

1 Einleitung

1.1 Wald und Wasser

Wasser ist unser wichtigstes Lebensmittel. Daher gehört die Fähigkeit des Waldes, sauberes Trinkwasser zu spenden zu den bedeutendsten Wohlfahrtswirkungen des Waldes, denn wegen des in den letzten Jahrzehnten stark gestiegenen Verbrauchs und der Verschmutzung mit Umweltchemikalien aus Industrie, Landwirtschaft und Haushalten ist Wasser von guter Qualität auch schon in einigen Regionen Deutschlands zum knappen Gut geworden.

Etwa drei Viertel unseres Trinkwassers werden aus Brunnen gefördert, deren Einzugsgebiete häufig im Wald liegen. Unsere Wälder haben deshalb als freie, d. h. nicht überbaute Sicker- und Filterflächen für Regenwasser eine zentrale Bedeutung für die Neubildung von sauberem Grundwasser. Die Struktur des Waldes hat zudem einen direkten Einfluss auf die Qualität und Menge des Wassers, das aus ihm gewonnen werden kann.

Insbesondere in den niederschlagsarmen östlichen Teilen Deutschlands muss daher auch das Grundwasser von der Forstwirtschaft mit allen Konsequenzen als knappe Ressource bewirtschaftet werden (Sachverständigenrat für Umweltfragen 1996).

1.2 Wassergüte

Auch unter Wald kann die Wasserqualität entscheidend durch Eingriffe des Menschen beeinflusst werden. Untersuchungen zu diesem Bereich setzten verstärkt ein, als man erkannte, dass Schadstoffeinträge aus Industrie, Landwirtschaft und Verkehr die bis dahin meist hervorragende Qualität des Wassers aus dem Wald bedrohten.

Die Wasserqualität wird mit einer Vielzahl von Parametern bewertet. Je nach der Funktion des Wassers stehen jeweils unterschiedliche Merkmale im Vordergrund, und von der jeweiligen Funktion hängt es ab, welche Werte dieser Parameter als akzeptabel angesehen werden. So müssen für die Nutzung als Trinkwasser ganz andere Bedingungen erfüllt sein als z. B. für die Lebensraumfunktion der Süßwasser-Ökosysteme.

Durch natürliche Einflüsse, besonders aber durch die menschliche Nutzung kann sich die Wasserqualität auf eine Weise ändern, die Natur- und Kulturfunktionen beeinflusst oder beeinträchtigt. Bei der erstmaligen Beschreibung des Grundwassers im Zuge der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie stellte sich heraus, dass 52 Prozent der deutschen Grundwasserkörper ohne weitere Maßnahmen keinen guten chemischen Zustand erreichen.

Aktuell von größter Bedeutung für die Grundwasserqualität sind die Nitratbelastung, die Versalzung sowie die Belastung mit anorganischen und organischen Spurenstoffen. Der nahezu global zu verzeichnende Anstieg der Nitratgehalte in Oberflächengewässern bildet sich mittlerweile auch im Grundwasser ab. Außer aus natürlichen Quellen gelangt Nitrat hauptsächlich durch Stickstoffdünger der Landwirtschaft und Siedlungsabwässer, lokal aus Klärgruben, Haus- und Industriemülldeponien in das Grundwasser. In den USA und Europa führte die intensive Landwirtschaft bereits in den späten 1970er Jahren zu steigenden Nitratwerten im Grundwasser. Ähnliches wird inzwischen für Länder mit sich schnell entwickelnder Landwirtschaft wie Indien beobachtet. Das großflächig ausgebrachte Nitrat dringt mit zeitlicher Verzögerung in die Grundwasserleiter. Selbst bei drastisch veränderter Landnutzung ist deshalb innerhalb der nächsten 10-20 Jahre ein weiterer Anstieg der Nitratwerte zu erwarten.

Unter Wald ist die Nitratkonzentration des Grundwassers in der Regel deutlich geringer als unter landwirtschaftlichen Kulturen, da Wald in Deutschland nur in extrem seltenen Ausnahmefällen mit

Stickstoff gedüngt wird. In der DDR wurde allerdings zeitweise zur Steigerung der Holzproduktion oder zur Revitalisierung bei Waldschäden gedüngt. Seit einigen Jahrzehnten wird jedoch zunehmend Stickstoff über die Atmosphäre auch in Wälder eingetragen. Hauptquellen sind einerseits die Verbrennungsmotoren des Kraftverkehrs und zu einem geringeren Teil Kraft- und Heizkraftwerke sowie die Industrie, andererseits wird Stickstoff in Form von Ammonium aus der Landwirtschaft in die Wälder eingetragen. Die Einträge erreichen ein Vielfaches des natürlichen Wertes. Neben den diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft spielten besonders in der früheren DDR regional hohe Einträge aus Mastkombinaten und Düngemittelfabriken eine wesentliche Rolle.

Bisher wirkten Wälder als Filter und Puffer, die Schadstoffe zurückhielten oder in unschädliche Stoffe umwandelten. Gerade für Stickstoff gilt dies aber für eine zunehmende Zahl von Wäldern nicht mehr: Sie sind mit Stickstoff gesättigt. Bei der ersten Nitratinventur der bayerischen Wälder war es bereits ein Drittel. Bei 8 Prozent überschritt der Nitratgehalt des Grundwassers den Grenzwert der Trinkwasserverordnung (50 mg/l). Fichtenbestände waren bei dieser Erhebung deutlich häufiger stickstoffgesättigt als Laub- oder Kiefernwälder.

Bei gegebener Belastung bestimmen u. a. die Baumartenzusammensetzung und die Höhe der Niederschläge die Höhe des Eintrages. Eine Reihe von Studien vergleicht den Eintrag von Stoffen aus der Atmosphäre in die Waldökosysteme und den Austrag mit dem Sickerwasser bei Fichten- und Buchenbeständen. Da Nadelwaldbestände auf gleichem Standort häufig höher sind als Laubwaldbestände und ihre Blattfläche größer und auch im Winter vorhanden ist, sind die Stoffdepositionsraten unter Nadelwäldern in der Regel deutlich höher als unter Laubwäldern. Die Studien zeigten, dass aus Fichtenbeständen ein Mehrfaches an Nährelementen ausgetragen wird. Da die Unterschiede zwischen den Baumarten bei stark mit Luftschadstoffen belasteten Beständen besonders hoch sind, könnten die höheren Depositionsraten die Ursache sein. Vier Bestände aus dem Level-II-Programm verdeutlichen diese Zusammenhänge. In den beiden Beständen, die im Mittelgebirge (Solling) wachsen, sind die Freilandniederschläge und die Stickstoffeinträge deutlich größer als in den beiden Beständen im nordostdeutschen Tiefland. Im Solling sind die Einträge und Austräge im Fichtenforst jeweils größer als im benachbarten Buchenwald. Im Kiefernforst im nordostdeutschen Tiefland sind die Austräge nur in Jahren mit hohen Niederschlägen größer als im benachbarten Buchenwald.

Auch forstwirtschaftliche Maßnahmen können die Qualität des Wassers, das ein Waldgebiet liefert, erheblich beeinflussen. Das Ausmaß der Veränderungen hängt von ähnlichen Faktoren ab wie bei den Auswirkungen auf die Wassermenge. Folgen menschlicher Eingriffe im Wald können sein:

- * Erhöhung der Sedimentfracht durch Erosion infolge der Erschließung/Waldwegebau
- * Kurzfristige Erhöhung der Spitzenabflüsse
- * Kurzfristige Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse
- * Kurzfristige Erhöhung der Nährstoffkonzentration (insbesondere Stickstoff und Phosphat)
- * Erhöhung der Gewässertemperatur
- * Eintrag von Insektiziden/Herbiziden

Eine Auflockerung des Bestandes durch Windwurf, Insektenfraß oder Holzernte führt zeitlich begrenzt zur Freisetzung von Stickstoff. Daher zeigen Flächen nach Auflichtung, Kahlschlag, Windwurf oder Borkenkäferkalamität erhebliche Anstiege der Nitratkonzentrationen im tieferen Sickerwasser, begleitet von interner Versauerung durch Überschussnitrifikation. Aufgrund der stärkeren Veränderung des Klimas am Waldboden und weil anfangs nur wenige Pflanzen vorhanden sind, die den reichlich vorhandenen Stickstoff aufnehmen, ist die Freisetzung bei Kahlschlägen deutlich größer als bei behutsameren Verjüngungsformen. Im Mittel liegen die Stickstoffverluste im ersten Jahr zwischen 2 und 10 kg ha⁻¹. Im Höglwald, einem seit vielen Jahren intensiv untersuchten Gebiet in Mittelschwaben, stieg trotz des massiven Anstiegs der Tiefensickerung zugleich auch die Nitratkonzentration im Sickerwasser unter einem Kahlschlag eines Fichtenbestandes signifikant an (). Überraschenderweise lagen dort aber die flussgewichteten Jahresmittelwerte der Kahlfläche mit 68 mg l⁻¹ im Jahr 2000 und 42 mg l⁻¹ 2001 nur wenig über den für die Femelfläche errechneten Werten (50 mg l⁻¹ 2000 und 43 mg l⁻¹ 2001). Am Standort Höglwald, mit seinen hohen Nitratkonzentrationen schon im Sickerwasser des

Altbestandes, hatten die Verjüngungsvarianten Femelhieb und Kahlschlag selbst in den ersten Jahren offensichtlich nur geringen Einfluss auf die Jahresmittelkonzentrationen.

Ist das Grundwasser erst einmal durch Schadstoffe verunreinigt, kann es häufig nicht mehr in angemessener Zeit und mit vertretbarem Aufwand saniert werden. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie verlangt daher, dass für alle Schadstoffe, deren Konzentrationen im Grundwasser deutlich und dauerhaft ansteigen - spätestens dann, wenn die Schadstoffgehalte 75 % der Qualitätsnorm erreichen - Maßnahmen zu ergreifen sind, die zu einer Trendumkehr der Belastungen führen.

1.2.1 Synergieeffekte

Obwohl der Umbaubestand ein künstliches Ökosystem ist, weist er viele ökologische Vorteile auf. Im Bereich des Wasserhaushaltes entstehen diese insbesondere durch die höhere Wassermenge, die den Boden erreicht, die Konzentration der Wurzelsysteme der beiden Baumarten Buche und Kiefer in unterschiedlichen Bodenschichten und die weitgehend fehlende Konkurrenz durch die Bodenvegetation. Auch die Länge der Vegetationsperiode der beiden Baumarten und die Abhängigkeit der Intensität des Wachstums von der Bodenwasserversorgung unterscheiden sich deutlich. Durch diese und weitere Eigenschaften nutzen die Bäume im Umbaubestand das Standortpotenzial stärker, als es die Addition eines Buchen- und eines Kiefernbestandes erwarten ließen - es wirken Synergieeffekte.

Der Wasserhaushalt im Buchenwald

Werden die schlussendlichen Auswirkungen des Waldumbaus auf den Wasserhaushalt untersucht, muss dies unter definierten und in allen Stadien vergleichbaren Standortseigenschaften erfolgen. Unter den gegebenen Klima- und Bodenbedingungen ersetzt der als Ausgangsstadium gewählte Himbeer-Drahtschmielen-Kiefernforst den die natürliche Waldgesellschaft bildenden Flattergras-Buchenwald. Für diesen ist bekannt, dass nach Räumung eines vor allem zur Frostmilderung erforderlichen Schirmstandes die Evapotranspiration bis zu einem Alter von etwa 30 Jahren, wenn die Bäume ein schwaches Stangenholz bilden, ansteigt. In diesem Stadium werden etwa $\frac{3}{4}$ des Niederschlages verdunstet, die Tiefensickerung beträgt mehr als ein Fünftel des Freilandniederschlages. Danach bleiben die Blattfläche des Bestandes und mit ihr auch die Evapotranspiration weitgehend konstant. Unter einem Buchenwald im Baumholzstadium erreicht die Tiefensickerung damit etwa 20 % des Freilandniederschlages, also das Doppelte des Kiefernforstes auf vergleichbarem Standort ().

Die wesentlichen Gründe für diesen erheblichen Unterschied der Tiefensickerung sind die Kronenstruktur der Buche, ihr herbstlicher Laubwurf und die deutlich stärker ausgeprägte Bodenvegetation der Kiefernforsten. Für den Untersuchungsraum gilt, dass auch im Buchenwald Tiefensickerung nur außerhalb der Vegetationsperiode stattfindet, während im Sommer, abgesehen von extremen Starkregenereignissen, der gesamte Bestandesniederschlag teils direkt vom Boden, im Wesentlichen aber über die Transpiration wieder verdunstet wird.

1.2.2 Waldbauliche Schlussfolgerungen für den Umbau

Der Kiefern-Buchen-Mischbestand ist eine ökologisch außerordentlich günstige und langfristig betrachtet ökonomisch vorteilhafte, gleichwohl von der Forstwirtschaft bewusst geschaffene Kunststruktur auf dem Weg zu naturnahen, dem Standort entsprechenden Buchenwäldern. Daraus folgt, dass auf eine die Organisation dieser Bestände steuernde forstliche Bewirtschaftung im Umbauprozess nicht verzichtet werden darf.

Bei gegebener und für die Buche ausreichender Nährstoffausstattung ist für das Ausmaß dieser forstlichen Begleitung bedeutsam, ob der Standort bzgl. des Feuchtehaushaltes als für die Buche optimal oder nur eben hinreichend einzuschätzen ist. In diesem Falle wirkt das Wasser als limitierender Faktor für Produktivität und Stabilität.

Unter für die Buche optimalen Wuchsbedingungen beschränken sich regulierende Eingriffe der Forstwirtschaft im Wesentlichen auf die Entnahme relativ weniger, vorwüchsiger und qualitativ schlecht geformter Exemplare, die die übrigen Bestandesglieder bedrängen. Das Absinken erheblicher Bestockungsanteile in den Zwischen- und Unterstand wird zur Erhöhung der Luftruhe im entstehenden Stammraum und zur Schaftpflege der verbleibenden Zukunftsstämme zugelassen, es erfolgen im Allgemeinen keinerlei Eingriffe in den unteren Zwischen- und den Unterstand. Im Laufe der Jahrzehnte wird dieser allmählich ausgedunkelt.

Bei wachstumslimitierendem Wasserhaushalt muss diese Vorgehensweise kritisch hinterfragt werden. Unsere Untersuchungen ergaben, dass in vertretbaren Zeiträumen keine ausreichende Selbstorganisation der Mischbestände durch eine natürliche Stammzahlausscheidung zur stabilitätsfördernden Standraumerweiterung der verbleibenden Bestandesglieder erfolgt. Unter- und schwach zwischenständige Exemplare, die ein Drittel der Bestandesdichte ausmachen, umfassen mehr als die Hälfte der Stammzahl, zeigen mit einer Jahrringbreite von 0,177 mm nur ein äußerst geringes, kaum noch messbares Dickenwachstum fallen im Höhenwachstum zunehmend zurück, haben aber einen hohen Anteil an der Transpirationsverdunstung, also der Inanspruchnahme der Wasserressourcen des Standortes. Nach unseren Untersuchungen liegt dieser Anteil bei etwa einem Viertel der von den Buchen insgesamt transpirierten Wassermenge. Die verbleibenden rund drei Viertel entfallen im Wesentlichen auf die mitherrschenden und herrschenden Bestandesglieder, die zusammen zwei Drittel der Bestandesdichte, aber nur etwa 40 % der Stammzahl ausmachen. Ihre Jahrringbreite liegt im Mittel bei 0,7 mm, ist damit viermal so hoch und könnte bei Verminderung der innerartlichen Konkurrenz nochmals erhöht werden. Bei vergleichbarem Bestandesdichteanteil ist die Zuwachsleistung der 57 % der Stammzahl ausmachenden unter- und schwach zwischenständigen Bäume nur halb so hoch wie die der herrschenden und vorherrschenden Bäume, die ihrerseits 17 % der Stammzahl ausmachen.

Diese Überlegungen sind bedeutungsvoll im Hinblick auf ökonomische Zielstellungen der Waldbewirtschaftung. Waldumbaumaßnahmen können nicht nur anhand ökologischer Vorteile bzw. derzeit nicht zu vergütender Potenziale und Leistungen der Wälder realisiert werden. Auch die gegenwärtig und in näherer Zukunft verbundenen ökonomischen Konsequenzen sind zu beachten. Heute wie in der Zukunft wird der Holzertrag der Wälder bei der Beurteilung ihrer Nutzfunktion eine wichtige Rolle spielen.

Die Untersuchungen haben verdeutlicht, dass sich Mischbestände als flächig ausgedehnte Systeme mosaikartig aus Teileinheiten aufbauen, die hinsichtlich der in ihnen ablaufenden Prozesse und sich herausbildenden Zustandsgrößen unterschiedlich zu bewerten sind. Von besonderer Bedeutung für Bestandeswachstum und Tiefensickerung ist die Umverteilung des Bestandesniederschlages in von der Buche dominierte Teilareale ohne wesentliche Überschirmung durch die Kiefern. Weil im Umbauprozess die oberständige Kiefer noch über Jahrzehnte wirtschaftlich bedeutungsvoll ist, wird empfohlen, die Entwicklung des Mischbestandes bei limitiertem Wasserhaushalt über die Schlagführung im Oberstand so zu steuern, dass sich bei vorgegebener Stammzahl buchen- bzw. kieferndominierte Kleinareale abwechseln. Diese Kleinareale entstehen durch Nutzung eines oder weniger Altbäume aus dem Oberstand, wodurch es zu einer Erhöhung des Bestandesniederschlages kommt, der im Sommer die Wuchsbedingungen der Buche verbessert und im Winter zu erhöhter Tiefenversickerung führt. In den unmittelbar benachbarten kieferndominierten Teilarealen liegt der Schwerpunkt der Bewirtschaftung dagegen auf der Kiefer. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass diese differenzierte Auflichtung des Oberstandes zu einer Erhöhung der Stabilität des Gesamtbestandes führt.

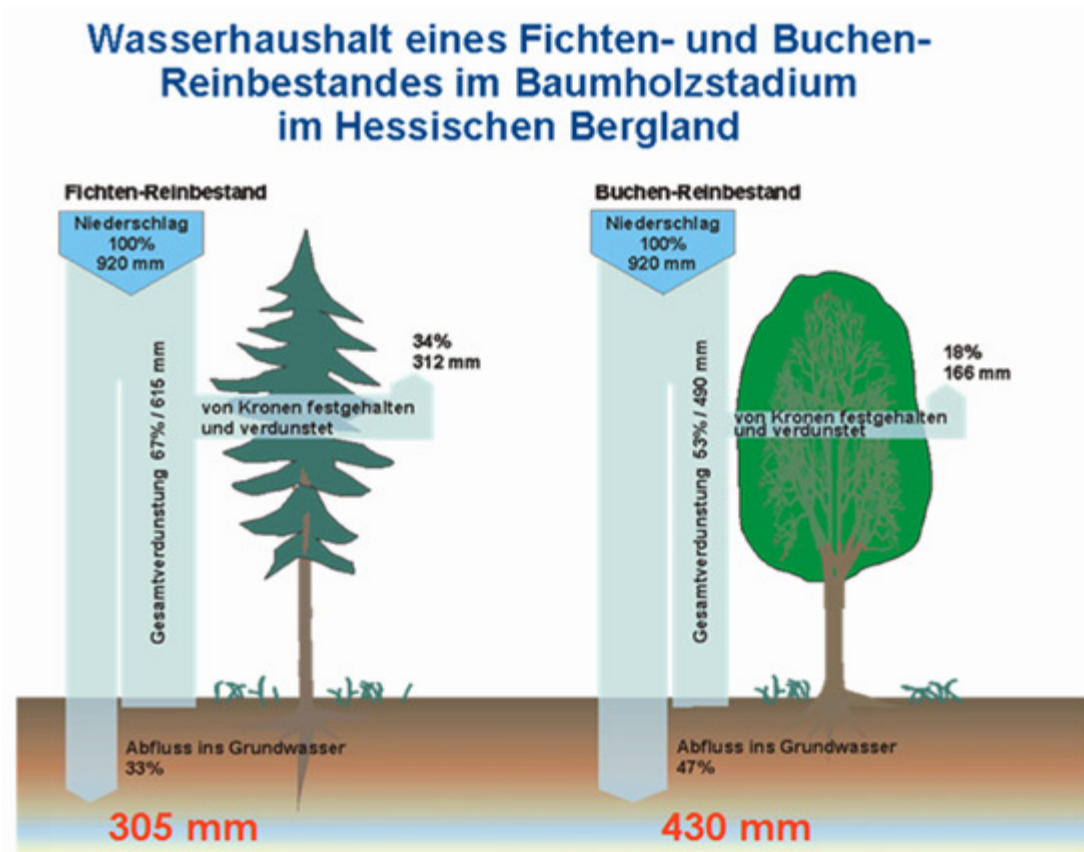
1.3 Auswirkungen des Waldumbaus auf die Tiefensickerung in einem Landschaftsausschnitt

Am Beispiel eines Reviers im nordostdeutschen Tiefland werden die Auswirkungen eines flächenhaften Waldumbaus dargestellt. Dazu wurde ein Speichermodell auf ein Waldgebiet nördlich von Eberswalde angewandt. Modellhaft wurde hier die Sickerung bei der heutigen Bestandestypenverteilung (47 % Reinbestände, 53 % Mischbestände) mit der bei 100 Prozent Kiefer und bei 100 Prozent Buche verglichen (Tabelle 1 und). Deutlich wird, dass sich die Grundwasserneubildung durch den jetzigen Anteil an Mischbeständen gegenüber den

Kiefernforsten bereits verdoppelt. Bei einem vollständigen Wechsel zu Buchenwäldern verdreifacht sie sich sogar annähernd. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam auch eine Studie in einem Einzugsgebiet in Hessen. Dort betrug die Sickerung bei einer angenommenen Bestockung mit 140-jährigen Buchen und Eichen 36 % des Freilandniederschlags von 890 mm, verglichen mit 21 % falls das Gebiet vollständig mit 40-jährigen Fichten bestockt wäre.

Tabelle 1. Auswirkungen des Waldumbaus auf die Tiefensickerung eines Waldgebietes.

Szenario	Sickerung		
	m ³ /a	mm/a	% des Freilandniederschlags
Buchenwälder	898.752	140	23
Kiefernforsten	298.762	47	7
Aktuelle Bestandestypenverteilung	494.883	77	12



Quelle BMBF-Projekt 2003/04