

Verbundvorhaben (FKZ 0339571)

## **„Auenregeneration durch Deichrückverlegung“**

Endbericht

### Teilprojekt 4: Forstwirtschaft

Möglichkeiten und Grenzen der Auwaldentwicklung am Beispiel von  
Naturschutzprojekten an der Unteren Mittelelbe

Projektdurchführung: Landesforstanstalt Eberswalde  
Alfred-Möller-Str.

Projektbearbeitung: Dr. Gabriele Patz  
Dr. Sonja Löffler  
Dr. Ralf Kätzel

**November 2000**

## 4. Auwald-Regeneration

The Return of Forest in a Meadow

### 4.1. Arbeitsebenen des Teilprojektes Forstwissenschaften

The Working-Levels of the Part forestry Science

Die Einflußfaktoren der Auwaldregeneration wurde auf verschiedenen Ebenen untersucht (Abb: 1)

Abbildung 1: Arbeits- und Ergebnisebenen des Teilprojektes Forstwissenschaft

Figure 1: The Levels of Work and of Results in the Part forestry Science

#### Arbeitsebene Einzelgehölz

Ausgangspunkt des Arbeitsprogramm war der Einzelbaum und dessen Standortfaktoren. Differenziert nach Baumart, Alter, Jahreszeit, Tageszeit, topographischer Höhe, Bodenart und Bodenfeuchte wurden ausgewählte Parameter des Stoffwechsels und Wasserhaushalts untersucht. Dazu dienten folgende Erhebungen und Analysen:

- Laboranalyse anorganischer Blatinhaltsstoffe (Ernährungszustand),
- Laboranalyse von Pigmenten, Kohlenhydraten, Aminosäuren und phenolischen Inhaltsstoffen aus Blättern,
- Laborbefund des osmotischen Potentials,
- Freilandmessung des Wasserpotentials,
- Freilandbestimmung des Blattflächenindex aus Blattfläche, Blattzahl und Kronenprojektionsfläche,
- Freilandbestimmung der Wurzelentwicklung durch Ausgraben von Wurzelsystemen und Bestimmung der Wurzellänge und des Wurzelraumes,
- Freilandmessung der Chlorophyllfluoreszenz,
- Freilanderstellung von Computertomogrammen von Stämmen (Universität Marburg, Prof. Habermehl).

Der Umfang und die Periodizität der Freilandarbeiten sind in Tabelle 1 dargestellt. In den Jahren 1997 bis 1999 gab es jeweils im Mai und im August eine Intensiv-Meßwoche. Hier wurden alle regelmäßig auftretenden Außenarbeiten durchgeführt. In der ersten Hälfte des Forschungszeitraumes wurden dabei alle Testgehölze (soweit das die Belaubung zuließ) beprobt. Die Auswertung des Datenmaterials führte in der zweiten Hälfte der Forschungszeitraumes zur Modifizierung des

Untersuchungsansatzes. Die Zahl der Testgehölze wurde stark verringert, um hier Intensiv-Messungen (Tagesgänge) des Wasserpotentials und der potentiellen Photosyntheseaktivität durchführen zu können. Diese Veränderung erbracht baumartendifferenzierte und witterungsdifferenzierte Einblicke in der Wasser- und Energiehaushalt der Gehölze.

Ziel dieser Arbeiten war es, das Reaktionsmuster der Gehölze bei verschiedenen Standortextrema zu beobachten. Daraus können Standortgrenzen und Eintrittswahrscheinlichkeiten für physiologisch optimale Standortzustände abgeleitet werden. Dies dient der Prognose und gibt Orientierungspunkte für andere Aufforstungsprojekte unter vergleichbaren Standortbedingungen.

#### Arbeitsebene Gehölzbestand

Auf der Ebenen von Waldbeständen wurde die angelegten Kulturen, ein Jungwuchs und die beiden Altbestände Eichwald und Elbholz untersucht. Der Bestandeszustand wurde erfaßt mit:

- dem Vitalitätsindex aus Belaubung (Blattfläche durch Scannen und Auszählen der Blätter), Habitus und Zuwachs,
- der Beobachtung biotischer und abiotischer Schäden,
- der Bewertung der genetischen Struktur.

Darüber hinaus wurde die Bodenaktivität (TÖRNE-Test) auf Kultur- und Bestandesfläche erfaßt.

Ziel dieser Arbeiten war die Beurteilung der Stabilität von existierenden Gehölzbeständen und der Zyklizität der Wiederbewaldung.

Ein Teil der Freiland-Datenerhebung (Vitalitätsindex) wurde auch auf Sukzessionsparzelle (vergleiche 4.4.1) durchgeführt. Der Vergleich der Entwicklung in natürlich angekommenen Gehölzbeständen und Kulturen diente der Ableitung forstpraktischer, naturorientierter Handlungsempfehlungen und der Prognose der Auwaldentwicklung.

Tabelle 1: Termine und Umfang der Freilanduntersuchungen (Die Zahlen geben die Anzahl der beprobten Testgehölze an.)

Table 1: Dates and Volume of Out-door-measurement (The figure shows the number of tested trees.)

#### Arbeitsebene Untersuchungsraum - Auwaldprognose

Die Prognose erfordert die Zusammenschau der Standortparameter (Kapitel 2 und 3) mit den Standortamplituden aus der Einzelbaumuntersuchung und der Bestandesentwicklung.

Die Prognose wendet die gewonnen Erkenntnisse zur Standortamplitude und zu den optimalen Standortbedingungen des Einzelgehölzes sowie zur Stabilität und Dynamik der Bestandesentwicklung auf die durch die Rückdeichung veränderten Standortbedingungen an.

## **4.2 Wasserhaushalt und Stoffwechsel von Einzelgehölzen**

Water Relations and Metabolism in single Trees

#### 4.2.1 Grundgesamtheit der Versuchsbäume

##### Totality of tested Trees

Das Meß- und Analyseprogramm an Einzelgehölzen umfaßte die in Tabelle 2 und 3 dargestellten Gehölzarten. Bezüglich ihrer Verteilung auf Gehölzarten und Alter ist diese Auswahl repräsentativ für den Untersuchungsraum.

Die Testgehölze haben sich von 441 Stück (1997) auf 378 Stück (1999) verringert. Im Ausgangsbestand der Testgehölze befanden sich 324 frisch gepflanzte Kulturgehölze (Oberholz: 164, Große Rüsterdrift 100, Kleine Rüsterdrift: 60), 13 junge Sukzessionsgehölze (Elbholz: 6, Eichwald: 1, Oberholz: 6) 24 Gehölze auf einer älteren Kultur (Lütkenwisch Fähre), 20 Gehölze im Jungwuchsstadium (Eichwald Jungwuchs), 24 mittelalte Gehölze (Eichwald: 10, Fährdamm: 13, Lütkenwisch 1) und 36 Altbäume (Eichwald: 15, Elbholz: 13 Cumlosen: 6, Dorn: 2).

Die Ursache für die Verringerung der Gehölzanzahl war das Absterben bzw. die stark verringerte Vitalität. Im Beobachtungszeitraum durchliefen 61 Kulturgehölze, 5 Altbäume und 2 Sukzessionsgehölze diesen Prozeß. Dafür wurden 15 Gehölze (*Salix*-Arten, *Populus tremula* und *Populus nigra*) in das Untersuchungsprogramm, die Tagesgangmessungen (Tabelle 3), aufgenommen.

Tabelle 2: Testgehölze von 1997 bis 1999

Table 2: Tested Trees from 1997 to 1999

Zusätzlich zu den Testflächen aller Teilprojekte wurden Gehölze auf den Flächen T01 = Lütkenwisch Fähre, T02 = Dorn, T03 = Fährdamm untersucht.

Tabelle 3: Testgehölze für die Tagesgangmessung (Teilmenge aus allen Testgehölzen, Tabelle 2)

Table 3: Tested Trees for the Measurement of daily Course (a Part of the Whole, table 2)

#### 4.2.2 Das Wasserpotential

##### The Water Potential

Das pflanzenverfügbare Bodenwasser ist der dominierende Standortfaktor in der Aue. Während der Vegetationsperiode schwankt das Bodenwasserpotential zwischen 0 und -2 MPa (SCHWARTZ 2001 und Elbe-Ökologie-Projekt der TU Dresden, Frau Puhmann mündlich) d.h. zwischen Wassersättigung und Austrocknung. Der permanente Welkepunkt (PWP) ist erreicht, wenn mehr

Wasser durch Transpiration abgegeben wird, als durch die Wurzeln nachgeliefert werden kann. Der Wassergehalt in der Pflanze besonders in den Blättern sinkt. Sichtbar wird dieser Vorgang durch das Welken der Blätter.

Die Wasserbindung im Boden von 1,5 MPa wird als Grenzzustand der Wasserverfügbarkeit (PWP) für Kulturpflanzen der gemäßigten Zone angegeben (WARRING and CLEARY 1967, KRAMER 1949). Dies gilt auch für jüngere Bäume (SLAVIKOVA 1965).

In Abbildung 2 sind der Einfluß von Körnung (Bodenart) und des Wassergehaltes auf das pflanzenverfügbare Bodenwasser dargestellt. Es wird deutlich, daß in feinkörnigem Tonboden bei einem Wassergehalt von 30% die Wasserbindung an den Boden ca. 15.000 cm (hPa) = 1,5 MPa erreicht. Der gleiche Wassergehalt im Sandboden (30%) entspricht einer Wasserbindung von 20 cm (hPa) = 0,002 MPa.

Abbildung 2: Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung im Boden, EHLERS 1996

Figure 2: The Relation between Water Amount and Water Tension in the Soil, EHLERS 1996

Der Wasserhaushalt der Pflanze wird neben dem Bodenwasser vom Wassergehalt in der Luft bestimmt. Bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit ist die Wasserbindung bzw. das Wasseraufnahmevermögen 0. Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 98% (in den Interzellularen) und 20° C beträgt die Wasserbindung bereits 2,75 MPa und bei 50% relativen Luftfeuchtigkeit 93 MPa. Die relative Luftfeuchtigkeit oder das Sättigungsdefizit der Luft ist direkt von der Strahlung abhängig.

Dieses Wasseraufnahmevermögen bzw. dieser Verdunstungsanspruch der Atmosphäre treibt die Transpiration der Pflanze an. Das Potentialgefälle zwischen Blatt und umgebender Luft bestimmt die Transpirationsintensität. Bei hoher Strahlungsintensität, Lufttrockenheit und Wind betrug dieses Gefälle im Sommer 1998 bis zu 154 MPa.

Unter diesen Umständen verdunsteten bei unbegrenzter Wasserversorgung Gehölzbestände bis zu 11 mm/Tag, Naßwiesen bis zu 15 mm/Tag und Schilfbestände bis zu 20 mm/Tag (LARCHER, 1994, S.219).

Bei mangelnder Wassernachlieferung aus dem Boden schützen sich die Pflanzen mit dem Schließen der Spaltöffnungen (Einschränkung der Photosynthese – siehe Abb. 5), dem Hängenlassen oder Einrollen der Blätter u.a. vor dem Vertrocknen. Alle Maßnahmen schränken die Transpiration nicht

vollständig ein. Wird die Transpiration durch die Wasseraufnahme nicht ausgeglichen, erleidet die Pflanze einen Wasserverlust.

Dem Wasserpotential in Gehölzen verschiedener Art, verschiedener Altersstufen, verschiedener Standort, zu verschiedenen Tageszeiten, in Trocken- und in Feuchtphasen wurde mit einem intensiven Meßprogramm nachgegangen.

Dabei wurde dem Prozeß der Austrocknung und dem Übergang von Austrocknung zum Vertrocknen besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Besonders für Junggehölze sollte der begrenzende Standortfaktor Bodenwasser im Zusammenhang mit Strahlung über die abgeleitete Größe Wasserpotential der Pflanze ermittelt werden.

Dem Potentialkonzept folgend erfolgt der Potentialausgleich immer vom höheren zum niederen. Das Wasserpotential beschreibt dabei die freie Energie des Wassers, die von Konzentration, Druck Temperatur und Schwerkraft abhängig ist. Eine Wasserbewegung findet nur zwischen unterschiedlichen Wasserpotentialen statt. Die Einheit mit der dieser Vorgang beschrieben wird ist dabei von der Bezugsbasis abgänglich:

- bezogen auf Gewichtseinheit des Wassers – cm,
- bezogen auf Volumeneinheit des Wassers–  $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$  ( $1.000.000 \text{ Pa} = 10.000 \text{ hPa} = 10.000 \text{ cm WS} = 1 \text{ MPa} = 4 \log \text{ cm WS}$ ),

und drückt immer einen relativen Vorgang aus: den Energiegehalt des Wassers im beobachteten Zustand im Vergleich zu einem Basis- oder Standardzustand. Aus Gründen der Dimension wird die Einheit MPa verwendet.

Die Wasserleitung im Boden, zwischen Bodenpartikel und Wurzelhaar, innerhalb der Pflanze und zwischen Interzellularen und Atmosphäre ist ein passiver, energieneutraler Prozeß.

Im Zentrum der Untersuchungen stand die Bestimmung des Gesamtwasserpotentials und des osmotischen Potentials durch Messungen mit der SCHOLANDER-Bombe (Druckkammer).

Im System Boden – Pflanze – Atmosphäre setzt sich das Gesamtpotential wie folgt zusammen:

$$\mathbf{\ddot{O} = O + \emptyset + P + Z} \quad \mathbf{(1)}$$

$\ddot{O}$  = Gesamtpotential [MPa]

Teilpotentiale:  $O$  = osmotisches Potential [MPa]

$\emptyset$  = Matrixpotential [MPa]

$P$  = Druckpotential [MPa]

$Z$  = Gravitationspotential [MPa]

Innerhalb einer Pflanze kann auf das Matrixpotential verzichtet werden. Diese Größe beschreibt die Wasserabsorbtion durch die Bodenoberfläche.

Die Ergebnisse der Scholander-Bomben-Messung können also nur unter Würdigung der Teilpotentiale (osmotisches, Druck und Gravitation) sinnvoll, d.h. im Zusammenhang zu den Standortbedingungen interpretiert werden. Dazu sind folgender Parameter der Messung zu berücksichtigen:

- Entnahmehöhe der gemessenen Blätter (PATZ 1998) – Gravitationspotential,
- Strahlung und relative Luftfeuchtigkeit,
- Bodenart und -schichtung im Wurzelraum,
- Witterungszusammenhang bzw. Bodenwasserpotential im Wurzelraum.

Abbildung 3 zeigt das Wasserpotential von *Quercus robur* verschiedener Altersstadien während einer Trocken- und einer Feuchtphase. Die Meßwerte entsprechen einer Entnahmehöhe von 1m und sind bei ca. 60% relativer Luftfeuchtigkeit und einer Strahlung von ca. 200 PAR entstanden. In den Blöcken feucht und trocken sind die Baumalter von links nach rechts abnehmend (Altbestand ca. 150 Jahre, Jungbestand 10-30 Jahre, Kultur 5 Jahre, Naturverjüngung 5 Jahre).

Es wird deutlich, daß der Potentialunterschied zwischen trocken und feucht um so größer ist, je kleiner der Wurzelraum wird. Besonders hohe Potentiale zeigen die Kulturpflanzen.

Proportional dazu verhält sich der Blattwassergehalt (vergleiche auch 4.2.6). Je niedriger das Wasserpotential in der Pflanze wird desto geringer ist auch der Blattwassergehalt. Beide Größen sind Indikatoren von Wassermangel. Im Unterschied zum Wasserpotential ist der Wassergehalt des Blattes relativ leicht zu ermitteln.

Die absoluten Meßgrößen sind folgendermaßen einzuschätzen. Der Welkepunkt (-1,5 MPa) wird in der Trockenperiode vom Jungbestand und den jungen Gehölzen überschritten. Die Blattfeuchte sinkt in keinem Fall unter 50 %. Der damit beschriebene Zustand war für die Lebensfähigkeit der Gehölze unschädlich.

Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Blattwassergehalt (Mittelwerte) und Wasserpotential (Mittelwerte) bei *Quercus robur*

Figure 3: Relationship between Water Amount in Leafs (Average) and Water Potential (Average) for *Quercus robur*

Den Zusammenhang zwischen Boden- und Pflanzen-Wasserpotential zeigen die Abbildungen 4a und 4b.

Hier sind die Gesamtpotentiale in verschiedenen Meßtiefen (Teilprojekt Bodenkunde) und

Baumalter (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 Jahre) in verschiedenen Altersstadien (Altbestand, Jungbestand, Kultur, Sukz.)

Meßpunkte zum Wurzel- und Kronenraum in Relation. Es ist jeweils eine Feuchtphase (Mai 1999) und eine Trockenphase (August 1999) dargestellt. Die Strahlung bewegte sich zwischen 100 und 300 PAR, die relative Luftfeuchte zwischen 40 und 60%.

Die geringste Schwankung zwischen Trocken- und Feuchtphase zeigen die Altbäume (Abbildung 4a). Speziell die Weiden (*Salix alba*, *Salix fragilis*, *Salix alba x fragilis*) bewältigen den Potentialausgleich zwischen Boden und Atmosphäre ohne nennenswerten Potentialabfall; eine Folge ausreichender Bodenwasserverfügbarkeit (Pflanze der Weichholzaue) und einer widerstandsarmen Wasserleitung. Im Vergleich zu den jüngeren Gehölzen ihrer Art ist das hohe "Grundpotential" der Altbäume in der Feuchtphase bemerkenswert. Dies deutet auf einen höheren hydraulischen Widerstand bei älteren Gehölzen.

Für die Alteichen liefern die Ergebnisse der Computertomographie (PATZ et al. 1999) einen Erklärungsansatz. Die normalerweise geringen Widerstände im Xylem des Stammes (HILLEL 1980), gleichbedeutend mit hoher Holzfeuchte (vergleiche 4.2.5), konnte durch die Tomogramme nicht nachgewiesen werden.

bildung 4a: Wasserpotential im Boden – Pflanze – Kontinuum bei älteren Gehölzen

Figure 4a: The Water: Potential in Connection from Soil and older Trees

Deutlich werden auch Gehölzartenunterschiede (PATZ et al. 1999). Während bei Weide niemals Potentiale unter -1,4 MPa gemessen wurden, stiegen die Werte bei *Prunus spinosa* auch in Feuchtphasen nicht über -1,5 MPa. Dieses Verhalten wurde auch bei exakt gleichen Meßbedingungen (Bodenwasserpotentiale, Strahlung, relative Luftfeuchtigkeit) beobachtet. Dies deutet für *Prunus spinosa* auf einen hohen Kontaktwiderstand zwischen Boden und Wurzel bzw. auf einen hohem Leitungswiderstand innerhalb der Pflanze, der gleichzeitig Schutz bei anhaltender Bodenwassersättigung und bei Bodenaustrocknung darstellt.

Die höchsten Potentialschwankungen und absolut niedrigsten Potentiale zeigen die Kultureichen und die Sukzessionseichen (beide 5 Jahre). Bei den Sukzessionseichen ist dies bemerkenswert, denn sie stehen im Schatten des Altbestandes. Offensichtlich dominiert der Faktor Bodenwasserpotential gegenüber Luftfeuchtigkeit und Strahlung.

Abbildung 4b: Wasserpotential im Boden – Pflanze – Kontinuum bei jüngeren Gehölzen

Figure 4b: The Water Potential in Connection from Soil and younger Trees

Aus der Betrachtung der Wasserpotentiale wird deutlich, daß das kurzzeitige Unterschreiten des „Welkepunktes“ die Lebensfähigkeit der jeweiligen Gehölze nicht in Frage stellt. Vertrocknen ist das Ergebnis von Wassermangel über einen (längeren) Zeitraum. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 5 dargestellt.

Abbildung 5: Verlauf der Gesamtwasserpotentials in *Quercus robur* bei Bodenaustrocknung

Figure 5: The Whole Water Potential in *Quercus robur* by Soil Drying

Der Tagesverlauf der Gesamtpotentials ist für eine junge und eine alte Eiche in Abbildung 6 dargestellt. Während sich das Wasserpotential der Alteiche jeden Abend wieder normalisiert (dem Potential der Atmosphäre folgend) und die mittäglichen Höchstwerte von Tag zu Tag nur langsam steigen, verläuft dieser Prozeß im Junggehölz viel extremer. Am Abend des dritten Meßtages kann das Gesamtpotential im Gehölz nicht mehr entsprechend dem Potential in der Atmosphäre zurückgefahren werden. Die Mechanismen der Wasserhaushaltsregulation sind ausgeschöpft, das Gehölz stirbt.

Die nähere Beschreibung und Unterscheidung der Vorgänge Wasserstreß und Absterben wird anhand der Parameter Druckpotential, Photosynthese, Stärkegehalte, Trockenmasse, Blattfläche und Wurzellänge vorgenommen.

#### 4.2.3 Das Druckpotential

##### The Pressure-Potential

Das osmotische Potential in den Blättern wurde im Labor bestimmt. Nach Gefrieren (Zerstörung der Zellstruktur) wurde mit einem Osmometer (Osmomat 030) die Molalität des Zellsaftes bestimmt. Das osmotische Potential ist ein Maß für das Vorhandensein osmotisch wirksamer Substanzen (Zucker, dissoziierte Salze). Diese verringern das Wasserpotential im Zellinneren. Dieser Vorgang beruht auf den unterschiedlichen Prinzipien der Wasserleitung (Potentialausgleich) und des Stofftransportes (Diffusion, Osmose) innerhalb der Pflanze.

Die Differenz zwischen Gesamtpotential und osmotischem Potential im Blatt ist ein Maß für Trockenstreß (RAMBAL 1992). Unter Berücksichtigung aller Teilpotentiale ergibt sich aus Gleichung (1)  $P = \bar{\psi} - \psi - \psi - \psi$

Die Differenz wird durch das Druckpotential (P) ausgedrückt. Bei der Berechnung (Tabelle 4) wurde das Gravitationspotential der entsprechenden Entnahmehöhen (0,1 bar/m bzw. 0,01MPa/m) berücksichtigt und das Matrixpotential vernachlässigt (LARCHER 1994).

Tabelle 4: Druckpotential in einzelnen Testgehölzen während einer Feuchtphase und einer Trockenphase

Table 4: The Pressure Potential in single Trees during a humid and a dry Period

Das Druckpotential nimmt in der Trockenphase negative Werte an. Eine Ausnahme bildet *Salix aurita*. Der Wurzelraum dieses Gehölzes liegt auch zu diesem Zeitpunkt im Grundwasserleiter. Bei allen anderen Gehölzen ist das osmotische Potential höher als das Gesamtpotential. Die Zelle verliert ihren Innendruck und der Zellinhalt wird nicht mehr an die Zellwand gedrückt. Es ist der Zustand der Grenzplasmolyse erreicht, bei der sich das Zellplasma von der Zelle löst und die Zelle stirbt.

Trotz negativer Druckpotentiale ist keiner dieser Bäume abgestorben. Der Aufbau eines negativen Druckpotentials wird wie das Ansteigen des Gesamtpotentials nachmittags gedämpft und kehrt mit abnehmender Strahlung und zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit wieder in normale Relationen zurück. Das mehrtägige, wahrscheinlich kurzzeitige Erreichen dieses Grenzzustandes führte nur zum Laubabwurf.

Nur das andauernde Erreichen und Überschreiten des Extremwertes, ein Druckpotential von – 1,5 MPa, führte bei Kultureichen zum Vertrocknen (vergleiche Abbildung 6), bei Alteichen nicht (LANGE et al. 1976). Das Vertrocknen konnte an wenig vitalen Kulturgehölzen in Trockenphasen 1998 und 1999 vereinzelt beobachtet werden.

#### 4.2.4 Die potentielle Photosyntheseaktivität ( $F_v / F_m$ )

##### The Activity of Photosynthesis

Abbildung 6: Tagesgang der Photosyntheseaktivität und der Strahlung bei Weide und Eiche

Figure 6: A daily Course of Photosynthesis Activity and Sun Radiation for Willow and Oak

Ein indirektes Maß für den Wasserdampfaustausch zwischen Interzellularen und umgebender Atmosphäre ist die Chlorophyllfluoreszenz. Die Messungen wurden im Freiland mit einem transportablen PAM-Fluorometer (Firma Walz) durchgeführt. Gemessen werden die Fluoreszenzsignale der Chlorophyll-a Moleküle. Das Ergebnis ist das Verhältnis  $Fv'/Fm'$  ( $Fv'$  = variable Fluoreszenz,  $Fm'$  = maximale Fluoreszenz), ein Maß für die photochemische Quantenausbeute des Photosystems II. Bei funktionierendem Photosyntheseapparat liegt das Ergebnis stets (für alle Pflanzenarten) um 0,83. Der Meßwert korreliert gleichzeitig mit der Quantenausbeute der  $CO_2$ -Assimilation (GENTY et al. 1989) und ermöglicht somit die Beurteilung der Intensität des Gasaustausches.

Die einzelnen Gehölzarten zeigen verschiedene Reaktionsmuster der Regulation bei vergleichbaren Standortbedingungen (Witterung und Bodenfeuchte). In Abbildung 5 ist die potentielle Photosyntheseaktivität von je einem Altbaum (*Salix alba* und *Quercus robur*) unter vergleichbaren Strahlungs- und Bodenfeuchtebedingungen dargestellt. Die Messungen wurden 1998 und 1999 an einem sehr sonnigen und einem stark bewölkten Sommertag durchgeführt. Der Bodenwasserhaushalt war in beiden Fällen nicht angespannt (Gesamt-Bodenwasserpotential zwischen 0,01 und 0,05 MPa, SCHWARTZ 2001). Während die Weide ihre Photosynthese auch bei stärkster Strahlung kaum drosselt, also einen hohen Wasserdurchsatz in Kauf nimmt, reduziert die Eiche unter gleichen Bedingungen die Photosynthese von 0,8 auf ca. 0,4. Im Zustand der reduzierten Photosynthese sind die Spaltöffnungen geschlossen und es findet ein stark reduzierter Gasaustausch verbunden mit einer verminderten Verdunstung statt.

Die integrierte Betrachtung des Gesamtwasserpotentials und der Photosyntheseaktivität in Gehölzen der Aue läßt die folgende Typisierung zu:

**Optimisten** – keine verringerte Photosynthese bei hoher Strahlung, das entspricht einem ständig hohen Wasserdurchsatz

- etablierte Gehölze von *Salix alba*, *Salix alba x fragilis*, *Salix fragilis*, *Salix triandra*, *Prunus spinosa*

**Pessimisten** – reduzierte Photosynthese bei hoher Strahlung, das entspricht einem ständig reduzierten Wasserdurchsatz

- alle jungen, direkt besonnten Gehölze,
- ältere Gehölze von *Quercus robur*, *Fraxinus excelsior*, *Salix caprea*

Andere Arten, besonders *Ulmus laevis*, konnten nicht zugeordnet werden.

Über die absoluten Potentialverhältnisse in den Gehölzen sagt diese Typisierung nichts aus. In der Gruppe der Optimisten weisen die Weidenarten immer ein relativ hohes Wasserpotential auf und die

Schlehe immer ein niedriges (Abbildung 4). Dieses Verhalten läßt darauf schließen, daß der optimale Standort im ständig ausreichend wasserversorgten Boden (Weiden) liegt oder andere Regelmechanismen, wie hohe hydraulische Widerstände und geringe Oberfläche (Schlehe) genutzt werden. Die standorttypischen Wasserverhältnisse sind für diese Gruppe kein Streßfaktor. Die Pessimisten reagieren auf Potentialschwankungen zwischen Boden und Luft mit vergleichsweise hohen inneren Schwankungen. Hier schienen die Regelmechanismen ausgeschöpft. Die Gehölze laufen Gefahr, bei Andauern dieser standorttypischen Wasserverhältnisse zu vertrocknen.

#### 4.2.5 Computertomographie

##### Computer Tomography

Im Rahmen der baumphysiologischen Untersuchungen der Alteichen auf T3 = Oberholz wurden am 19. und 20. August 9 Alteichen mit dem mobilen Computer-Tomograph MCT-3 des Radiologie-Zentrums der Philipps-Universität Marburg tomographiert.

Abbildung 7: Tomogramm Baum 2 (links) und Baum 12 (rechts)

Figure 7: Tomogram from tree 2 (left) and tree 12 (right)

Zwei Beispiele für Alteichentomogramme und die darin enthaltenen Klassen der Absorptionskoeffizienten (Holzfeuchte) mit den verschiedenen Farbstufen sind in Abbildung 7 dargestellt.

Mit Ausnahme der Alteiche 2 (Hohlstelle im Stammbereich) unterscheiden sich die Tomogramme nicht signifikant voneinander. Entscheidend für die Wasserversorgung der Krone ist der weiter außen liegende Ring: gesundes wasserleitendes Splintholz. CT-Zahlen über 85 % in diesem Bereich, die ein indirektes Maß für höhere Holzfeuchte und somit für eine gute Wasserversorgung der Krone sein können, fehlen (vergleiche Anhang Tomographie).

Verglichen mit Tomogrammen von Alteichen anderer Standorte (z.B. Grunewald) zeigen die Alteichen auf der Fläche T3 = Eichholz eine extrem schlechte Wasserleitung im Stamm.

Abbildung 8: CT-Zahlen (indirektes Maß für die Holzfeuchte) entlang eines Kern - Splint - Transektes (Süd - Nord)

Figure 8: Number of CT (indirect Order for Humidity into Timber of the Trunk) along a Transekt from Center to Periphery

In Abbildung 8 sind die CT-Zahlen entlang eines Süd-Nord-Transektes durch die Stammscheibe für drei ausgewählte Alteichen dargestellt.

Die hohe Feuchte im und um den Kern aller Bäume deutet auf Kernfäule. Hier zeigt sich die Wirkung des Auestandortes. Im Splintbereich ist der Wassergehalt eher gering.

Eine gute Übereinstimmung mit dem Befund der mangelnden Wasserversorgung im Kronenraum bietet der Kronenzustand (vergleiche Anhang Tomographie, hier Kronenfotos. Alle Kronen zeigen abgestorbene Starkäste, geringe Belaubung, Deformationen und Rücksetzung. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes von 1996 bis 2000 durchlief der Parameter Belaubung eine heterogene Entwicklung. 1997 und 1998 war die Belaubung deutlich geringer, als in den anderen Jahren. Die Ursachen dafür waren Spätfrost, Eichenwickler und Mehltaubefall (vergleiche auch 4.3.5). Insgesamt deutete sich in den letzten beiden Jahren eine Vitalisierung (teilweise mit rückgesetzter Krone) der Eichen an. Die Ursachen für die anderen, den Habitus negativ beeinflussende Faktoren, wie Astabbrüche, Kronendeformation und Totäste können weit zurückliegen. Dafür ist ein Wirkungsgefüge aus Klimaextremen (Trockenjahren), Elberegulierung, Waldwirtschaft im Grenzstreifen und Freistellung (durch Nutzung 1989) verantwortlich.

#### 4.2.6 Stoffwechselfparameter

##### The Parameter of Metabolism

Die baumphysiologischen Untersuchungen haben gezeigt, daß Statusindikatoren bei Kenntnis der ökosystemaren Rahmenbedingungen geeignet sind, frühzeitig Belastungssituationen, Streßantworten und entsprechende Anpassungsreaktionen anzuzeigen. Allerdings gibt es weder einen einzelnen Indikator, der auf den physiologischen Zustand hinweist, noch gibt es einen einzelnen Indikator, der in unmittelbarer linearer Beziehung zu den Standortverhältnissen steht. Vielmehr muß ein ganzer Komplex von Zustandsvariablen betrachtet werden, um entsprechende Schlußfolgerungen ziehen zu können.

Die Aminosäure Prolin ist als ubiquitär verbreiteter Streßindikator bekannt, wobei besonders hohe Anreicherungen unter Trockenstreß beobachtet wurden. Zur Funktion von Prolin unter Streßbelastung ist trotz intensiver Forschung bisher nur wenig bekannt. Als gesichert gilt, daß Prolin ein Aktivator des Tricarbonsäurezyklus ist und sich auf Grund seiner hohen Löslichkeit unter Wasserentzug in extrem hohen Konzentrationen in der Zelle anreichern kann und so als löslicher C- und N- Speicher fungiert.

Nach eigenen Untersuchungen deuten Konzentrationen oberhalb von 1 nmol/mg TM auf Streßzustände hin, wobei unter Dürrebedingungen auch Gehalte über 10 nmol/mg TM gemessen wurden.

Auskunft über den Zustand des Primärstoffwechsels erteilt u.a. der Stärkegehalt in den Blättern.

In Abbildung 9 ist die Relation zwischen Stärke und Prolin für zwei Gehölzarten in den Untersuchungsjahren 1997 und 1998 dargestellt. Diese Parameter stehen als Zustandsweiser für Kohlenstoffreserven (Stärke) und Streßreaktion (Prolin). Im Jahr 1997 haben beide Arten ähnlich gute Relationen gezeigt. Diese resultieren aus der Baumschulanzucht, denn die Gehölze (mit Ausnahme der Fläche T0) wurden 1996 ausgepflanzt. Für Schlehe bleiben die Relationen 1998 (auch 1999) unverändert. Hier fällt nur der geringe Stärkegehalt auf der Fläche T4 auf. Dieser geht aber nicht mit einem auffälligen Befund bei Prolin einher.

Abbildung 9: Prolin- und Stärkegehalte bei Kulturgehölzen von *Quercus robur* (links) und *Prunus spinosa* (rechts) 1997 und 1998, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 9: The Contents of Prolin and of Starch in planted Trees, *Quercus robur* (left) and *Prunus spinosa* (right) 1997 and 1998, (Totalnumber like Table 2)

Die Kultureichen auf den Flächen T4 und T8 dagegen sind durch eine Streßreaktion (hohe Prolingehalte) gekennzeichnet. Hier sind alle Stoffwechselprozesse auf Gefahrenabwehr programmiert. Die Eichen auf T0 zeigen eine Normalisierung. Diese Kultur wurde bereits 1991 gepflanzt. Ein vergleichbarer Prozeß konnte 1999 auf T8 beobachtet werden und wird für 2000 auf T4 erwartet. Allerdings trifft diese Aussage immer nur auf die verbleibenden (überlebenden) Gehölze zu. Für die Beurteilung der Standorteignung ist also die Überlebensrate (Anwuchsprozent – Punkt 4.3) zu beachten.

Der beschriebene Zusammenhang zwischen Streßreaktion (Prolin) und Biomasseproduktion (Vitalität) konnte für alle etablierten Gehölze festgestellt werden. Beispielhaft ist dies in Abbildung 10 für Alteichen dargestellt

#### 4.2.7 Die Blattfeuchte

##### The Humidity of Leafs

Die Blattfeuchte ist ein leicht zu bestimmender Parameter. Die Gewichts-differenz zwischen dem frischen Blatt und den im Trockenschrank getrockneten Blatt ist mit dem Wassergehalt des Blattes identisch. Bei Harthölzern gehen Blattwassergehalte über 50% immer mit normalen Relationen der Stoffwechselfparameter (vergleiche 4.2.5) einher.

Bei dem Vergleich der Eichen auf verschiedenen Testflächen (vergleiche Abbildung 11) sind nur die Gehölze auf der Fläche T4 auffällig mit Gehalten unter 50% vom Frischgewicht (FG).

Abbildung 11: Die Blattfeuchte bei *Quercus robur*, 1998, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 11: The content of Water in Leafs from *Quercus robur*, 1998, (Totalnumber like Table 2)

Neben der relativ einfachen Bestimmung gibt dieser Parameter direkt Auskunft über den aktuellen Potentialzustand des Gehölzes (vergleiche Abbildung 3). Standorteignung in Bezug auf den Wasserhaushalt läßt sich an den Blättern vitaler Gehölze im Verlauf einer Trockenperiode nachweisen, sofern die mittäglichen Blattwassergehalte nicht unter 50 % FG fallen.

#### 4.2.8 Wachstumsparameter

##### The Parameter of Growth

Die Befunde aus der Wasserhaushalts- und der Stoffwechselbeobachtung an Einzelgehölzen können mit Hilfe von Vitalitätsparametern auf vergleichbare Gehölzbestände übertragen werden.

Abbildung 12: einseitige Blattfläche des Durchschnittsblattes, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 12: The Index of one-side Leaf Area (Average), (Totalnumber like Table 2)

Abbildung 13: Blattflächenindex (einseitige Blattfläche des Einzelgehölzes [cm<sup>2</sup>] /Standraum des Einzelgehölzes [cm<sup>2</sup>]), (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 13: The Index of Specific Leaf Area ( The one-side Leaf Area [cm<sup>2</sup>])/The Stand Area [cm<sup>2</sup>], both from a single tree), (Totalnumber like Table 2)

Von besonderem Interesse sind Wachstumsparameter, da sie u.a. durch die Wasserpotentialverhältnisse beeinflusst werden (KRAMER 1983, GARDNER et al. 1985). In der turgeszenten Zelle laufen Wachstumsvorgänge ab, die bei Absenkung des osmotischen Potentials zum Erliegen kommen. Dieser Vorgang beeinflusst Blattgröße, Sproßwachstum und Wurzelwachstum. Beim Wachstum der Wurzelspitzen muß durch den Zelldruck auch der Bodendruck überwunden werden. Dieser ist um so höher, je größer die Lagerungsdichte ist.

Die Abbildungen 12 und 13 stellen die Entwicklung der Blattfläche des Durchschnittsblattes und das Verhältnis der Blattflächensumme (Durchschnittsblattfläche \* Blattanzahl) zum Standraum dar. Zwischen 1997 und 1999 vergrößerte sich die Blattfläche des Durchschnittsblattes bei allen Kulturpflanzen oder sie blieb konstant (Abbildung 12). Besonders deutlich verlief diese Entwicklung bei *Fraxinus excelsior* (von 48 cm<sup>2</sup> auf 125 cm<sup>2</sup>) und bei *Ulmus laevis* (von 6 cm<sup>2</sup> auf 15 cm<sup>2</sup>). Die Summe der Blattoberflächen wiederum bestimmt die Transpirationsrate. Je größer die Blattfläche ist, die eine definierte Bodenfläche bedeckt, desto höher ist die Absorption der Strahlungsenergie. Der

kritische Blattflächenindex (bei dem 90% der Transpiration erreicht wird) liegt für Kulturpflanzen bei 5 (EHLERS 1991). Abbildung 13 verdeutlicht, daß die jungen, gepflanzten Gehölzbestände davon weit entfernt sind. Dazu kommt hier, daß diese Bestände bis zu einem Kronenschluß ca. 10 Jahre brauchen werden. Auch der Eichenjungwuchs, der gerade in das Kronenschlußstadium einwächst, ist weit von einer Bestandesstruktur entfernt, die Transpirationsschutz gewährt. Diesen Zustand repräsentiert nur der Altbestand.

Abbildung 14: Belaubungsgrad ausgewählter Kulturgehölze, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 14: The Percentage of Leafity for several cultivated Trees, (Totalnumber like Table 2)

Abbildung 15: Höhenzuwachs ausgewählter Kulturgehölze, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2)

Figure 15: The Increase in Height for several cultivated Trees, (Totalnumber like Table 2)

Das Erreichen des Kronenschlusses ist neben der Blattfläche vom Triebzuwachs abhängig. In den Abbildungen 14 und 15 wird die zeitliche Entwicklung der Kulturgehölze beschrieben. Nach dem Anwachsen zeigen die überlebenden Gehölze einen zunehmenden Zuwachs des Höhentriebes und einen höheren Belaubungsgrad. Allerdings ist der geringe Zuwachs im dritten Standjahr (durchweg unter 20 cm) der Hartholz-Kulturen auffällig. Über diese Schwierigkeiten sind die Jungwuchs-Eichen (erster Eichenblock) hinweg, die sich im 8. – 10. Standjahr befanden. Eine von den Gehölzen der Hartholzaue verschiedene Wuchsdynamik läßt sich für *Alnus glutinosa* und *Salix alba x fragilis* erkennen. Beide Arten haben eine relativ stabile Belaubung und einen hohen Zuwachs. Hier deutet sich eine Eignung für die Freiflächenbegründung im Weichholzaunen- und Übergangsbereich an. Geringere Belaubung zeigt die Schlehe 1999. Vermutlich reagiert sie damit auf die Bodenwassersättigung im Frühjahr. Allerdings entwickeln sich in diesem Jahr wesentlich größere Blätter und dies nicht nur bei Schlehe. Hier wird der Zusammenhang zwischen Bodenwassergehalt, Turgordruck in der Zelle und Zellwachstum deutlich.

#### 4.2.9 Wurzelentwicklung

##### The Growth of Roots

Die Wurzellängen wurden nach der Entnahme ganzer Wurzelsysteme bestimmt. Dazu wurden an typischen Verzweigungssituationen (Konglomerate) Messungen durchgeführt. Diese Längen wurden dann auf ähnliche Konglomerate mit einem Schätzverfahren übertragen. Es wurden alle Wurzeln über 0,5 mm Durchmesser berücksichtigt.

Neben dem engen Zusammenhang zwischen Wurzel- und Triebzuwachs (PATZ et al. 1999) konnte so das Verhältnis zwischen Gesamtblattfläche und Wurzellänge (Tabelle 5) ermittelt werden. Es sind hier die Jungwuchs-Eichen und jeweils eine gering belaubte und gut belaubte Gruppe (n = 3) von Eiche und Ulme bearbeitet worden.

In allen Fällen geht das Verhältnis zurück, d.h. die Gesamtblattfläche wächst schneller als die Wurzellänge. Diese Entwicklung vollzieht sich bei den gut belaubten Gehölzen schneller als bei den wenig belaubten.

Die Wurzellänge ist bei den gut belaubten Gehölzen regelmäßig größer als bei den wenig belaubten. Sie erschließen damit einen größeren Wurzelraum. Damit steht ein größeres Reservoir an pflanzenverfügbarem Bodenwasser zur Verfügung, was wiederum zu einem stabileren Anstieg der Biomasse (Sproß und Blatt) führt.

Tabelle 5: Blattflächen und Wurzellängen von Kultur- und Jungwuchsgehölzen

Table 5: The one-side Leaf Area and the Length of roots of Trees in different Ages

Auffällig war die heterogene Durchwurzelung des Bodenraumes. Im dritten Standjahr reichten bei den gut belaubten Gehölzen die Wurzeln zwischen 1,2 – 1,5 m tief. Allerdings war diese Erschließung regelmäßig durch einen Wurzelstrang erfolgt. Andere Wurzelstränge wuchsen dagegen verhalten. Es ist zu vermuten, daß das Wurzeltiefenwachstum in den Räumen geringer Lagerungsdichte erfolgte. Alle Wurzelgrabungen an Kulturgehölzen wurden auf der Fläche T4 mit der höchsten Bodenlagerungsdichte (MIEHLICH et al. 1999) durchgeführt. Auf dieser Fläche wurde die Bodenbearbeitung mit Bodenmeißel und Pflanzlochbohrer durchgeführt. Während im zweiten Standjahr die verdichteten Ränder des Pflanzlochs für die Wurzeln ein Hindernis darstellten (sichtbar an Wurzelverdickungen und Richtungsänderungen) passierten die Wurzeln ab dem dritten Standjahr diese Zone ohne Wuchsmerkmale (vergleiche PATZ et al. 1999, Abschnitt Bodenaktivität).

#### 4.2.10 Bodenaktivität

##### Biological Activity in Soil

Der Stäbchentest wurde 1997 und 1998 jeweils im Mai und August nach TÖRNE 1990, durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden auf ca. 0,5 m<sup>2</sup> 48 Stäbchen gleichmäßig verteilt in den Boden gebracht. Bei den Stäbchen handelt es sich um Kunststoffträger von 20 cm Länge. Diese wurden 18 cm tief in den Boden eingebracht, so daß sich die jeweils 10 Köderfüllungen (in den 1mm Löchern) eines Streifens im Bodenraum zwischen 15 cm und Bodenoberfläche befanden. Der Köder besteht aus einem Zellulose - Weizenkleie – Gemisch. Nach drei Tagen wurden die Streifen aus dem Boden entnommen. Die Auswertung erfolgte als 1 (durchfressen) – 0 (unverändert) – Bonitierung der Löcher. Auf diese Weise ist die Einschätzung der Bodenaktivität in der obersten Bodenschicht der Testflächen möglich.

Es konnten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Testparzellen festgestellt werden (Abbildung 16).

Abbildung 16: Mittlere Bodenaktivität in den Vegetationsperioden 1997 und 1998

Figure 16: Average of Soil Activity during the Vegetationperiodes 1997 and 1998

Die geringste Bodenaktivität wiesen die topographisch hohen Flächen mit hoher Lagerungsdichte (SCHWARZ et al., 1998) Oberholz-T4 und Eichwald-T3 sowie die unmittelbar zuvor trockengefallenen Flächen unmittelbar über der Wasserspiegellage der Elbe T1-Strand auf.

Der Nachweis der Bodenbearbeitung mittels geringer Bodenaktivität konnte 1998, 2 bis 3 Jahre nach der Bearbeitung, nicht mehr erbracht werden.

Die höchste Freßaktivität wiesen Parzellen mit relativ hohem Sandanteil auf. Eine zusätzliche Beschattung dämpft die jahreszeitlichen Schwankungen der Werte.

Die Bodenaktivität war auf allen bewaldeten Parzellen über die gesamte Bodentiefe höher als auf unbewaldeten Nachbarflächen (Abbildungen 17 und 18). Ebenfalls positiv für die Freßaktivität wirkte sich eine gleichmäßige Verteilung der Niederschläge während der Vegetationsperiode aus.

Abbildung 17: Bodenaktivität in Abhängigkeit von der Überschildung, und der Tiefe auf der Testfläche Eichwald (T3) in den Vegetationsperioden 1997 und 1998

Figure 17: Soil Activity depending on Sun Protection and Soil Depth on Test Area T3 during the Vegetationperiodes 1997 and 1998

Abbildung 18: Bodenaktivität in Abhängigkeit von der Überstauung Elbholz (T1), Vegetationsperioden 1997 und 1998

Figure 18: Soil Activity depending on Flooding and Soil Depth on Test Area T1 during the Vegetationperiodes 1997 and 1998

Das Ergebnis des Stäbchentests bildet die Bodenverhältnisse ab. Die bewaldungsrelevanten Faktoren sind Lagerungsdichte und Wasserpotential. Beide sind durch die Bodenart bestimmt (vergleiche auch GRÄFE et al. 1999). Der Test kann in der Planungsphase verwendet werden, um z.B. Vorrangflächen für eine Bewaldung auszuscheiden. Im hier verwendeten Zusammenhang liefert der Test den Nachweis der kleinräumig differenzierten Standortbedingungen.

Die tonigen Böden setzten dem Wurzelwachstum der Gehölze besonders in trockenem Zustand erheblichen Widerstand entgegen. Die Erschließung des Bodenwasserpotentials ist unter diesen

Bedingungen erschwert und wird auch durch die Aktivität von Bodenlebewesen nicht unterstützt, da diese selber auf leichtere Böden ausweichen.

### 4.3 Die Stabilität von Gehölzbeständen

The Stability of Tree-Stands

#### 4.3.1 Grundgesamtheit der Versuchsflächen

Totality of tested Areas

Für diese Zustandserfassung wurden alle Gehölze auf den zwischen 1996 und 1997 (46,9 ha) angelegten Gehölzpflanzungen beurteilt:

- 1 Zollhaus - 4,31 ha,
- 4 Kuhblankstücken - 2,68 ha,
- 8 Ulmennester - 1 ha,
- 9 Halbe Drift Dreieck - 1,01 ha,
- 10 Schweineversuch Halbe Drift - 2,61 ha,
- 13 Große Rüsterdrift - 6,43 ha,
- 16 Dölkenrohr - 3,34 ha,
- 17 Kleine Rüsterdrift – 1,64 ha,
- 20 Dölkenrohr Verlängerung – 2,25 ha,
- 21 Am Fährdamm – 2,96 ha,
- 22 Dreieichen – 9,29 ha,
- 25 Oberholz – 9,38 ha.

Zusätzliche Heckenanlagen, spätere Pflanzungen oder solche außerhalb des Untersuchungsraumes finden keine Berücksichtigung.

#### 4.3.2 Anlage der Kulturen

The Arrangement of Tree planted Areas

Mit Ausnahme einer Teilfläche der Großen Rüsterdrift wurden alle Aufforstungsflächen wilddicht gezäunt.

Die Pflanzungen sind Herbst- und Frühjahrspflanzungen. Regelmäßig betrug der Zeitraum zwischen Abschließen der Pflanzen (Winterruhe) und Bodenfrost nur einige Tage. Im Frühjahr verzögerten Bodenfrost und hochanstehendes Qualmwasser die Pflanzung. Aus diesem Grund wurde in jedem Jahr auch angetriebenes Pflanzmaterial ausgebracht.

Die Bodenvorbereitung erfolgte nach verschiedenen Methoden (geordnet nach Intensität bzw. Energieeinsatz):

- ganzflächiges Bodenmeißeln, anschließendes Walzen (glätten), anschließende Pflanzlochbohrung (im Durchmesser 40 cm und 50 cm tief) – Oberholz,
- Waldpflug mit anschließender Pflanzlochbohrung (im Durchmesser 25 cm und 30 cm tief) – Große Rüsterdrift,
- Pflanzlochbohrung (im Durchmesser 40 cm und 50 cm tief) – Kleine und Große Rüsterdrift,
- Spatenpflanzung – Drei Eichen, Ulmennester, Kuhblankstücken, Halbe Drift Dreieck, Schweineversuch Halbe Drift, Dölkenrohr, Am Fährdamm.

Das Pflanzschema und der Pflanzverband unterscheiden sich wie in Abbildung 19 dargestellt.

Abbildung 19: Übersicht der Pflanzschemata und der Pflanzverbände

Figure 19: A Survey of Pattern and of Density in Plantings

#### 4.3.3 Erfolgskontrolle

##### The Inspection of Success

Im Sommer 1999 wurden alle Kulturflächen einer stichprobenartigen Inventur unterzogen. Dabei wurde der Anwuchs und die Vitalität jedes Gehölzes eingeschätzt. Diese Information wurde mit denen des Pflanzjahres verglichen (Abbildung 19).

Von den ca. 60 000 ausgebrachten Pflanzen sind 85 % angewachsen. Das geringste Anwuchsprozent weist mit 20 % *Sambucus nigra* auf. Diese Art ist ungeeignet für die Aue. Ausfälle von 30 % gab es bei *Carpinus betulus* durch die Ausbringung in qualmwasser-beeinflußten Arealen und bei *Salix x rubra* (vergleiche Schadfaktoren Wild und Pilzbefall). Mit 80 % weist *Quercus robur* ebenfalls einen unterdurchschnittlichen Anwuchs auf (Schadfaktoren Frost und Mäuse).

Abbildung 20: Entwicklung der Pflanzenzahlen von 1997 bis 1999 nach Gehölzarten (logarithmisch)

Figure 20: The Development of Number of Plants from 1997 to 1999 sorted out in Species of Trees (logarithm)

Bezogen auf die Fläche der Kulturen ist die Gehölzdichte in Abbildung 21 dargestellt.

Auf Grund von Freiräumen kommt auch die intensivste Kulturbegründung Oberholz nicht über 2500 Gehölze pro ha. Aus forstlicher Sicht handelt es sich dabei um extensive Bewaldungen (ANONYMUS 1996).

Das Aufwachsen eines geschlossenen Gehölzbestandes aus den Kulturpflanzen ist danach auf den Flächen Oberholz, Große Rüsterdrift, Kleine Rüsterdrift und Halbe Drift Dreieck zu erwarten. Auf den anderen Flächen werden sich Gehölzinseln etablieren, die Ausgangspunkt von Gehölzsukzessionen sein können.

Auf den Flächen Am Fährdamm und Schweineversuch Saat ist das künstliche Etablieren von Gehölzen mißlungen. Auf Grund von Wildverbiß durch undichte Zäunung während eines langen Zeitraumes existierten 1999 auf der Fläche Am Fährdamm nur noch Reste der angelegten Trupp-Pflanzung. Von der Eichel-Saat auf der Fläche Schweineversuch Saat entwickelten sich wenige (ca. 10%) zu Keimpflanzen, um im Sommer zu vertrocknen.

Abbildung 21: Anzahl der Bäume und Sträucher pro Hektar auf den Kulturflächen

Figure 21: Number of Trees and Bushes per Hectare

Zusammenfassend kann die Initialpflanzung von Auwald-Gehölzen nach 3-4 Standjahren als gelungen bezeichnet werden. 80% der ausgebrachten Gehölze sind angewachsen. Von diesen durchliefen ca. 80% eine positive Vitalitätsentwicklung. Der Beobachtungszeitraum beinhaltete typische Witterungsextreme der Aue, wie Spätfrost, Hochwasser und Trockenperioden, so daß für die Zukunft eine Fortschreibung der positiven Gehölzentwicklung erwartet werden kann.

#### 4.3.4 Ergebnisse der intensitätsdifferenzierten Kulturbegründung

##### The Result of the Planting in case of Intensity of Cultivation

Im Anwuchs gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten. Der massenhafte Ausfall von Gehölzen auf einzelnen Testflächen kann an konkreten Schadensursachen (Mäuse, Rehwild, Pilze und Frost) festgemacht werden.

Biomasseproduktion (Belaubung und Zuwachs) sowie Vitalität sind auf den intensiv begründeten Flächen Oberholz und Rüsterdrift höher als auf den extensiveren (Dreieichen).

Abbildung 22: Höhenzuwachs an *Quercus robur* im dritten Standjahr (n = 500 pro Testfläche)

Figure 22: The Increase in Height for *Quercus robur* in the 3th Year after Plantation

Ein enger Zusammenhang besteht zwischen dem Zuwachs und der Wurzelentwicklung. Die intensive Bodenbearbeitung mit Bodenmeißel und Bohrer erschließt der Pflanze einen relativ besser durchwurzelbaren Bodenraum. Dieser Vorsprung in Bezug auf die Wasser- und Nährstoffversorgung drückt sich in der Biomasseproduktion der ersten Standjahre aus. Wann die Pflanzen der Spatenwinkelpflanzung dies aufholen, kann nur durch weiterführende Beobachtungen geklärt werden.

Auf keiner Kulturfläche sind die Gehölze bisher in Konkurrenz um Wasser oder Licht getreten. Die Wirkungen des Pflanzverbandes und der Gehölzartenmischung auf die Entwicklungsdynamik der Bestände kann deshalb erst zukünftig beobachtet werden. Dabei werden artreine Gruppen auch konkurrenzschwachen, geringwüchsigen Bäumen eine Chance lassen.

#### 4.3.5 Vitalität

##### The Vitality

Der Augenblickszustand eines Gehölzes, der mittels Beobachtung, Messung und Analyse erfaßt wurde, ist das Ergebnis des Zusammenwirkens von Genotyp, Lebensgeschichte und aktuellen Standortparametern dieses Individuums. Der Schnittpunkt dieser Einflußgrößen ist die Vitalität des Einzelgehölzes (Methode entsprechen Waldschadenserhebung).

Die Vitalität wurde aus den Einzelgrößen Habitus, Verzweigung, Zuwachs, Belaubung und Blattfarbe gebildet. Alle Einzelgrößen sind gleich skaliert und gehen gleichgewichtet ein. Der so ermittelte Gesamteindruck des Gehölzes berücksichtigt in den Teilen Habitus und Verzweigung Wachstumsvorgänge (Katastrophen), die weit zurückliegen können. Der Parameter Zuwachs hebt auf die vorjährige Biomasseproduktion ab. Die Belaubung ist das Ergebnis der Wasser- und Nährstoffversorgung im aktuellen Frühjahr. Der Index von 0 (*Salix caprea*) beschreibt das Idealbild eines Gehölzes. Der Index 4 steht für ein totes Gehölz.

Bei älteren Gehölzen entsteht der Index unter Würdigung der Lebensgeschichte. Auf junge Gehölze angewendet unterliegt er starken Schwankungen, da Einzelereignisse übergewichtet werden.

In Abbildung 23 ist die durchschnittliche Vitalität aller Gehölze für 1997 und 1999 dargestellt. In den Blöcken *Populus tremula*, *Prunus spinosa*, *Quercus robur*, *Salix alba*, *Salix fragilis*, *Salix caprea* und *Ulmus laevis* steht die letzte Balkengruppe für Altgehölze. Alle anderen Balkengruppen repräsentieren junge Gehölze.

Zwischen 1997 und 1999 hat sich die Vitalität der Kulturgehölze verbessert, was bereits die Parameter Zuwachs und Belaubung zeigten (Abbildungen 14 und 15). In der Tendenz wird damit der voranschreitende Anwuchsprozeß beschrieben. Unter den älteren Gehölzen schwankt die Vitalität im Untersuchungszeitraum kaum. Auffallend ist der relativ schlechte Wert von *Quercus robur* mit einer durchschnittlichen Vitalität von 2. Alle anderen etablierten Arten weisen bessere Werte auf.

Abbildung 23: Vitalität nach Gehölzart und –alter, (Grundgesamtheit vergleiche Tabelle 2); 0 = Ideal, 4 = tot

Figure 23: The Vitality for The Species and the Age of Trees, (Totalnumber like Table 2); 0 = ideal, 4 = daed

#### 4.3.6 Schadursachen und Pflegemaßnahmen

##### The Reasons of Damages and the Prevention

Im Untersuchungszeitraum traten folgende Schadursachen auf, die zum Ausfall von Kulturpflanzen führten:

1. Verbiß und Fegen durch Rehwild auf der ungezäunten Fläche,
2. Pilzbefall an *Salix x rubra*,
3. Mäusefraß vorrangig an *Quercus robur*,
4. blattfressende Insekten,
5. Spätfrost.

Zur Abwehr weiterer Schäden wurden mehrmals blattfressende Raupen und Käfer von Kulturgehölzen abgesammelt, bestehende Zäune abgedichtet und Kulturflächen partiell gemäht.

##### 1. Verbiß und Fegen durch Rehwild - Damage caused by Deer's

Auf der einzigen ungezäunten Fläche, einem Teil der Großen Rüsterdrift, waren Setzstangen von *Salix x rubra* ausgebracht. Wegen des hohen Ausschlagsvermögens der Weiden stellt Wildverbiß bei dieser Art der Kulturbegründung keine ernste Gefahr dar. Allerdings stiegen die Fegeschäden zwischen 1997 und 1998 von 20% auf 60%. Die Ermittlung der Rehwilddichte (WILKENS 1999) erbrachte einen Durchschnittsbestand von 7 St./100 ha. Die hohen Schäden, die dieser "normale" Bestand an Gehölzkulturen und auch an Gehölzsukzession verursacht, sind dem Äsungs- und Ruheangebot des Lebensraumes geschuldet.

Der Untersuchungsraum ist durch Weidewirtschaft gekennzeichnet. Zugängliche Wald-, Gehölz- und Röhrichflächen nehmen weniger als 10% des Gesamtareals ein. 20% der Gesamtfläche sind wilddicht gezäunt. Durch Landwirtschaft, Tourismus, Naturschutzmanagement und Forschung wird das Wild ständig beunruhigt.

## 2. Pilzbefall - Damage caused by Fungies

Die Setzstangen von *Salix x rubra* auf der ungezäunten Kulturfläche trieben zu 70 % im Frühjahr 98 nicht wieder aus. Dies war z.T. auf die oben beschriebenen Fegeschäden zurückzuführen. Im gezäunten Teil dieser Kulturfläche waren unter den Setzstangen ebenfalls hohe Ausfälle (ca. 30%) zu verzeichnen, obwohl sich diese Gehölze im Vorjahr in ihren äußeren Vitalitätsmerkmalen nicht von anderen Weiden-Testgehölzen unterschieden.

Eine breit angelegte Ursachenforschung erbrachte folgenden Befund: An den Pflanzen wurden Fruchtkörper des Kleinpilzes *Cryptodiaporthe salicella* (FR.) PETRAK / Nebenfruchtform *Diplodina microsperma* (JOHNSON) SUTTON nachgewiesen (durch Landesforstanstalt Eberswalde, Abteilung Waldschutz, Dr. Heydeck). Dieser Pilz ist ein Schwächeparasit, der die Triebe und Rinde von Gehölzen mit eingeschränkter Vitalität besiedelt. Nach Einschätzung von HEYDECK haben Wasserstreß und die hohen Temperaturen im Februar 1998 eine prädisponierende Wirkung gehabt. Das Zusammentreffen der Faktoren Pilzbefall und Fegeschäden führte auf der ungezäunten Kulturfläche zum Totalausfall.

Die Bodenbearbeitungsvariante hatte auf die Absterberate keinen Einfluß.

## 3. Mäusebefall - Damage caused by Mice

Hohe Ausfälle durch Mäuse bei *Quercus robur* wurden in der intensiven Kulturvariante Oberholz ermittelt. Im zweiten Standjahr erreichte der Ausfall im hochgelegenen Teil dieser Fläche 30%. Andere Gehölzarten, die in der selben Reihe stehen, wurden nicht in Mitleidenschaft gezogen. Ursache waren Schermäuse (*Arvicola terrestris*) und Feldmäuse (*Microtus arvalis*) (WILKENS 1999). Zum einen bot die Bodenbearbeitung durch Bodenmeißeln relativ bessere Lebensbedingungen für Mäuse als auf den umliegenden Flächen, zum anderen wanderten die Mäuse bei Hochwasser aus tiefergelegenen Flächen ein. Das hohe und anhaltende Hochwasser im Winterhalbjahr 1998/99 führte durch die Überflutung der Kulturfläche zu einer außerordentlich starken Reduktion der Mäusepopulation. Mäuseverbiß an Kulturgehölzen wurde als Absterbe-Ursache seitdem nicht wieder festgestellt.

## 4. Blattfressende Insekten - Damage caused by Insects

An den Kulturgehölzen wurden folgende Larven festgestellt:

- Blattkäfer - *Plagiodere spec.*, *Phyllodecta spec.*
- Blattwespe - *Croesus septentrionalis*
- Fliedermotte - *Gracillaria syringella*
- Gespinnstmotte - *Yponomeuta cagnagella*
- Pappelschwärmer - *Laothoe populi*
- Ringelspinner - *Melacosoma neustria*

- Schlehenspinner - *Orgyia antiqua*
- Schwammspinner - *Lymantria dispar*
- Sichelspanner - *Drepana falcataria*, *Falcaria lacertinaria*
- Spanner - *Opherophtera brumata*, *Opisthograptis luteolata*
- Weidenwickler - *Hedya salicella*

An Eiche und Erle traten einige dieser Raupen so zahlreich auf, daß sie zur Bedrohung der Kulturpflanzen wurden. In diesen Fällen wurden die Raupen von Mitarbeitern der Landschaftspflege-GmbH Lenzen abgelesen. Dieser Kooperation ist es zu verdanken, daß Ausfälle aufgrund von Insektenbefall nicht zu verzeichnen waren.

#### 5. Spätfrost - Damage caused by Frost

Im gesamten Untersuchungszeitraum (1997 bis 1999) traten im Mai und Juni Spätfröste auf. Das extremste Ereignis fand am 3.6. 97 mit -4°C statt. In Folge dessen zeigten 70% aller Kulturgehölze von *Quercus robur* und *Fraxinus excelsior* starke Frostschäden, bedingt durch die Pflanzung auf der Freifläche. Daran schlossen Folgeschäden durch blattfressende Insekten und Mehltau an. Das Regenerationsvermögen dieser Arten durch Johannistrieb (bei *Quercus robur*), Zurücksetzen und Minimieren der Biomasseproduktion basierte auf einer guten Nährstoffversorgung, ausbleibender Sommertrockenheit und einem damit einhergehenden, optimalen Primärstoffwechsel (PATZ und KÄTZEL 1998).

#### 4.3.7 Genetische Variabilität von *Quercus robur*

##### The Genetic Variety of *Quercus robur*

Ziel der Untersuchungen war die vergleichende Bewertung des genetischen Anpassungspotentials der künstlich und natürlich begründeten Bestände. Dazu wurde die genetische Struktur der Populationen anhand von Isoenzymen charakterisiert.

Unter diesen Voraussetzungen wurden im Januar 1999 339 Eichen beprobt (Entnahme von Winterruheknospen aus jeweils vier Parzellen, die als eigenständige Populationen betrachtet wurden). Die Übersicht ist in Tabelle 6 dargestellt. Die Auswahl der Bäume erfolgte so, daß alle Vitalitätsgruppen sowie alle Testgehölze *Quercus robur* auf den Flächen T1 – T7 enthalten waren.

Tabelle 6: Übersicht über die beprobten Testflächen und Zuordnung der Populationen

Table 6: Survey about Test Areas and Populations

In die Analyse wurden zunächst 13 Isoenzyme einbezogen, von denen 10 polymorphe Genorte bei der Auswertung berücksichtigt werden konnten. Es wurden Stärkegelelektrophoresen verwendet (HERTEL 1997).

In Tabelle 7 sind Kenngrößen der genetischen Struktur dargestellt.

Trotz des unterschiedlichen Bestandesalters (Bestandesgeschichte, Selektionsereignisse) stimmen die einzelnen Populationen in der durchschnittlichen Anzahl der Allele pro Genlocus sehr gut überein, wobei die Population 4, die aus natürlicher Sukzession hervorgegangen ist, die höchste Allelanzahl aufweist.

Allgemein gilt der beobachtete Heterozygotiegrad als ein Maß für die mögliche Anpassungen an sich ändernde Umweltbedingungen der jeweiligen Population. Der Anteil an heterozygoten Allelkombinationen ist in dem Altbestand und der Sukzession deutlich höher als in den künstlich begründeten Populationen.

Die Genpooldiversität (mittlere effektive Anzahl der Allele) ist der harmonische Mittelwert der Einzellocus-Diversitäten. Dieser Parameter berücksichtigt die Häufigkeiten von Allelen, d.h. der Verlust seltener Allele wird gering gewichtet.

Die Multilocusdiversität ist ein Maß für die Kombinationsmöglichkeiten der Allele in der künftigen (natürlich begründeten) Waldgeneration. Auf Grund der Art der Berechnung dieses Diversitätsmaßes (Produkt der Diversitäten an jedem Genort) werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Populationen besonders deutlich. Der Altbestand und die aus Sukzession hervorgegangene Population enthält das umfangreichste genetische Potential für die künftige Generation.

Tabelle 7: Vergleich der vier untersuchten Eichen-Populationen hinsichtlich ihrer Diversitätsmaße

Table 7: Comparison of the investigated Oak Populations in case of there genetic Diversity

#### **4.4 Prognose der Auwaldentwicklung**

The Prediction of Development of Wood in the Meadow

##### **4.4.1 Grundgesamtheit der Vegetations- und Gehölzbeobachtung**

The Totality of Investigation

Im gesamten Untersuchungsraum und in angrenzenden, elbanliegenden Bereichen wurden über die bestehenden Testflächen hinaus Parzellen ausgewählt, auf denen eine Gehölzbesiedlung oder ein Gehölzrückzug ersichtlich in den letzten Jahren stattgefunden hatte (Initialstadien) oder auf denen eine solche Entwicklung wahrscheinlich bevorstand. Eine naturorientierte Entwicklung und deren Ursachen sollten damit dokumentiert werden. Dieser Parzellen (Testflächen) sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Flächen der Vegetationsbeobachtung

Table 8: Areas of Observation of Vegetation

Während des Untersuchungszeitraumes wurden auf jeweils 1000 m<sup>2</sup>-Arealen jeweils im Sommer Vegetationsaufnahmen (Deckungsgrad nach BRAUN BLANQUET 1964) durchgeführt. Zweimal jährlich wurde auf diesen Flächen eine beginnende oder existierende Gehölzentwicklung inventarisiert (Art, Alter, Anzahl, Vitalität, Foto).

Die Areale wurden so gewählt, daß mehrere Pflanzengesellschaften auf einer Fläche vorgefunden werden konnten. Es wurden folgende Ausgangssituationen vorgefunden:

- vegetationslose Uferabschnitte (4),
- Röhrichte (10),
- Rasen, Mähwiesen und Weiden (14),
- Einzelgehölze, Gehölzgruppen, Wald und deren direkter Umgebung (14).

#### 4.4.2 Arbeitsziel

##### The Aim of Investigation

Die Vegetationsprognose erfolgt in zwei Arbeitsschritten.

Abbildung 24: Schema der Arbeitsschritte bis zur Prognose

Figure 24: Pattern for Working-Steps to the Prediction

1. Entsprechend der Szenarien (vergleiche Kapitel 6) wird die Klimaxgesellschaft vorhergesagt. Bei diesem Herangehen bleibt der Zeithorizont, in dem sich die Entwicklung zur Klimaxgesellschaft vollzieht, unberücksichtigt. Voraussetzung dieser Prognose sind die genaue qualitative und quantitative Kenntnis von:

- Standortparametern, die Pflanzengesellschaften gegeneinander abgrenzen und
- das Eintreten (bzw. Über- oder Unterschreiten) dieser Parameter.

2. Über die Betrachtung von Eintrittswahrscheinlichkeiten werden Aussagen ermöglicht, zu den Sukzessionsmechanismen und zu den Zeithorizonte in denen der Klimaxzustand erreicht wird.

Schematisch sind die Eingangsvoraussetzungen und Verknüpfungen, die zu diesen Prognoseergebnissen führen, in Abbildung 24 dargestellt.

#### 4.4.3 Standortparameter und Pflanzengesellschaften

##### The Parameter of Stands and the Existents of Plant-Societies

Die Analyse einer Vielzahl erhobener Parameter ergab einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Pflanzengesellschaften und den Parametern:

- Überstauung (als abgeleitete Größe aus topographischer Höhe und Durchfluß), vergleiche: Lokale Betrachtung der Grundwasserdynamik an Ganglinien in MONTENEGRO et al. 2000 und BLEYL 1999,
- Pflanzenverfügbares Bodenwasser als abgeleitete Größe aus Bodenart, topographischer Höhe und Wassersättigung PATZ et al. 2000.

Darüber hinaus geben andere Parameter (Redoxpotential und Fließgeschwindigkeit) Auskunft über die Abgrenzung spezieller Pflanzengesellschaften

##### **Überstauung**

Die Überstauungstoleranz von Gehölzen in der Aue ist in diesem Projekt und von anderen Autoren SCHAFFRATH 2000, VOLK 2000, SPÄTH 1995, HÜGIN & HENRICHFREISE 1992, DISTER 1988 untersucht worden.

Beispielhaft soll auf die Ergebnisse von POTT et al. (2000) verwiesen werden. Für das Untersuchungsgebiet wurden dabei Überstauungstoleranzen für die Gehölze der Hartholzaue von bis zu 96 Tage / Jahr für *Quercus robur* und bis zu 119 Tage / Jahr für *Ulmus laevis* und für die Gehölze der Weichholzaue von bis zu 165 Tage / Jahr für *Salix viminalis* und bis zu 238 Tage / Jahr für *Salix x rubra* ermittelt. In den Größenordnungen und den Unterschieden zwischen Weich- und Hartholzaue sind sich alle genannten Autoren einig. Allerdings sind die Extremwerte immer an „erwachsenen“ Gehölzen ermittelt worden.

In Abbildung 25 ist die durchschnittliche, minimale und maximale Überstauzeit der vorgefundenen Pflanzenbestände dargestellt. Dieser Abbildung liegen die Vegetationsaufnahmen (Tabelle 8) zugrunde, die den dargestellten Pflanzengesellschaften zugeordnet werden konnten.

10 % der Aufnahmen entstanden im Vorland die anderen hinterdeichs. Die Überstauzeiten wurden aus den Dateien Dauerlinie, Schlüsselkurven und Testflächen (MONTENEGRO, H. und WAWRA, B., Universität Darmstadt, Institut für Wasserbau 1999) ermittelt. Sie stellen die durchschnittliche jährliche Überstauung (berechnet aus den Jahren 1968 – 1999) dar. Für die Hinterdeichsstandorte ist die Überstauung als Grundwasserpotential über Flur definiert.

2

Abbildung 25: Überstauungstoleranz von Pflanzenbeständen

Figure 25: Flooding of Plant-Societies in Days / Year

Es wird deutlich, daß die Weichholzaue und ihre Ersatzgesellschaften bei einer durchschnittlichen jährlichen Überstauung von 150 Tagen liegt und die Hartholzaue und ihre Ersatzgesellschaften bei durchschnittlich 50 Tagen im Jahr. Dieses Ergebnis stimmt vollkommen mit POTT et al. (2000) überein.

Den Übergangsbereich beherrscht bei dieser Betrachtung das Schilfröhricht.

Auffallend sind dessen weite Schwankungsbreiten. Schilfröhricht überdauert Trockenjahre mit fast keiner Überstauung ebenso wie 195 Tage Überstauung. Es wurde sowohl vordeichs als auch hinterdeichs angetroffen. Offensichtlich bedarf ein etabliertes Schilfröhricht zu seiner Existenz nur des Grundwasseranschlusses im Wurzelbereich. Auch bei Schwankungen des Elbepegels zwischen Hoch- und Niedrigwasser von 4 m (MONTENEGRO et al. 1999) ist diese Voraussetzung erfüllt. Weite Toleranzen weisen auch Weidengebüsche (*Salicetum albae* / *Salivetum triandro – viminalis*) und Knickfuchsschwanzrasen (*Ranunculo – Alopecuretum geniculati*) auf. Die Differenz der mittleren Überstauung innerhalb der Weichholzaunen-Ersatzgesellschaften Wasserschwaden-Röhricht (*Glycerietum maximae*) und Schlankseggen-Ried (*Caricetum gracilis*) einerseits und Rohrglanzgrasröhricht (*Phalaridetum arundinaceae*) und Knickfuchsschwanzrasen (*Ranunculo – Alopecuretum geniculati*) andererseits ist nutzungsbedingt. Die genutzten Bestände finden sich auf durchschnittlich kürzer überstauten Flächen.

Die Hartholzaue und ihre Ersatzgesellschaften kommen auch ohne Überstauung aus. Die Gehölzbestände haben auch ohne Überstauung Grundwasseranschluß und die Rasengesellschaften überdauern Trockenzeiten ebenso wie 80 Tage Überflutung im Jahr.

Mit Hilfe dieser Betrachtung kann eine Prognose zur Verteilung der Klimaxgesellschaften Weichholzaue und Hartholzaue abgegeben werden. Dies ist für alle Szenarien der Rückdeichung erfolgt (POTT et al. 2000). Die Zonierung lehnt sich relativ eng an die topographische Höhe an. Im tiefstgelegenen Bereich des Untersuchungsgebietes wird Weichholzaue vorhergesagt. Daran schließt sich im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes ein ausgedehnter Übergangsbereich zwischen Hart- und Weichholzaue an. Die hohen Bereiche direkt an der Elbe und im Osten des Untersuchungsgebietes sind der Hartholzaue vorbehalten.

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den baumphysiologischen Untersuchungen und einer Betrachtung von Entwicklungsabläufen soll das Erreichen dieses Zustandes näher beschrieben werden.

### **Bodenwasserpotential**

In den Abschnitten 4.2.2 bis 4.2.4 wurde der Zusammenhang zwischen den Wasserpotentialen im Boden, im Gehölz und in der Atmosphäre betrachtet. Es konnte gezeigt werden, daß die Veränderung dieser Potentiale im Verhältnis zueinander steht, während sich die absoluten Potentialgrößen um die Faktoren 10 bzw. 100 unterscheiden. Darüber hinaus wurden artdifferenzierte Reaktionsmuster (Optimisten und Pessimisten) festgestellt. Zur Abgrenzung der Standorteignung einzelner

Gehölzarten und –alter wird nun die Bodenart d.h. ihr Einfluß auf das pflanzenverfügbare Bodenwasser (vergleiche Abbildung 2) in die Betrachtung einbezogen

In die Tabelle 9 sind Messungen aus den Kampagnen August 1997 (trocken) und dem Frühjahr 1999 (feucht) eingegangen. Es wurden junge und etablierte Gehölze, vor- und hinterdeichs sowie sandigere und tonigere Wurzelräume gleichermaßen berücksichtigt (vergleiche auch Abbildung 4 a und 4 b).

Tabelle 9: Wasserpotential in Gehölzen und im Boden

Table 9: The Water Potential in Trees and in Soil

Bei gleichem durchschnittlichen Wasserpotential im Boden weisen die Gehölze artdifferenzierte Wasserpotentiale auf (vergleiche Abschnitt 4.2). Differenzen treten erst bei einer Extremwertbetrachtung auf. Das Wasserpotential in den Gehölzen reagiert empfindlich auf das Absinken des Potentials im Boden. Auf Standorten, die Potentiale unter - 0,03 MPa aufwiesen, traten keine Gehölze der Weichholzaue auf.

Die Extremwerte wurden ausschließlich von jungen Gehölzen (beispielhaft vergleiche Abbildung 5) auf relativ tonigem Standort erreicht (SCHWARTZ 2001).

Ein Tonanteil im Oberboden von mehr als 35 % läßt das pflanzenverfügbare Bodenwasser in Trockenperioden für Gehölze vom Typ Optimisten (vergleiche Abschnitt 4.2) ohne Wurzelanschluß an das Grundwasser zum Mangelfaktor werden. Dies trifft auf alle jungen Gehölze zu. Bei diesen Bodenverhältnissen (z: B. T4 = Oberholz) sind die mehr Trockenheit ertragenden Gehölze den anderen Überlegen, besonders in der Etablierungsphase. Die maximalen Überstauzeiten von 100 Tagen im Jahr für die Hartholzaue bzw. von 55 Tagen im Jahr für den Eichen Hainbuchen- Wald (auch bei 115 Tagen im Jahr für den Queckenrasen) gehen mit schweren (tonigen) Bodenverhältnissen einher. Bei dieser Betrachtung wird deutlich, daß Mangel an Bodenwasser die Standorte von Gehölzarten gegenseitig abgrenzt.

#### **andere Parameter**

In verschiedenen Literaturquellen wird das Auftreten von Erlenwald (*Carici elongatae-Alnetum*) (PASSARGE 1953, DÖRING-MEDERAKE 1991, HOFMANN 2001) in der Aue beschrieben. Dieser ist an spezielle Bedingungen gebunden: negatives Redoxpotential wähen eines längeren Zeitraumes innerhalb der Vegetationsperiode verursacht durch stehendes bzw. langsam fließendes Grundwasser und einen relativ hoher Anteil organischen Bodenmaterials.

Ob die Areale der Weichholzaue tatsächlich von Erlen unterbrochen sein werden, kann nur durch zukünftige Beobachtungsprogramme ermittelt werden. Als These kann formuliert werden, daß maximale Fließgeschwindigkeiten unter 3 m / s zusammen in tiefliegenden Senken (im Nordwesten des Untersuchungsraumes) diese Standorteigenschaften aufweisen.

#### 4.4.4 Standortparameter und Gehölzsukzession

##### Stand and Succession of Trees

Die Entwicklung der verschiedenen Stadien von Gehölzsukzession zwischen 1997 und 1999 kann wie folgt beschrieben werden:

##### Uferbereich

Auf der vegetationsfreien Uferzone konnten lokal begrenzte Gehölzansiedlungen von *Salix alba*, *Salix fragilis* und *Salix triandra* festgestellt werden. Außerdem gab es Einzelkeimlinge von *Ulmus laevis* und *Quercus robur*. Im Vergleich zu den anderen Standorten war dieser in Bezug auf das Werden und Vergehen von Gehölzen am meisten dynamisch.

Allen Gehölzansiedlungen war gemeinsam, daß sie jeweils aus einer Art bestanden und das Produkt eines Zufalls waren (wo strandet der Ast, wann sinkt der Wasserspiegel).

Bei sich generativ vermehrenden Arten bestand ein enger räumlicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Keimlinge und potentiellen Samenbäumen. Die Keimlinge waren im Herbst bzw. im folgenden Frühjahr wieder verschwunden. Ausgenommen waren zwei Exemplare, die sich im unmittelbaren räumlichen Schutz älterer Gehölze etablierten. Von den vegetativen Ansiedlungen überlebte eine mehrere Jahre. Der Ansiedlungserfolg von *Ulmus laevis* über einen Zeitraum von 2 Jahren lag im Vergleich zu den Keimlingen bei 2 %, im Vergleich zu den keimfähigen Samen bei 0,04 % (Der Anteil keimfähiger Samen –Grundgesamtheit- wurde durch eine Keimprobe im Frühjahr 1997 und 1998 ermittelt.) Bei der generativen Ansiedlung war die Fallzahl zu gering für eine statistische Auswertung.

Ursachen des Verschwindens von Keimlingen waren: das Sommerhochwasser 1997, Vertrocknen bei schnell sinkendem Elbepegel, Verbiß durch Beweidung und Wild.

##### Röhrichte

Vor- sowie hinterdeichs wurde in Röhrichten selten Gehölzansiedlungen festgestellt. Dagegen hatten sich etablierte Gehölze innerhalb von Röhrichten auf 50 % der Standorte räumlich zurückgezogen oder waren abgestorben.

Eindeutige Ursachen konnten dafür nicht festgestellt werden. Zu vermuten sind der Konkurrenzdruck (Licht) der Röhrichtpflanzen, besonders *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* und *Glyceria maxima* sowie die hohen Wasserschwankungen auf einigen elbnahen Standorten.

### Umgebung etablierter Gehölze / Wald

In unmittelbarer Nachbarschaft älterer Gehölze konnte auf allen Flächen eine Gehölzsukzession beobachtet werden. Die flächenintensivste Besiedelung ging von Aspe aus.

Diese ging aus Wurzelbrut der Randgehölze hervor. Überwiegend kamen die Arten *Populus tremula*, *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Salix aurita*, *Salix cinerea*, *Salix pentandra*, *Salix fragilis* und *Salix triandra* vor.

Bei diesem Ausgangszustand waren die Weidenarten auch in der Lage, in Röhrichte vorzudringen. Voraussetzung war, daß das Röhricht von den Randästen ausgedunkelt war oder durch großflächige Bodenverwundung Offenstellen für die gesamte Vegetationsperiode geschaffen waren.

Auf Bodenverwundungen (durch Schwarzwild, Beweidung, Fahrspuren) kamen auch Gehölze vor, die aus Samen hervorgegangen waren. Diese einzelnen Keimlinge überlebten nicht. Die Ausfallursachen waren Vertrocknen, Beweidung, Verbiß sowie Befahren.

Im Inneren aller geschlossenen Gehölzbestände konnten erfolgreiche Verjüngungen beobachtet werden. Diese gingen in den Weidengebüschen und –beständen (Cumlosen, Lütkenwisch-Fähre, Suhle) von Astabsprüngen aus und in den Eichenwäldern (Elbholz, Eichwald, Fährdamm) und Gebüsch (Fährdamm) von Samen und Wurzelaufläufem. Dabei war das mehrjährige Überleben immer an Verbißschutz, wie Zaun oder dornige Sträucher gebunden.

### Rasen

Auf den Kulturen kamen einige Exemplare *Prunus spinosa* und *Crataegus monogyna* aus Wurzelabrissen vor. Diese Wurzelteile sind durch die Bodenbearbeitung in Vorbereitung der Kulturbegründung verbreitet worden.

Die Aufsandung zwischen Eichwald und Deich (Trockenrasen) wird von einigen Exemplaren *Betula pendula* besiedelt.

Auf den gezäunten Sukzessionsflächen (Grünland) wurden Exemplare von *Crataegus monogyna*, *Rosa canina*, *Ulmus laevis* und *Quercus robur* festgestellt. Im Unterschied zu den Standorten „bearbeitete Kultur“ und „Aufsandung“ sind alle diese Gehölze von 1997 zu 1998 abgestorben. Die Ursachen konnten nicht festgestellt werden.

Die auf den einzelnen Standorten beobachtete Entwicklung läßt sich für Waldstadien wie folgt zusammenfassen:

### **Klimaxstadien**

Die Gehölze der **Weichholzaue** besiedelten im Untersuchungszeitraum keine neuen Territorien. Diese eingeschränkte Verbreitungskraft liegt vermutlich

- am Konkurrenzdruck auf den Weichholzaue-Standorten durch Röhrichte,
- am Fehlen von Bodenverwundung sowie Stoffein- und Stoffausträgen durch Hochwasser.

Die Gehölze der **Hartholzaue** konnten im Untersuchungszeitraum ebenso keine neuen Territorien besiedeln. Beim Fehlen von Verbiß und Beweidung wäre das Aufkommen von Ulmengruppen vordeichs allerdings wahrscheinlich.

### Vorwaldstadien

Vorwaldgehölze besiedelten Randbereiche bestehender Gehölze recht effektiv. Auf den potentiellen Standorten der Hartholzaue unterschied sich die Sukzession nach Tongehalt des Oberbodens. Während auf Flächen mit geringerem Tongehalt die Aspen-Sukzession dominierte (in einem Jahr 2 m vorrückte), kamen auf Flächen mit höherem Tongehalt Schlehe und Weißdorn vor.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich die Sukzessionsmodelle (Abbildung 26) ableiten. Die unterschiedlichen Schraffuren stehen für Faktoren, die die Bewaldung hemmen. Die unterschiedliche Stärke der Entwicklungslinien weist auf den Erfolg der entsprechenden Übergänge im Untersuchungsraum hin (dicke Linie = erfolgreich, dünner Linie = erfolglos).

Abbildung 26: Sukzessionskreisläufe (schematisch) der Hartholzaue (links) und der Weichholzaue (rechts)

Figure 26: The Circle of Succession for Woods in Meadow-Areas

Die Waldentwicklung auf bewaldeten Flächen kann unter den gegebenen Standortbedingungen des Untersuchungsraumes als nachhaltig angesehen werden. Trotz bzw. wegen Überstauung, Bodenaustrocknung, Verbiß, Lichtkonkurrenz u.a.m. erfolgt eine permanente generative und vegetative Vermehrung von Gehölzen am Ort. Das Überleben der einzelnen Gehölze ist vom Zusammentreffen verschiedener Parameter abhängig. Nach der Keimungs- und Anwuchsphase ist die Überlebenswahrscheinlichkeit um so größer, je mehr Individuen im gleichen Entwicklungsstadium existieren. So entstehen recht homogene Gehölzstrukturen in der Gebüsch- und Aufbauphase (Mosaikzyklen):

- Artreiner Weidenaufwuchs im Elbufer-Bereich aus *Salix fragilis*, *Salix x rubra*,
- Gebüschstadien unter aufgelichteten Eichen-Altbeständen aus *Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina* und *Rhamnus cathartica* im Eichwald, im Elbholz, im Fährdamm.

Bei der Waldentwicklung auf Freiflächen sind drei Ausgangszustände zu unterscheiden:

1. dichte Vegetation (Rasen, Röhricht), die den Bodenkontakt des Samens / des Astes verhindern und für Gehölzkeimlinge / bewurzelte Äste eine starke Konkurrenz um Licht und Wasser darstellen,
2. Randbereiche von bestehenden Gehölzen, in denen diese Wind- und Strahlungsschutz bieten und in denen die Bodenvegetation durch Randäste ausgedunkelt ist (Deckungsgrade unter 70 %),

3. Rohboden entstanden aus: Bodenverwundung durch Befahren oder Schwarzwild sowie Überstauung.

Im ersten Fall hat der / haben die Keimlinge mit besonders vielen Widrigkeiten um ihr Überleben zu kämpfen. Allerdings reicht in allen Fällen z.B. der Faktor Wild oder Bodenaustrocknung, um eine Gehölzentwicklung auf der Freifläche zu verhindern. Da das Auftreten dieser Faktoren nur anhand ihrer Periodizität in der Vergangenheit abgeschätzt werden kann, sollen Eintrittswahrscheinlichkeiten für gehölzschädigende Extremwerte betrachtet werden.

Dabei wird ihre Eintrittswahrscheinlichkeit als Jährlichkeit angegeben. 1 % ist als ein Ereignis in 100 Jahren zu verstehen, 5% als ein Ereignis in 20 Jahren und 50 % als ein Ereignis in jedem 2. Jahr. Diese Angaben basieren auf dem Eintreten des Ereignisses zu einem gehölzschädigenden Zeitpunkt oder mit gehölzschädigender Intensität.

Aufgrund der Kopplung des Zeitraumes in dem das Schadereignis auftreten kann mit dem Zeitraum in dem es das Gehölz schädigen kann, ist das Reziproke der Prozentangabe in Tabelle 10 auch direkte als jährliche Überlebenswahrscheinlichkeiten abzulesen.

Tabelle 10: Eintrittswahrscheinlichkeiten für gehölzschädigende Standortzustände

Table 10: The Probability of taking place tree-damaging State of Stand

Die das Überleben von Gehölzkeimlingen und Jungpflanzen verhindernden Faktoren (Tabelle 10) geordnet nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit stellen sich, jeder isoliert betrachtet, wie folgt dar:

- |   |   |                                   |
|---|---|-----------------------------------|
| • Intakte Röhrlichtstandorte                  | - | Bewaldung unwahrscheinlich,       |
| • Wildverbiß im gesamten Untersuchungsraum    | - | Bewaldung unwahrscheinlich,       |
| • Bodenaustrocknung im Weichholzaunen-Bereich | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 50%, |
| • Überstauung während der Vegetationsperiode  | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 60%, |
| • Bodenaustrocknung im Hartholzaunen-Bereich  | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 75%, |
| • Spätfrost                                   | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 85 % |
| • Blattfressende Insekten und Mäusefraß       | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 95%  |
| • Eisgang                                     | - | Überlebenswahrscheinlichkeit 93%  |

Diese Zusammenstellung ermittelt die potentielle Wahrscheinlichkeit des individuellen Überleben eines natürlich angekommenen Gehölzkeimlings oder eines Junggehölzes.

Die reale Wahrscheinlichkeit, besser Unwahrscheinlichkeit, ergibt sich aus der Multiplikation der relevanten Überlebenschancen. Für das Heranwachsen eines Eichenkeimlings zu einem dreijährigen Gehölz ist folgende Überlegung anzustellen:

Bodenaustrocknung \* Überstauung \* Blattfressende Insekten/Mäuse \* Eisgang = beträgt im ersten Jahr im Zaun ca. 40 % (ohne die alles Vernichtende Aussicht auf Verbiß). Im dritten Jahr ergibt sich

daraus eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,8 % im austrocknenden Wurzelraum oder von 2 %, wenn die Wurzeln in eine besser wasserversorgte Bodenschicht eingewachsen sind, dies alles unter der Annahme fehlenden Verbisses.

Unter der Annahme, daß die gehölzschädigenden Standortzustände unabhängig voneinander sind und zukünftig mit vergleichbarer Frequenz auftreten wie in der Vergangenheit, kann eine erfolgreiche Eichensukzession im Hartholzauen-Bereich alle 50 bis 125 Jahre erwartet werden.

Unberücksichtigt blieb dabei die Tatsache, daß die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer ausreichenden Anzahl keimfähiger Eicheln ca. 20 % beträgt (Mast alle 4 – 6 Jahre).

Daraus läßt sich schlußfolgern:

- Forstliche Begründung von Gehölzbeständen ist mehr als die Beschleunigung von Wiederbewaldung, da mit dem gezielten Ausschluß hindernder Faktoren und mit der Berücksichtigung der spezifischen Standortanforderungen ein tatsächlicher Synergieeffekt erzielt wird.
- Die natürliche Wiederbewaldung erfolgt über Vorwaldgehölze, die extreme, Klimaxgehölze schädigende Standortzustände überstehen.
- Die natürliche Wiederbewaldung wird durch das Zusammentreffen der Faktoren beschleunigt, die die Sukzession und das Überleben von Gehölzen positiv beeinflussen.

#### 4.4.5 Prognose der Gehölzausbreitung

##### Forecast of Tree-Settlement

##### **Szenario 1**

Die natürliche Bewaldung im Hartholzauen-Areal geht von vorhandenen Gehölzbeständen im Hartholzauen-Areal aus. Die Besiedlung erfolgt durch Wurzeläusläufer im Randbereich. Besonders wirksam sind hierbei dornige Sträucher (*Prunus spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Rosa canina* und *Rubus*-Arten), da diese u.U. weniger verbissen werden. Unter Berücksichtigung des Ausgangszustandes findet diese natürliche Gehölzbesiedlung zwischen und auf den Flächen Oberholz, Drei Eichen und Kleine Rüterdrift, im Randbereich des Fährdammes und nördlich des Eichwaldes statt. Diese Entwicklung wird um so raumgreifender vor sich gehen, als Sommerhochwässer (deren Qualmwasser zur Überstauung dieser Flächen führen) ausbleiben und der Verbiß (Wildbesatz) eingeschränkt werden kann. Im Schutz der Gebüsche können sich Bäume etablieren und überleben (*Quercus robur*, *Ulmus laevis*, *Fraxinus excelsior*). In dieser Situation reduziert sich die Eintrittswahrscheinlichkeit der oben beschriebenen gehölzschädigenden Faktoren Verbiß, Bodenaustrocknung und Spätfrost durch den Schutz der Sträucher. Damit ist auch die Wirkung der angelegten Kulturen beschrieben. In ihrem Schutz und an ihren Rändern greift die natürliche Bewaldung Raum. Darüber hinaus sind sie bzw. werden sie Samenlieferanten.

Der Faktor Konkurrenz durch Röhrichte spielt eine marginale Rolle, da die beschriebene Ausbreitung von Gehölzen überwiegend auf topographisch hoch gelegenen Standorten (Rasen- und Wiesen) stattfindet.

Unter der Annahmen, daß auf diesen Flächen eine äußerst extensive Beweidung stattfindet, können innerhalb von 20 – 30 Jahren die genannten Areale, ca. 90 - 120 ha, dicht mit Büschen und locker mit Bäumen besiedelt sein.

Die natürliche Bewaldung kann durch flächiger Bodenverwundung (z.B. durch Deichbaumaßnahmen) beschleunigt werden. In dieser Situation ist die Konkurrenz um Licht und Wasser im ersten Jahr ausgeschaltet und in den folgenden geringer als aktuell. Unter dieser Bedingung ist die Überlebenswahrscheinlichkeit für Initialstadien der Gehölzbesiedlung (hervorgegangen aus dem Reservoir an Vermehrungsgut: Samen, Wurzelausläufer und Astabbrüche) in vormals intakten und konkurrenzstarken Pflanzengesellschaften relativ hoch.

Auf den topographisch niedrigen Standorten werden Weiden (*Salix x rubra*, *Salix, fragilis*, *Salix aurita*), Pappeln und Ulmen keimen und im ersten Jahr einen dichten Rasen von Keimpflanzen bilden. Ihr Überleben hängt vom Ausbleiben von Trockenperioden und längeren Überstauungen während der Vegetationsperiode ab. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist statistisch in jedem dritten Jahr gegeben. Die Gefährdung durch Verbiß (bei äußerst extensiven Beweidung und geringerem Wilddruck als aktuell) ist auf Grund des großen Angebotes wesentlich geringer als bei Einzelgehölzen. Die Konkurrenz durch Röhricht ist temporär ausgeschlossen. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren können sich auf ca. 20 – 30 % der Offenfläche junge Gehölzbestände etablieren, auch auf Röhrichtstandorten. Ein Beispiel dafür lieferte im Untersuchungszeitraum die Senke auf der Fläche T4 – Oberholz. Die starke Bodenverwundung im Zusammenhang mit der Kulturbegründung auf dieser Fläche führte in den darauffolgenden Jahren um die Senke zu einer starken Weidensukzession (aus Astabbrüchen und Stubben), die sich im Röhricht etablieren konnte.

Allerdings ist die Überlebenswahrscheinlichkeit dieser Bestände gering, so daß nach 20 oder 30 Jahren Gehölzgruppen oder Einzelgehölze daraus hervorgehen. Ereignen sich mehrere Offensituationen innerhalb dieses Zeitraumes können die verbliebenen Gehölze Initialareale für eine weitere Gehölzbesiedlung darstellen (Schatten, Windruhe, Reduktion der Fließgeschwindigkeit usw.). Es ist auch vorstellbar, daß sich immer weiter auflösende Gehölzbestände auf Grund von Röhrichtkonkurrenz und Verbiß verschwinden.

Auf den topographisch höher liegenden Standorten verläuft die Bewaldung entsprechend der Stadien, die im vorherigen Abschnitt beschrieben wurden. Hier hängt der Erfolg wesentlich vom Ausbleiben extremer Trockenperioden innerhalb der Vegetationsperiode in den ersten 3 Jahre ab. Die Überlebenswahrscheinlichkeit dafür beträgt über 40 %. Wenn man davon ausgeht, daß eine Offensituation über mehrere Jahre erhalten bleibt, steigt die Besiedlungswahrscheinlichkeit über 50

%. Relativ höher ist sie auf Flächen mit einem geringen Tonanteil im Oberboden (vergleiche 4.4.3). Eine flächige Gehölzbesiedlung ist unter dieser Annahme schon nach 10 bis 15 Jahren zu erwarten und wird von weniger tonigen zu den tonigen Standorten verlaufen.

### **Szenario 3**

Im Unterschied zum Istzustand ändern sich folgende Standortparameter:

- Wasserstandsschwankungen in den Flutrinne entsprechend Elbepegel (MONTENEGRO et al. 2000),
- Überstauung und Überflutung zeitverzögert entsprechend Elbepegel (BLEYEL 2001),
- Stoffeintrag und Stoffaustrag,
- Wassererosion, Sedimentation.

Für die Gehölzbesiedlung wird der Standort damit reicher an Extremsituationen (Überflutung und Bodenaustrocknung). Diese extremen, auetypischen Schwankungen des Wasserstandes und damit des pflanzenverfügbaren Bodenwassers treten auf 20 % der Rückdeichungsfläche, an den Rändern der Flutrinnen, in extremer Ausprägung auf. Diese Standorte sind dem Schilfröhricht (Abbildung 20) vorbehalten.

Daneben entwickeln sich größere temporäre Gewässer auf den topographisch niedrigeren Flächen im Nordwesten des Untersuchungsraumes. Dies sind Vorzugsareale für Röhrichte und Erlenwälder. Die potentiellen Hartholzauen-Areale im Südosten des Untersuchungsraumes (vergleiche Szenario 1) werden durch die Flutrinnen von Wasserflächen, Weichholzflächen und Übergangsflächen durchschnitten. Ihre Ausdehnung richtet sich nach der Ausformung der Flutrinnen.

Das unter Szenario 1 beschriebene Prinzip der Wiederbewaldung behält auch unter diesen Standortbedingungen seine Gültigkeit. Allerdings ist die Vorhersage von Zeithorizonten und Flächen mit größeren Unsicherheiten behaftet. Ein Hochwasser, das Erosionsflächen und Offenflächen hinterläßt, kann die Bewaldung fördern (wenn sich im Nachgang Gehölze ansiedeln und etablieren) oder rückgängig machen (wenn junge Gehölze weggerissen werden oder absterben und sich im Nachgang Röhricht ausbreitet).

Nicht überschwemmungstolerante Pflanzengesellschaften, wie Kleeweiden, Glatthaferwiesen und Queckenrasen werden die labilsten Glieder innerhalb dieser Entwicklung sein. Hier liegt das wahrscheinlichste Flächenpotential für die natürliche Wiederbewaldung, bevorzugt Vorwaldstadien in Form von Gebüsch, die eine Hartholzau-Entwicklung einleiten (vergleiche Szenario 1).

## **LITERATUR**

ANONYMUS (1996): Waldbaurichtlinie für Brandenburg, herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Abteilung Forstwirtschaft, Potsdam

- BLEYEL, B. (2001): Zweidimensionales hydraulisch – numerisches Modell –Lenzen, unveröffentlichter Teilbericht im Forschungsprojekt „Maßnahmen im Elbevorland“, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- BRAUN BLANQUET, J.(1964): Pflanzensoziologie, 3. Auflage, Springer-Verlag, Wien
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (1998): Eisgangstatistik zwischen Pegel Wittenberge und Pegel Lenzen von 1963 bis 1997
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1999): Niederschlagsdaten und Temperaturdaten der Klimastationen Lenzen und Wittenberge
- DISTER; E. (1988): Ökologie der mitteleuropäischen Auwälder, in: Die Auwälder, herausgegeben von der Wilhelm-Münker-Stiftung;
- DÖRING-MEDERAKE, U. (1991): Feuchtwälder im nordwestdeutschen Tiefland, Scripta Geobotanica 19, Göttingen
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze, Stuttgart, Ulmer Verlag
- EHLERS, W. (1991): Göttinger Untersuchungen zum Transpirationskoeffizienten des Hafers, in: W.BÖHM (Hrsg.): Ziele und Wege der Forschung im Pflanzenbau, Triade-Verlag Göttingen, 55-74
- GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL,R.L. (1985): Physiology of crop plants, The Iowa state university press, Ames.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; BAKER, N.R. (1989): The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence, Bichem. Biophys. Acta: 990, 87 – 92
- GRÄFE, U.; BEINLICH, A. (1999): Bodenbiozönose als Ausdruck standörtlicher Bedingungen in der Elbtalaue, Auenreport, 5: Sonderband 1, 88 - 95
- GRÖNGRÖFT, A. (1998) Überstauwahrscheinlichkeit des Rückdeichungsgebietes Lenzen-Wustrow, Auswertung einer 10jährigen Meßreihe des Pegels Lenzen, unveröffentlicht
- HERTEL, H. (1997): Biochemisch-genetische Untersuchungen bei der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) - Anleitung zur Trennmethodik und Auswertung der Zymogramme. Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg.
- HILLEL, D. (1980): Applications of soil physics, Acedemic Press, New York
- HOFMANN, G.: (2001): Der Silberweiden – Auwald des unteren Odertales, in: Silberweide - ein Baum mit vielen Facetten, Tagungsbericht herausgegeben von der Landesforstanstalt Eberswalde
- HÜGIN, G.; Henrichfreise A. (1992): Naturschutzbewertung der Badischen Oberrheinaue, Vegetation und Wasserhaushalt der rheinnahen Waldes, Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Schriftenreihe für Vegetationskunde 24, Bonn – Bad Godesberg
- KRAMER, P.J. (1949): Plant and soil water relationship, McGraw-Hill, New York

- KRAMER, P.J. (1983): Water relations of plants, Academic Press, New York
- LANGE, O.L.; KAPPEN, L.; SCHULZE, E.D. (1976): Water and plant life, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen, 5. Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart
- MIEHLICH, G.; GRÖNGRÖFT, A.; SCHWARTZ, R. (1999): Auenregeneration durch Deichrückverlegung, Teilprojekt Wasser- und Stoffhaushalt der Böden, Sachstandsbericht des Institutes für Bodenkunde der Universität Hamburg
- MONTENEGRO, H.; HOLFELDER, T.; WAWRA, B. (2000): Auenregeneration durch Deichrückverlegung, Endbericht, Teilprojekt Grundwasser, Darmstadt;
- MONTENEGRO, H.; HOLFELDER, T.; WAWRA, B. (1999): Modellierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser in Flußauen; in: FRIESE, K.; MIEHLICH, G.; RODE, M.; WITTER, B. (Hrsg.): Eigenschaften und Stoffhaushalt von Auen-Ökosystemen, Springer-Verlag, Berlin
- MONTENEGRO, H.; HOLFELDER, T.; WAWRA, B. (1999): Auenregeneration durch Deichrückverlegung, Untersuchung der Auswirkung wasserbaulicher Eingriffe auf die Grundwasserdynamik von Flußauen, Sachstandsbericht der Institutes für Wasserbau der Universität Darmstadt
- PASSARGE, H. (1953): Waldgesellschaften des mitteldeutschen Trockengebietes, 2. Fortsetzung, Archiv für Forstwesen, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, 2:340 -383
- PATZ, G. (1998) Die Rückkehr der Auwälder, Brandenburgische Forstnachrichten 74(7)
- PATZ, G.; KÄTZEL, R. (1998): Wiederbewaldung der Elbtalaue in Brandenburg, Forst und Holz, 53: Heft 13, Alfeld – Hannover
- PATZ, G.; KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S. (1999a): Auwaldregeneration durch Deichrückverlegung, Teilprojekt Forstwissenschaften, Sachstandsbericht der Forstlichen Forschungsanstalt Eberswalde
- PATZ, G.; LÖFFLER, S.; KÄTZEL, R. (1999b): Auwaldbegründung und Auwaldentwicklung in der Lenzener Elbtalaue, Auenreport, 5: Sonderband 1, 69 – 77
- POTT, R. (2000): Vegetationskundliche Untersuchungen zu Fluktuation und Sukzession im Auenbereich des potentiellen Rückdeichungsgebietes Lenzen-Wustrow (Elbe), Sachstandsbericht im Verbundvorhaben: „Auenregeneration durch Deichrückverlegung“, Hannover
- RAMBAL, S. (1992): *Quercus ilex* facing water stress, a functional equilibrium hypothesis, Vegetation: 99-100, 147-153

- SCHAFFRATH, J. (2000): Auswirkungen des extremen Sommerhochwassers des Jahres 1997 auf die Gehölzvegetation in der Oderaue bei Frankfurt (O), Beiträge für Naturschutz und Landschaftspflege, Potsdam;
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTEET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. (1965): Sap pressure in vascular plants, Science 148, 339 – 346
- SCHWARTZ, R. (2001): Die Böden der Elbtalaue bei Lenzen und ihre Veränderungen bei Rückdeichung, Dissertation am Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, Manuskript
- SLAVIKOVA, J. (1965): Die maximale Wurzelsaugkraft als ökologischer Faktor, Preslia (Praha) 37:419 – 428
- SPÄTH, V. (1988): Zur Hochwassertoleranz von Auwaldbäumen, Natur und Landschaft, 63 (7/8)312-315
- TÖRNE, E.v. (1990): Schätzung der Freßaktivität bodenlebender Tiere, II. Mini-Köder-Test, Pedobiologia 34, 89-101.
- VOLK, H. (1999): Beiträge zur Naturnähebeurteilung von Baumarten und Wäldern der Rheinaue, Berichte Freiburger Forstlicher Forschung, Heft 16, herausgegeben von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg;
- WARRIN, R.H.; CLEARY, B.D. (1967): Plant moisture stress: evaluation by pressure bomb, Science 155: 1248 – 1254
- WILKENS, H. (1999): Folgenabschätzung von Auwaldbegründung und Deichrückverlegung auf Biozönosen der Lenzener Elbtalaue mit Hilfe faunistischer Indikatoren, Sachstandsbericht im Verbundvorhaben “Auenregeneration durch Deichrückverlegung“, Hamburg