gebieten mit hohem Nadelwaldanteil.

Die hohe Systemstabilität der Mischwälder ist ein gewichtiger Faktor für die Verlässlichkeit der Sickerwasserneubildung hinsichtlich Qualität und Menge. Der beschriebene Umbau von Nadelwäldern hin zu Laubwäldern bieten beiden Seiten, Wasserwirtschaft und Waldwirtschaft, Vorteile und ist nicht zuletzt deswegen konfliktfrei.

Damit empfiehlt sich die Waldwirtschaft auch mit dieser Maßnahme als bester Partner der Wasserwirtschaft.

Die positiven Effekte für Ökologie und Klimahaushalt sind gute Gründe in diesem Bereich weiterhin aktiv zu bleiben.

Wald- und Wasserwirtschaft profitieren gleichermaßen vom Waldumbau

## Literatur

Anders, S., G. Hofmann, J. Müller (1997): Ressourcen und Landschaftsschutz im Wald - Wald, Boden und Wasserhaushalt, in: Schriftenreihe agrarspectrum Band 27 „Umweltrelevante Leistungen der Forstwirtschaft“, DLG Verlag

Anton, K. (1999): Aufforstung landwirtschaftliche Nutzflächen als Beitrag zum Trinkwasserschutz im Wasserschutzgebiet Holdorf, Allgemeine Forst Zeitschrift 54. Jahrgang, S. 404ff

Beese, F. und K.-J. Meiwes (1995): 10 Jahre Waldkalkung, Stand und Perspektiven, Allgemeine Forst Zeitschrift (17), S. 946ff

Bezirksregierung Hannover (1996) Hrsg.: Forstlicher Rahmenplan für den Großraum Hannover

Burschel, P. (1993): Gefordert sind Forst- und Holzpartie, denn nichts geht ohne sie! Allgemeine Forst Zeitschrift (14), S. 717ff

Burschel, P., E. Kürsten, B. C. Larson (1993): Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt - Eine Betrachtung für die Bundesrepublik Deutschland, Reihe forstliche Forschungsberichte München Bd. 126, S. 54ff

„Planst Du für ein Jahr, so säe Korn. Planst Du für ein Jahrhundert, so pflanze Bäume!“

Kuan-tzu 300 v. Chr.

- Drachenfels, O. v. (1998):** Erstaufforstung in Niedersachsen aus naturschutzfachlicher Sicht, Mitteilungen aus der NNA 3/98, S. 43ff
- IGLU (1999):** Gutachten zur Erfassung und Bewertung der Nitrattiefenverläufe von landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Böden im Wasserschutzgebiet Fuhrberger Feld anhand von Tiefenprofilaufnahmen, Stadtwerke Hannover AG
- Marschner, B. (1990):** Elementumsätze in einem Kiefernforstökosystem auf Rostbraunerde unter dem Einfluß einer Kalkung/Düngung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Band 60.
- Matzner, E. (1985):** Auswirkung von Düngung und Kalkung auf den Elementumsatz und die Elementverteilung in zwei Waldökosystemen im Solling, Allgemeine Forst Zeitschrift (43), S. 1143ff
- Niedersächsische Landesregierung (1991): Langfristige Ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten, Programm der Landesregierung, Niedersächsische Landesregierung
- NMELF, (1996):** Richtlinien zur Förderung forstwirtschaftlicher Maßnahmen in Niedersachsen; Durchführung von Bodenschutzkalkung - VORIS 64000 03 00 10 002 -, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
- Müller, J. (1996):** Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen. In: Wald im Wandel. 9. Hamburger Forst- und Holztagung, 06.-09. Mai 1996, Hamburg: Mitt. Bundesforschungsanst. Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 185, S. 112ff.
- Müller, J., A. Bolte, W. Beck, S. Anders (1998):** Bodenvegetation und Wasserhaushalt von Kiefernökosystemen (*Pinus sylvestris* L.) Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Berlin 28 (1998). S. 407ff.
- Olschewski, R. (1999):** Kosten-Nutzen-Analyse des Trinkwasserschutzes durch eine Aufforstung, Allgemeine Forst Zeitschrift 54. Jahrgang, S. 408ff
- Ringe, H., W.H.M. Duijnsveld, G. Springob, J. Böttcher (1999):** Einfluß des Bestandesaufbaus (Kiefern-Reinbestand oder Kiefern-Buchen-Mischbestand) auf Bodenzustand und Menge und Qualität der Grundwasserneubildung - Modelluntersuchungen im Fuhrberger Feld, Stadtwerke Hannover AG
- Rothe, A., C. Kölling und K. Moritz (1998):** Der aktuelle Kenntnisstand: Waldbewirtschaftung und Grundwasserschutz, Allgemeine Forst Zeitschrift (6), S. 291ff
- Stadtwerke Hannover AG (1999):** Pilotvorhaben Grundwasserschutzwald im Wassergewinnungsgebiet Fuhrberger Feld, Abschlußbericht, Stadtwerke Hannover AG
- Stadtwerke Hannover AG (2000):** Effizienzvergleich verschiedener Maßnahmen der Land- und Forstwirtschaft zum Grundwasserschutz im Fuhrberger Feld, unveröffentlicht

---

## Impressum

Herausgeber:  
Stadtwerke Hannover AG  
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie

Konzeption und Text:  
Kooperation der Forstwirtschaft im Fuhrberger Feld

Gestaltung:  
Designagentur Sunderdiek & Partner, Hannover  
Sebastian Pizner

Druck:  
Druckhaus Pinkvoss, Hannover

2. Auflage Dezember 2000:  
3.000 Exemplare

---

**enercity**<sup>®</sup>  
positive energie

enercity  
Fachgebiet Wasserwirtschaft  
Wasserwerkstr. 33 // 30900 Wedemark  
Tel.: (0 511) 430-4953  
E-Mail: info@enercity.de



Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie  
Abt. 3 Wasserwirtschaft, Gewässerschutz  
An der Scharlake 39 // 31135 Hildesheim  
Tel.: (0 51 21) 5 09-7 69 // Fax: (0 51 21) 5 09-7 94  
E-Mail: poststelle@nloe.niedersachsen.de



Niedersächsisches  
Landesamt für  
Ökologie

**enercity**<sup>®</sup>  
positive energie

Die Marke der Stadtwerke Hannover AG