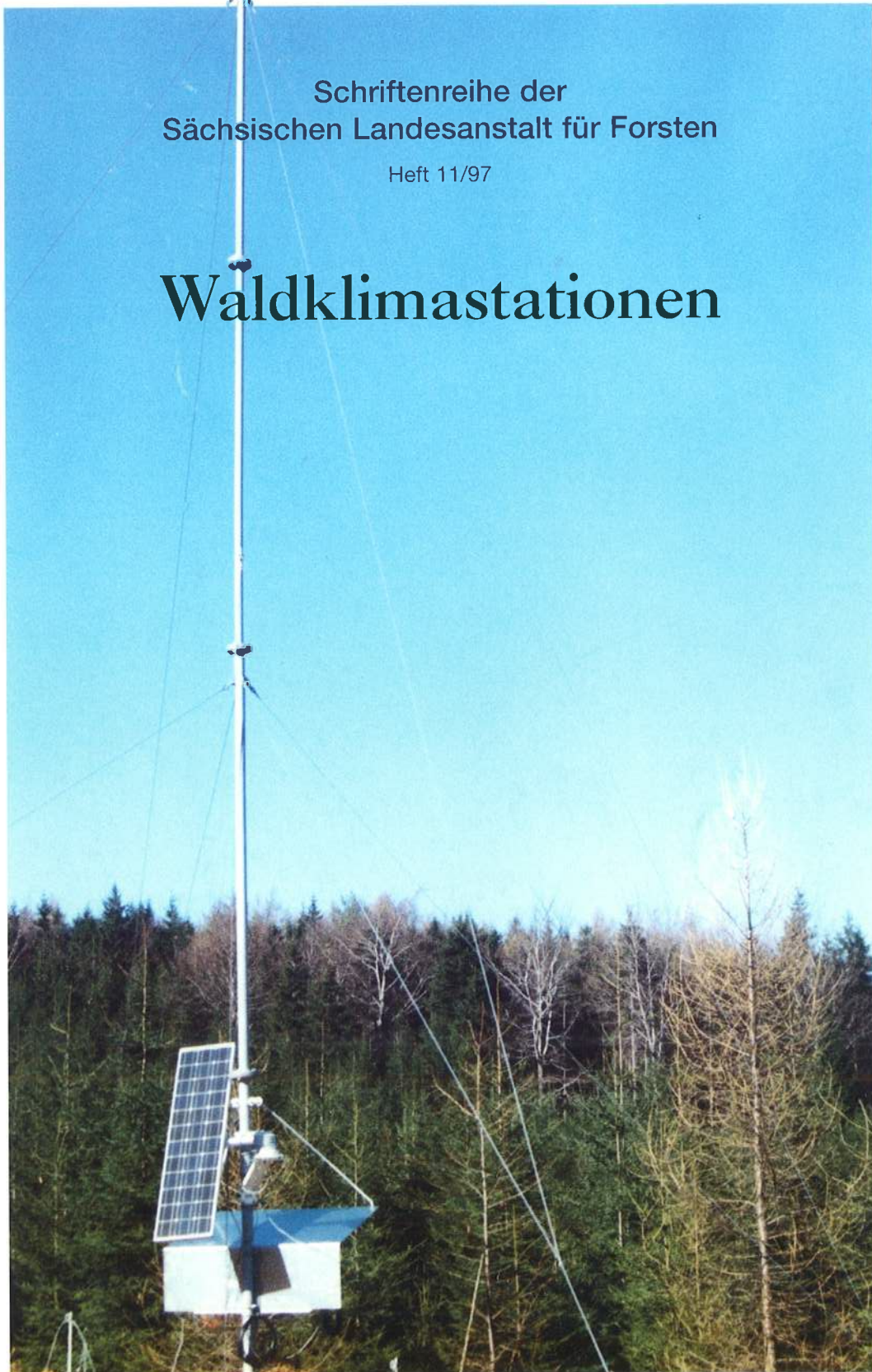


Schriftenreihe der
Sächsischen Landesanstalt für Forsten

Heft 11/97

Waldklimastationen



Freistaat  Sachsen
Sächsische Landesanstalt für Forsten

Inhalt

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Einsatzdefinition der Waldklimastationen | 4 |
| 2.1 | Bestandesmeßstationen | 4 |
| 2.2 | Freilandmeßstationen | 4 |
| 3 | Integration der Waldklimastationen in das Forschungsprogramm der LAF | 5 |
| 3.1 | Waldwachstumskundliche Erhebungen | 5 |
| 3.2 | Bodenkundliche Erhebungen | 6 |
| 4 | Zusammengefaßtes Ziel der Datenerfassung mittels Waldklimastationen | 7 |
| 5 | Technische Umsetzung | 8 |
| 5.1 | Zielorientiertes Sensorkonzept | 8 |
| 5.2 | Meteorologie-Sensoren | 10 |
| 5.3 | Sensoren zur Erfassung der Strahlungsdynamik in Waldökosystemen | 12 |
| 5.4 | Sensoren zur Erfassung der Bodenfeuchtedynamik in Waldökosystemen | 12 |
| 5.5 | Xylemflußsensoren | 15 |
| 6 | Zielorientierte Differenzierung der Klimastationen | 16 |
| 6.1 | Waldklimastationen in Versuchsflächen zum Waldumbau von Fichtenreinbeständen | 16 |
| 6.2 | Waldklimastationen in Versuchsflächen zum Waldumbau von Kiefernreinbeständen | 18 |
| 6.3 | Freilandmeßstationen der bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen | 20 |
| 6.4 | Systemerweiterungen | 21 |
| 7 | Funktionsprüfung, Datenübernahme, Datenbankmanagement und Datenverarbeitung | 22 |
| 7.1 | Kontrolle und Datenübernahme von Waldklimastationen vor Ort | 22 |
| 7.2 | Datenbankmanagement, Datenverarbeitung und -verwendung | 22 |
| 8 | Ergebnisbeispiele | 24 |
| 8.1 | Klimatologische Zeitreihen | 24 |
| 8.2 | Aufklärung waldökologischer Zusammenhänge | 25 |
| 8.3 | Nachvollziehbarkeit von Schadereignissen | 34 |
| 8.4 | Waldumbauversuche, Waldklimastationen und prozeßorientierte Modellierungen von Waldökosystemen | 35 |
| 9 | Fazit | 38 |
| 10 | Ausblick | 38 |

1 Einleitung

Mit der Gründung der LAF Graupa 1991 begann in Sachsen die Konzipierung eines Systems von Waldklimastationen. Der Einsatz dieser Systeme steht in engem Zusammenhang mit dem Aufbau eines waldbaulichen Versuchsflächennetzes zum Waldumbau und zu den bodenkundlichen Eintragsmeßstellen der LAF.

Die in Sachsen vorherrschenden großflächigen Nadelbaumreinbestände sind zum großen Teil nicht standortgerecht, mit der Folge extremer Instabilität gegenüber oft destruktiv wirkenden Störungen. Eine moderne Forstwirtschaft kann die vielfältigen (multifunktionalen) Anforderungen an den Wald durch eine ökologisch nachhaltige Bewirtschaftung erfüllen. Dies wird jedoch oft nur langfristig und durch den mehr oder weniger aufwendigen Umbau des Waldes, weg vom Nadelbaumreinbestand in einen gemischten Wald, erreichbar sein.

Mit ihrem Waldumbauprogramm hat sich auch die sächsische Forstwirtschaft diesem strategischen Prozeß gestellt, woraus sich die Notwendigkeit ergibt, die unter den jeweiligen Umweltbedingungen ökologisch und ökonomisch günstigsten Formen und Technologien des Waldumbaus zu entwickeln.

Diesem Ziel dient der Aufbau eines standortrepräsentativen Versuchsflächennetzes zum Waldumbau, auf dessen Grundlage für die wichtigsten natürlichen Standorte Sachsens praxiswirksame waldbauliche Empfehlungen zu Fragen

- der Baumartenwahl und Baumartenmischungen,
- der räumlichen und zeitlichen Behandlung des existierenden Nadelbaumoberbestandes,
- der Bodenbearbeitung und Bodensanierung sowie
- der Integration und Förderung natürlich einwandernder Mischbaumarten

abgeleitet werden.

Die Untersuchungsergebnisse sollen zu einem langfristig erfolgreichen Waldumbau beitragen, der die angestrebten Ziele – **Wirtschaftlichkeit und ökologische Nachhaltigkeit** – tatsächlich erreicht.

In Abhängigkeit von Standort, Klima und Bestandesituation werden waldbauliche Behandlung und Baumartenwahl in den Versuchsvarianten unterschiedlich gestaltet.

Um bei begrenzten personellen Kapazitäten dennoch die standörtliche Repräsentanz des Versuchsflächennetzes zu erreichen, erfolgte die Untergliederung der **Versuche in 2 Intensitätsstufen**.

Auf sogenannten Intensivmeßflächen wird die Dynamik der verschiedenen Prozesse in Waldökosystemen, einschließlich deren Beeinflussung durch Bewirtschaftungsmaßnahmen, umfassend untersucht. Um für große Standortbereiche verallgemeinern zu können, validiert man die zur Ökosystemdynamik erkannten Zusammenhänge anhand von Waldumbauversuchen der 2. Kategorie – Extensivmeßflächen – und zwar durch relativ einfache und stichprobenhafte Untersuchungen, die beispielsweise die Wachstumsentwicklung der verschiedenen Baumarten verfolgen. Da die Intensivmeßflächen ähnliche bzw. gleiche waldbauliche Varianten beinhalten, kann man – beispielsweise anhand der Wachstumsentwicklung – nachvollziehen, ob funktionale Zusammenhänge der Ökosystemdynamiken und Prognosen der Waldentwicklung, wie sie aus den Intensivmeßflächen ermittelt wurden, auch für andere Standortbedingungen anwendbar oder adaptierbar sind. Die Voraussetzung zur Ableitung flächendeckender Empfehlungen für Waldumbauvorhaben ist dadurch gegeben.

Im Rahmen dieses umfangreichen Untersuchungsprogramms zum Waldumbau sind für die Aufklärung wichtiger Ökosystemprozesse Kenntnisse über klimatische und standörtliche Umweltdynamiken von grundlegender Bedeutung.

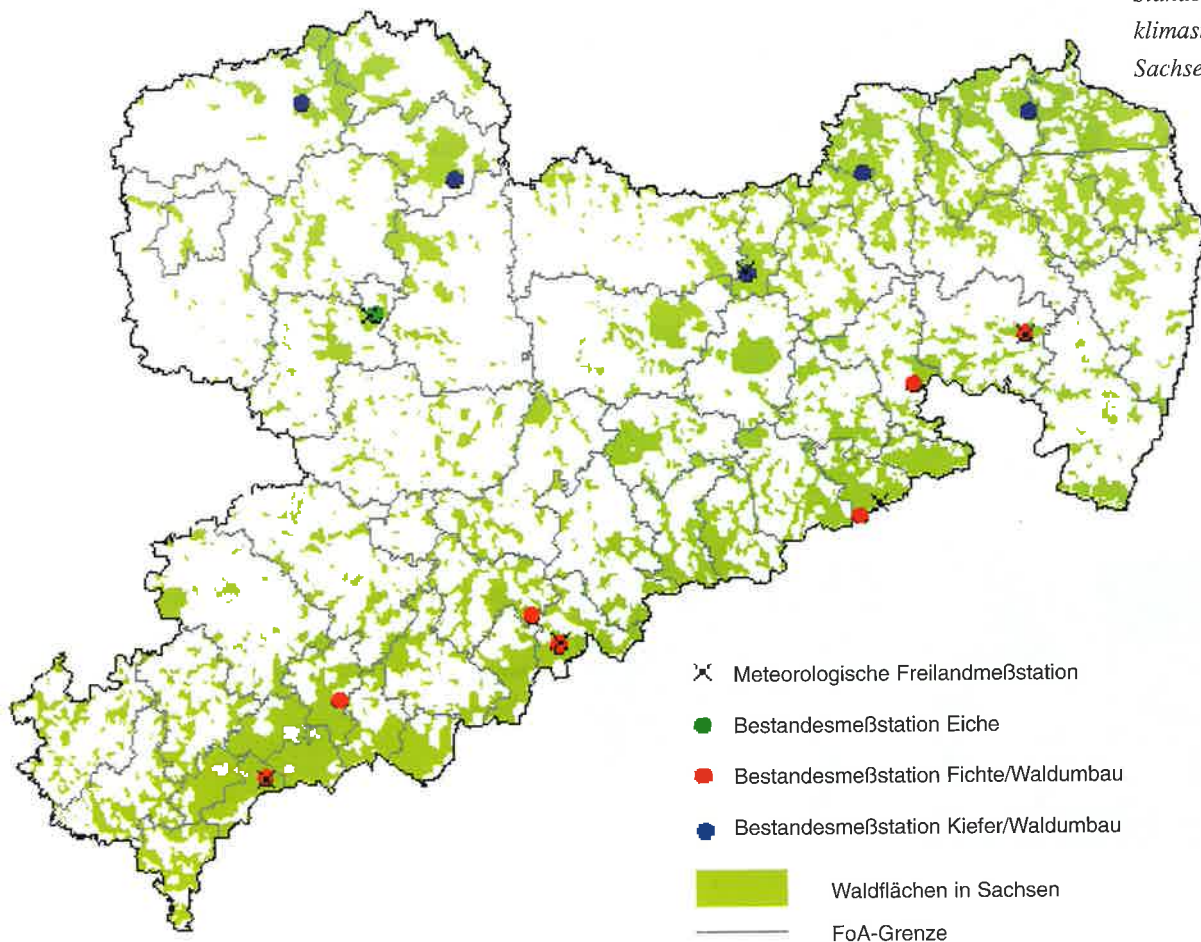
Daher wurden die Intensivmeßflächen mit Bestandesmeßsystemen ausgerüstet, die neben meteorologischen Parametern die Erfassung entscheidender Umweltdynamiken in Waldbeständen, wie Lichtdynamiken und Wasserhaushaltsbilanzen, in Abhängigkeit von den waldbaulichen Behandlungsvarianten erlauben.

Um einerseits die Effekte der Stoffeintrags- und bodenchemischen Dynamik auf die Prozesse in Waldumbauversuchen berücksichtigen zu können und andererseits mögliche Beeinflussungen der Stoffkreisläufe in Waldökosystemen durch Waldumbaumaßnahmen zu belegen, wurden bodenkundliche Dauerbeobachtungsflächen in unmittelbarer Nähe zu Intensivmeßflächen des Waldumbauversuchsfächennetzes angelegt.

Als Bestandteil des europaweiten Programms zum Aufbau eines Systems von Stoffeintrags- und bodenkundlichen Untersuchungen auf permanenten Dauerbeobachtungsflächen im Wald konnte die LAF in Sachsen 6 solcher Flächen einrichten. Auch für die quantitative Beurteilung der Gesamtstoffflüsse in Waldökosystemen müssen auf den Wald einwirkende meteorologische Einflüsse bekannt sein. Aus diesem Grund betreibt die LAF Graupa in der Nähe eines jeden Komplexes von Waldumbau-Intensivmeßfläche und bodenkundlicher Dauerbeobachtungsfläche eine meteorologische Freiflächenmeßstation.

Die automatischen Datenerhebungen der Waldklimastationen dienen folglich der langfristigen Kontrolle der Umweltbedingungen an repräsentativen Standorten, sie sind die Voraussetzung zur Beurteilung gemessener Wachstumsabläufe und bilden darüber hinaus gemeinsam mit anderen Messungen die Basis zur Ableitung von umweltabhängigen Prognosemodellen des Baumwachstums und der Stoffflüsse in Waldökosystemen.

*Abb. 1
Standorte der Waldklimastationen in Sachsen*



2 Einsatzdefinition der Waldklimastationen

2.1 Bestandesmeßstationen

Die Einsatzstandorte sind vorrangig an waldbauliche Intensivmeßflächen (2stufiges Versuchskonzept, siehe Seite 2) gekoppelt, auf denen komplexe



Abb. 2
Bestandesmeßstation

Untersuchungen im Rahmen des Versuchsprogramms zum Waldumbau der LAF durchgeführt werden. Die bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen der LAF befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft. Zur Auswertung der komplexen Einflüsse von Standort, Baumbestand und den verschiedenen waldbaulichen Varianten, erfassen die Meßsysteme neben meteorologischen Faktoren vor allem hochauflösende Daten zur **Lichtdynamik** (PAR = Licht im photosynthetisch aktivem Spektralbereich) und zur **Bodenfeuchtedynamik** in Waldökosystemen, insbesondere in Voranbauten (das sind Baumpflanzungen unter dem Schutz des alten Waldbestandes). Darüber hinaus erfordert die Entwicklung ökologisch orientierter Bewirtschaftungsmethoden gesonderte Untersuchungen zur Abhängigkeit der **mikroklimatischen Dynamik** von Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Oberbestandesbehandlung und Bodenbearbeitung. Erst die Zusammenführung der genannten Komponenten in einer ganzheitlichen Auswertung führt zur Entwicklung wissenschaftlich fundierter Waldbaukonzepte und zur Bewirtschaftung von Ökosystemen als umfassende Einheit.

2.2 Freilandmeßstationen



Abb. 3
Freilandmeßstation

Diese Stationen befinden sich auf einer Freifläche (ohne Waldbestand) in unmittelbarer Nachbarschaft zu den bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen zur Analyse von Stoffeinträgen und Stofftransporten in Waldökosystemen. Sie sollen die meteorologische Situation quasi 'oberhalb' des Bestandes der Eintragsmeßstelle, also ohne den Einfluß des Waldbestandes, charakterisieren. **Durch die Freilandmeßstationen wird u.a. die Datenbasis für das Level II-Programm der EU erhoben.**

3 Integration der Waldklimastation in das Forschungsprogramm der LAF

Um Aussagen über die Wirkung der verschiedenen Umwelteinflüsse auf das Waldwachstum treffen zu können, erfolgen weiterführende biometrische, bodenkundliche und ökophysiologische Untersuchungen – letztere insbesondere an der Waldverjüngung. Ziel ist es, die Wechselwirkungen zwischen Ökotope (Standort, Klima) und der Primärproduktion des Waldökosystems (Pflanzengesellschaften), einschließlich der modifizierenden Wirkung der Bewirtschaftung zu erkennen. Entsprechende Analysen werden innerhalb des Systems der Waldumbauversuche insbesondere auf den Intensivmeßflächen durchgeführt.

3.1 Waldwachstumskundliche Erhebungen

Die 'sichtbaren' Parameter des Baumwachstums, wie Stammdurchmesser in 1,3 m Höhe ($d_{1,3}$), Baumhöhen etc., sowie die Konkurrenzsituation von Einzelbäumen und zwischen den Bestandesschichten, werden in zwei- bis fünfjährigen Intervallen aufgenommen. Ebenso sind Informationen über die produzierte Biomasse der eingebrachten Waldumbaubaumarten und der verschiedenen Arten der Bodenvegetation – beispielsweise für die Validierung von Ökosystemmodellen oder die Ableitung von Nährstoffflüssen in Waldökosystemen – unerlässlich. Die genannten Analysen erfolgen differenziert nach Oberstand, Verjüngung und Bodenvegetation, so daß die Besonderheiten der verschiedenen Straten der Pflanzengesellschaft, einschließlich ihrer gegenseitigen Beeinflussung, berücksichtigt werden. Ökophysiologische Untersuchungen vertiefen die Kenntnisse zur Entwicklung der Waldverjüngung.

Oberbestand über der Waldverjüngung

Der Erfolg oder die Risiken der Waldverjüngung werden vor allem durch die Konkurrenz des Oberbestandes beeinflusst. **Stammzahl und Dichte** (Stammzahl pro Flächeneinheit) sind die einfach-

sten Kriterien um diese Situation zu beurteilen. Auf ausgewählten Flächen ermöglicht die Ermittlung der Baumstandpunkte (Stammkoordinaten), der Kronengrundflächen und des Blattflächenindex' (Blatt- bzw. Nadeldichte pro Bodengrundfläche) eine präzisierete Charakteristik der Konkurrenz zwischen Oberbestand und Verjüngung. Im Zusammenhang mit den genannten Parametern ist die Ermittlung von **Höhe, Kronenlänge und Brusthöhendurchmesser ($d_{1,3}$)** notwendig, um im Oberbestand Aussagen zur Konkurrenz um vertikalen oder horizontalen Wuchsraum aber auch zur Reaktionsfähigkeit des Einzelbaumes bei veränderten Konkurrenzbedingungen zu treffen.

Erst durch Untersuchungen zur Dichte und Verteilung des Feinwurzelsystems der Altbäume im Verhältnis zur Verjüngung und zur Bodenvegetation werden in sich geschlossene Ergebnisse zur Dynamik der Waldbestände (Pflanzengesellschaften) möglich. Kenntnisse zur Situation und Entwicklung der absorbierenden Phytomasse sind für die Einschätzung der Vitalität der Altbäume und der Verjüngung gerade im Zusammenhang mit der Bodenfeuchtedynamik unerlässlich. Feinwurzelverluste an Altbäumen sind zudem der erste Schritt zu Störungen am Stützwurzelsystem, denen Stabilitätsverluste folgen.

Verjüngung unter dem Altbestand

Die Aufnahme der **Pflanzenausfälle** ergibt in Verbindung mit den Umweltbedingungen während der An- und Aufwuchsphase elementare Informationen zu den Risiken für die Waldverjüngung. Waldbauliche Einflüsse, wie Baumarten- und Herkunftswahl, Pflanzenqualität (Sortiment, Sproß-/Wurzelverhältnis, ggf. durchgeführter Wurzelschnitt, physiologischer Zustand), Pflanzplatzvorbereitung und Kulturpflege, können den Einfluß des Oberbestandes, des Standortes und der jeweiligen Witterungsverläufe überprägen. Neben den entsprechenden Einzelinformationen kann erst mit der Kenntnis der Dynamik des Kleinklimas, der Strahlung und der Bodenfeuchte auf dem gegebenen Standort eine Differentialanalyse erfolgen, die eine Wichtung der Wirkung von Bewirtschaftungs- und Umwelteinflüssen auf den Umbauerfolg vornimmt.

Die Entwicklung der **Baumhöhe**, ab einer Höhe der Verjüngung von 3–5 m auch der **Blattflächenindex**, die stichprobenhafte Biomassenermittlung der einzelnen **Baumcompartimente** (Trockengewichte von Nadeln und Blättern, des oberirdischen Holzes und der Wurzel pro Baum), schaffen ähnlich gelagerte aber deutlich verfeinerte Aussagen, die vom prämortalen Bereich der Verjüngung bis zu optimalen Wachstumsbedingungen reichen.

Ökophysiologische Messungen, mit denen die aktuelle Intensität von Stoffwechselprozessen in den Bäumen der Waldverjüngung ermittelt wird, identifizieren und quantifizieren Streßereignisse in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen und der variantenspezifischen waldbaulichen Behandlung.

Periodische und stichprobenweise Messungen der Assimilation und Transpiration der Blattmasse sowie der Respiration der Holzmasse erfolgen nach

den vorherrschenden Umweltbedingungen und zu unterschiedlichen phänologischen Zeitpunkten mehrmals pro Vegetationsperiode. Diese 'sensitiven' Meßmethoden ermöglichen die Ableitung baumartenspezifischer funktioneller Abhängigkeiten der ökophysiologischen Dynamik von Umwelteinflüssen insbesondere in Bezug auf die Licht-(PAR-), Bodenfeuchte-, Temperatur- und Luftfeuchtedynamik.

Die ebenso stichprobenhafte Ermittlung von **Reservestoffgehalten** (Zucker, Stärke) der einzelnen Baumcompartimente führt zu weiteren Kenntnissen über die Vitalität, insbesondere aber über den Reservestoffstatus, d. h. das Reaktions- und Reparationspotential der Verjüngung. Ökophysiologische und Reservestoffdynamiken bilden wichtige Voraussetzungen zur Entwicklung einer prozeßorientierten Modellierung der Verjüngungsentwicklung in Walddumbauvorhaben und damit für eine kausale Beurteilung von Waldökosystemdynamiken.

Um die Rolle der Bodenvegetation in der Dynamik von Waldökosystemen beurteilen zu können, werden in **Vegetationsaufnahmen** das Artenspektrum sowie artbezogene Deckungsgrade und Individuendichten erfaßt. Da die angewendeten Methoden auf Schätzungen beruhen, erfolgt eine Untersetzung durch Biomassenaufnahmen nach Artengruppen (Trockengewichte jeder Artengruppe – Gräser, Kräuter, Gehölze) pro m² Bodenfläche. Aus diesen Erhebungen folgen Schlüsse über die Entwicklung der Konkurrenzverhältnisse zwischen Gehölzverjüngung, Bodenvegetation und Altbestand. Durch die Kopplung der Vegetationsaufnahmen mit den gemessenen Charakteristika des Mikrostandorts (Lichtangebot, Bodenfeuchte, Korngrößenverhältnisse im Boden) sollen regional präzisierete Voraussetzungen geschaffen werden, um die Bodenvegetation als Weiser für praktische waldbauliche Maßnahmen heranzuziehen.

3.2 Bodenkundliche Erhebungen

Bodenkundliche Erhebungen in Walddumbauversuchen

Ziel ist die Beschreibung des chemischen Bodenzustandes und seiner Entwicklung in Abhängigkeit

von den jeweiligen Bewirtschaftungsvarianten (Oberbestandesbehandlung, Bodenbearbeitung, Kalkeinarbeitung). Die Aufnahmen erfolgen nach der standardisierten Methodik der Bodenzustandserhebung (BZE) in 2- bis 5jährigen Intervallen.

Hierbei handelt es sich um eine bundeseinheitliche Untersuchungsmethode für Waldböden, bei der chemische Analysen an Bodenproben aus definierten Tiefenstufen vorgenommen und Gesamtelement- und Humusgehalte pro Hektar Waldboden errechnet werden können. Zur Charakterisierung kurzfristiger bodenchemischer Prozesse dient die Beprobung von Lysimetern auf ausgewählten Versuchsflächen.

Bodenkundliche Eintragsmeßstellen des Level II-Programms der EU

Die Bearbeitung dieser Flächen obliegt der Abteilung Bodenkunde/Waldernährung der LAF. Die

wichtigsten Untersuchungen bestehen hier in periodischen Beprobungen und Analyse der Stoffeinträge sowie der Bodenfest- und Bodenlösungsphase (Bodensickerwasser) nach bundeseinheitlicher Methodik zu chemischen Untersuchungen in Dauerbeobachtungsflächen. Hierbei werden insbesondere die festen und in Wasser gelösten Element- bzw. Ionenkonzentrationen ermittelt – dies sind sowohl Nährelemente als auch Schadstoffe.

Diese Untersuchungen dienen vor allem der Ermittlung von Stoffeintrags-, Stofffluß- und Stoffhaushaltsverhältnissen repräsentativer Waldökosysteme in ihrer zeitlichen Dynamik. Zudem können hierdurch die regional unterschiedlichen Immissions-situationen erfaßt werden.

4 Zusammengefaßtes Ziel der Datenerfassung mittels Waldklimastationen

Die eingesetzten Waldklimastationen sind neben dem langfristigen repräsentativen Monitoring vor allem Teil eines komplexen Untersuchungsprogramms (Kopplung mit anderen Meßmethoden) mit dem Ziel, die Wirkungsgefüge in Waldökosystemen besser zu verstehen und für die praktische Waldbewirtschaftung zu nutzen.

Diese Wirkungsgefüge sind beispielsweise:

- Umweltabhängigkeit der Waldbestandesdynamik (Wachstum und Vitalität)
- Dynamik der Produktivität und Effektivität einzelner waldbaulicher Varianten in Abhängigkeit von Bewirtschaftungseingriffen (Ökosystemmodelle)
- Nährstoff- und H₂O-Dynamiken (Stoffflüsse) in Waldökosystemen
- Rückwirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Standort
- Nachvollziehbarkeit von Umweltveränderungen
- Aufklärung von Waldschadensereignissen

Dies sind Voraussetzungen für quantitativ kausale Managementempfehlungen, die zu hoher ökologischer Stabilität und angestrebter Multifunktionalität von Waldökosystemen führen können.

5 Technische Umsetzung

5.1 Zielorientiertes Sensorkonzept

Auswahl der zu registrierenden Umweltparameter

Da die aufwendige Erfassung von mikroklimatischen Dynamiken vor allem dem Ziel der Aufklärung von Ökosystemzusammenhängen dienen soll, ergab sich die Frage: Welche Daten werden (neben 'Standardwerten' der Meteorologie) tatsächlich für weitere Auswertungen bzw. Analysen benötigt? Zunächst mußte also klar sein, welche Ökosystemdynamiken zu erfassen sind. Für den Erfolg des Waldumbaus ist u. a. die richtige Einschätzung der Konkurrenz des Oberbestandes gegenüber der Waldverjüngung entscheidend oder: Wie muß die Konkurrenz des Oberbestandes reguliert werden, um optimale Bedingungen für die Entwicklung der Verjüngung zu gewährleisten und gleichzeitig seine schützende Funktion durch das gegenüber der Freifläche ausgewogenere Bestandesklima zu wahren.

Unter den wichtigen Umweltgrößen sind Licht, Wärme und Wasserversorgung die Faktoren, deren Beeinflussung durch Bewirtschaftungsmaßnahmen möglich ist. Die Dynamik der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) charakterisiert den Übershirmungseinfluß in Voranbauten, die Bodenfeuchtedaten, die Wirkung von Übershirmung (Interzeptionsverluste), Wurzelkonkurrenz (Wasserentzug durch das Wurzelsystem der Altbäume) und Bodenbearbeitung (Beseitigung konkurrierender Bodenvegetation, ggf. Abtrennung des Feinwurzelsystems der Altbäume vom kleinstandörtlichen Wasserreservoir der Verjüngung).

Damit gehören die PAR- und Bodenfeuchtedynamiken zu den entscheidenden Umweltdynamiken, die für eine ökosystemare Beurteilung von Waldumbaumaßnahmen zwingend erfaßt werden müssen. Bodenfeuchte-, PAR- und Temperaturverläufe bilden zudem ausgezeichnete, aber oft fehlende (!) Hintergrundinformationen für weitere komplexe Auswertungen, wie z.B. Kausalanalysen von abiotischen Schadereignissen oder den Aktivierungsbedingungen für verschiedene biotische Stressoren.

Differenziertheit von Meßgrößen in Raum und Zeit

Je größer die raum-zeitliche Differenzierung einer Umweltgröße wird, um so höher ist auch der Aufwand, durch vermehrte Meßwiederholungen über das Versuchsfeld als auch durch verkürzte Meßzyklen die notwendige Differenziertheit der Ergebnisse zu erreichen, die eine klare Beurteilung der verschiedenen Umweltdynamiken zuläßt. Für die **Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit** sind nur geringe oder keine Differenzierungen im Versuchsfeld zu erwarten. Dementsprechend gering ist die Notwendigkeit aufwendiger Meßwiederholungen und verkürzter Meßzyklen. Bei der **PAR-Strahlung** muß durch den Wechsel des Einfallswinkels des Lichtes und die mehr oder weniger ausgeprägten Unterschiede in der Bestockungsstruktur eine ausgeprägte räumliche und zeitliche Differenzierung berücksichtigt werden. Ähnlich verhält sich die **Bodenfeuchte**, wo unterschiedliche Mikrostandorte und Tiefenstufen zu einer großen räumlichen Differenzierung führen. Andererseits erfordert gerade die Vielfalt des Licht- und Wasserangebots auf der Fläche einen in Raum, Zeit und Bewirtschaftungszielen dynamischen Waldbau, was den erhöhten Meßaufwand auch hinsichtlich der Praxisrelevanz der Versuche rechtfertigt.

Durch das Prinzip der Konzentration und Kombination verschiedener Sensorsysteme in einzelnen Meßfeldern, die repräsentativ für bestimmte Bedingungen sind, den direkten Vergleich bei einer Veränderung durch äußere Einflüsse (z. B. Bodenbearbeitung) ermöglichen und durch gleiche Umweltbedingungen verschiedenartige Messungen einander zuordenbar machen, wurde es trotz der großen Variabilität der natürlichen Bedingungen möglich, den Einfluß der waldbaulichen Behandlungsvarianten auf die Wachstumsbedingungen der Verjüngung zu spezifizieren. So erfolgte grundsätzlich die Kombination von PAR- und Bodenfeuchtemessungen im gleichen Versuchsfeld.

Meßzyklen

Die Entscheidung über die notwendigen Meßzyklen wird zunächst vom Ziel der Datenerhebung, den entsprechenden Auswertungen sowie der zeitlichen Differenziertheit möglicher Meßergebnisse bestimmt. Grundsätzlich sind also **zielorientierte Zeitzyklen** der Datenerfassung zu bestimmen, das heißt, es werden nur wirklich erforderliche Meßdichten erfaßt. In diese Überlegungen sind die technischen Möglichkeiten der Meßsysteme und der Datenhaltung zu integrieren. Die an der LAF realisierten Zyklen reichen von 30-s-Intervallen (bei PAR-Sensoren) bis zu 10-min-Takten für die Registrierung von Bodentemperaturdaten. In jedem Fall werden die Daten im Datenerfassungssystem auf Stundenmittel und/oder Extremwerte vorverdichtet.

Technische Prinzipien beim Sensoreinsatz

Sensorsysteme registrieren die interessierenden Umweltparameter und wandeln diese in eine elektronisch auswertbare Form wie z. B. Spannungs- oder Widerstandssignale um. **Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler)** verarbeiten die empfangenen elektrischen Signale zu digital speicherbaren Daten. Je nach Art des Meßsystems erfolgt diese A/D-Wandlung in einer zentralen Meßwerterfassung oder separat am jeweiligen Sensor. Da sich elektrische Signale beim Durchgang durch einen Leiter (Kabel) verändern bzw. abschwächen, sind beim Prinzip einer zentralen A/D-Wandlung (analog arbeitende 'DATA-LOGGER') den Kabellängen und damit der 'abtastbaren' Meßfläche Grenzen gesetzt. Für größere Kabellängen müssen dann – separat für jeden Sensor – Meßverstärker integriert werden. Demgegenüber werden bei der dezentralen, direkt am Sensor vorgenommenen A/D-Wandlung nur noch digitale Signale an einen zentralen Rechner übertragen (Feldbussysteme), so daß prinzipiell beliebige Kabellängen möglich werden.

Daß dennoch die Mehrzahl der an der LAF eingesetzten Meßstationen als analoge Loggersysteme ausgebildet sind, hat vor allem folgende Gründe:

Die von uns eingesetzten zentralen A/D-Wandler haben eine sehr hohe 'Bit-Auflösung', d. h. sie können ankommende Meßsignale wesentlich höher auflösen als die relativ einfachen A/D-Wandler an jedem Sensor. Dies kann in Meßbereichen, die von besonderem Interesse sind, erheblichen Einfluß besitzen.

Die Wartung und Instandhaltung analoger Meßsysteme (Sensoren) ist wesentlich unkomplizierter und meist vor Ort zu bewerkstelligen, während die zur Einheit verschmolzenen Sensoren – A/D-Wandlersysteme – nur durch Spezialfirmen überprüft werden können.

Bussysteme unter Freilandbedingungen haben einige Nachteile: Wenn nur eine zentrale Busleitung beschädigt wird, kann das ganze System zusammenbrechen – bei einem analogen System ist i. d. R. immer nur ein Sensor betroffen. Zudem sind lange Leitungssysteme extrem empfindlich gegenüber elektromagnetischen Einflüssen (Blitz, Richtfunk oder Radarquellen etc.).

Die bis jetzt für Feldbussysteme verfügbaren Betriebssysteme (DOS) sind nur bedingt für die direkte Meßwerterfassung unter autonomen Einsatzbedingungen geeignet. Durch äußere Einflußfaktoren kann es immer wieder zu Fehlfunktionen kommen, die in 'single-task'-Systemen nicht abzufangen sind und daher Systemabstürze verursachen können.

Die Kosten für digitale Feldbussysteme liegen etwa um den Faktor 2–4 (!) pro installiertem Sensor über dem der analogen Loggersysteme.

Da viele Untersuchungen meßfeldorientiert sind, d. h. die Meßaufgabe sich quasi schwerpunktmäßig auf einem Versuchsfeld konzentriert, kann ein sehr hoher Anteil von analogen Meßsystemen ohne Abstriche an der räumlichen Qualität der Meßwerterfassung durchgeführt werden.

Beispielsweise können 2 analoge Meßsysteme mit jeweils mehreren Meßfehlern, die bis zu 60 m voneinander entfernt sein können, durchaus größere Versuchsfelder abdecken.

Fazit: Digitale Feldbussysteme werden z. Z. an der LAF nur in Versuchsflächen installiert, in denen eine räumliche Verteilung verschiedener Sensorsysteme über große Flächenareale erforderlich ist.

Physikalisch bedingt verändern Sensorsysteme mit der Zeit ihre Empfindlichkeit gegenüber der zu messenden Größe. Ein gut funktionierendes System der Registrierung, Überprüfung und Neukalibrierung für jeden einzelnen eingesetzten Sensor ist daher Voraussetzung, um dauerhaft verlässliche Meßwerte zu erhalten.

Sensortypen

Nach 2 Jahren Meßbetrieb konnten Standardsysteme determiniert werden, die die festgelegten Anforderungen am besten erfüllen. Typbegrenzungen minimieren Wartungs- und Bedienungsaufwände sowie Fehlerquellen bei Installations- und Kalibriervorgängen. Die für spezielle Aufgaben zuverlässigsten und bei ausreichender Genauigkeit

preisgünstigsten Sensortypen konnten sich immer erst nach Testphasen unter Einsatzbedingungen herauskristallisieren. Mit dem laufenden technischen Verschleiß ist bei Ersatzinvestitionen die Verbesserungswürdigkeit bestehender Sensorsysteme und Meßprinzipien zu überprüfen, was zur Integration von Innovationen mit höherer Meßgenauigkeit, erweitertem Meßbereich, verringertem Wartungsaufwand in das System der Waldklimastationen führen kann. So bedingt z. B. der physikalisch begrenzte Meßbereich von Tensiometern immer wieder Probleme bei Bodenfeuchtemessungen. Starke Austrocknungen, die gerade auf Sandstandorten häufig auftreten, verursachen den Ausfall der gegenwärtig verwendeten Sensoren. Es wird angestrebt, derartige Probleme durch den künftigen Einsatz technischer Neuerungen zu lösen.

5.2 Meteorologie-Sensoren

5.2.1 Lufttemperatur- und Luftfeuchtesensoren

Lufttemperatur und Luftfeuchte sind grundlegende klimatologische Werte, dienen zur Beurteilung der physiologischen Aktivität der Bäume, zur Einschätzung des Einflusses von Witterungsverläufen auf das Baumwachstum oder zur Ableitung von Wasserhaushaltswerten im Wald. Luftfeuchte und Lufttemperatur werden in 2 m Höhe über dem Erdboden gemessen. Es wird ein kombinierter Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor (Typ SKH 2011) in einem passiv ventiliertem Strahlungsschutz-Gehäuse eingesetzt.

Abb. 4
Luftfeuchte/
Lufttemperatur-Sensor



Die Messung der Lufttemperatur [°C] beruht auf einer Widerstandsmessung im eingesetzten Thermistor, (Typ Standard FENWAL, 10 K). Hiermit können Lufttemperaturen im Bereich von -30 bis +70 °C mit einer garantierten Genauigkeit von +/- 0.2 °C (typisch +/- 0.1 °C) gemessen werden. Dieser Temperatursensor liefert ein sich zur Temperaturänderung nichtlinear änderndes Ausgangssignal (Widerstandswert), so daß erst durch spezielle Abgleichfunktionen oder Tabellen die Umwandlung in einen Temperaturwert erfolgt.

Die relative Luftfeuchte [% rH] wird nach dem Prinzip einer kapazitiven Feuchtemessung ermittelt. Durch eine permeable Membran kann Luftfeuchtigkeit in das Dielektrikum eines Kondensators eindringen, der je nach Feuchtegehalt seine Kapazität verändert. Zum Meßzeitpunkt muß dieser Sensor mit einer Spannung von 12 V versorgt werden. Hiermit kann die Luftfeuchte im Bereich von 0–100 % relative Feuchte mit einem Fehler von < 2 % gemessen werden. Der Sensor liefert eine linear mit der relativen Luftfeuchte zunehmende Ausgangsspannung im Bereich von 0–1000 mV entsprechend 0–100 % rH.

5.2.2 Niederschlagsgeber

Informationen über die Niederschlagsintensität sind die Voraussetzung für die Ableitung von Wasserhaushaltsbilanzen in Waldökosystemen. In Kombination mit den Bodenfeuchtedaten kann die Dynamik der Wasserversorgung identifiziert werden. In dieser Betrachtung sind indirekt Interzeption und Evapotranspiration bereits berücksichtigt. Der Niederschlag wird sowohl im Traufbereich von Altbäumen als auch in Situationen ohne direkte Überschirmung jeweils 1 m über dem Erdboden gemessen, wobei Kippwaagen zum Einsatz kommen. Das Meßprinzip beruht auf einer Signalgebung und deren Zählung, wenn die in einem Trichter konzentrierte Niederschlagsmenge eine 'Wippe' zum Umschlag anregt. Jeder Kippvorgang bedeutet eine Niederschlagsmenge von 0,2 mm. Hierdurch ist auch die Genauigkeit des Meßprinzips gegeben. Diese Signale werden permanent registriert, im Datenaufnahmesystem auf Stunden summen vorverdichtet und abgespeichert.



Abb. 5
Niederschlagsgeber

5.2.3 Windgeschwindigkeits- und Windrichtungssensoren



Ohne genaue Kenntnis der Windbewegungen sind Quantifizierungen von Verdunstungspotentialen, die Nachvollziehbarkeit von Immissionswetterlagen und die Registrierung von extremen Windereignissen (Sturmböen) unmöglich.

Diese Werte werden auf den Freiflächenmeßstationen in 10 m Höhe über dem Erdboden gemessen. An Bestandesmeßstationen wird lediglich die Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe registriert. Hierzu kommen Windgeschwindigkeits- und Windrichtungssensoren zum Einsatz. Bei der Windgeschwindigkeit beruht das Meßprinzip auf der Frequenzzählung eines Schalen-Anemometers. Die Windrichtung ermittelt der eingesetzte Sensor über eine Potentiometer-Widerstandsmessung des aktuellen Azimutwinkels der angeströmten Windfahne. Die Genauigkeiten der Sensoren liegt bei 0,2 m/s (Geschwindigkeit) bzw. 1° (Windrichtung).



Abb. 6
Windgeschwindigkeits-
keitssensor

5.2.4 Bodentemperatur – externe Sensoren

Bodentemperaturwerte werden sowohl zur Beurteilung der biologischen Bodenaktivität als auch zur Einschätzung der physiologischen Wurzelaktivität benötigt. Für diesen Zweck ist eine Bodentemperaturmessung in verschiedenen Tiefenstufen notwendig. Es wird ein Bodentempersensor in einem wasserdicht versiegeltem Gehäuse eingesetzt (Typ SKTS 200). Das Meßprinzip ist identisch zur Messung der Lufttemperatur, was auch für die Umwandlung der gemessenen Widerstandswerte in Temperaturwerte, den Meßbereich und die Meßgenauigkeit gilt.

5.3 Sensoren zur Erfassung der Strahlungsdynamik in Waldökosystemen

5.3.1 PAR-Lichtsensoren

Die Daten der Lichtintensität im photosynthetisch aktivem Spektralbereich des sichtbaren Lichts (PAR) sind ein Teil der Basis für die Beurteilung der Aktivität und Effektivität der Assimilation und damit der Stoffproduktion von Waldbäumen. Kenntnisse über die Entwicklung der Lichtverhältnisse in Abhängigkeit von waldbaulichen Eingriffen (Auflichtungsintensität) oder Klimaszenarien sind damit auch eine Voraussetzung zur Ableitung prozeßorientierter Ökosystemmodelle. Die ermöglichen wiederum Schlußfolgerungen für standortspezifische und ökologisch nachhaltige Waldbaustrategien. Die Stationen der LAF registrieren PAR-Werte in 1 m und 2 m Höhe über dem Erdboden in verschiedenen waldbaulichen Situationen. Hierbei muß gewährleistet sein, daß die aktive Sensorfläche horizontal ausgerichtet ist. Es kommen Sensoren vom Typ Delta-T-QS und LICOR LI 190 zum Einsatz.

Abb. 7
PAR-Sensoren



Das Meßprinzip basiert auf einem lichtempfindlichen SI-Halbleiter mit einer speziellen Empfindlichkeit für Licht im photosynthetisch aktiven Bereich von 400–700 nm. In diesem Wellenlängenbereich wird die Photonenflußintensität in $\text{mmol (Photonen)/m}^2\text{s}$ mit einem maximalen Fehler von ca. 5 % vom Absolutwert gemessen. Der Sensor produziert eine linear mit der PAR-Intensität zunehmende Ausgangsspannung.

5.3.2 Globalstrahlungssensoren

Die Erfassung der Globalstrahlung als die gesamt eingestrahlte Energie ist sowohl als Vergleichsgröße für die PAR-Daten (siehe oben) als auch als Eingangsgröße für Einschätzungen des Verdunstungspotentials von Waldflächen von Bedeutung. Die Anordnung der Globalstrahlungssensoren erfolgt analog den PAR-Sensoren. Es kommen Sensoren vom Typ Delta-T-ESR zum Einsatz. Das Meßprinzip basiert auf einem lichtempfindlichen SI-Halbleiter mit einer Empfindlichkeit für Licht über einen Bereich von 400–1000 nm. In diesem Wellenlängenbereich wird die eingestrahlte Energie in W/m^2 mit einem maximalen Fehler von ca. 5 % vom Absolutwert gemessen. Der Sensor produziert eine linear mit der Energie-Intensität zunehmende Ausgangsspannung.

5.4 Sensoren zur Erfassung der Bodenfeuchtedynamik in Waldökosystemen

Zwischen Substrat, Bodenfeuchte und Wasserversorgung der Waldbäume bestehen unmittelbare Zusammenhänge. Neben dem Lichtregime in Waldbeständen wird mit den Daten zur Wasserversorgung die zweite wesentliche Eingangsbedingung der Photosynthese für eine prozeßorientierte Beurteilung des Baumwachstums und des Wasserhaushalts von Ökosystemen erfaßt. Mit verschiedenen Meßsystemen werden die Pflanzenverfügbarkeit und der Gehalt des Wassers im Boden charakterisiert.

5.4.1 Tensiometer

Mittels eines Tensiometers kann das Matrixpotential des Bodens in verschiedenen Tiefenstufen gemessen werden. Dieses Matrixpotential gibt an, wie 'fest' Wasser am Bodensubstrat gebunden ist, und ist somit ein direktes Maß für die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers. Die Waldklimastationen der LAF erfassen die entsprechenden Werte in 10 cm, 30 cm, 60 cm und 80 cm Tiefe

und zwar in verschiedenen waldbaulichen Situationen und unter dem Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungstechnologien. Das Meßprinzip basiert auf einer Druckmessung mittels eines SI-Halbleiters, welcher sich in einer gasdicht verschlossenen und mit Wasser gefüllten Keramikkerze mit Bodenkontakt in der jeweiligen Tiefenstufe befindet. Wird nun dem Boden Wasser entzogen, diffundiert Wasser durch die poröse Keramik nach außen, und es entsteht am Druckaufnehmer ein Unterdruck entsprechend des Bodenwasserentzuges, der sich mit der Wiederbefeuchtung des Bodens abbaut. Mit Tensiometern kann bis zu einem Unterdruck von ca. 850 hPa gemessen werden. Schreitet die Austrocknung des Bodens weiter fort, so bilden sich – physikalisch bedingt – Dampfblasen im Tensiometerwasser, und eine Druckmessung adäquat zur Saugspannung des Bodens ist nicht mehr möglich. Es kommen Tensiometer verschiedener Hersteller zum Einsatz, meist kombiniert mit einer Möglichkeit zur Funktionskontrolle des Sensors über die Datenerfassungseinheit in Form eines Infrarot-Sensors innerhalb

der Keramikkerze zur Überprüfung des Tensiometer-Füllzustandes. Außerdem ist ein Teil der Tensiometer zusätzlich mit einem Bodentempersensor (vgl. Punkt 5.4.2) im Bereich der Keramikkerze ausgerüstet. Die Genauigkeit dieses Druckaufnehmer-Meßprinzips liegt bei $< 1\%$ vom Meßbereichsendwert. Standard-Tensiometer müssen mit einer stabilisierten Gleichspannung von 10.6 V versorgt werden. Zudem werden Tensiometer mit integrierten Meßverstärkern und Spannungsstabilisatoren eingesetzt, welche dann mit einer unstabilierten Spannung von 7–15 V betrieben werden können. Der Tensiometer-Druckaufnehmer produziert eine linear mit der Bodensaugspannung zunehmende Ausgangsspannung.

Abb. 8–10
Verschiedene
Tensiometertypen



5.4.2 TDR-Sonden und Theta-Probes

TDR-Sonden (Time Domain Reflectometry-) und Theta-Probes können direkt den volumetrischen Wassergehalt des Bodens bestimmen, wozu jedoch eine bodenartspezifische Eichung erforderlich ist. Über die Ermittlung einer sogenannten pF-Kurve, die den bodenartspezifischen Zusammenhang zwischen volumetrischem Wassergehalt und Saugspannung eines Bodens darstellt, können auch Saugspannungswerte errechnet werden. Z. Z. beschränkt sich der Einsatz dieser Sonden an der LAF auf die 30-cm-Bodentiefe, da größere Meßtiefen mit einem sehr hohen Einbauaufwand verbunden sind.



Abb. 11–12
TDR- und
Theta-Sonden



Die Messungen sind immer räumlich eng an ein 30-cm-Tensiometer gekoppelt, so daß man – wenigstens für den Meßbereich eines Tensiometers – auf eine bodenspezifische pF-Kurve schließen kann. Die Meßwertkopplung dient auch der gegenseitigen Überprüfung und Ergänzung von Tensiometrie und volumetrischen Verfahren zur Bodenfeuchtemessung, wodurch Informationsverluste und Meßfehler im kritischen Einsatzbereich der Tensiometer eingeschränkt werden können.

Das Meßprinzip der TDR-Sonden basiert auf der Laufzeitmessung eines Hochfrequenzsignals zwischen im Boden eingebauten Elektroden (TDR), während Theta-Probes den Spannungsabfall eines Hochfrequenzsignals beim Durchgang durch das Bodensubstrat messen und so die Dielektrizität (ϵ) des Bodens bestimmt wird. Beide Meßgrößen sind wassergehaltsabhängig. Die Sonden sind mit einem eigenen Elektronikteil ausgerüstet, in welchem die bodenspezifischen Abgleichparameter gespeichert sind, und eine Umrechnung der eigentlichen Meßsignale in ein Signal adäquat zur volumetrischen Bodenfeuchte vorgenommen wird. Zum Meßzeitpunkt müssen die Sonden mit einer Gleichspannung von 12 V versorgt werden und produzieren eine linear mit der Bodenfeuchte zunehmende Ausgangsspannung.

Der Vorteil dieser Meßprinzipien liegt in dem prinzipiell unbegrenzten Meßbereich – der große Nachteil in der notwendigen aufwendigen Eichung und in verschiedenen, schwer zu kalkulierenden Einflußgrößen (beispielsweise Skelettgehalt bzw. Inhomogenitäten des Bodens im Einbaubereich des Sensors).

Wie bei den Tensiometern, kommen Sonden verschiedener Hersteller zum Einsatz. Der Fehler der Meßergebnisse liegt je nach Homogenität des Bodens und der Qualität der bodenspezifischen Eichung im Bereich von 2–5 % volumetrischer Bodenfeuchte.

5.5 Xylemflußsensoren

Der Xylemfluß innerhalb eines Baumstammes ist gleichbedeutend mit dem aufwärts gerichteten Wassertransport im Stamm. Über die Kenntnis des Xylemflusses kann man die Transpiration von ganzen Altbäumen ermitteln, wodurch deren Vitalität und Produktivität beschrieben wird und eine weitere Eingangsgröße zur Abschätzung der Wasserhaushaltsdynamik in Waldökosystemen zur Verfügung steht. Das Meßprinzip wurde nach dem Erfinder 'Granier' benannt.

Zwei Thermoelemente (Funktion ähnlich wie unter Punkt 5.4.2 beschrieben) werden fest, 15 cm voneinander entfernt, im Splintholz eines Baumes eingebaut. Der obere Sensor wird zusätzlich beheizt. Es ergibt sich eine Temperaturdifferenz zwischen diesen beiden Sensoren. Mit steigender Intensität des Xylemflusses verringert sich diese Temperaturdifferenz, da die durch Heizung entstehende Wärmemenge sofort im Wasserfluß abgeführt wird. Zunächst kann man lediglich eine Xylemflußdichte berechnen, da das Meßprinzip nur die Intensität dieses Vorgangs pro Flächeneinheit Splintholz (dm^2)

erfassen kann. Zur Berechnung des tatsächlich pro Baum transportierten ('transpirierten') Wassers muß die Splintfläche, also die Querschnittsfläche im Stamm, durch die Wasser transportiert werden kann, bekannt sein. Wenn Waldklimastationen mit Xylemflußsensoren ausgerüstet sind, werden mindestens drei Altbäume unterschiedlicher sozialer Stellung (also große und kleine Bäume) und/oder unterschiedlicher äußerer Vitalitätsmerkmale in die Untersuchung einbezogen.

Abb. 13–14
Xylemflußsensor



Folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den im Einsatz befindlichen Sensoren in Waldklimastationen der LAF mit Angaben zu gemessenen physikalischen Größen, sowie Meß- und Speicherintervallen.

| Sensor | physikalische Größe | Meßintervall | Speicherintervall |
|--|--|--------------|-----------------------------------|
| PAR-Sensoren/ Energy-Sensoren | $[\text{mmol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}]$ $[\text{W}/\text{m}^2]$ | 30 s | Stundenmittel- und Extremwerte |
| Tensiometer inkl. Befüllindikator und Temperatursensor | hPa (Tensiometer) mV (Befüllindikator) $^{\circ}\text{C}$ -Bodentemperatur | 1 min | Stundenmittelwerte |
| TDR-/Theta-Sonde | [Vol. % Bodenfeuchte] | 10 min | Stundenmittelwerte |
| Luftfeuchte/Lufttemperatur | [% LF/ $^{\circ}\text{C}$] | 1 min | Stundenmittelwerte |
| Niederschlag | [mm] | permanent | Stundensummen |
| Windgeschwindigkeit | [m/s] | permanent | Stundenmittel- und Extremwerte |
| Xylemflußsensoren | $[\text{l}/\text{dm}^2 \cdot \text{h}]$ | 1 min | Stundenmittelwerte |

Sensortypen,
gemessene Größen,
Meßintervalle und
Speicherintervalle in
Waldklimastationen
der LAF

6 Zielorientierte Differenzierung der Klimastationen

6.1 Waldklimastationen in Versuchsflächen zum Waldumbau von Fichtenreinbeständen



Abb. 15 ■□
Waldklimastationen
in Fichtenbeständen



Abb. 16 □■
Delta-T DL2-Logger

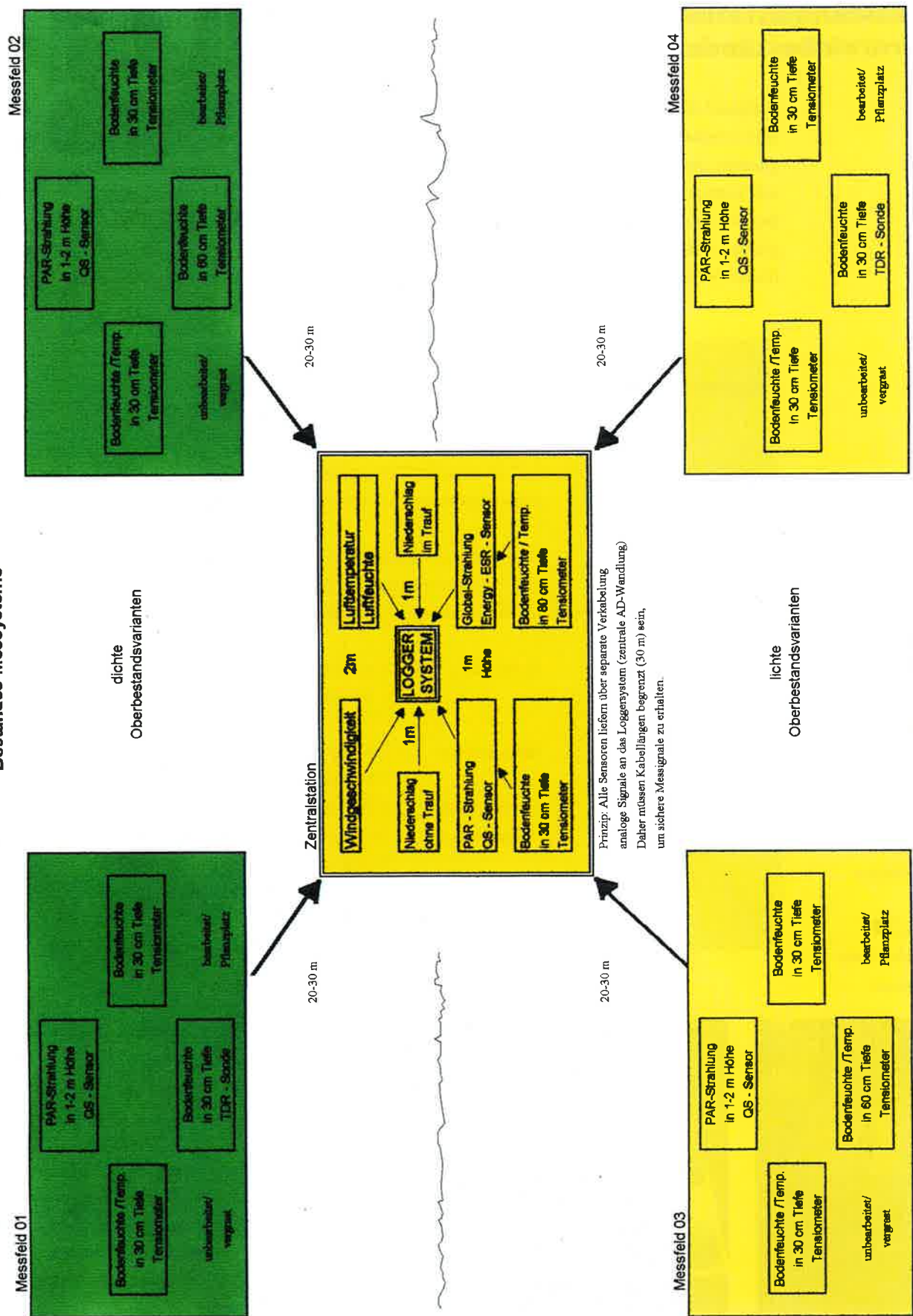
Diese Klimastationen sind als analoge Meßsysteme ausgelegt. Alle relevanten Abgleich- und Konfigurationsparameter werden kanalspezifisch im Logger gespeichert. Die Umwandlung der analogen Signale in digital gespeicherte Daten erfolgt also zentral und erst im Loggersystem. Sieben Stationen sind z. Z. mit folgender Einzelausstattung im Einsatz:

| | |
|-------------------------|--|
| Datenlogger: | analoge 64-Kanal-Delta-T DL2-Logger, ausgebaut für |
| | – 45 analoge Meßkanäle (Messung von elektrischen Signalen wie Spannung, Widerstand oder Stromfluß) |
| | – 17 digitale Zählerkanäle (Zählung von Impulsen, z. B. von Niederschlagsgeber) |
| | – 256 kB RAM Datenspeicherkapazität, 10.6 V stabilisierte Stromversorgung für Tensiometer |
| Mastsystem: | 2-m-Mast zur Aufnahme der Sensoren für Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur/Luftfeuchte sowie der Solaranlage und daran befestigter Systemeinheit (Logger, Laderegler, Pufferbatterie) |
| Stromversorgung: | Solaranlage 12 V – je nach Bedarf bis ca. 220 W Spitzenleistung – 100/140 Ah Bleiakku/Laderegler |
| Sensoren für: | Meteorologie 2 Niederschlagsgeber 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor 1 Windgeschwindigkeitssensor |
| | Lichtintensität 5 PAR-(Photosynthetic Active Radiation-)Sensoren 1 Energy-(Globalstrahlungs-)Sensor |
| | Bodenfeuchte 12 Tensiometer in den Tiefenstufen 10 cm, 30 cm, 60 cm, 80 cm mit IR-Befüllzustandsindikatoren (teilweise ausgestattet mit Temperatursensoren) 2 TDR-(Time Domain Reflectometry-)/Theta-Sonden |
| | Transpiration von Altbäumen 3 Xylemflußsensoren nach Granier (teilweise) |

Die mögliche Entfernung der Sensoren vom Logger beträgt bei diesem Typ von Klimastationen, bedingt durch die physikalischen Begrenzungen eines analogen Meßsystems, je nach Sensortyp ca. 30 m. Der Aufstellungsort wird so gewählt, daß in mehreren waldbaulichen Varianten Messungen vorgenommen werden können. Den technischen Einschränkungen kommt der grundsätzlich kleinflächige Waldumbau von Fichtenreinbeständen entgegen. Da wegen der Vegetationsruhe im Winter die öko-

logisch sonst wichtigen Differenzierungen der Strahlungs- und Bodenfeuchtedynamik in verschiedenen waldbaulichen Situationen keine Rolle spielen, sind unterschiedliche Meßkonfigurationen für den Winter- und Sommerbetrieb sinnvoll, d. h. im Winter wird der Meßbetrieb nur mit einer minimalen Sensorausstattung aufrechterhalten. Hierdurch entsteht auch ein Zeitfenster für Kontroll- und Kalibrierungsarbeiten an den eingesetzten Sensoren.

Sensorverteilung analoger Bestandes-Messsysteme



LAF Graupa, Abt. Waldbau

Abb. 17 Versuchsanordnung Intensivmessfläche zum Umbau von Fichtenreinbeständen

6.2 Waldklimastationen in Versuchsflächen zum Waldumbau von Kiefernreinbeständen

Aufgrund der größeren Fläche dieser Versuche, einer möglichen 'Sensorabtastung' von 4 Versuchsgliedern, die auch relativ weit voneinander entfernt sein können, und der potentiell möglichen Anknüpfung von bodenkundlichen Meßsystemen der integrierten bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen werden u. a. digitale Feldmeßsysteme

eingesetzt. Alle Sensoren sind mit separaten A/D-Wandlern ausgerüstet, die auch relevante Abgleich- und Konfigurationsparameter speichern. Die Kommunikation mit der Zentraleinheit findet über ein digitales Feldbussystem statt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind 3 Stationen als digitales Feldbussystem mit folgender Einzelausstattung im Einsatz:

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--------------|----------------------|--|-------------------------------------|-----------------|----------------|--------------|---|--|--------------|
| Zentrale Steuereinheit: | <p>Palmtop PC mit MS-DOS-Betriebssystem IMKO IMP 232 Micronet Bussystem max. 256 Meßkanäle anschließbar z. Z. pro Station 30 Sensoren, die sich auf 4 Meßfelder verteilen Datenspeicherung auf 1MB S-RAM PCMCIA-Karten</p> | | | | | | | | | | |
| Mastsystem: | <p>2-m-Mast zur Aufnahme der Sensoren für Lufttemperatur/Luftfeuchte sowie der Solaranlage und daran befestigter Systemeinheit (Zentralrechner, Laderegler, Pufferbatterie)</p> | | | | | | | | | | |
| Stromversorgung: | <p>Solaranlage 12 V – je nach Bedarf bis ca. 220 W Spitzenleistung – 100/140 Ah Bleiakku/Laderegler</p> | | | | | | | | | | |
| Sensoren für: | <table border="0"> <tbody> <tr> <td>Meteorologie</td> <td>2 Niederschlagsgeber</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor</td> </tr> <tr> <td>Lichtintensität</td> <td>8 PAR-Sensoren</td> </tr> <tr> <td>Bodenfeuchte</td> <td>16 Tensiometer in den Tiefenstufen 30 cm und 60 cm mit IR-Befüllzustandsindikatoren (teilweise ausgestattet mit Temperatursensoren)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2 TDR-Sonden</td> </tr> </tbody> </table> | Meteorologie | 2 Niederschlagsgeber | | 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor | Lichtintensität | 8 PAR-Sensoren | Bodenfeuchte | 16 Tensiometer in den Tiefenstufen 30 cm und 60 cm mit IR-Befüllzustandsindikatoren (teilweise ausgestattet mit Temperatursensoren) | | 2 TDR-Sonden |
| Meteorologie | 2 Niederschlagsgeber | | | | | | | | | | |
| | 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor | | | | | | | | | | |
| Lichtintensität | 8 PAR-Sensoren | | | | | | | | | | |
| Bodenfeuchte | 16 Tensiometer in den Tiefenstufen 30 cm und 60 cm mit IR-Befüllzustandsindikatoren (teilweise ausgestattet mit Temperatursensoren) | | | | | | | | | | |
| | 2 TDR-Sonden | | | | | | | | | | |

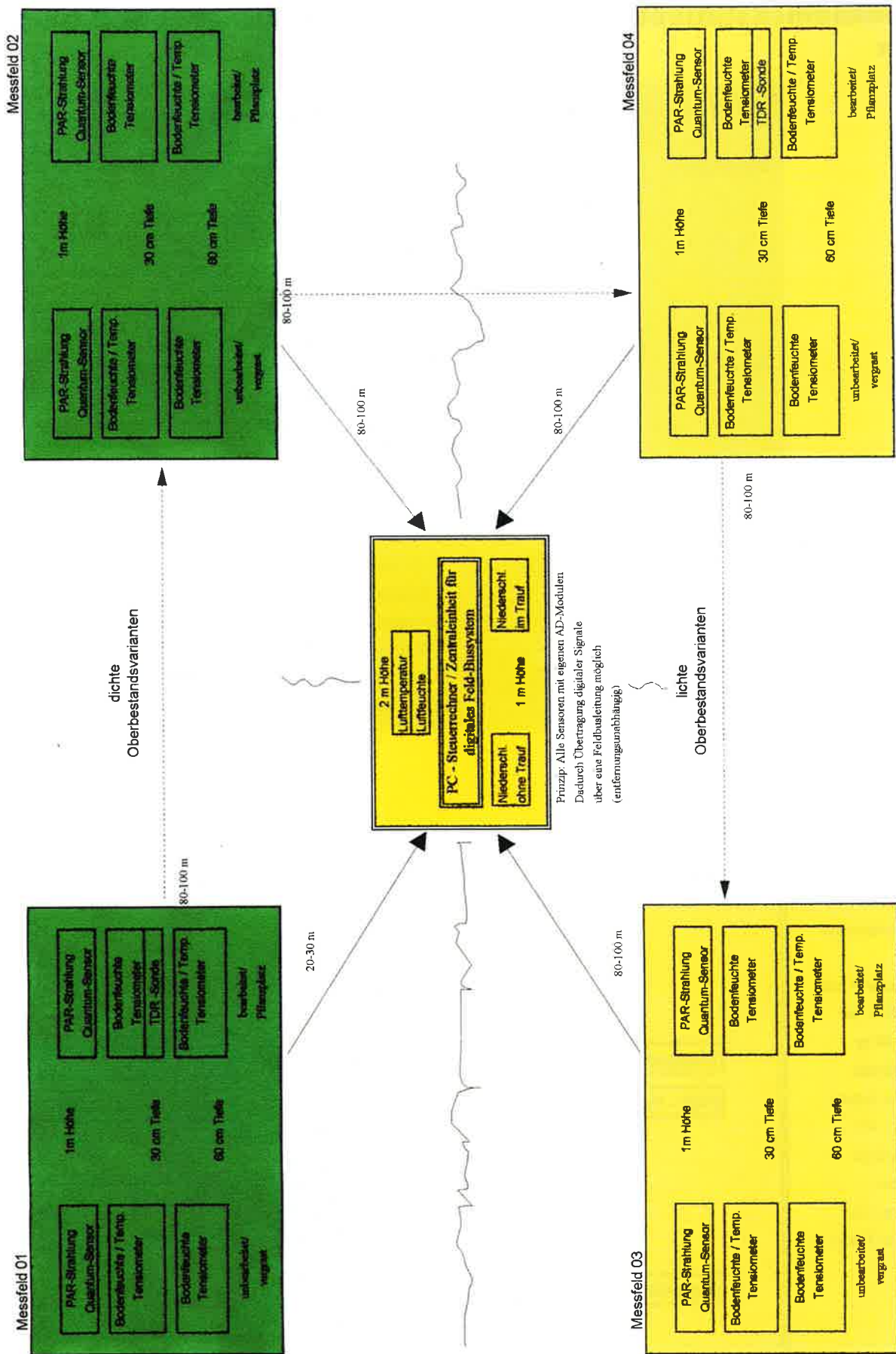
Abb. 18 ■ □
Waldklimastationen in Kiefernbeständen

Abb. 19 □ ■
Zentraleinheit eines Feldbussystems



Die maximale 'Sensorreichweite' von der Zentraleinheit aus beträgt (sensorunabhängig) ca. 200 m. Begrenzend wirken lediglich die z. Z. verfügbaren Kabelsysteme. Damit kann die mikroklimatische Dynamik in Bezug auf die interessierende Licht-(PAR-) und Bodenfeuchtedynamik auf 4 (auch relativ weit voneinander entfernten) Varianten pro Versuch ausreichend differenziert registriert werden. Auch in diesen Versuchsanlagen bestehen unterschiedliche Meßkonfigurationen für den Winter- und Sommerbetrieb.

Sensorverteilung digitaler
Feldbussysteme in Waldbeständen



LAF Graupa, Abt. Waldbau

Abb. 19 Versuchsanordnung Intensivmessfläche zum Umbau von Kiefernreinbeständen

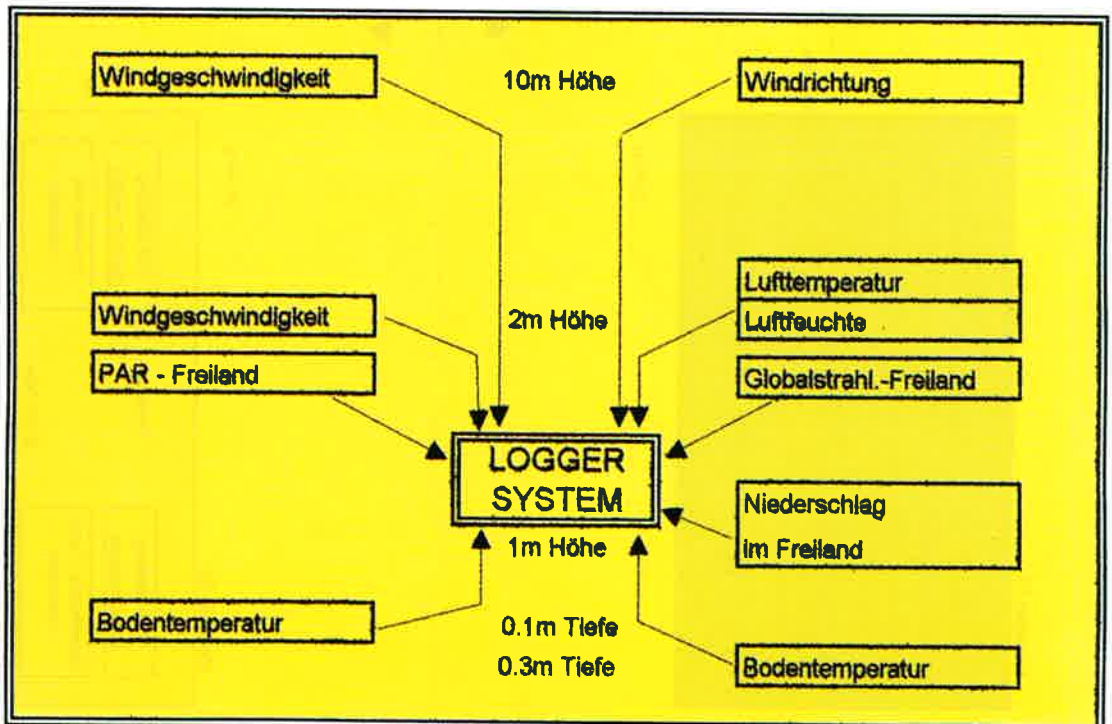
6.3 Freilandmeßstationen der bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen

Zur Zeit sind 6 Stationen mit jeweils folgender Ausstattung im Einsatz:

| | | | | | |
|-------------------------|--|--------------|--|-------|--|
| Datenlogger: | analoge 64-Kanal-Delta-T DL2e-Logger, ausgebaut für – 15 analoge Meßkanäle (Messung von elektrischen Signalen wie Spannung, Widerstand oder Stromfluß) – 15 digitale Zählerkanäle (Zählung von Impulsen – z. B. vom Niederschlagsgeber) 128 kB RAM Datenspeicherkapazität | | | | |
| Mastsystem: | klappbarer 10-m-Mast zur Aufnahme der Sensoren für Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur/Luftfeuchte und Globalstrahlung sowie der Solaranlage und daran befestigter Systemeinheit (Logger, Laderegler, Pufferbatterie) | | | | |
| Stromversorgung: | Solaranlage 12 V – ca. 55 W Spitzenleistung – 65 Ah Bleiakku/Laderegler | | | | |
| Sensoren für: | <table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;">Meteorologie</td> <td> 1 Niederschlagsgeber 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor 2 Bodentempersensoren (10/30 cm Tiefe) 1 Windgeschwindigkeitssensor (10 m Höhe) 1 Windrichtungssensor (10 m Höhe) </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">Licht</td> <td> 1 PAR-Sensor 1 Energy-(Globalstrahlungs-)Sensor </td> </tr> </table> | Meteorologie | 1 Niederschlagsgeber 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor 2 Bodentempersensoren (10/30 cm Tiefe) 1 Windgeschwindigkeitssensor (10 m Höhe) 1 Windrichtungssensor (10 m Höhe) | Licht | 1 PAR-Sensor 1 Energy-(Globalstrahlungs-)Sensor |
| Meteorologie | 1 Niederschlagsgeber 1 Luftfeuchte/Lufttemperatur-Sensor 2 Bodentempersensoren (10/30 cm Tiefe) 1 Windgeschwindigkeitssensor (10 m Höhe) 1 Windrichtungssensor (10 m Höhe) | | | | |
| Licht | 1 PAR-Sensor 1 Energy-(Globalstrahlungs-)Sensor | | | | |

Abb. 20
Versuchsanordnung meteorologischer Freilandmeßstationen

Prinzip: Sensorik am 10-m-Mast bzw. im Bereich bis 10 m Umkreis entfernt.
Alle Sensoren liefern über separate Verkabelung analoge Signale an das Loggersystem (zentrale A/D-Wandlung).



6.4 Systemerweiterungen

Folgende Ergänzungen/Erweiterungen sind im System der sächsischen Waldklimastationen zur Effektivierung und Sicherung des Meßbetriebes geplant:

1. Die Entwicklung einer permanenten Kontrolle, Funktionsüberwachung und Datenübertragung durch Einbindung der Klimastationen in das Datenfunknetz 'MODACOM'. Damit soll mindestens wöchentlich die Kontrolle der Funktionalität aller Meßsysteme gewährleistet, sowie die schnelle Reaktion auf eingetretene Fehlfunktionen ermöglicht werden. Der Probetrieb wird derzeit mit 3 Anlagen durchgeführt. Bei positivem Ergebnis erfolgt schrittweise die Ankopplung weiterer Waldklimastationen an das System der Funkdatenkommunikation.

2. Der Ausbau der Bodenfeuchtemessungen mit wartungsarmer Sensorik, die über einen 'unbegrenzten' Meßbereich verfügt, ist auf der Basis von TDR-/Theta-Meßtechnik die vordringlichste Innovation zur Sicherung der Datenermittlung – gerade unter den Bedingungen einer starken Bodenaustrocknung.

Wie die Erfahrungen beim Aufbau des Systems der sächsischen Klimastationen mehrfach belegt haben, können sich nur durch eigene Testreihen Sensorsysteme herauskristallisieren, die unseren Anforderungen entsprechen.

7 Funktionsprüfung, Datenübernahme, Datenbankmanagement und Datenverarbeitung

7.1 Kontrolle/Datenübernahme von Waldklimastationen vor Ort

Bei den periodischen Kontrollen der Waldklimastationen werden u. a. folgende Arbeiten über eine Art 'Checkliste' ausgeführt, die einen reibungslosen Meßbetrieb und eine frühe Beseitigung von Fehlfunktionen ermöglichen sollen:

Kontrollen/Wartungsarbeiten

- Kontrolle der Spannungsversorgung, Akkuzustand, konstante Tensiometerversorgung
- Überprüfung der Indikatorwerte (-dynamik) der Tensiometer

Falls erforderlich:

- Neubefüllung von Tensiometern (befüllte Ersatzkerzen, entgastetes Wasser)
- Erneuern der Trockenpatronen für Tensiometer
- Vergleich von Loggerwerten und direkt an den Sensoren gemessener Werte in mV, mA etc. (analoge Systeme)
- Start von Diagnosesoftware (IMP 232 Micronet)

Reinigung:

- Lichtsensoren (PAR/Global), Niederschlagsgeber (inkl. Justierung)
- Solarpaneele

Überprüfung der Verkabelung:

- Kabel hochhängen (Schutz vor Mäuseschäden)

- Kontrolle auf Beschädigungen
- Kontrolle der Steckverbindungen

Datenaufnahme und erste Plausibilitätskontrolle vor Ort

Die periodische Datenkontrolle und -übernahme vor Ort erfolgt mittels Notebook (ASCII-Format). Hierzu wird gerätespezifische (DL2/INMEWA) und angepaßte Standardsoftware (beispielsweise UNISOFT/ EXCEL/ORIGIN) eingesetzt. Die sofortige graphische Darstellung zur ersten Vor-Ort-Kontrolle von Funktion und Plausibilität der einzelnen Meßkanäle zum aktuellen Zeitpunkt und über den letzten Meßzeitraum ist ein wichtiges Mittel, um schnell auf eventuelle Fehlfunktionen reagieren zu können. Es erwies sich als sehr wichtig, einen schriftlichen Protokollnachweis für jede Waldklimastation zu mindestens folgenden Punkten zu führen:

- Verzeichnis der Systemkontrollen für jeden Standort (d. h. ein 'Logbuch' über vorgenommene Änderungen/Reparaturen)
- Lageplan der Sensoren inkl. Überschilderung zur eindeutigen Sensoridentifikation
- Eigene Numeration und Archivierung der Sensoren (Nr., letzte Kalibrierung, Kalibrierfaktoren, Besonderheiten)

7.2 Datenbankmanagement, Datenverarbeitung und -verwendung

Durch das Meßnetz der Waldklimastationen fallen ca. 6–8 Mio. (!) Einzeldaten pro Jahr an – dieser Umfang ist nur noch durch hocheffiziente Datenbanksysteme einer sinnvollen Auswertung zuzuführen, insbesondere wenn langfristige Meßprogramme damit verbunden sind. Dazu setzt die LAF Graupa modernste Hard- und Softwaresysteme ein. Die Basis bildet ein Multitasking- und SMP- (symmetric multi processing-)fähiges, 32-bit-NT-SERVER-Betriebssystem. Dieses System gewährleistet einen sehr leistungsfähigen und für künftige Anforderungen gerüsteten Datenbankbetrieb. Beispielsweise ist ohne jede Softwareänderung die Nutzung

von Parallel-Processor-Maschinen möglich, wodurch sich die Leistungsfähigkeit extrem steigern läßt. Zudem sind sehr flexible Einsatzbereiche denkbar. Das System läuft sowohl als 'stand alone' als auch eingebunden in Netzwerken oder als lokaler Server in heterogenen Netzwerken und bietet dadurch je nach Wunsch die Zugänglichkeit für verschiedenste Nutzerkreise. Die Datenbank selbst beruht auf einem MS-SQL-SERVER. Dieser bietet alle Möglichkeiten einer modernen SQL-Datenbank – wie eben SQL-Standards, Skalierbarkeit etc. Die direkte Einbettung in die Windows-NT-Umgebung ermöglicht die Nutzung der flexiblen Daten-

austausch- und ÜbergabeprozEDUREN des Betriebssystems und damit die Ankopplung an beliebige andere unter NT lauffähige Software. Durch ein direkt in die Datenbank eingebettetes, und intuitiv zu bedienendes Front-End-Programm können alle Aufgaben der Datenbankpflege und der Auswertung

(sehr flexible und effiziente Abfragemöglichkeiten sowie automatisierte ÜbergabeprozEDUREN an andere NT-Software) erledigt werden. Über das Rechnernetz der LAF stehen geprüfte und strukturierte Daten allen Mitarbeitern für die verschiedensten Auswerteaufgaben zur Verfügung.

Im Einzelnen hat das Datenbanksystem MEWAKS = Meßnetz Waldklimastationen u. a. folgende Möglichkeiten:

Import/Fehlerbehandlung der Daten aus den Waldklimastationen

- Automatische Konvertierung von Datenfiles der verschiedenen Meßsysteme
- Definition und Lokalisation der Meßkanäle, Strukturierung des Gesamtdatenpools
- Vereinheitlichung des Meßrasters unterschiedlicher Meßsysteme
- Grafische Plausibilitätsprüfung (absolute Werte und Dynamik) anhand:
 - unterschiedlicher Meßkanäle gleichen Typs
 - verschiedener Meßgrößen miteinander und
 - gleicher Meßgrößen verschiedener Stationen
- Automatische Fehlerkorrektur beim Fehlen von Meßwerten kleiner 3 Meßzeitpunkte durch lineare Interpolation zwischen gültigen Werten
- Interaktive grafische Möglichkeit der Fehlerkorrektur durch Darstellung mehrerer (auch unterschiedlicher) Meßkanäle und der Möglichkeit der Definition der Anfangs- und Endpunkte zur Datenkorrektur für jeweils einen Kanal – dabei Auswahl zwischen verschiedenen Interpolationsmöglichkeiten und beliebige Zerteilung/Wiederholung von Interpolationszeiträumen
- Automatische Korrekturmöglichkeit anhand grafischen Vergleichs mehrerer Meßkanäle – bei gleicher/ähnlicher Dynamik wird entsprechend der absoluten Differenz interpoliert
- Möglichkeit zur Verrechnung einzelner Meßkanäle mit nachträglich ermittelten Eich- bzw. Kalibrierfaktoren unter Annahme einer linearen Drift dieser Kalibrierungen vom letzten Kalibrierzeitpunkt an
- Prinzipiell erfolgt eine Kennzeichnung korrigierter Datensätze in der Datenbank.

Verrechnung der Daten:

- Durch vielfältige Funktionen, beispielsweise zum Zusammenstellen, Verdichten, Filtern, Schwellwertanalysen und Verrechnen beliebiger Datenmengen des Gesamtpools werden für den jeweiligen Auswertezweck direkt nutzbare Datensegmente zur Verfügung gestellt.
- Diese systematisierten, geprüften und aufbereiteten Daten sind auch sofort grafisch verfügbar oder können automatisch an beliebige andere Auswertesoftware übergeben werden.

Die Fehleranalyse/Korrektur sowie die automatisierten Verrechnungsprozeduren werden mittels des Grafik- und Analysetools ORIGIN V4.1 ausgeführt.

Datenverwendung:

Genutzt werden die aufbereiteten Datenmengen beispielsweise für folgende Bereiche:

- Beurteilung von Auswirkungen waldbaulicher Eingriffe bzw. Behandlungsvarianten (des Waldbestandes, der Bodenbearbeitung) auf die mikroklimatische Dynamik (Lichtdynamik, Bodenwasserdynamik, Wasserhaushalt)
- als Datenbasis für prozeßorientierte Simulationsrechnungen der Baum- bzw. Bestandesentwicklung (umweltabhängige Ökosystemdynamiken)
- für beliebige statistische Auswertungen (SPSS)
- zu Umweltkontrollzwecken (z. B. Verwendung im jährlichen WSE-Bericht)

8 Ergebnisbeispiele

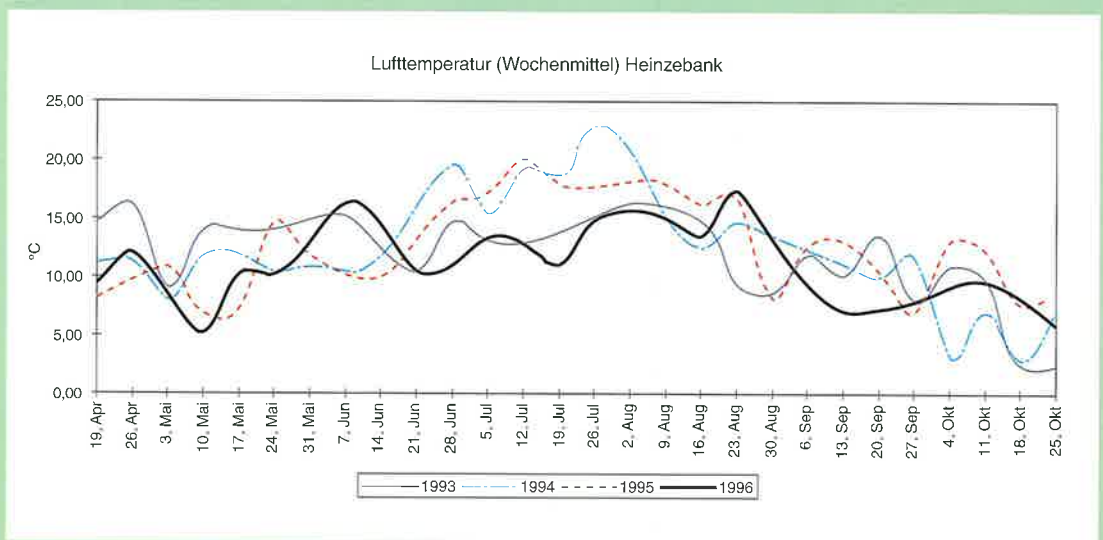
8.1 Klimatologische Zeitreihen

Die Beispiele der klimatologischen Zeitreihen veranschaulichen die Umweltverhältnisse grundsätzlich verschiedener Standorte über mehrere Jahre. Es wird deutlich, daß die Forstwirtschaft als ein die Waldentwicklung steuernder Wirtschaftszweig unter weit variierenden, sich relativ stark ändernden Umweltverhältnissen Bewirtschaf-

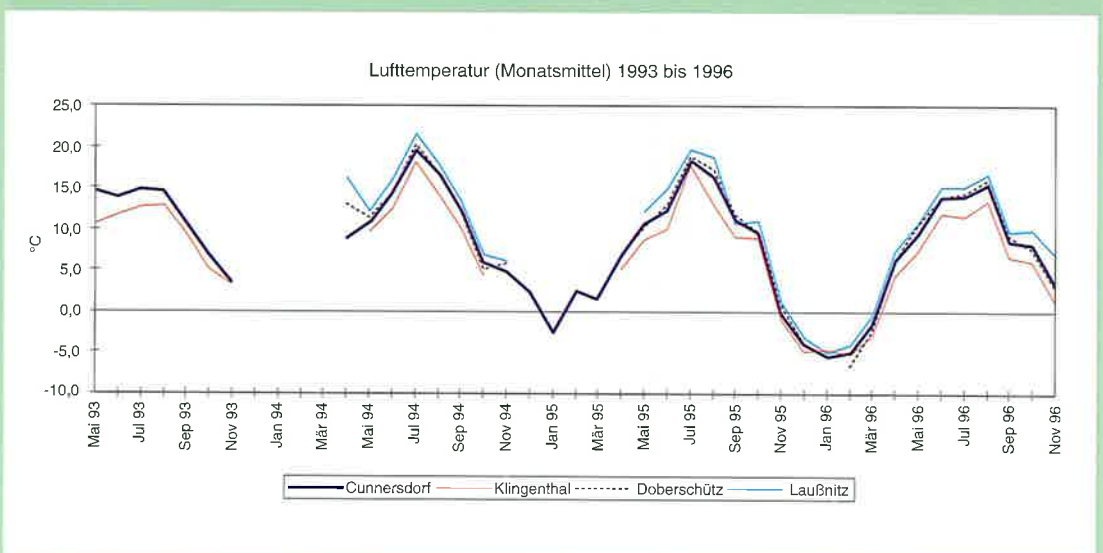
tungskonzepte kurzfristig entwickeln und durchsetzen muß, die die Anpassung des Waldes an diese Bedingungen unterstützen oder sogar erst ermöglichen. Die langfristigen Ziele der ökologischen Nachhaltigkeit und der ökologischen Stabilisierung der Wälder bestimmen dabei die Richtung des Waldumbaus.

Die Dynamik variiert schon auf einem Standort sehr stark. Für waldbauliche Entscheidungen müssen immer die möglichen Extreme eines Standorts berücksichtigt werden.

Temperaturdynamik einer Waldklimastation (WKS) über mehrere Jahre



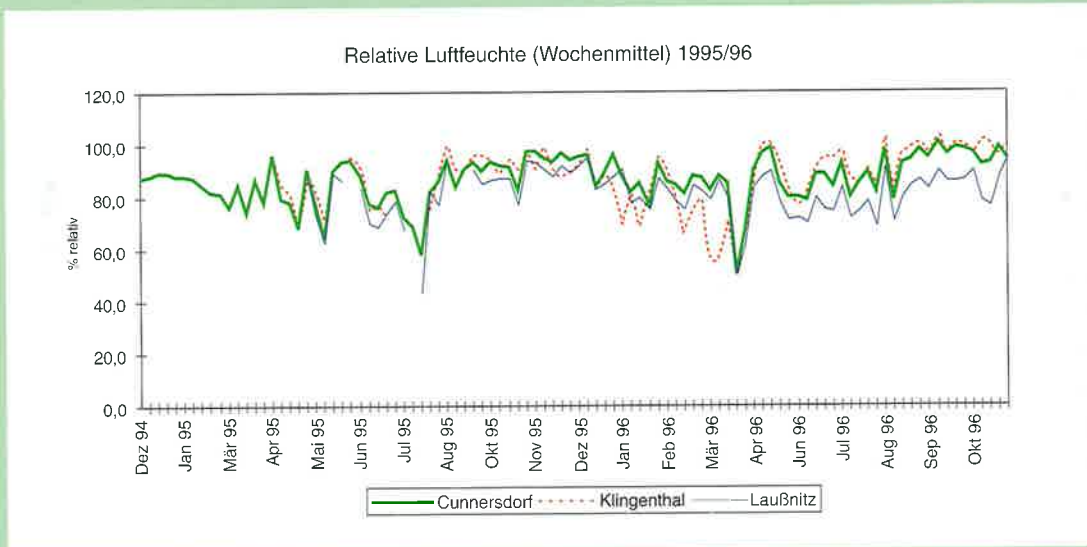
Temperaturvergleiche mehrerer WKS über mehrere Jahre



Auch hier ist eine deutliche Variation zwischen Standorten und Jahren – selbst bei den stark nivellierenden Monatsmittelwerten – zu verzeichnen.

Fichtengebiete
(Mittelgebirgslagen – feucht/kühl): Cunnersdorf/Klingenthal
Kieferengebiete
(Tiefland/relativ trockene Sandstandorte): Doberschütz/Laußnitz

Luftfeuchtevergleiche mehrerer WKS über mehrere Jahre



Fichtengebiete
(Mittelgebirgslagen –
feucht/kühl): Cun-
nersdorf/Klingenthal
Kieferengebiete
(Tiefland/relativ
trockene Sandstand-
orte): Laußnitz

8.2 Aufklärung waldökologischer Zusammenhänge

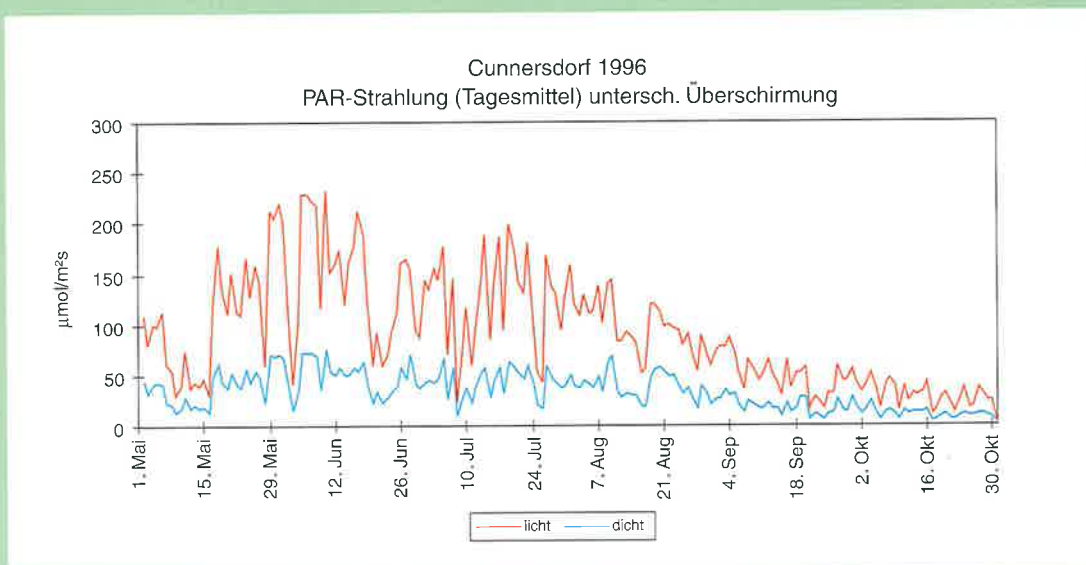
8.2.1 Lichtdynamik in Waldbeständen

Um die Konzepte der Forstverwaltung für eine möglichst kahlschlaglose Wirtschaft durchzusetzen, um eben o. g. Ziele der ökologischen Nachhaltigkeit zu erreichen, sind Kenntnisse über die Lichtdynamik in Waldbeständen von großer Bedeutung: Die neue Waldgeneration, die unter dem Schutz der Altbäume heranwachsen soll, benötigt – baumarten-

und umweltabhängig – bestimmte Lichtmengen, um ein Gedeihen überhaupt zu ermöglichen.

Bei entsprechenden Zeitreihenmessungen der sächsischen Waldklimastationen unter dem Einfluß verschiedener waldbaulicher Eingriffe zur Förderung dieser Verjüngung konnten entsprechende Erkenntnisse zur Waldbehandlung (baumarten- und standortspezifische Auflichtungserfordernisse) gewonnen werden.

Lichtdynamik in einem Fichtenbestand bei unterschiedlichen Auflichtungsverhältnissen



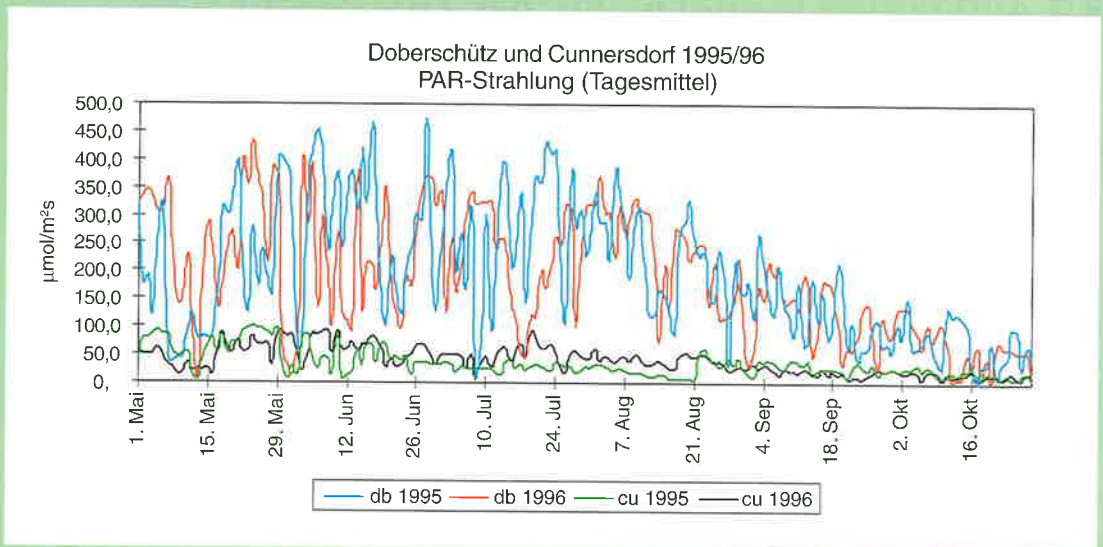
In den Fichtenbeständen der Mittelgebirgslagen kann ein zu schwacher Eingriff im Oberbestand eine Schwächung oder gar das Absterben der Waldverjüngung zur Folge haben.

Bei den abgebildeten schwachen Lichtdynamiken unter Fichtenbeständen könnten beispielsweise Buchen in mittleren Lagen des Erzgebirges langfristig nicht wachsen oder wären zumindest sehr labil gegenüber äußeren Störeinflüssen. Um die labilen Fichtenbestände trotz der teilweise erforderlichen starken Auflichtung nicht zu gefährden, wurden von der LAF entsprechende standortsabhängige Bewirtschaftungskonzepte entwickelt. Diese sehen beispielsweise vor, das nur relativ kleine Teile eines Fichtenaltbestandes gleichzeitig zu Verjüngungszwecken aufgelichtet werden. Auf diesen Verjün-

gungsflächen innerhalb eines Bestandes – sogenannte Verjüngungshorste – können dann die notwendigen Bestandeseingriffe vorgenommen werden, so daß die Verjüngung jeweils konzentriert auf Teilbereichen des Bestandes unter dem Schutz des Altbestandes angepflanzt wird – sogenannte Horstschirmstellungen. Aus verschiedenen ökologischen und ökonomischen Überlegungen konnten für solche Waldumbauvorhaben optimale Flächengrößen und Verteilungen sowie deren standortspezifische Behandlung (Stärke der Bestandauflichtung, Bodenbearbeitung, Baumartenwahl und Baumartenmischung) ermittelt werden. Ausführlich werden diese Themen beispielsweise im Jahresbericht der LAF 1995 oder in der Schriftenreihe der LAF, Broschüre 'Waldumbau' (1996) behandelt.

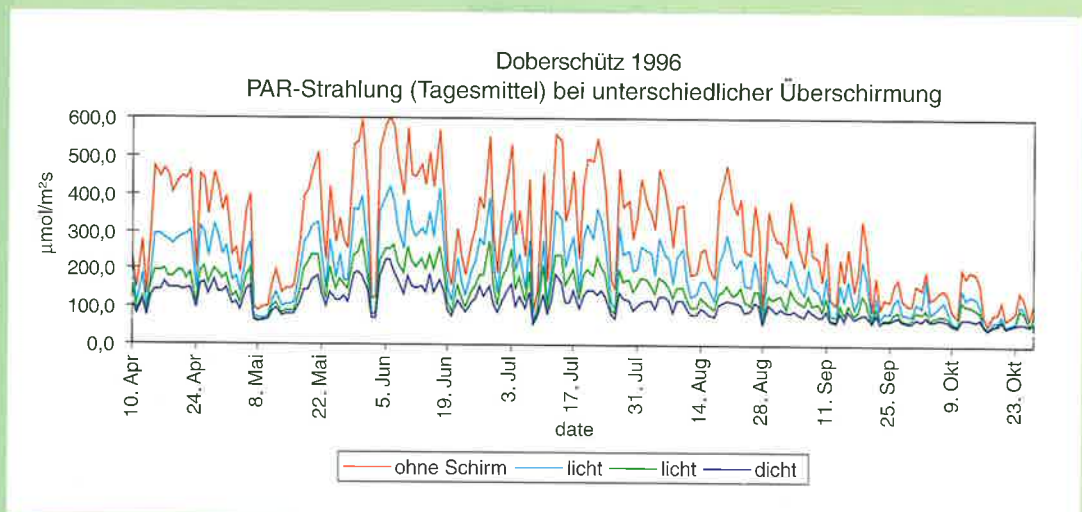
Vergleich der Lichtdynamik in Fichten- und Kiefernbeständen

Hier sollen die völlig unterschiedlichen Lichtverhältnisse in Fichten- und Kiefernwäldern veranschaulicht werden. Unter Kiefern(alt)beständen sind Lichtmangelsituationen für Voranbaupflanzen selbst bei nur geringer Auflichtung nicht zu befürchten. (db-Doberschütz – Kiefer/cu-Cunnersdorf – Fichte)



Lichtdynamik in Kiefernbeständen bei unterschiedlichen Auflichtungsverhältnissen

Die Lichtverhältnisse unter Kiefernaltbeständen sind in jedem Falle ausreichend für eine Waldverjüngung unter Schirm. Über die Stärke des Durchforstungseingriffs kann man jedoch andere Umwelteinflüsse positiv beeinflussen – z. B. die Bodenfeuchtedynamik in Kiefernbeständen.

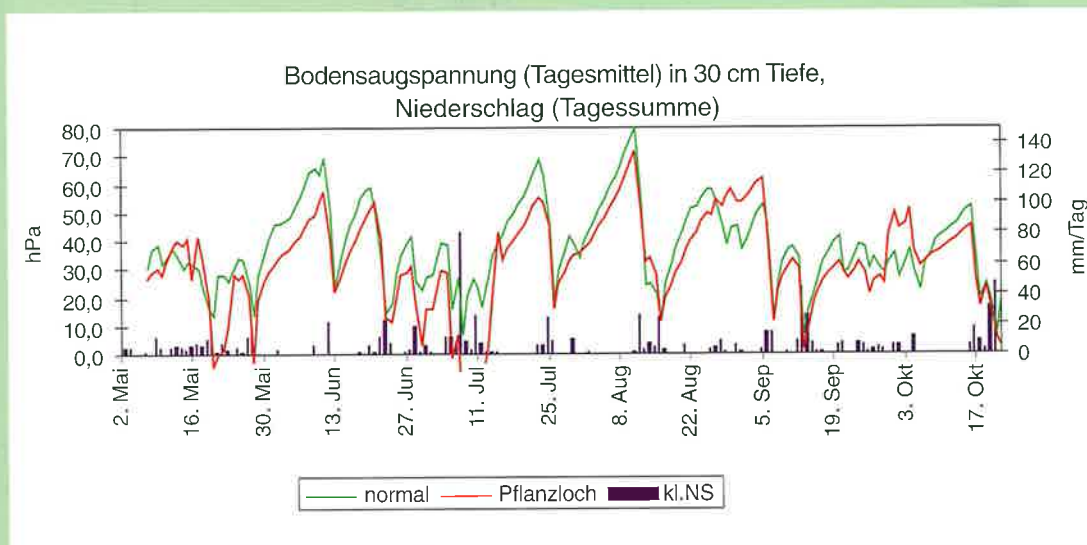


8.2.2 Bodenfeuchtedynamik in Waldbeständen

Die Bodenwasserverhältnisse können das Baum- bzw. Waldbestandeswachstum maßgeblich beeinflussen. Starke Austrocknung des Bodens oder auch zuviel Bodenwasser, etwa durch Stauwasser im Boden, beeinträchtigen Wachstum und Vitalität außerordentlich. Die Fichtenwälder Sachsens befinden sich zum großen Teil in den Mittelgebirgen. Da unter diesen Standortbedingungen reichlich Niederschlag fällt (ca. 700–1000 mm/Jahr) und die Böden i. d. R. mit ihren hohen Schluffanteilen auch hohe Wasserspeicherkapazitäten besitzen, sind Wassermangelsituationen äußerst selten. Die Standorte können problemlos mehrere Baumschichten mit Wasser versorgen. Es kann jedoch zu Staunässeerscheinungen kommen. Die Ergebnisse der bodenkundlichen Dauerbeobachtungsflächen zeigen zudem starke Versauerungserscheinungen im gesamten Bereich der sächsischen Mittelgebirge.

Daher wurden in allen Waldumbauversuchen der LAF verschiedene Bodenbearbeitungstechnologien erprobt, die eine Bodensanierung durch Kalkeinarbeitung bewirken sollen. Das Problem besteht hierbei in der Wahl einer Technologie, die sowohl den Waldbestand schont (kahlschlaglose Wirtschaft!) und qualitätsgerechte Ergebnisse hinsichtlich Kalkdurchmischung und bearbeitetem Bodenvolumen erzielt, als auch effektiv und kostengünstig einsetzbar ist. Es sollte untersucht werden, ob und wie sich die Bodenwasserdynamik im bearbeiteten Boden verändert, beispielsweise ob es zu Staunässeerscheinungen im aufgelockerten Bereich kommt. Durch die Messungen der Waldklimastationen konnte ermittelt werden, daß sich – bis auf die ohnehin zur Vernässung neigenden Standorte – i. d. R. durch die Bodenbearbeitung keine negativen Folgen für die Bodenwasserdynamik ergeben. Die chemischen Analysen zeigten eine sehr gute Wirkung des eingebrachten Kalkes auf den Bodenzustand.

Bodenfeuchtedynamik in Fichtenbeständen als Vergleich zwischen unbearbeitetem Boden und dem Bereich der Pflanzplatzbodenbearbeitung – hier mittels eines speziellen Pflanzplatzbohrers



*Beispiel Klingenthal
Generell liegt die Dynamik in einem sehr feuchten Bereich. Die Bodenbearbeitung hat offensichtlich keinen negativen Einfluß (die Säulen stellen die Niederschlagsereignisse dar).*

Zur Erklärung der Bodenfeuchtegrafiken

Die Bodensaugspannung (in hPa) gibt an, wie 'fest' Wasser im Boden gebunden ist. Wenn noch frei 'sickerbares' Bodenwasser vorhanden ist, aber sich noch nicht im Boden staut, dann ist die Saugspannung gleich Null, d. h. der Boden ist so feucht, daß aus ihm Wasser heraustropfen würde. Je trockener der Boden wird, um so stärker wird das verbleibende Wasser am Bodensubstrat gebunden. Da die Pflanzenwurzeln dem Boden über einen Unterdruck Wasser entziehen, ist die gemessene Saugspannung ein direktes Maß für die Pflanzenverfügbarkeit des Bodenwassers. Je höher die Werte der Saugspannung, desto trockener der Boden. Etwa ab 500 hPa tritt, zumindest zeitweise,

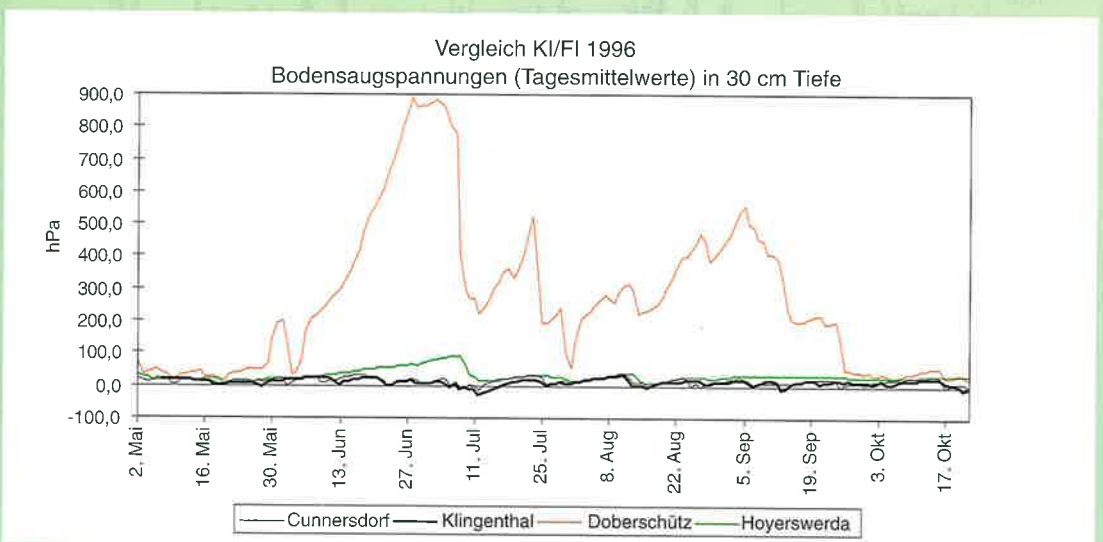
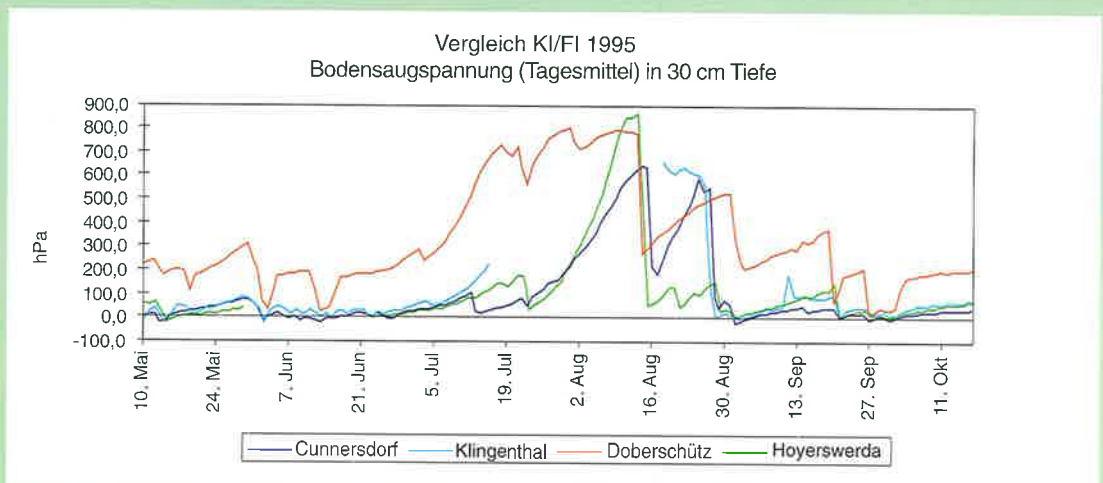
Wasserstreß auf, weil nicht schnell und ausreichend genug Wasser von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann. In den Tieflandsbereichen Sachsens (Kieferngebiete, meist Sandstandorte) wird die Bodenfeuchtigkeit zum entscheidenden Wachstumsfaktor für die Vegetation. Je schluff- oder lößhaltiger der Boden ('Fichtengebiete'), um so größer ist seine Wasserspeicherkapazität, d. h. daß bei gleichen Saugspannungsverhältnissen in beispielsweise Lößböden noch wesentlich höhere Wassermengen gespeichert sind als in Sandböden ('Kieferngebiete'). Folglich sind hohe Saugspannungswerte in Kieferngebieten besonders kritisch zu beurteilen. Zunächst sollen die völlig unterschiedlichen Bodenfeuchteverhältnisse in Fichten- und Kiefernwäldern veranschaulicht werden:

Vergleich der Bodenfeuchtedynamik von Fichten- und Kiefernbeständen für das relativ trockene Jahr 1995 und ein außergewöhnlich feuchtes Jahr 1996

Im Jahre 1995 traten vor allem in den Sandstandorten des Tieflandes Trockenstreßperioden auf.

1996 waren auch die Sandstandorte des Tieflandes sehr gut mit Wasser versorgt. Lediglich im Bereich Doberschütz gab es selbst unter diesen Bedingungen erhebliche Niederschlagsdefizite.

Fichtengebiete
(Mittelgebirgslagen):
Cunnersdorf/
Klingenthal
Kieferngebiete
(Tiefland/
Sandstandorte):
Doberschütz/
Hoyerswerda



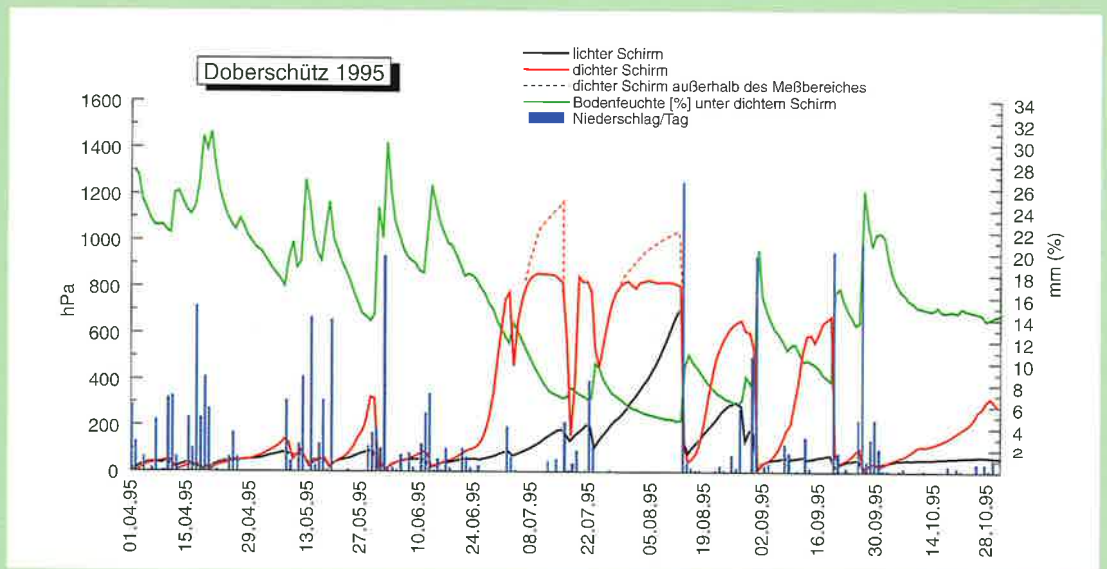
Die Wasserversorgung in den Kieferngebieten Sachsens ist offenbar der Umweltfaktor, der extreme Streßsituationen für die Waldvegetation verursacht. Die ausgeprägten Mangelsituationen in Trockenperioden führen zu Wachstumseinschränkungen, Vitalitätsverlusten und erhöhter Disposition gegenüber Schadfaktoren. Noch erheblich verschärft wird die Situation, wenn mehrere Baumschichten um die Ressource Wasser konkurrieren. Eine kahlschlagslose Waldbewirtschaftung, die viele ökologische Vorteile hervorbringt, stößt auf den niederschlagsarmen Sandstandorten des Tieflandes an ihre Grenzen. Die Standortpotenz – hier insbesondere die Wasserspeicherkapazität – reicht in Trockenperioden auf bestimmten Standorten nicht mehr aus, um dauerhaft mehrere Baumschichten zu versorgen. Das heißt, daß insbesondere die für den Waldumbau eingebrachten Baumarten unter einem Kiefernwald erheblicher Wasserkonkurrenz durch den Oberbestand ausgesetzt sind. Dies kann letztendlich zum Absterben der Waldverjüngung führen. Um dennoch, wenigstens auf den standörtlich besseren Arealen der Tieflands-Sandstandorte, einen Waldumbau zu einem gemischten Wald ohne Kahlschläge zu erreichen, wurde nach praktikablen Wegen zur positiven Beeinflussung des Wasserhaushaltes gesucht. Da kein zusätzlicher Niederschlag zur Verfügung gestellt werden kann und auch der Austausch der Bodensubstrate auf größeren Flächen völlig abwegig ist, bleibt nur die Möglichkeit, die Verdunstung der Waldbestände zu beeinflussen. Es wurde daher versucht, mittels Einschränkung der Bodenvegetation (Herbizide), durch Bodenbearbeitung sowie durch verschieden starke Eingriffe im Oberbestand (Auflichtung) die Verdunstungspotentiale, die als Konkurrenz für die Waldverjüngung wirken können, zu beeinflussen. Dabei stellte sich zunächst

heraus, daß unter einem noch existierenden Kiefern-Altbaumbestand ('Vorانبau' anderer Baumarten für den Waldumbau) die Bodenvegetation keinen entscheidenden Einfluß auf den Wasserhaushalt des Waldökosystems ausübt, so daß ein Herbizideinsatz nur in wirklichen Extremsituationen Sinn macht. Die Auswertung der Bodenfeuchtedynamiken aus Waldklimastationen ergab, daß offenbar der verbleibende Kiefern-Altbestand die meisten Bodenwasservorräte verbraucht. Durch Modellrechnungen auf der Basis der WKS-Dynamiken konnten wir zeigen, daß durch die richtige Auflichtung des Kiefernbestandes der Wasserhaushalt dieser Ökosysteme bedeutend entlastet und zur Aufnahme einer zweiten Baumschicht (Waldumbau mit verschiedenen Baumarten) vorbereitet werden kann, ohne auf die ökologisch günstigen Schutzwirkungen eines Oberbestandes verzichten zu müssen. (Siehe auch Jahresbericht der LAF 1995 oder Schriftenreihe 'Waldumbau' der LAF von 1996.)

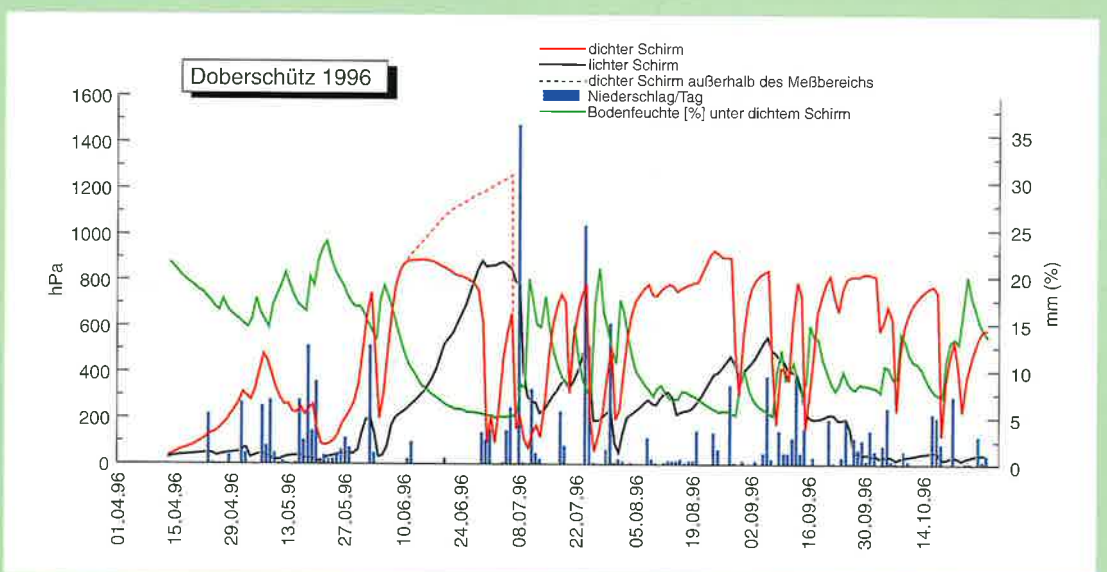
Sowohl für 1995 als auch für 1996 ergeben sich deutliche Unterschiede in der Bodenfeuchtedynamik in Abhängigkeit von der Oberbestandesdichte. Die Austrocknung in den dichten Oberbestandesvarianten war so stark, daß der Tensiometermeßbereich überschritten wurde, und es zu einem 'Leerlaufen' der Tensiometer kam. In dieser Zeit der Meßbereichsüberschreitung ist der wahrscheinliche Saugspannungsverlauf gestrichelt dargestellt. Durch die Gegenüberstellung der Tensiometerdaten mit den Messungen der ebenfalls aktiven TDR-Sonden (zum Meßprinzip siehe Abschnitt 5.4) kann die weitere Austrocknung des Bodens in diesen Austrocknungsperioden sicher belegt werden.

Folgende Beispiele sollen dies zeigen:

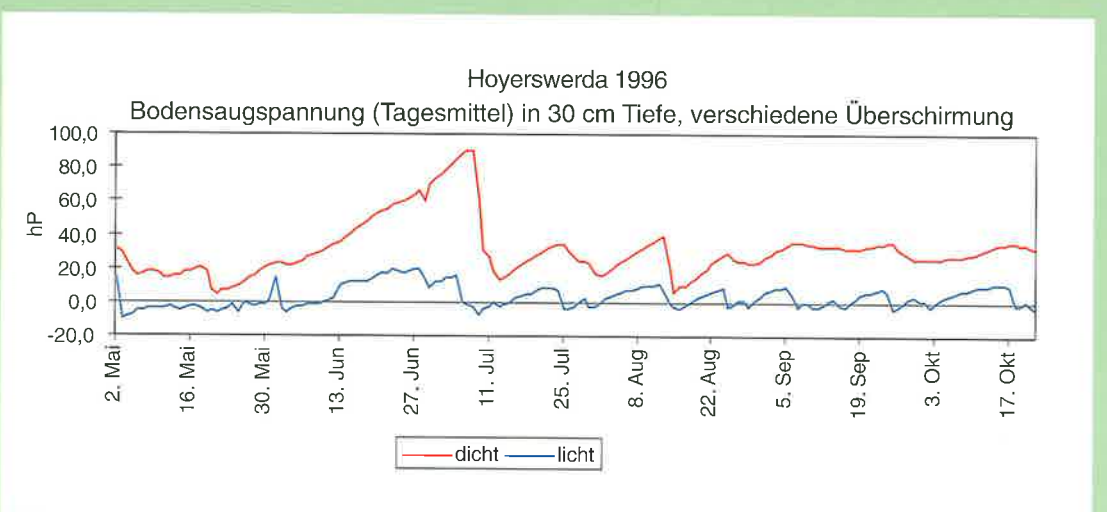
Vergleich der Bodenfeuchtedynamik
 Doberschütz 1995
 mit unterschiedlicher
 Auflichtung des
 Oberbestandes,
 weitere Erklärung auf
 der folgenden Seite



Vergleich der Bodenfeuchtedynamik in
 Kiefernbeständen
 mit unterschiedlicher
 Auflichtung des
 Kiefernaltbestandes,
 für eine Versuchs-
 fläche im FA Dober-
 schütz über 2 Jahre
 hinweg



Vergleich der Bodenfeuchtedynamik in
 Kiefernbeständen
 bei unterschiedlich
 dichten Kiefernalt-
 beständen, hier eine
 Versuchsfläche im
 FA Hoyerswerda. Der
 Einfluß verschiedener
 Auflichtungsverhält-
 nisse ist selbst im
 feuchten Jahr 1996
 sehr deutlich nach-
 weisbar.



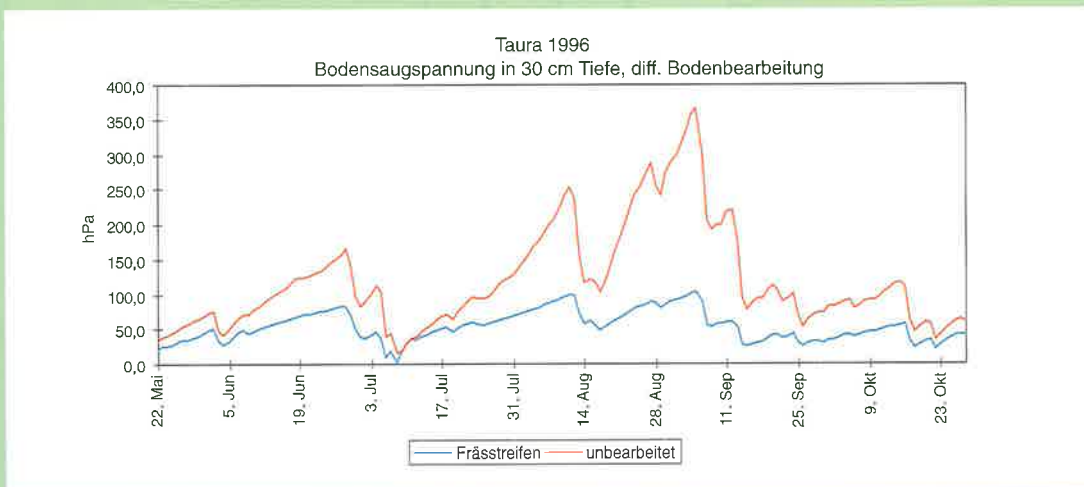
Die dichten Varianten unterliegen sehr deutlich einer stärkeren und früher einsetzenden Austrocknung (höhere Tensiometerwerte) und verschärfen somit den Wasserstreß erheblich gegenüber den stärker aufgelichteten Varianten. Diese Dynamik ist typisch für alle Waldumbauversuchsflächen der LAF. Der Effekt der Überschirmungsdichte läßt sich eindeutig nachweisen.

Im Standortbereich der sandigen Tieflandsstandorte testet die LAF Graupa ebenfalls im Rahmen von Waldumbauversuchen verschiedene Bodenbearbeitungen zur Vorbereitung der Einbringung von Waldumbaubaumarten. Hier geht es, neben der Beseitigung der verdämmenden Wirkung der Konkurrenzflora, eher darum, die Bodenfeuchteverhältnisse durch Bodenbearbeitung möglichst zu

verbessern, da, wie dargestellt, der periodische Bodenwasserstreß ein wichtiger ökologischer Mangelfaktor ist. Vergleichende Untersuchungen zu den Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungstechnologien auf die Bodenfeuchtedynamik sind darum auch für Waldumbauvorhaben in Kiefernbeständen von erheblicher Bedeutung.

Das Beispiel belegt, wie durch eine speziell für Sandstandorte entwickelte Frästechnologie der Bodenwasserhaushalt begünstigt werden kann. Offenbar bedingt die Beseitigung der Wurzelkonkurrenz aus benachbarten Bereichen und die günstige Einmischung wasserspeicherfähigen organischen Bodenmaterials diesen Effekt, dessen Dauer auf der Grundlage von Folgeuntersuchungen ermittelt werden muß.

Vergleich der Bodenfeuchtedynamik in Kiefernbeständen unter dem Einfluß von Bodenbearbeitungen



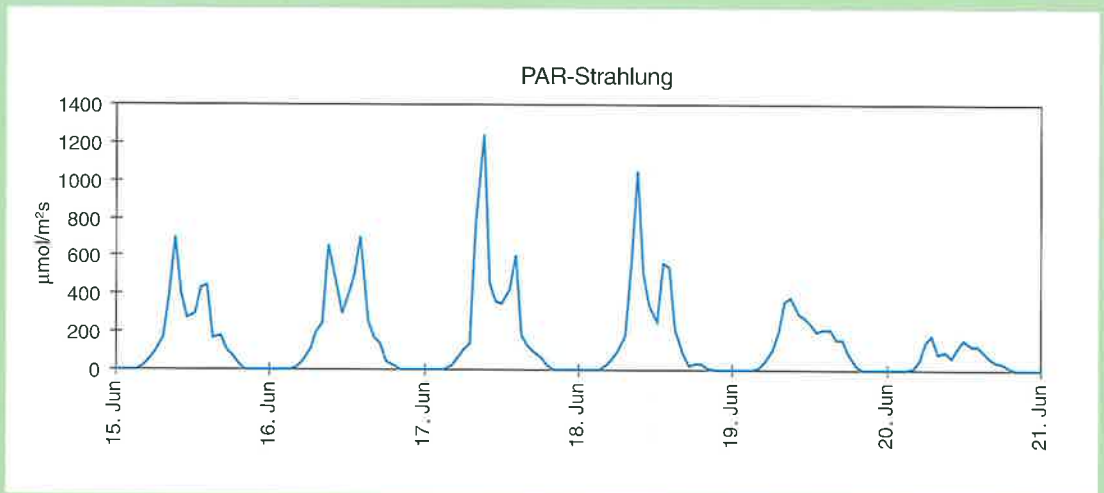
8.2.3 Transpirationspotential von Altbäumen

Kenntnisse über die Transpirationsdynamik von Waldbeständen und Baumpopulationen bilden eine wesentliche Voraussetzung zur Ableitung von Wasserhaushaltsbilanzen in Waldökosystemen. Mit ihrer Hilfe kann man den Wasserhaushalt von Waldbäumen beurteilen, Ökotypen determinieren, die Stofftransportprozesse in Waldökosystemen verfolgen und Abflußraten aus Waldflächen ermitteln. Hieraus folgen Informationen, die nicht nur für den aktuellen Waldbau und Waldumbau, sondern, dem ökosystemaren Forschungsansatz entsprechend, für einen ökologisch nachhaltigen Waldbau unter veränderten Umweltbedingungen entscheidend sind.

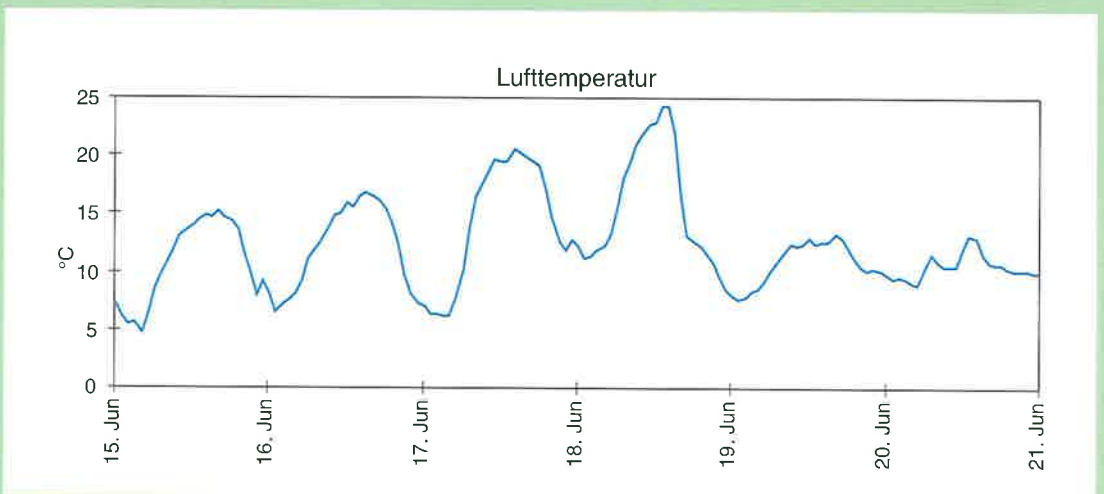
Über die Ermittlung von Xylemflußdynamiken an Altbäumen ist es möglich (siehe auch Abschnitt 'Sensorsysteme'), eben diese Transpiration von Waldbeständen abzuleiten. Die Transpirationsintensität und -dynamik ist zudem ein Mittel zur Beurteilung von Vitalität, Produktivität und Dürre-resistenz der Bäume und Waldbestände.

Im Hinblick auf die Waldverjüngung – Naturverjüngung und Waldumbau – ist davon auszugehen, daß der Altbaubestand ganz wesentlich die gesamte vom Waldökosystem transpirierte und damit 'verbrauchte' Wassermenge beherrscht.

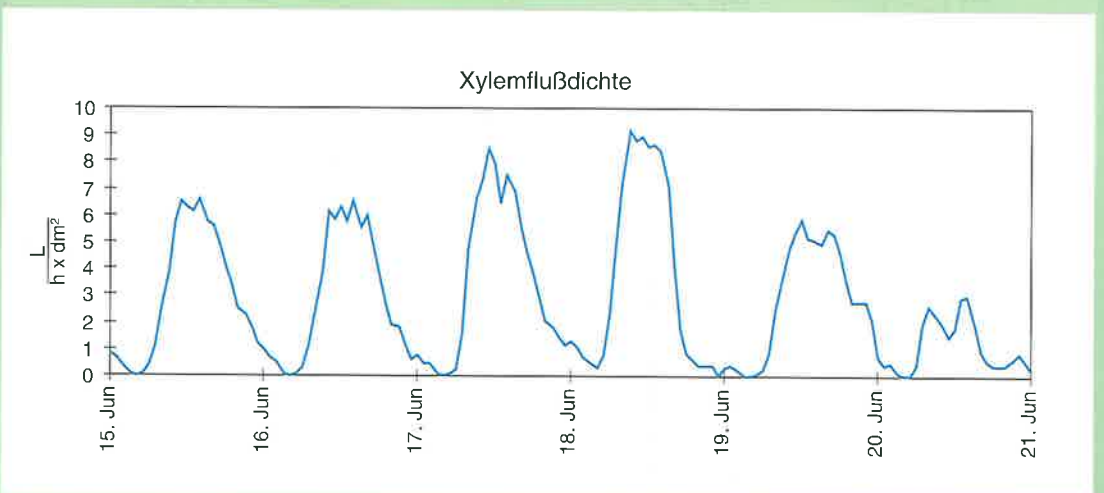
Die nebenstehenden Grafiken verdeutlichen die starke Umweltabhängigkeit der Transpirationsintensität. Insbesondere die eingestrahlte Lichtenergie (PAR) und die herrschende Lufttemperatur bestimmen die Transpirationsintensität der Bäume.



Als Beispiel dienen hier Daten der Waldumbauversuchsfläche 'Cunnersdorf' /1996 mit einem Fichten-Oberbestand.



Xylemflußdynamik
 [Liter/dm² Splintfläche*h] einer im Bestand herrschenden Altfichte und zeitgleicher Darstellung der Umweltbedingungen Licht-(PAR-) und Lufttemperaturdynamik



Durch die Ableitung funktionaler Umweltabhängigkeiten des Xylemflusses – hier hauptsächlich von der Lufttemperatur und der Lichteinstrahlung (PAR) – können flächenbezogene Transpirationsdynamiken für den gesamten Waldbestand ermittelt werden. Da der Baumbestand die Gesamtverdun-

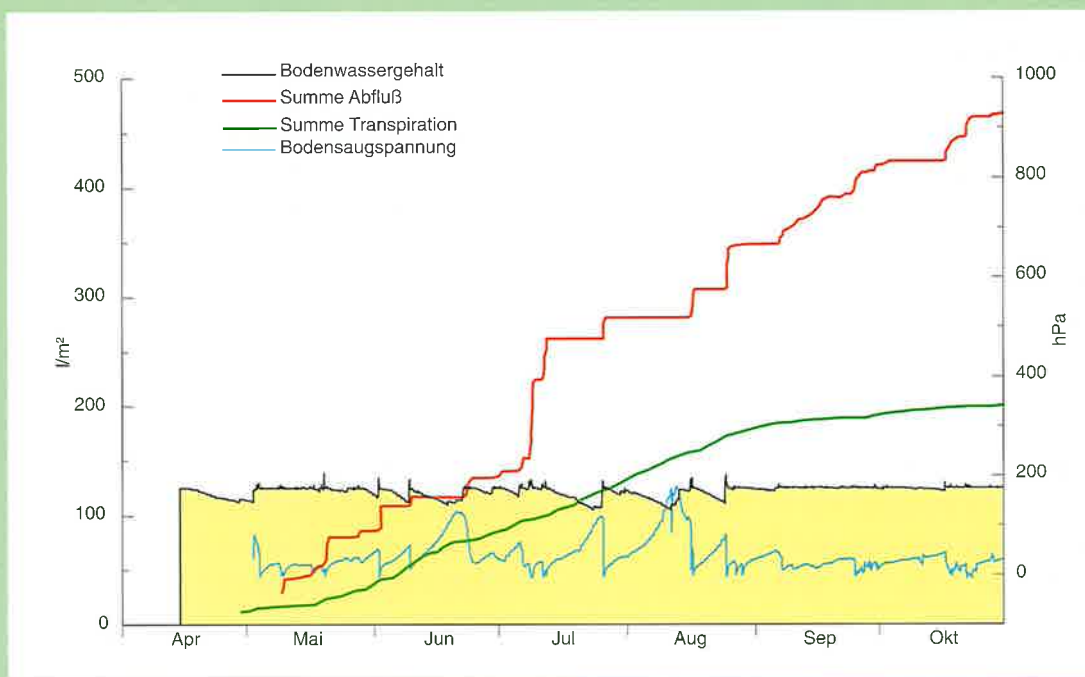
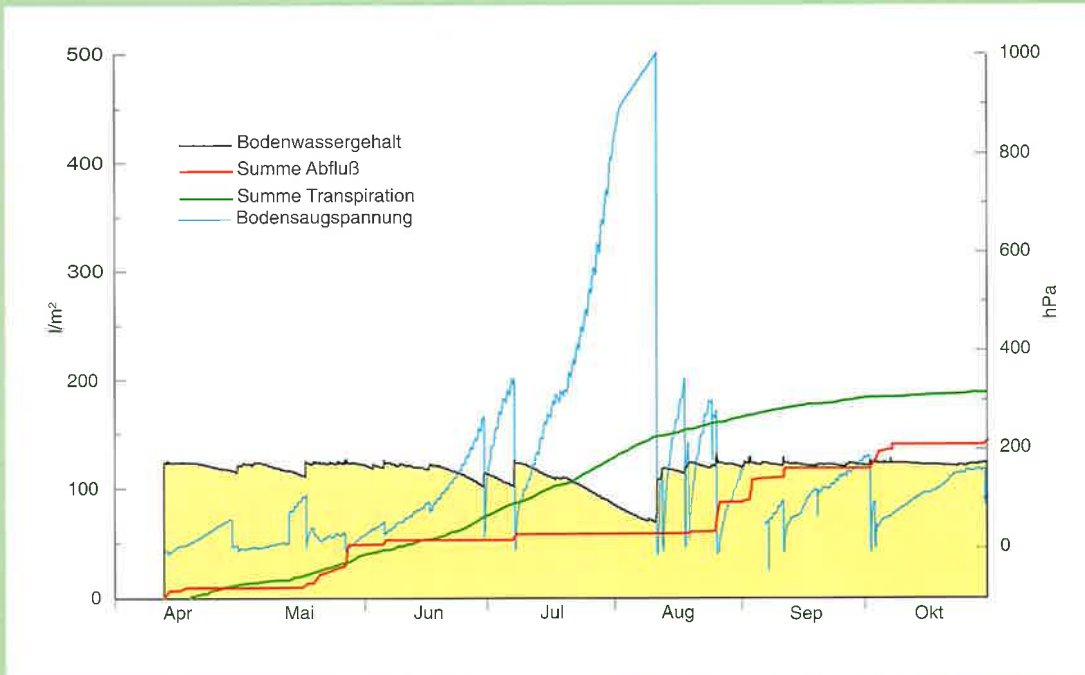
stung von Waldflächen maßgeblich bestimmt, wurde versucht, über die Gegenrechnung der angefallenen Niederschlagsmengen auf einfache Weise eine grobe Betrachtung des Ökosystem-Wasserhaushaltes zu ermöglichen.

Dabei stellt sich heraus, daß es insgesamt zu erheblichen Grundwasserneubildungs- bzw. Abflußraten kommt, die im Einzelfall auch beträchtliche Intensitäten erreichen können. Die folgenden Grafiken der mit diesen Methoden berechneten Wasserhaushaltsdynamik veranschaulichen die Zusammenhänge zwischen Bodenwasservorrat, Waldbestandstranspiration und Wasserabfluß. Die Gegenüberstellung mit der gemessenen Boden-

feuchtedynamik ergibt eine sehr gute Übereinstimmung und macht klar, daß die Bestandstranspiration den gesamten Wasserhaushalt bestimmt.

Über solche Wasserhaushaltsberechnungen kann man sowohl den Ressourcenhaushalt in Waldökosystemen aufklären als auch auf Stofftransporte aus den Wäldern schließen.

Wasserhaushaltsdynamik für den Waldumbauversuch des Fichtenreinbestandes Cunnersdorf (Mittelgebirgsstandort) für das relativ warme und strahlungsreiche Jahr 1994 (oben) und für das ausgesprochen kühle und feuchte Jahr 1996 (unten)



8.3 Nachvollziehbarkeit von Schadereignissen

8.3.1 Frostereignisse – Spätfröste

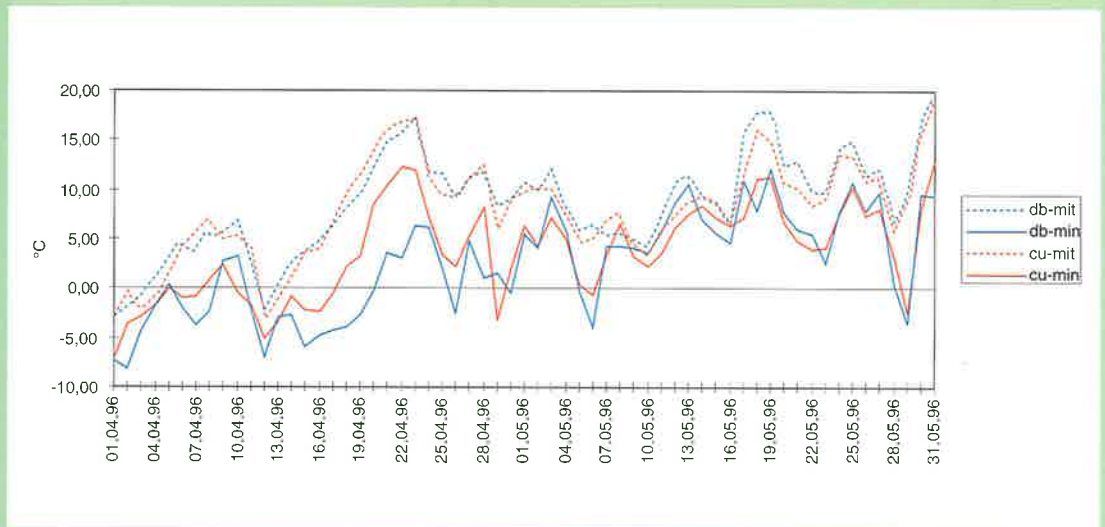
Als Spätfröste bezeichnet man i. d. R. Nachfröste nach dem Blattaustrieb der Bäume zu Beginn der Vegetationsperiode. Hierdurch können erhebliche Schäden an Waldkulturen entstehen, die sich bis zu deren Absterben auswirken können.

Nachfolgende Grafik zeigt Spätfrostereignisse in zwei Versuchsflächen zum Waldumbau. Mit den

Temperaturdaten der Waldklimastationen sind sowohl kurzfristige Schadereignisse als auch Differenzierungen der Schadintensität in verschiedenen Varianten (Auflichtung des Oberbestandes) sicher nachweisbar:

Durch Messungen in Waldumbauversuchen wurden Richtwerte für Überschirmungsdichten ermittelt, die noch einen sicheren Schutz der Waldverjüngung vor Spätfrostereignissen bieten. (Siehe auch Jahresberichte der LAF 1995/1996).

*Temperaturverläufe Cunnersdorf/Dober-
schütz mit Tagesmittel
(‘mit’) und Tages-
minima (‘min’)
im Frühjahr 1996 mit
typischen Spätfrost-
ereignissen Anfang
und Ende Mai 1996*

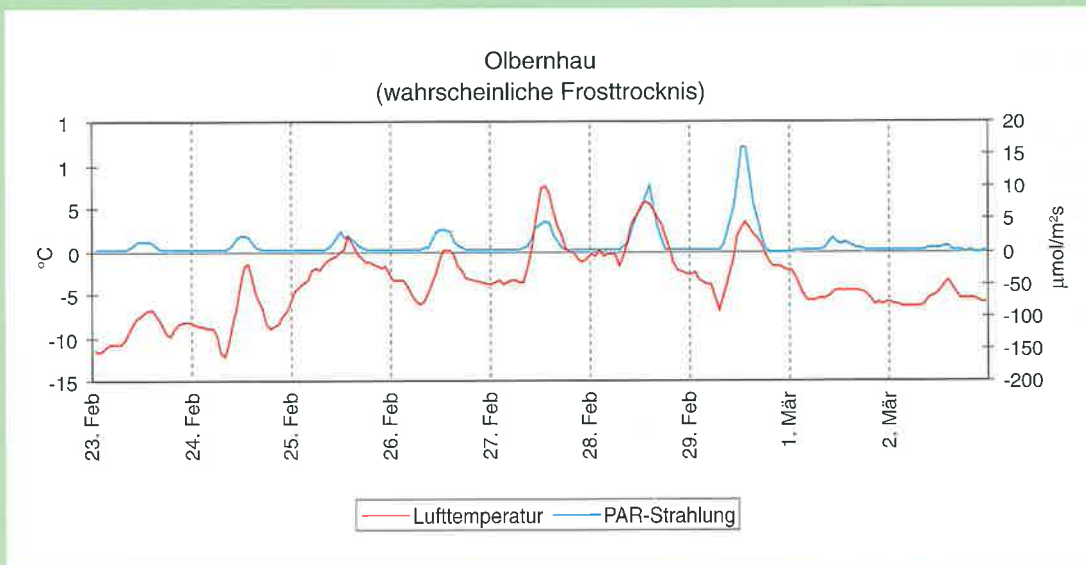


8.3.2 Frosttrocknis

Da Nadelbäume im Winter ihr gesamtes Verdunstungspotential behalten, sind sie gegenüber besonderen Witterungssituationen extrem gefährdet. Ein Beispiel ist die sogenannte Frosttrocknis. Diese Situation kann eintreten, wenn bei tief gefrorenem Boden plötzlich die Lufttemperatur deutlich über den Gefrierpunkt ansteigt, womöglich gekoppelt mit einer hohen Lichteinstrahlung (sonniges Wetter). Dann werden die Nadeln sehr schnell photosynthetisch aktiv. Dieser Prozeß ist jedoch an einen Luftaustausch gekoppelt, d. h. die Nadeln öffnen ihre Spaltöffnungen und geben Wasser an die Atmosphäre ab. Wenn nun die Wurzeln kein

Wasser nachliefern können, weil eben der Boden gefroren ist, dann 'vertrocknen' die Nadeln regelrecht am Baum. Eine solche Witterungssituation soll die nachfolgende Grafik veranschaulichen: Bei gefrorenem Boden kommt es sehr schnell zu einer Erhöhung der Lufttemperatur über 0 °C bei gleichzeitigem starken Strahlungsanstieg. Zudem kam es – zeitlich mit den Temperaturanstiegen übereinstimmend – zu drastischen Immissions-schüben (SO₂), so daß die gerade physiologisch aktivierten Nadelbäume erhebliche Schäden erlitten. Auch hier können nur Daten aus Waldklimastationen die abgelaufene Dynamik darstellen und im Zusammenhang mit anderen Faktoren eine Differentialdiagnose ermöglichen.

Vermutete Frost-trockniser-scheinungen in Fichten-wäldern des Erzgebirges



8.4 Waldumbauversuche, Waldklimastationen und prozeßorientierte Modellierung von Waldökosystemen

Die umweltabhängigen Dynamiken der Baumarten Bergahorn und Spitzahorn stellen plausible Prognosen des Wachstums unter Voranbaubedingungen (KI) auf Sandstandorten des Tieflandes unter verschiedenen Wasserstreßsituationen dar. Ohne die Ermittlung der behandlungsspezifischen Umweltdynamiken mit Hilfe der Waldklimastationen wären solche prozeßorientierten Simulationssysteme nicht denkbar! Die Entwicklung prozeßorientierter Simulationssysteme ist wiederum die Voraussetzung für den zwingend erforderlichen Forschungs-

vorlauf, um bei einer Veränderung der Umweltbedingungen, die in einem Tempo verlaufen könnte, welches natürliche Adaptations- bzw. Selektionsprozesse ausschließt, einen ökologisch nachhaltigen Waldbau betreiben zu können.

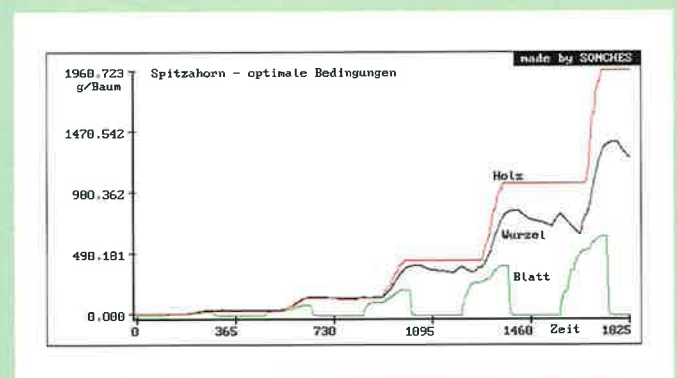
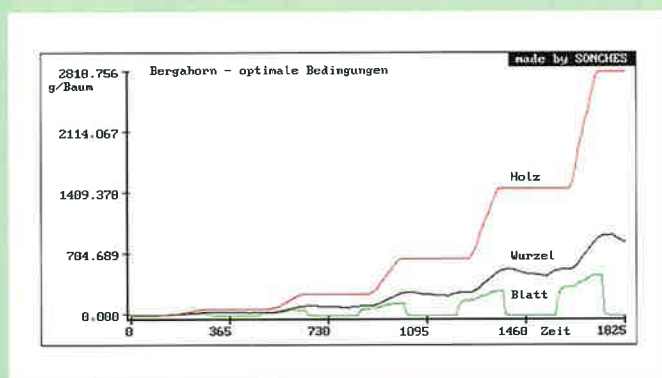
Die Ergebnisse für jeweils gleiche Umweltbedingungen der beiden Baumarten werden zum besseren Vergleich nebeneinander dargestellt – die Berechnung erfolgte in Tagesschritten für einen hier dargestellten Simulationszeitraum von 5 Jahren.

Optimale Umweltbedingungen

Es werden maximale Wachstumsraten erreicht, bei ausgeglichenem Wurzelwachstum, das Blattwach-

tum weist einen deutlichen Johannestrieb auf bzw. dauert bis in den Spätsommer an.

Der Spitzahorn erreicht aber nicht das Biomasseniveau des Bergahorns.

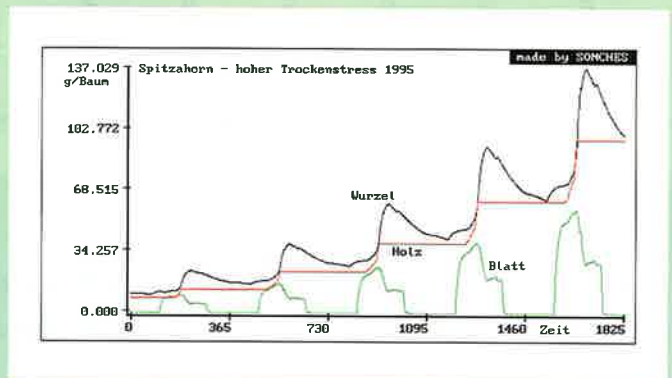
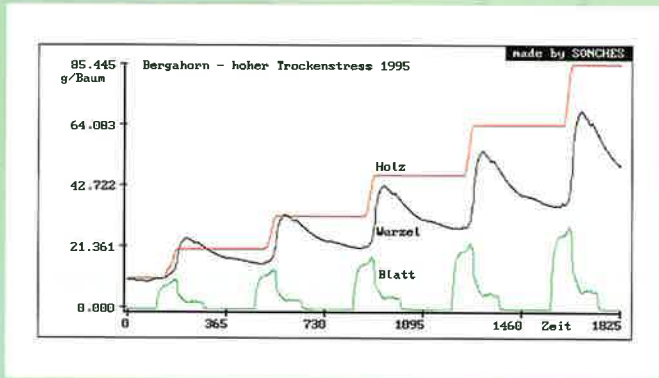


Trockenstreß: höchster gemessener Streß – dichte Oberbestandesvariante

Die Wachstumsmöglichkeiten des Bergahorns sind drastisch verringert bzw. überhaupt nur noch möglich durch das jeweils günstige Frühjahr. Die Biomasserelationen haben sich deutlich zugunsten des Wurzelsystems verschoben. Durch die langandauernde hohe Trockenheit kommt es in der Vegetati-

onsperiode zu erheblichen Blattverlusten. Die Einschränkungen des Spitzahorns sind nicht ganz so dramatisch wie beim Bergahorn. Die Biomasserelationen werden nun vom Wurzelsystem dominiert.

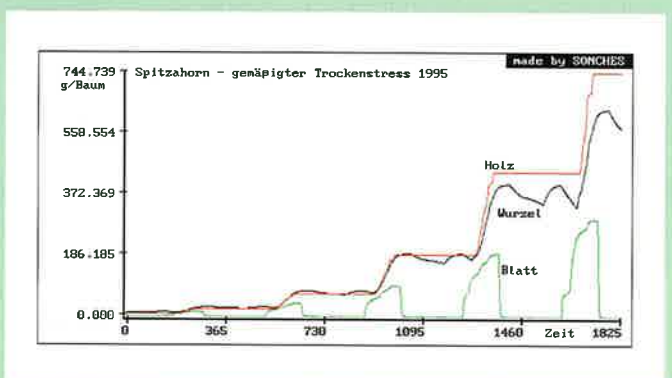
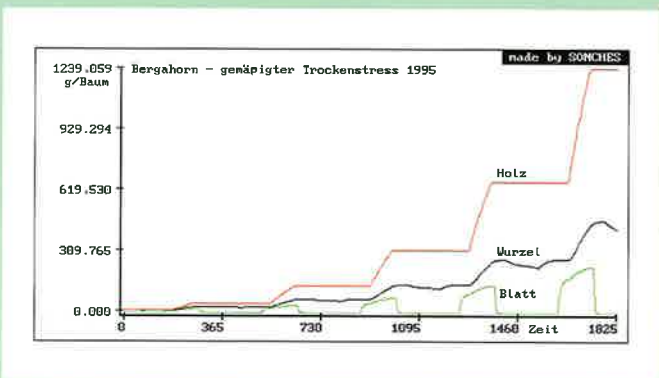
Durch die langandauernde hohe Trockenheit kommt es in der Vegetationsperiode zu Blattverlusten, die jedoch weniger drastisch als beim Bergahorn sind.



Trockenstreß: geringerer gemessener Streß – lichte Oberbestandesvariante

Im Vergleich zur Trockenstreßbelastung unter dichtem Oberbestand ergeben sich hier deutlich günstigere Dynamiken. Es ist noch erhebliches Wachs-

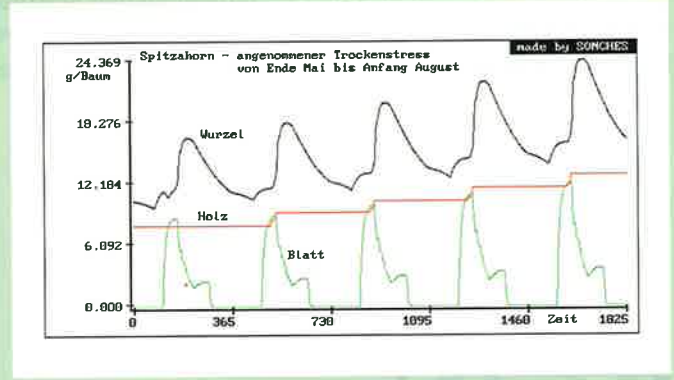
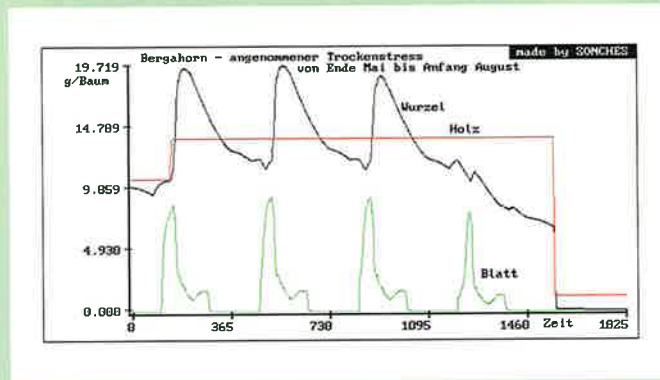
tum möglich, es kommt nicht zu trockenstreßbedingten Blattverlusten, wenngleich natürlich gravierende Wachstumsverluste gegenüber der Optimalvariante auffallen. Das Wachstum des Spitzahorns bleibt unter diesen Bedingungen schon erheblich hinter dem Bergahorn zurück.



Trockenstreß: angenommener langer Streß – von Ende Mai bis Anfang August

Im angenommenen Fall einer schon Ende Mai beginnenden Trockenheit (Höhe des Stresses ver-

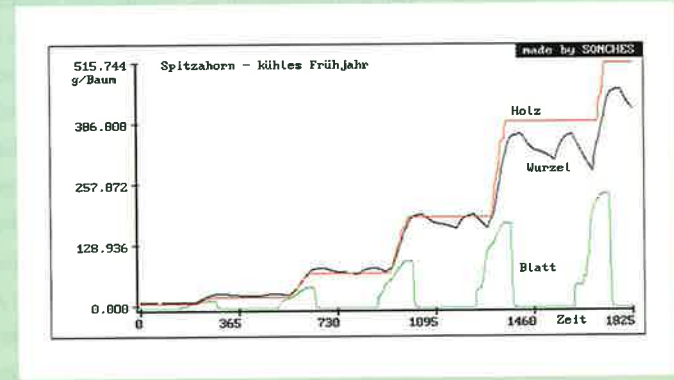
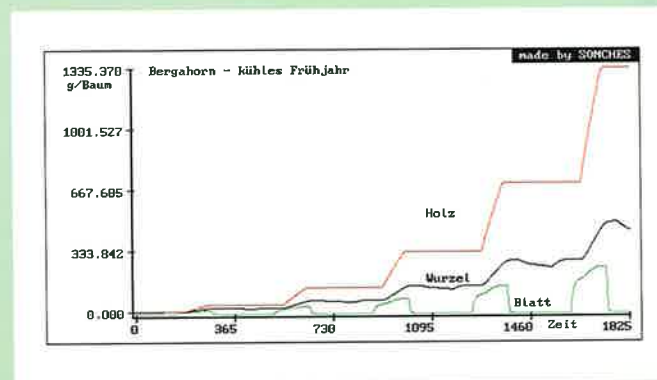
gleichbar mit der 1995 gemessenen Dynamik) kann so gut wie kein Wachstum mehr erreicht werden. Der Spitzahorn überlebt eine mehrjährige Wiederholung dieser Belastung, der Bergahorn kann unter diesen Bedingungen offenbar nicht mehr existieren.



Optimale Umweltbedingungen bis auf: kühles Frühjahr

Dieser Vergleich soll verdeutlichen, daß ein kühles Frühjahr zwar keinen unmittelbaren Streß für den

Baum darstellt, daß aber durch kühle Witterungsperioden (oder Standorte) erhebliche Wachstumseinbußen verursacht werden können. Mit kühleren Witterungsperioden kommt der Bergahorn offenbar besser zurecht als der Spitzahorn.



9 Fazit

Das System von Waldklimastationen in Kombination mit aktiven Waldumbauversuchen und den bodenkundlichen Eintragsmeßstellen ist schon jetzt zu einem sehr effizienten und unverzichtbaren Forschungs- und Monitoringsystem entwickelt worden.

Auf der Basis dieses Systems wird die LAF Graupa in die Lage versetzt, kausale Zusammenhänge in Waldökosystemen unter sich ändernden Umweltbedingungen besser zu erkennen und der Forstwirtschaft wirklich ökosystemar begründbare Entscheidungshilfen beim Waldumbau bzw. bei der Waldbewirtschaftung zur Verfügung zu stellen.

10 Ausblick

Neben den hier dargelegten komplexen Nutzungsmöglichkeiten für die Beurteilung der Dynamiken in Waldökosystemen, für die umweltabhängige und prozeßorientierte Prognose der Baum- und Bestandesentwicklung, für Wasserhaushalts- und Stoffflußberechnungen etc. könnte das System von Waldklimastationen beispielsweise auch entscheidende Unterstützung bei der physiologischen Charakterisierung der verschiedenen Herkünfte und Ökotypen unserer Baumarten leisten oder für die Aufklärung der Disposition/Resistenz von Baumpopulationen gegenüber bestimmten Schaderregern eingesetzt werden. Letztendlich beeinflussen die aufgrund des Waldklimastationensystems abgeleiteten Erkenntnisse die gesamten praktischen Planungen und Bewirtschaftungsmaßnahmen im Wald. Der mit den Waldklimastationen verbundene waldbauliche Forschungsansatz reicht aber weit über die Probleme des aktuellen Waldumbaus hinaus, weswegen die Sicherung der Kontinuität dieser Untersuchungen auch künftig gewährleistet sein muß.

Die Möglichkeiten eines komplexen Untersuchungsprogramms zum Waldumbau an der LAF Graupa zu schaffen, um daraus einen ökosystemar begründbaren Erkenntnisvorlauf für die multifunktionale Bewirtschaftung der Wälder zu gewinnen, ist Ziel unserer Arbeit.

Insgesamt wird ein Endausbau für den Einsatz von Waldklimastationen in der LAF nach jetzigen Gesichtspunkten (min. notwendige Meßnetzdicke und Standortrepräsentanz sowie personelle Kapazität) folgende Struktur besitzen:

1. Bestandesmeßstationen

In Waldumbauversuchen in Fichtenreinbeständen (Mittelgebirgslagen):

Insgesamt sind 8 Meßstationen vorgesehen, davon sind z. Z. 7 Stationen installiert.

In Waldumbauversuchen in Kiefernreinbeständen (Tiefeland):

Mit 4 Meßstationen können die wichtigsten Tieflandsbedingungen erfaßt werden. Diese 4 Stationen sind bereits installiert.

In Waldumbauversuchen auf Pseudogleystandorten (Hügelland) sollen zukünftig 2 Meßstationen aufgebaut werden.

2. Freilandmeßstationen

Als Freilandmeteorologie an bodenkundliche Dauerbeobachtungsflächen gekoppelt, befinden sich diese Stationen jeweils in räumlicher Nähe zu den Waldumbauversuchen und Bestandesmeßstationen.

Die z. Z. vorgesehenen 6 Meßstationen sind vollständig installiert.

Impressum

Herausgeber:

Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF)
Bonnewitzer Straße 34, 01827 Graupa
Tel. (0 35 01) 54 20, Fax (0 35 01) 54 22 13

Autor

Dr. Sven Irrgang, LAF

Bild- und Grafikautoren

Dr. S. Irrgang, A. Peters

Redaktion, Gestaltung, Realisation

TRICOM Dresden

Redaktionsschluß 08/97

Auflage 3 000

Bezug

Sächsische Landesanstalt für Forsten

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Mißbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, daß diese als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

In der Schriftenreihe der LAF sind bisher die folgenden Titel erschienen:

| | |
|--|---|
| Erstausgabe | Waldfunktionenkartierung |
| Heft 1/1994 | Forstpflanzenzüchtung - Quo vadis? |
| Heft 2/1995 | Wald und Klima |
| Heft 3/1995 | Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen |
| Heft 4/1995 | Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften |
| Heft 5/1995 | Genetik und Waldbau der Weißtanne, Bd. I und II |
| Heft 6/1996 | Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium |
| Heft 7/1996 | Wald und Boden |
| Heft 8/1996 | Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen |
| Heft 9/1996 | Waldbiotopkartierung in Sachsen |
| Heft 10/1996 | Empfehlungen geeigneter Herkünfte forstlichen Saat- und Pflanzgutes für den Anbau im Freistaat Sachsen (Herkunftsempfehlungen) |
| Heft 11/1997 | Waldklimastationen |
| in Vorbereitung (Erscheinen voraussichtlich Oktober 1997) | Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit beim Waldumbau Waldumbau II |