

Für meine Mutter
&
in Erinnerung an meinen Vater



Adansonia digitata L.



Tamarindus indica L.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	7
2	DER BAOBAB.....	10
2.1	Botanische Beschreibung	10
2.2	Natürliche Verbreitung und Entwicklung	13
2.3	Bedeutung und Verwendung	16
2.4	Vermehrung und Kultivierung	20
3	DIE TAMARINDE	22
3.1	Botanische Beschreibung	22
3.2	Natürliche Verbreitung und Entwicklung	26
3.3	Bedeutung und Verwendung	29
3.4	Vermehrung und Kultivierung	33
4	DER SUDAN	35
4.1	Allgemeiner Überblick	35
4.2	Agrarwirtschaft.....	39
4.3	Wildobst.....	43
5	BODENVERSALZUNG.....	47
5.1	Ursachen und Bedeutung der Bodenversalzung.....	47
5.2	Bodenversalzung im Sudan	50
5.3	Schadwirkungen auf die Pflanze	53
6	MATERIAL UND METHODE.....	56
6.1	Versuchsvorbereitung.....	56
6.2	Versuchsdurchführung	58
6.3	Analysen und Untersuchungen.....	59
6.4	Statistische Auswertung und Gestaltung der Grafiken.....	61
7	VERSUCHSAUSWERTUNG UND ERGEBNISSE.....	62
7.1	Baobab	62
7.1.1	Schadsymptome	62
7.1.2	Vegetatives Wachstum.....	63
7.1.3	Photosynthese.....	71
7.1.4	Mineralstoffe	73
7.2	Tamarinde.....	80
7.2.1	Schadsymptome	80

7.2.2 Vegetatives Wachstum.....	81
7.2.3 Photosynthese.....	89
7.2.4 Mineralstoffe.....	91
8 DISKUSSION	98
9 ZUSAMMENFASSUNG	117
10 SUMMARY	118
11 LITERATURVERZEICHNIS	119

1 EINLEITUNG

Der „Weltbericht zu Hunger und Unterernährung 2000“ der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) zeigt deutlich auf, dass Nahrung noch immer für viele Menschen ein äußerst knappes Gut ist. Nach diesem Bericht haben ca. 826 Millionen Menschen nicht genug zu essen. Demgegenüber steht die weitere Zunahme der Weltbevölkerung, die nach heutigen Erkenntnissen bis zum Jahre 2020 auf etwa acht Milliarden Menschen ansteigen wird (ENGELHARD 2000).

Besonders in den Entwicklungsländern Afrikas sind die Geburtenraten sehr hoch. Südlich der Sahara befinden sich die Mehrzahl der ärmsten Länder der Welt, in denen Hunger und Unterernährung weit verbreitet sind (WATERLOW et al. 1998). In vielen Gebieten sind die selbst bestellten Felder in der Umgebung und das Sammeln von Pflanzen und Früchten die einzige Nahrungsquelle (FAO 2000).

Der Boden und seine unterschiedliche Fruchtbarkeit spielt eine zentrale Rolle für die Ernährung. Jahr für Jahr gehen jedoch 20 Millionen Hektar an landwirtschaftlich genutzter Fläche durch Verwüstung und Versteppung verloren, die Wüsten dehnen sich jedes Jahr um sechs Millionen Hektar aus (BMZ 1992). Die Entwicklungsländer in Afrika sind am stärksten von der Desertifikation betroffen (HAMMER 2000).

In vielen Gebieten ist eine landwirtschaftliche Nutzung der Böden ohne künstliche Bewässerung undenkbar. Aber Wasser steht nur selten in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung (BEESE et al. 1997, WOLFF und STEIN 1999). Die nicht optimal be- und entwässerten Flächen werden zudem noch äußerst intensiv bewirtschaftet, um einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen. Nach relativ kurzer Zeit verlieren die Böden ihre Fruchtbarkeit und sind landwirtschaftlich nicht mehr nutzbar. Auf der Suche nach neuen, fruchtbaren Böden wird im Regenwald und in den Savannenlandschaften Brandrodung betrieben. Zusammen mit dem Holzeinschlag zur Gewinnung von Harthölzern und dem Schlagen und Sammeln von Feuerholz wird jährlich weltweit eine Fläche von ca. 12,5 Millionen Hektar tropischer Naturwälder vernichtet (BML 1999). Die für die Landwirtschaft neu erschlossenen Böden sind oft nur für kurze Zeit nutzbar. Eine anschließende Viehbeweidung trägt dazu bei, dass die Flächen offen bleiben und sich keine neue Vegetation bilden kann (BEYER 2002). Ohne ihre natürliche Vegetationsdecke sind die Böden der direkten Sonneneinstrahlung, starken Stürmen, Regenzeiten und Dürreperioden schutzlos ausgesetzt. Die Folgen sind extreme Temperaturschwankungen der Bodenoberfläche, Austrocknung, Nährstoffauswaschung, Bodenabtragung (Erosion) und die Veränderung der Grundwasserverhältnisse (ENGELHARD 2000, MÖRSCHERL 2002).

Aber auch die Bodenversalzung (Salinität) spielt eine zunehmende Rolle und zählt speziell in den Tropen und Subtropen zu den Hauptgründen für den weltweiten Verlust an landwirtschaftlich genutzten Flächen (BOYKO 1966, SHAY 1990, GHASSEMI et al. 1995, ZECH 2002). In ariden und semiariden Regionen dieser Klimazonen bedingt die starke Sonneneinstrahlung in Verbindung mit hoher Evapotranspiration eine überwiegend aufwärts gerichtete Wasserbewegung im Boden. Dadurch werden Salze in die oberflächennahen Bodenschichten verlagert. Dort können sich die Salzionen stark anreichern, da das Wasser verdunstet und die Salze an der Bodenoberfläche zurückbleiben (FELLENBERG 1999).

Der Artenreichtum der tropischen und subtropischen Flora und damit ihr genetisches Potenzial ist riesengroß. Die hohe Biodiversität ermöglicht es, dass in den Entwicklungsländern dieser Regionen hunderte verschiedener Pflanzenarten zur Verfügung stehen, die in vielen Gebieten zur Sicherung der Nahrungsgrundlage und des Einkommens beitragen (VON MAYDELL 1990, FRANKE 1997, KARMANN und LORBACH 2002). Während in Ländern kühler Klimate Fleisch, Getreide, Wurzel- und Blattgemüse die Hauptnahrungsmittel darstellen, sind in tropischen Gebieten neben Reis, Mais oder Hirse die Früchte krautiger Pflanzen und sehr vieler Gehölze wichtigste Ernährungsgrundlage. In den Tropen zählen etwa 90% der Arten, deren Früchte als Nahrungs- und Genußmittel verwendet werden, zu den holzigen Gewächsen, die meisten davon sind Bäume (NOWAK und SCHULZ 1998). Die Früchte weisen oft sehr interessante Eigenschaften auf, stellen aber auch eine wichtige Quelle für Mineralstoffe u.a. lebensnotwendige Substanzen dar.

Beeindruckend sind oft die botanischen Kenntnisse der Menschen über Verwendung und Eigenschaften der Früchte. Das Wissen kann aber von Region zu Region stark variieren. Neben den wertvollen Früchten als Nahrungs- und Heilmittel liefern die Gehölze auch Bau- und Brennholz, Grundstoffe für Medizin, Fasern, Öle, Harze und spenden Schatten für Mensch, Tier und Boden (MILIMO et al. 1992, GARRITY 2000).

Oft ist der potentielle Nutzen der Wildobstgehölze bei weitem noch nicht ausgeschöpft (BONKOUNGOU et al. 1999, MUOK et al. 2001). Eine Ursache dafür ist, dass das Interesse der Forschung bislang nicht besonders ausgeprägt war (BUWALDA et al. 1997). Nur wenige Obstarten werden in Plantagen angebaut und dienen als Exportfrüchte, wie z.B. Kakao, Kaffee oder Mango. Der internationale Fruchthandel ist seinerseits ständig auf der Suche nach neuen Früchten und Produkten. Viele Wildobstarten sind bis heute kaum bekannt, wissenschaftlich wenig untersucht und damit züchterisch nicht bearbeitet (GUNASENA 2001).

Wildobstarten in den Tropen und Subtropen zeichnen sich im Gegensatz zu den Kulturpflanzen durch eine hohe Lebensdauer, Toleranz bei Trockenheit und Dürre

und eine relativ gute Resistenz gegenüber Schädlingen und Krankheiten aus (PACKHAM 1993). Einheimische Strauch- und Baumarten sollten deshalb verstärkt angepflanzt und genutzt werden. Sie könnten auch eine nachhaltige Nutzungsform für landwirtschaftlich unbrauchbare Flächen sein. Gerade Dauerkulturen wie Obstgehölze können speziell in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung dazu beitragen, eine Degradierung von erosion- bzw. austrocknungsgefährdeten Böden zu verhindern, da im Obstbau die Bodenbearbeitung minimal ist und die Schattenwirkung von Obstbäumen einer übermäßigen Erhitzung des Bodens entgegenwirkt. Wissenschaftliche Untersuchungen der Ökophysiologie von Wildobstarten, ihrer Standortanprüche, des Wachstums und der Entwicklung, ihrer Vermehrung und Kultivierung liegen kaum vor und können auch in nächster Zukunft von den Entwicklungsländern nicht geleistet werden. Hier ist die Unterstützung der Industrieländer gefragt!

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Baobab (*Adansonia digitata*) und der Tamarinde (*Tamarindus indica*) als interessante Wildobstarten im Sudan und den Problemen der dortigen Bodenversalzung. Im zweiten Teil der Arbeit wird der Einfluss von NaCl-Salinität auf Wachstum und Stoffwechsel bei Baobab- und Tamarindensämlingen untersucht, um Aussagen zur Salzverträglichkeit dieser Wildobstarten treffen zu können.

2 DER BAOBAB

2.1 Botanische Beschreibung

Der Baobab, *Adansonia digitata* Linné (1753), wird zur Familie der Bombacaceae (Wollbaumgewächse) gezählt (BAUM 1995, FELTER und LLOYD 1998, SCHEMMERLING und UHLARZ 1998, WYK und GERICK 2000). Häufig wird er auch als Affenbrotbaum bezeichnet, da die Früchte gern von Affen gefressen werden (RASHFORD 1994). Der Baobab gehört zu einer Gattung, die acht relativ ähnliche Arten umfasst. Die Art *A. digitata* kommt in den Savannen Afrikas vor, eine zweite Art (*A. gibbosa*) ist beschränkt auf den Nordwesten Australiens und die verbleibenden sechs Arten (*A. grandidieri*, *A. madagascariensis*, *A. perrieri*, *A. rubrostipa*, *A. suarezensis*, *A. za*) sind endemisch in Madagaskar (BAUM et al. 1998).

Der Baobab (Abbildung 1) ist ein mächtiger, die Landschaft prägender und laubabwerfender Baum, der eine Höhe von 20 bis 25 m erreichen kann und mehrere hundert Jahre alt wird (VENTER und VENTER 1996).



Abb. 1: Baobab (*Adansonia digitata*) in Nord-Kordofan (Sudan).

Der kurze und sukkulente Stamm erreicht einen Umfang von bis zu 40 m (DANERT et al. 1993). Die Form des Stamms ist sehr unterschiedlich. Bei jungen Bäumen kegelförmig, bei ausgewachsenen Bäumen zylindrisch, flaschenförmig, spitz zulaufend mit Ästen nahe der Basis. Die runde und weit ausladende Krone hat dicke, knochige und unförmige Äste und Zweige, die im unbelaubten Zustand oft an

ein intensiv entwickeltes Wurzelsystem erinnert. Aufgrund dieses typischen Erscheinungsbilds wird er auch als "Africa's upside down tree" bezeichnet (WICKENS 1982). Der Stamm besitzt eine außen harte und innen faserige, bis 2,5 cm dicke Borke, die grau bis rötlich und glatt, pockennarbig oder runzelig wie eine Elefantenhaut sein kann (FAO 1988a).

Der Baobab ist nur während der etwa viermonatigen Regenzeit beblättert. In den verbleibenden acht Monaten ermöglicht eine Schicht von grünen Zellen unmittelbar unter der Rinde ein Mindestmaß an Photosynthese, deren Grundlage die Wasserreserven im Stamm darstellen (FENNER 1980).

Es besteht Blattdimorphismus. Die Blätter von Sämlingen und jungen Bäumen sind von einfacher Form. Voll entwickelte Blätter sind wechselständig angeordnet, glänzend grün, fünf- bis maximal neunzählig gefingert und haben einen Durchmesser von etwa 20 cm. Am Ende des bis zu 16 cm langen Blattstiels sitzen die 10 mal 5 cm großen, ganzrandigen Fiederblättchen (EL AMIN 1990). Die Blätter des Baobab sind in der Form denen der Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*) ähnlich.

Die großen und sehr auffälligen, wachsigweißen Blüten hängen einzeln oder zu zweit an langen Stielen herab, messen 5 bis 10 mal 4,5 bis 12 cm und verbreiten einen unangenehmen Geruch (WICKENS 1982). Der Kelch ist tief drei- bis fünfzipfelig und innen samtig behaart. Die fünf Petalen (Kronenblätter) überlappen sich ein wenig und haben eine breit rundliche oder breit verkehrt eiförmige Form. Auffallend ist die sehr große Zahl von Staubblättern (720 bis 1600), die an der Basis zu einer 1,5 bis 4,5 cm langen Röhre zusammenwachsen (SCHÜTT und WOLF 1996). Der fünf- bis zehnfächerige, oberständige Fruchtknoten enthält zahlreiche Samenanlagen und der Griffel überragt die Staubblätter um ca. 1,5 cm. Die Blühdauer einer Einzelblüte beträgt höchstens 24 Stunden.

Aus den Fruchtknoten entwickeln sich innerhalb von acht Monaten die auffälligen und an langen Stielen herabhängenden Früchte (SCHÜTT und WOLF 1996), die sich während des Reifeprozesses von grün über gelb in graubraun verfärben. Die durchschnittlich 35 mal 16 cm große Kapsel besitzt ein bis zu 1 cm dickes, verholzendes Perikarp (Fruchthülle), das zur Reife außen von einem dichten Filz aus gelbbraunen, rauhen Haaren von bis zu 3 mm Länge überzogen ist und sich nicht öffnet (NOWAK und SCHULTZ 1998).

In der Literatur (WICKENS 1982, EL AMIN 1990) wird von sehr unterschiedlichen Fruchtformen und -größen berichtet. Im Sudan sind die Früchte kugelig, eiförmig

oder länglich mit stumpfen bzw. zugespitztem Apex. In Abhängigkeit von den Herkunftsgebieten wurden folgende Fruchtlängen gemessen:

- Angola bis 54 cm
- Südafrika bis 25 cm
- Sudan bis 32 cm
- Westafrika bis 40 cm

In der Fruchtkammer (Abbildung 2) befinden sich die zahlreichen runden, ellipsen- oder bohnenförmigen Samen. Sie sind von brauner Farbe, haben die Maße 13 mal 9 mm und sind mit einer ca. 1 mm dicken und äußerst harten Testa umschlossen. Das Tausendkorngewicht der Samen beträgt 350 bis 500 g. Die Baobabsamen sind zum Zeitpunkt der Reife in eine zähschleimige, säuerliche, gelbweiße Pulpe (Fruchtfleisch) eingebettet, die die Fruchtkammer ausfüllt. Sie ist von einigen rotbraunen, grob strähnigen Fasern durchzogen. Durch Trocknung und Lagerung erreicht das Fruchtfleisch eine mehlig Konsistenz.

Die Bäume tragen im Alter von ungefähr 20 Jahren erstmals (ANONYMUS 2001) und später ausgewachsen mehr als 250 Früchte (IBIYEMI et al. 1988).



Abb. 2: Baobabfrucht aus dem Sudan.

2.2 Natürliche Verbreitung und Entwicklung

Adansonia digitata ist endemisch in den heißen und trockenen Regionen Afrikas südlich der Sahara, insbesondere in der Sahelzone. Das Verbreitungsgebiet reicht von den Baum- und Strauchsavannen des afrikanischen Tieflands bis in Höhenlagen von 1250 m. Der Baobab fehlt jedoch im Bereich des zentralafrikanischen Regenwalds. Er ist oft als markante Solitärpflanze oder in kleineren Gruppen zu finden. Geschlossene Bestände bildet er nur selten (FENNER 1980). Im Bereich der trockenen Baumsavannen ist er auch mit den Gattungen *Acacia*, *Albizia*, *Combretum*, *Commiphora*, *Diospyros*, *Terminalia*, *Tamarindus* u.a. in wechselnden Anteilen vergesellschaftet (PURSEGLOVE 1982, SCHÜTT und WOLF 1996).

Das geographische Hauptverbreitungsgebiet liegt in Afrika und erstreckt sich vor allem über die Länder Senegal, Gambia, Mali, Burkina Faso, Ghana, Togo, Niger, Nigeria, Tschad, Kamerun, Sudan, Eritrea, Äthiopien, Somalia, Kenia, Tansania, Angola, Sambia, Simbabwe, Mosambik, Namibia, Botswana und Süd Afrika (GARRITY 2001a). Im Sudan ist der Baobab in den Gebieten Kordofan, Darfur, Blue Nile, Upper Nile und Bahr el Ghazal zu finden (EL AMIN 1990). Außerhalb seines natürlichen Areals ist *A. digitata* u.a. auch in Indien, Kuba und Indonesien anzutreffen. Schon im 13. Jahrhundert haben arabische Händler zu seiner Verbreitung beigetragen (MAHESHWARI 1971).

Der Baobab übersteht gut Dürreperioden und ist ausgesprochen feuerresistent. Er besitzt ein sehr ausgedehntes Wurzelsystem und eine hohe Wasserspeicherkapazität im Stamm. Diese Anpassung erlaubt ihm ein Vorkommen in Gebieten mit Jahresniederschlägen von 100 bis 1000 mm. Er kommt jedoch auch in Gebieten mit noch geringeren Niederschlagsmengen vor. Ein optimales Gedeihen zeigt der Baobab bei 800 mm (FENNER 1980). Die Feuerresistenz verdankt er seiner dicken, faserigen, kaum brennbaren Borke (GARRITY 2001a).

Messungen des freigelegten Wurzelsystems ergaben, dass es relativ flach ist, bis 1,8 m tief, sich aber über eine große Fläche erstreckt, deren Durchmesser größer ist als die Baumhöhe (FENNER 1980). Das ausgedehnte und dicht verzweigte Wurzelsystem ist wahrscheinlich die beste Anpassung an die geringen jährlichen Niederschläge, die oft als kurze und heftige Schauer fallen.

Der Baobab stellt keine besonderen Ansprüche an den Boden (HINTGEN 2001). Er gedeiht auf sandigen bis steinigen und alkalischen bis sauren Böden. Eine ausreichende Verankerung für das flache Wurzelsystem im Boden muss jedoch gewährleistet sein (FAO 1988a). Überflutungen auf schweren Böden sowie schlecht drainierte Substrate werden nicht toleriert (VON MAYDELL 1990).

Das natürliche Verbreitungsgebiet des Baobab wird durch das Auftreten von Nachtfrostern begrenzt, da die Pflanzen sehr frostempfindlich sind (VENTER und VENTER 1996).

Im Alter von ungefähr 20 Jahren blüht der Baobab zum ersten Mal (ANONYMUS 2001). Die Bestäubung erfolgt durch Wind, vor allem aber auch durch Fledermäuse und Insekten, die von den großen und nach Aas riechenden Blüten innerhalb der relativ kurzen Blühdauer angelockt werden (PORSCH 1935, COE und ISAAC 1965).

Nach der Reife fressen u.a. Termiten die süße Pulpe der abgefallenen, reifen Baobabfrüchte und legen so die Samen frei, die dann für mehrere Monate im Boden verbleiben können, ohne zu keimen. Diese Dormanz wird hauptsächlich durch die sehr harte Testa der Samen hervorgerufen. Wahrscheinlich ist die geringe Anzahl an Baobabbäumen in den Savannen auch auf die Keimhemmung der Samen zurückzuführen (ETEJERE und OSATIMEHIN 1984). In der Natur wird die Dormanz durch das Passieren des Verdauungstrakts größerer Säugetiere gebrochen. Einheimische Tiere wie z.B. Elefanten, Affen, Kleinsäuger und Vögel, aber auch die Menschen tragen zur Verbreitung der Samen bei. Die Keimung ist epigäisch und erfolgt in der Regel während der Regenzeit (SCHÜTT und WOLF 1996).

Die Keimlinge des Baobab haben große, flache und gegenständige Kotyledonen. Die ersten Blätter sind gestielt, generell einfach und schmal (VENTER und VENTER 1996). In der Jugendphase bilden sich dann mehr und mehr zwei- und dreiteilige Blätter aus. Unter günstigen Bedingungen ist ein rascher Höhenwuchs möglich, der in den ersten sechs Monaten bis 70 cm erreichen kann. Der Sämling bildet eine rübenförmige Pfahlwurzel, von der feine und dicht verzweigte Wurzeln ausgehen.

Die Äste des jungen Baobab entwickeln sich spitzwinkelig vom Stamm. Später im Alter von 30 bis 40 Jahren verlaufen sie eher rechtwinkelig (WICKENS 1982).

VON BREITENBACH (1985) unterscheidet nach dem Erscheinungsbild vier generelle Wachstumsphasen in der Entwicklung von *A. digitata*. Als erstes die Jugendphase (bis 10 oder 15 Jahre), dann die Kegelfase (bis 60 oder 70 Jahre), danach die Flaschenphase (bis 200 oder 300 Jahre) und schließlich die Altersphase. Anfänglich wachsen die Pflanzen sehr schnell, insbesondere in der Jugend- und Kegelfase. Bereits in einem Alter von 10 bis 15 Jahren beginnt sich der Stamm stark zu verdicken (VON BREITENBACH 1985). Die enorme Stammmasse dient vor allem der Wassereinlagerung im Holz selbst und in großen Hohlräumen. Während der Trockenzeit kann sich der Stammumfang durch die Wasserverluste um mehrere Zentimeter verringern (GUY 1982).

Aufgrund der enormen Ausmaße des Stamms und der Krone wurde das Alter von Baobabbäumen oft überschätzt. Eine Zählung der Jahresringe ist schwierig, da die Zuwachszonen im Alter extrem eng beieinander liegen. Erst die Anwendung der Radiokarbon-Methode ergab zuverlässigen Aufschluss über das Alter. So wurde für den Kernbereich eines 4,5 m starken Baums am Sambesi ein Alter von 1010 ± 100 Jahre ermittelt (SWART 1963). Eine Inventur in Mali, Kenia, Tansania, Sambia und im Sudan ergab, dass nur wenige Bäume älter als 400 Jahre waren (WILSON 1988).

Im Verlaufe seines relativ langen Lebens ist der Baobab gewissen Gefahren ausgeliefert. Hierbei spielen Schadinsekten, pathogene Pilze, Bakterien und Viren keine ernsthafte Rolle. Aber die auflaufenden, extrem lichtbedürftigen Keim- und Sämlinge sind durch die Konkurrenz der Bodenflora, durch Lichtmangel und Trockenheit, Feuer, Verbiss und Ackerbau gefährdet. Unkontrollierte Buschbrände in den trockenen Gebieten und zu starke Viehbeweidung tragen zu einer Verringerung der Anzahl junger Pflanzen bei (DANTHU et al. 1995). Aber auch die einheimische Bevölkerung verkennt oft die Sämlinge als Naturverjüngung aufgrund ihrer abweichenden Blattform (WICKENS 1982). Die Folge sind überalterte Bestände (WILSON 1988). Zu hohe Elefantenpopulationen tragen ebenfalls zur erheblichen Mortalität der Baobabbäume bei. Neben der Zerstörung der Naturverjüngung nutzen Elefanten in Trockenzeiten den hohen Wassergehalt des Holzes, indem sie mit den Stoßzähnen die Borke entfernen, das feuchte Holz kauen und es nach Aufnahme der Flüssigkeit inklusive der gelösten Salze wieder ausspeien. Dabei treten enorme Stammverletzungen auf, die zum Absterben des Baums führen können (BARNES 1980, WEYERHAEUSER 1985, SWANEPOEL und SWANEPOEL 1986).

2.3 Bedeutung und Verwendung

Der Baobab, der mächtigste Baum der trockenen und heißen Savannen Afrikas, ist einer der am vielfältigsten genutzten Bäume dieser Gebiete (SAHNI 1968, OWEN 1970, WYK und GERICK 2000), insbesondere auch im Sudan. Das typische „multipurpose“ Gehölz wird daher auch die „Mutter der Sahel“ genannt (VON MAYDELL 1990). Der beeindruckende Baum bietet den Menschen Schutz, ist Nahrungsgrundlage, Bestandteil für Kleidung, Medizin sowie das Material für Gebrauchsgegenstände aller Art. Auch für zahlreiche Tierarten ist er Lebensraum und Futterquelle. Viele Vogelarten nisten in den Kronen (z.B. Webervögel, Sperlingspapageien, Schleiereulen und Turmschwalben) oder in Stammaushöhlungen (z.B. Eisvögel, Nashornvögel, Blauracken, Papageien). Die Früchte werden u.a. von Elefanten, Antilopen, Affen und Kleinsäugetern gefressen. Auch Schlangen sind schutzsuchende Tierarten (SCHÜTT und WOLF 1996). Diese vielseitige Verwendung für Mensch und Tier ist auch der Grund dafür, dass der Baobab seit jeher von der einheimischen Bevölkerung geschützt und verehrt wird. Kein anderer Baum in Afrika steht so im Mittelpunkt von Legenden und Sagen. Als Sitz von Göttern und Geistern spielt er in der Mythologie verschiedener Volksstämme eine wichtige Rolle (PALGRAVE 1993).

Aufgrund seiner einzigartigen Form und seiner Größe ist der Baobab eine hervorragende, weit sichtbare Landmarke zur Orientierung und Abgrenzung von Gebieten und Feldern (ROCHELEAU et al. 1988). Im belaubten Zustand ist er ein großer Schattenspende und somit ein Ort für Markttreibende, für Versammlungen und andere soziale Veranstaltungen.

Die Innenseite der Rinde des Stamms und der Wurzeln jüngerer und mittelalter Bäume liefert eine hervorragende glatte und dauerhafte Faser, die auch im Sudan direkt zum Weben verwendet und dann zur Herstellung von Handarbeitsartikeln, Seilen, Schnüren, Matten, Taschen, Körben, Fischnetzen oder Hüten genutzt wird (FLEURET 1980, SZOLNOKI 1985, NOAD und BIRNIE 1990, WYK und GERICK 2000). Durch das Schälen der Rinde werden die Bäume nicht ernsthaft beschädigt. Die Rinde regeneriert sich sehr schnell und kann einige Jahre später wieder geschält werden (VON MAYDELL 1990).

Das Holz der Baobabbäume ist weißlich bis hellgelb, sehr leicht (nach Lufttrocknung 320 kg/m^3), schwammig und zeichnet sich durch einen sehr hohen Anteil an Holzparenchym aus (VENTER und VENTER 1996). Aufgrund der hohen Elastizität ist eine Bearbeitung mit der Axt schwierig. Als Bau- oder Möbelholz ist es nur eingeschränkt einsetzbar, da es eine geringe Festigkeit und Dauerhaftigkeit aufweist. In getrockneter Form findet das Holz in einigen Regionen Afrikas u.a. als

Kanu, als Schwimmer für Fischnetze und in Form von Servierbrettern Verwendung. Der hohe Bedarf an Brennholz zum Kochen der Speisen wird teilweise auch durch das Holz des Baobab mit abgedeckt.

Der erstaunlich hohe Wassergehalt des Holzes wird von den Tieren und auch Menschen in extrem trockenen Zeiten als zusätzliche Wasserquelle genutzt. Das feuchte Holz wird gekaut und so das Wasser zur Flüssigkeitsaufnahme entzogen. Die sukkulenten Stämme haben oft natürlich oder künstlich geschaffene Hohlräume, die vor allem im Westsudan als Wasserspeicher fungieren (PALGRAVE 1957, SAHNI 1968). Während der Regenzeit werden sie von der einheimischen Bevölkerung gefüllt und fest verschlossen. Die Hohlräume können bis zu 10.000 Liter Wasser fassen, das dann für mehrere Monate oder sogar mehrere Jahre genießbar bleibt. Hohle Stämme dienen aber auch als Getreidespeicher, Lagerräume, Stallungen sowie als Schutzräume, manchmal sogar als Versteck für Wilderer. In Westafrika werden ausgehöhlte Baobabs als Grabstätten genutzt (HAQ 2002). Vermoderte Überreste der durch Alter, Blitzschlag oder starke Stürme zerstörten Bäume eignen sich als Kompost und Dünger.

Die Blätter sind eine wichtige Nahrungsquelle in vielen Gebieten Afrikas (YAZZIE et al. 1994). Während der Regenzeiten werden die jungen und zarten Blätter geerntet und frisch als Salat gekocht, als Gemüse in Suppen oder als Spinat gegessen (DAKO 1981, DELISLE et al. 1997). In den letzten Wochen der Regenzeit werden die Blätter in größeren Mengen geerntet und getrocknet, um sie während der Trockenzeit auf den Märkten als Nahrungsmittel zu handeln. Es wurde geschätzt, dass jährlich mehrere tausend Tonnen frischer oder getrockneter Blätter des Baobab in der Sahelzone konsumiert werden (VON MAYDELL 1990). Ein zu hoher Beerntungsgrad kann zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Baumvitalität führen. Die Blätter des Baobab werden üblicherweise in der Sonne getrocknet und dann als ganzes Blatt oder als feines Pulver gelagert. SIDIBE et al. (1998a) untersuchte den Vitamingehalt der in der Sonne bzw. im Schatten getrockneten Blätter. Dabei zeigte sich ein höherer Vitamingehalt der im Schatten getrockneten Blätter. Auf den Märkten ist das trockene Pulver der Blätter die eher übliche Handelsform, die das ganze Jahr über im Angebot ist (SIDIBE et al. 1998a). Das Pulver findet traditionell als Zuschlagstoff in vielen Speisen Verwendung, wie z.B. zum Andicken von Suppen und Soßen und beim Brotbacken.

Frische und junge Blätter haben einen Proteingehalt von 4% und sind außerdem sehr reich an Vitamin A und C (FAO 1988a, SIDIBE et al. 1998a). In Bezug auf den Mineralstoffgehalt stellen Baobabblätter eine hervorragende Quelle für Kalzium, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan, Molybdän, Phosphor und Zink dar (YAZZIE et al. 1994, GLEW et al. 1997, BARMINAS et al. 1998, SENA et al. 1998). Der

Faseranteil und der Geschmack der Blätter variieren zwischen den einzelnen Bäumen (SCHÜTT und WOLF 1996).

Die großen und auffällig weißen Blüten werden roh als Salat gegessen oder als Aromastoff in Getränken verwendet (VON MAYDELL 1990). Der Pollen (Blütenstaub) ergibt mit Wasser gemischt einen guten Klebstoff (FAO 1988a).

Den Früchten der Baobabbäume kommt die größte Bedeutung zu. Sie lassen sich gut lagern und sind daher ein wichtiger Bestandteil der Nahrung während der Trockenzeiten. Die gesamte Frucht, die Samen mit dem Fruchtfleisch und auch das getrocknete, pulverisierte und in Plastiksäckchen verpackte Fruchtfleisch werden auf den Märkten gehandelt (SIDIBE et al. 1996). Das als „cream of tartar“ bezeichnete Fruchtfleisch kann auch roh als Snack gegessen werden (WYK und GERICK 2000). Oft wird die Pulpe von den Samen getrennt, mit Wasser und Zucker vermischt und als heißes sowie kaltes süß-säuerlich schmeckendes Getränk verwendet (FAO 1988a). Dieses weißliche und wohlschmeckende Getränk trägt den Namen „Baobabmilch“ (OBIZOBA und ANYIKA 1994). In den letzten Jahren hat das Fruchtfleisch eine zunehmende Bedeutung in den Städten erfahren und wird hier vor allem als Geschmackstoff, Süßigkeit und Eiskremzusatz verwendet (IBIYEMI et al. 1988, SIDIBE et al. 1998a).

Das Fruchtfleisch besitzt einen außerordentlich hohen Vitamin-C-Gehalt (CARR 1955, NOUR et al. 1980, EROMOSELE et al. 1991) Von Werten bis zu 5000 mg/kg wird berichtet (SIDIBE et al. 1998b). Jedoch kann der Vitamin-C-Gehalt von Baum zu Baum stark schwanken (SIDEBE et al. 1996). Die trockene Fruchtpulpe enthält Zucker (23,2%), kaum Stärke und ist reich an Pektin (FAO 1988a). SAKA et al. (1994) untersuchten die Früchte von verschiedenen Wildobstarten (*Adansonia digitata*, *Azanza garckeana*, *Bauhinia thonningii*, *Flacourtia indica*, *Parinari curatellifolia*, *Strychnos spinosa*, *Syzigium guineense*, *Trichilia emetica*, *Ximenia caffra*) auf ihre Mineralstoffgehalte. Die höchsten Werte an Kalzium, Magnesium, Eisen, Phosphor, Kalium und Natrium wurden bei *A. digitata* bestimmt (1,15 mg/g).

Die Samen sind roh oder auch geröstet essbar und finden oft als Zusatz- bzw. Notnahrung Verwendung. Sie enthaltend 48% Proteine und 15% Öle (ADDY und ETESHOLA 1984, IGBOELI et al. 1997). Das aus den Samen gewonnene Mehl findet beim Kochen und als Zuschlagstoff für Suppen und Eintöpfe Verwendung. Es verleiht den Speisen einen leicht mandelartigen Geschmack (VON MAYDELL 1990). Geröstet werden die Samen auch als Kaffeeersatz verwendet.

Die hölzernen Fruchtschalen werden aufgrund ihrer günstigen Größe und Form als Trink- und Essgefäße benutzt. Sie dienen auch als Brennmaterial und werden in einigen Gebieten zermahlen als Tabakzusatz verwendet.

Junge und zarte Wurzeln sowie Sprosstriebe werden vor allem in Hungerzeiten gekocht und wie Spargel gegessen. Aus den Wurzeln kann ein roter Farbstoff extrahiert werden.

Die Asche verschiedener Baumteile besitzt einen hohen Pottascheanteil (K_2CO_3), der sie zur Seifenherstellung und als Dünger prädestiniert (VON MAYDELL 1990).

Blätter, Samen und Früchte werden aufgrund ihres hohen Nährwertes auch als Viehfutter eingesetzt, insbesondere am Ende der Trockenzeiten, wenn die Äsungsmöglichkeiten erschöpft sind (VENTER und VENTER 1996).

In der Volksmedizin spielt der Baobab eine sehr wichtige Rolle (Tabelle 1). Nahezu jeder Teil des Baums findet vielfältige Verwendung.

Tab. 1: Verwendung des Baobab in der Volksmedizin.

Frucht	Blätter	Samen
Müdigkeit bei Kindern	Insektenstiche	Herzmittel
Pocken	Asthma	Infektionen
Masern	Husten	Zahnschmerzen
Ruhr	Harntreibendes Mittel	
Malaria	Ruhr	
Wunddesinfektion	Entzündungen	
Augenlotion	Koliken	
	Müdigkeit	

2.4 Vermehrung und Kultivierung

Neben der ursprünglichen und natürlichen Verbreitung werden die Baobabbäume in Afrika aufgrund ihrer vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten auch gern in die Nähe von Dörfern gepflanzt. Über Anzucht, Pflege und Kultivierung sind kaum Informationen bekannt (FAO 1988a). Eine gezielte Vermehrung scheint schwierig und wird fast ausschließlich über Aussaat der Samen aus den reifen Früchten erreicht (OKAFOR 1980, ESENOWO 1991).

Im Sudan stammt die gesamte Ernte von wilden Baobabbäumen, die kaum eine Kultivierung erfahren.

Die Samen, die von einer äußerst harten Testa umschlossen sind, liegen unter natürlichen Bedingungen Monate oder gar Jahre im Boden ohne zu keimen (ESENOWO 1991). Die physikalische Keimhemmung wird hier oftmals durch das Passieren des Verdauungstrakts größerer Säugetiere gebrochen.

A. digitata-Saatgut mit einem Wassergehalt von 8 bis 11% kann in luftdichten Gefäßen bei 3°C mehrere Jahre ohne erhebliche Keimverluste gelagert werden (SCHÜTT und WOLF 1996). Für die Kultivierung ist eine Vorbehandlung der Samen notwendig, da die Keimrate ohne Vorbehandlung weit unter 20% liegt (DANTHU et al. 1995).

Die Dormanz kann durch folgende Verfahren gebrochen werden:

- Einritzen der Samenschale (Testa)
- Einweichen in Wasser
- Tauchen für einige Minuten in kochendes Wasser
- Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure

Nach erfolgreicher Vorbehandlung keimen die Samen in der Regel innerhalb von sechs bis acht Tagen (DANTHU et al. 1995).

Unter günstigsten Bedingungen ist ein schneller Wuchs der extrem lichtbedürftigen Sämlinge in Durchmesser und Höhe möglich. So können sie in 2 Jahren 2 m und in 12 Jahren bis zu 15 m erreichen (FAO 1988a). Nach dem Auspflanzen der Sämlinge ist ein wirksamer Schutz vor Verbiss durch Haustiere und Wild zwingend notwendig (FAO 1988a).

Nach Berichten von SIDIBE et al. (1996) kann *A. digitata* auch über Stecklinge oder durch Veredelung vermehrt werden. Die vegetative Vermehrung ist eine Möglichkeit, Ökotypen mit besonderen Eigenschaften zu erhalten und zu verbreiten. Hierbei sind die Erfahrungen der einheimischen Bevölkerung über geeignete Ökotypen sehr wertvoll (BUWALDA et al. 1997).

Über eine Kultivierung der Baobabbäume in Plantagen oder Obstgärten liegen keine Berichte vor. Sie sind aber seit langem als Ziergehölz in vielen Parks und Arboreten vertreten.

3 DIE TAMARINDE

3.1 Botanische Beschreibung

Die Tamarinde, *Tamarindus indica* Linné (1753), wird zur Familie der Caesalpiniaceae (Johannisbrotbaumgewächse) gezählt (KUNKEL 1978, LÖTSCHERT und BEESE 1992, BREMAN und KESSLER 1995, ERHARDT et al. 2000). In der Literatur ist sie jedoch auch oft den Familien Leguminosae bzw. Fabaceae (DABLER und HEITMANN 1991, BÄRTELS 1996) oder Mimosae (BLANKE 1999) zugeordnet. Dabei werden die Caesalpiniaceae zum Teil als eine Unterfamilie der Leguminosae angesehen (ANONYMUS 1979, CHAPMAN 1983). *T. indica* gehört zu einer Gattung, die nur eine Art umfasst (LÖTSCHERT und BEESE 1992).

Die Tamarinde (Abbildung 3) ist in der Regel ein immergrüner Baum, der jedoch in heißen Gebieten während der Trockenzeit befähigt ist, teilweise sein Laubwerk abzuwerfen (ANONYMUS 1996). Der Baum wird normalerweise 10 bis 15 m hoch, kann bei optimalen Bedingungen aber auch 30 m erreichen und über 200 Jahre alt werden (GYSIN 1984).



Abb. 3: Tamarinde (*Tamarindus indica*) in Süd-Kordofan (Sudan).

Der kurze Stamm mit einem Umfang von bis zu 10 m teilt sich häufig schon von der Basis an in zahlreiche Teilstämme (WURZER 1994). Der Tamarindenbaum ist höchst windresistent mit starken, biegsamen Ästen und graziös herabhängenden Zweigen. Die Kronenausbreitung kann 12 m betragen (CHAPMAN 1983). Im hohen Alter bilden sich mächtige Baumgestalten, die im Habitus unseren Eichen ähneln

(JENUWEIN 1992). Ältere Stämme besitzen eine nur 1 bis 1,2 cm dicke, graue Borke, die tiefe Längsrisse aufweist. Horizontale Einschnitte lassen stark faserige, rosafarbene bis rötlichbraune innere Schichten erkennen.

Die Blätter sitzen wechselständig an den hellbraunen schlanken Zweigen (GORDON 1997). Sie sind jadegrün und 5 bis 16 cm lang, paarig gefiedert mit 9 bis 18 Fiederpaaren (GRIFFITHS 1992). Die schmalen und elliptischen Blättchen haben eine Abmessung von 1,2 bis 3,2 cm mal 0,3 bis 1,1 cm (EL AMIN 1990) und werden in der Nacht zusammengefaltet. Die Blätter der Tamarinde sind in der Form und Größe denen der Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) ähnlich.

Die unscheinbaren, hübschen kleinen Blüten gleichen der Blüte der Orchideen (RANDALL 2001). Sie sind zart, gelblich und rot gezeichnet (BÄRTELS 1996). Am Ende der Äste entwickeln sich lockere, traubige Infloreszenzen mit 10 bis 15 Einzelblüten. Der blasse Kelch hat vier ca. 13 mm lange Sepalen (Kelchblätter) und die Blütenknospen bestehen aus drei hellgelben, rot geaderten, gekielten Petalen (Kronenblätter), die in einem leicht gewellten Apex auslaufen. Die beiden lateralen Kronenblätter sind etwas länger (ca. 15 mm), zwei weitere sind zu kleinen Schuppen reduziert. Drei der insgesamt fünf Staubblätter sind grünlich und fertil, die beiden anderen klein und steril. Der bohnenförmige Stempel (ca. 15 mm lang) weist einen gekrümmten Griffel auf (COOKE 1967) und besitzt bis zu 18 Samenanlagen (VERHEIJ und CORONEL 1991). Die Blühdauer einer Einzelblüte beträgt nur wenige Stunden.

Aus dem einzigen Fruchtblatt entwickelt sich anfänglich eine flache, grüne Frucht, die im Inneren ein zartes, dünnes, sehr saures Fruchtfleisch enthält (CHAPMAN 1983). Mit zunehmender Reife wird die Hülse bauchig und das Fruchtfleisch (Mesokarp) verfärbt sich je nach Typ rot bis schwarz (DABLER und HEITMANN 1991). Das Exokarp (Fruchthülle) wird holzig, spröde und brüchig und weist einige grob strähnige Fasern auf, die das Fruchtfleisch durchziehen. Die Farbe der Hülse ist im reifen Zustand zimtbraun, oft grau überlaufen, matt, mit schwacher, feiner Netzstruktur (NOWAK und SCHULZ 1998). Die Frucht der Tamarinde öffnet sich nicht, wenn sie reif ist und bleibt länger als sechs Monate nach der Reife noch am Baum hängen (ANONYMUS 1996).

Tamarinden besitzen einen hohen Heterozygotiegrad und variieren daher u.a. auch stark in den Merkmalen der Fruchtmorphologie. So unterscheidet BOLE (1999)

hinsichtlich der Fruchtform allein folgende vier unterschiedliche Gruppen:

- Früchte gerade, mit Einschnürungen
- Früchte gebogen, mit Einschnürungen
- Früchte gebogen und flach
- Früchte mit rotem Fruchtfleisch

In Indien zeichnen sich die Tamarinden durch besonders lange Fruchthülsen mit 6 bis 12 Samen aus. Im Gegensatz dazu sind in Amerika die meisten Tamarindenfrüchte sehr kurzhülsig (ANONYMUS 1996). FRANKE (1997) berichtet, dass sogar schon am einzelnen Baum die Fruchtlänge ganz erheblich, zwischen 3 und 18 cm, schwanken kann.

In den Hülsen (Abbildung 4) befinden sich 4 bis 12 eckig-abgeflachte, unregelmäßig geformte, von einer harten, glänzenden, braunschwarzen Testa



Abb. 4: Tamarindenfrucht aus dem Sudan.

umgebene Samen, die eine Größe von bis zu 18 mm besitzen (NOWAK und SCHULZ 1998). Das Tausendkorngewicht der Samen beträgt 400 bis 500 g. Sie sind vom Endokarp, einer dünnen und ledrigen Membran, lose umhüllt (VERHEIJ und CORONEL 1991) und klappern beim Schütteln der reifen Frucht. Das Fruchtfleisch, auch Pulpa genannt, trocknet nach der Reife natürlicherweise zu einer dicken klebrigen Paste ein (CHAPMAN 1983). Das Gewicht einer einzelnen Hülse schwankt zwischen 10 und 15 g (SAMSON 1986). Die Früchte sind etwas gekrümmt, von etwa

5 bis 10 cm Länge und von 2 bis 3 cm Breite. Zwischen den Samen sind sie mehr oder weniger eingeschnürt.

Die Bäume tragen nach ANONYMUS (1989) im Alter von 13 oder 14 Jahren erstmals Früchte und fruktifizieren dann reichlich für weitere 60 Jahre. Vom Fruchtansatz bis zur Reife benötigt die Tamarindenfrucht in der Regel 245 Tage (HERNANDEZ-UNZON und LAKSHMINARAYANA 1982). Die Früchte können bis zu 6 Monate nach ihrer Reife ohne Schaden zu nehmen am Baum verbleiben, verlieren dabei an Feuchtigkeit und trocknen ein (ANONYMUS 1996). Die ausgewachsenen Bäume, an deren Ästen dann reichlich Früchte hängen, tragen jährlich bis zu 300 kg (CAMPBELL 1982).

3.2 Natürliche Verbreitung und Entwicklung

Die Herkunft der Tamarinde ist bis heute nicht eindeutig geklärt. In der Literatur sind sehr unterschiedliche Angaben zu finden. So wird ihr Ursprung auf der afrikanischen Insel Madagaskar (WURZER 1994), in Südafrika (FRANKE et al. 1989) oder auch in Westasien (BLANKE 1999) vermutet. Nach KNAPP (1973) gehört die Tamarinde zu den endemischen afrikanischen Pflanzenbeständen, die sich in den Savannen und regengrünen Trockengehölz-Zonen ursprünglich und spontan verbreitet haben, aber auch bis in relativ niederschlagsarme Gebiete hinein eine große Rolle spielen können.

Die Tamarinde ist hervorragend an semiaride tropische Regionen im Tiefland angepasst, wächst aber auch in Monsun-Gebieten, wenn es nicht zu Staunässe in den oberen Bodenschichten kommt (ALLEN und ALLEN 1981, PURSEGLOVE 1982). ANONYMUS (1976) und VERHEIJ und CORONEL (1991) berichten, dass *Tamarindus indica* jedoch auch zum Teil in höheren Lagen bis 1500 m vorkommt. Sie fehlt aber im Tropischen Regenwald (PURSEGLOVE 1982).

Die Tamarinde ist oft vergesellschaftet mit *Adansonia digitata*, da sie ähnliche Standortansprüche stellt (VON MAYDELL 1990). Sie bildet von Natur aus keine geschlossenen Bestände, sondern ist eher locker verstreut und oft an sanften Hängen zu finden (BOLE 1999).

In Afrika liegt das Verbreitungsgebiet der Tamarinde vor allem in den Ländern Senegal, Gambia, Guinea-Bissau, Guinea, Mali, Burkina Faso, Niger, Nigeria, Tschad, Zentralafrika, Sudan, Eritrea, Äthiopien, Uganda, Kenia, Tansania, Simbabwe, Mosambik und Madagaskar (GARRITY 2001b). Im Sudan ist sie in den Gebieten Blue Nile, Red Sea, Kordofan und Darfur zu finden (SAHNI 1968).

Die Tamarinde gelangte vermutlich durch arabische Händler nach Asien (HERRMANN 1987), von dort aus ins Mittelmeergebiet und im 16. Jahrhundert nach Amerika (FRANKE 1997). So ist sie heute auch in Süd- und Südostasien sowie in der Karibik stark verbreitet (KRATOCHVIL 1995), kommt aber auch in Florida (JOYNER 2000), Australien (LE HOUEROU 2001) und auf den Philippinen (VERHEIJ und CORONEL 1991) vor.

Die Tamarinde ist an trockene Savannengebiete angepasst und übersteht gut Dürreperioden (PURSEGLOVE 1982). Das tiefe und ausgeprägte Wurzelsystem trägt zur Trockenheitsresistenz des Baums wesentlich bei. Optimales Gedeihen zeigt die Tamarinde bei Jahresniederschlägen von 750 bis 1900 mm. In den trockenen Region der Sahelzone in Afrika wachsen Tamarinden noch bei 400 mm Niederschlag pro Jahr (FAO 1988b). Sie gedeiht jedoch nicht in immerfeuchten Klimaten und fehlt im tropischen Regenwald. Ein anhaltendes Übermaß an Wasser ist für die Pflanze unverträglich (GYSIN 1984). Trockenes Wetter ist besonders

während der Fruchtentwicklung wichtig, da die Bäume sonst keine Früchte bilden (CHAPMAN 1983).

Das ausgeprägte und tiefe Wurzelsystem verankert den Baum so fest im Boden, dass er in manchen Gebieten auch als "hurricane-resistant tree" bezeichnet wird (MORTON 1987). Die Stammbasis ist oft durch kräftige Wurzelanläufe gekennzeichnet. Auch die Krone zeichnet sich durch ihre kräftigen und geschmeidigen Äste als äußerst windstabil aus (ANONYMUS 1979).

Der Baum toleriert ein breites Spektrum an unterschiedlichen gut dränierten Bodentypen. Er wächst sowohl auf tiefgründigen alluvialen Böden als auch auf steinigem, porösen Ödland. Sumpfige oder felsige Standorte beeinträchtigen jedoch die Ausdehnung und Entwicklung des Wurzelsystems (VON MAYDELL 1990). Staunasse Böden werden gemieden, jedoch kurzzeitige Überschwemmungen toleriert (FAO 1988b). Hohe Luftsalzgehalte verträgt er gut und kann daher auch nahe der Meeresküste gepflanzt werden. Nach BOLE (1999) werden leicht salzhaltige und schwach alkalische Böden toleriert.

Das Verbreitungsgebiet der Tamarinde wird durch Frost begrenzt. Jungpflanzen sind sehr frostempfindlich (CHAPMAN 1983). Mit zunehmendem Alter vertragen sie aber auch Temperaturen bis -4°C ohne größere Schäden (ANONYMUS 1996) und sind daher frosttoleranter als Mango, Avocado, Litschi und Limonen.

Im Alter von ungefähr 13 bis 14 Jahren blüht die Tamarinde zum ersten Mal (ANONYMUS 1989). Die Tamarindenblüten sind selbststeril und werden von Insekten, meist Ameisen, bestäubt. Zeitpunkt und Dauer der Blüte variieren mit den Witterungsbedingungen. Die Blüten öffnen sich schon am frühen Morgen und schließen sich bereits drei Stunden später (BOLE 1999).

Die natürliche Vermehrung ist sporadisch zu finden und vollzieht sich vor allem über Samen. Die Keimung erfolgt oft unter dem Schutz von anderen Bäumen im Halbschatten wie insbesondere unter dem Baobab (VON MAYDELL 1990). Die Samen können unter trockenen Bedingungen lange im Boden dormant verbleiben und somit ihr Aufkeimen zu einem ungünstigen Zeitpunkt vermeiden. In der Natur werden die Früchte von verschiedenen Tierarten verzehrt, die Keimhemmung im Verdauungstrakt abgebaut und so die Samen freigesetzt. Einen erheblichen Teil der natürlichen Verbreitung besorgen Affen, die das Fruchtfleisch fressen und die Samen verstreuen. Auch Termiten und Ameisen schätzen das Fruchtfleisch und tragen zur Verbreitung bei. In Afrika sind Tamarinden daher oft neben Termitenhäufen zu finden (PURSEGLOVE 1982).

Die Keimlinge weisen zwei dickfleischige, sitzende, oberseits leicht konkave, elliptische Kotyledonen auf. Unter günstigen Bedingungen ist die Entwicklung der Sämlinge relativ zügig. In der ersten Saison können sie eine Höhe von mehr als 60 cm erreichen. Die Sämlinge bilden eine sehr lange und dünne Pfahlwurzel aus, von der viele zarte und kurze Seitenwurzeln abzweigen. Die Pfahlwurzel kann in den ersten zwei Monaten eine Länge von 30 cm erreichen (TROUP 1921).

Die Tamarinde bildet eine intensiv verzweigte Krone mit langen herabhängenden Zweigen aus. Die Äste gehen von dem meist kurzen Stamm fast waagrecht ab. Im Schatten der dicht belaubten Bäume gedeiht oft keinerlei Unterwuchs (BOLE 1999). Die Bäume entwickeln manchmal Wurzelschößlinge (TROUP 1921). Die hängenden Zweige können bis auf einige Zentimeter tief auf den Boden herabhängen (PURSEGLOVE 1982).

Tamarinden erreichen ein beachtliches Alter. Einige Exemplare werden weit über 200 Jahre alt. Das durchschnittliche Lebensalter beträgt 80 bis 200 Jahre (HUGHES 1999).

Im Verlauf ihres relativ langen Lebens nehmen Pflanzenkrankheiten und Schädlinge keine bedrohlichen Ausmaße an. Aber Schildläuse sind speziell für junge Pflanzen eine häufige Schädlingsgruppe. Hierzu zählen vor allem *Aonidiella orientalis*, *Aonidiella tamarindi* und *Saissetioa oleae*. Zahlreiche Käferarten spielen als Frucht- und Samenschädlinge wie z.B. *Lasioderma serricorne*, *Calandra linearis* und *Aphomia gularis* eine Rolle. Auch Nematoden wie *Xiphinema citri* und *Longidorus elongatus* können die Wurzeln der Bäume befallen (MORTON 1987). Pathogene Pilze wie *Sclerotium rolfsii* oder *Oidium* spec. treten nur an Sämlingen auf. Gelegentlich parasitiert die Mistelart *Loranthus longiflorus* in den ausladenden Kronen von *Tamarindus indica*.

Insgesamt wird *T. indica* von mehr als 50 Schadinsekten und von etwa 25 pathogenen Pilzen und Bakterien angegriffen, die jedoch keine bedrohliche Rolle spielen (BOLE 1999).

Wie auch bei anderen Bäumen und Sträuchern der trockenen Savannen tragen Trockenheit und unkontrollierte Buschbrände zu einer Gefährdung der Tamarinden bei. Ein erhöhter Beweidungsdruck durch landwirtschaftliche Tiere und der Verbiss durch Wildtiere führen oft zu einer erheblichen Dezimierung der Naturverjüngung, dessen Resultat vergreiste Bestände sind.

3.3 Bedeutung und Verwendung

Die Tamarinde ist ein mächtiger Baum der trockenen und feuchten Savannen Afrikas. Aufgrund ihrer vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ist sie auch im Sudan ein typisches "multipurpose" Gehölz (DIRAR 1993, EL-SIDDIG et al. 1999). Der große Baum bietet den Menschen Schutz, ist Nahrungsquelle, Bestandteil von Medizin sowie das Material für Gebrauchsgegenstände aller Art. Auch für viele Tierarten ist er Lebensraum und Futterquelle. So bieten die nektarreichen Blüten einer Vielzahl von Insekten eine reiche Nahrungsquelle. Die Früchte werden u.a. von Ameisen, Termiten, Affen und Kleinsäugetern gefressen und die Blätter stellen für Antilopen und Giraffen eine Äsungsgrundlage dar. Diese vielseitige Verwendung für Mensch und Tier ist auch der Grund dafür, dass die Tamarinde seit jeher von der einheimischen Bevölkerung geschützt und gepflegt wird.

Die weit ausladende und dichte Krone bietet einen hervorragenden, kühlen Schatten, der als Ruhe- und Beratungsstätte dient. Auch viele Tierarten suchen unter dem dichten Kronendach der Tamarinde Schutz. Aufgrund ihrer Sturmresistenz wird die Tamarinde als Windschutz und Sturmbrecher in die Nähe von Ortschaften gepflanzt und erhalten. Das schöne und immergrüne Laubwerk und die zarten, traubigen, leuchtend gelben Blüten zeichnen sie als Zierbaum in Gärten, Parks und entlang von Straßen und Flüssen aus. Die Tatsache, dass keinerlei Unterwuchs unter den dichten Baumkronen gedeiht wie z.B. Gras, verhindert das Ausbreiten von Bodenfeuer (VON MAYDELL 1990).

Aufgrund ihrer Größe ist die Tamarinde eine hervorragende, weit sichtbare Landmarke zur Orientierung und Abgrenzung von Gebieten und Feldern.

Die Rinde besitzt einen hohen Gehalt an Tanninen (bis 7%), der in manchen Gebieten Afrikas zum Gerben von Häuten und Fellen verwendet wird (VON MAYDELL 1990, ROSA 1993, GARRITY 2001b).

Das schwere und sehr harte Holz der Tamarinde ist sehr beständig und wertvoll (nach Lufttrocknung 930 kg/m^3). Es besitzt einen gelblich-weißen Splint, der später grau-braun wird, sowie einen relativ kleinen, dunkel-rotbraunen Farbkern mit ungleichmäßigem Umriss (BOLE 1999). Das kaum von Insekten angegriffene Kernholz wird u.a. zur Herstellung von Rädern, Achsen und Deichseln, Mörsern, Hämmern, Stößeln und Schlegeln, Ölpresen, landwirtschaftlichen Arbeitsgeräten wie Pflügen, Bootsplanken, Zäunen, Paneelen und Möbeln genutzt (LÖTSCHERT und BEESE 1992). Aufgrund seiner enormen Härte ist es jedoch nur schwer bearbeitbar. Weiterhin eignet es sich gut zur Herstellung einer Holzkohle von hoher Qualität, die auch zur Schwarzpulver-Produktion taugt (GRIEVE 1995). Um den dringenden Bedarf an Brennmaterial zum Kochen in Afrika abzudecken, wird in vielen

Regionen auch das Tamarindenholz verwendet (GAMBLE 1972, KNAPP 1973). Nach dem 6. Tropenwaldbericht der Bundesregierung (BML 1999) erreicht der Energieholzanteil vom Gesamtholzaufkommen in den Tropen durchschnittlich 82%, in Afrika sogar 92%.

Die Blätter und jungen Sämlinge werden oft gekocht und als Gemüse gegessen. Sie sind eine wichtige Zutat zu Currys, Suppen und Soßen. Regional wird aus frischen oder getrockneten Blättern ein Tee aufgebriht, der mit Zucker ein schmackhaftes Getränk ergibt.

Nach entsprechender Aufbereitung kann aus den frischen Blättern ein roter Farbstoff zur Färbung von Stoffen und Tüchern extrahiert werden (FAO 1988b).

Die Blüten werden u.a. als Zutaten für Suppen und in Salaten verwendet und als Gemüse gegessen (NOWAK und SCHULZ 1998). Sie können auch eine wichtige Quelle für Honig sein, der goldgelb und leicht säuerlich im Geschmack ist (MORTON 1987).

Den Früchten der Tamarinde kommt die größte Bedeutung zu. Sie haben einen geringen Wassergehalt und einen hohen Anteil an Proteinen (31g/kg) und Kohlenhydraten (674g/kg) (MORTON 1987, HUGHES 1999). Die Hülsen der Tamarinde bestehen nach BOLE (1999) in der Regel aus 55% Fruchtfleisch, 34% Samen und 11% Fasern und Schale.

Das reife Fruchtfleisch zeichnet sich durch ein erfrischend süß-saures bis herb-säuerliches Aroma aus (TEUBNER 1997). Der saure Geschmack kommt von der Weinsäure, die sich während des Reifens nicht abbaut, aber mehr oder weniger durch ansteigenden Zuckergehalt ausgeglichen wird. Deshalb gilt die Tamarinde gleichzeitig als die sauerste und süßeste Frucht (VERHEIJ und CORONEL 1991). Auch nach GYSIN (1984) soll die Tamarinde tatsächlich den zweithöchsten Zuckergehalt aller Früchte aufweisen, der mit ca. 35% Invertzucker angegeben wird. Diesen Wert übertrifft nur die halbtrocknete Dattel.

Die jungen und zarten Früchte sind sehr sauer und werden zum Säuern von Fleisch und Fischgerichten verwendet (JOHNS und STEVENSON 1979). Das reife Fruchtfleisch wird zum Teil frisch mit Zucker bestreut gegessen (BÄRTELS 1996). Aber die eigentliche Bedeutung liegt weniger im Direktverzehr als in der Weiterverarbeitung zu Fruchtmus und Sirup (BONKOUNGOU et al. 1999). Um das zu verwendende Fruchtmus zu erhalten, erntet man die reifen Früchte und befreit sie von der Außenschale und den Samen. Das Rohmus wird in heißem Wasser eingeweicht, durch ein Sieb getrieben und dann bis zur Konsistenz eines dicken Saftes eingedampft und mit 20% Zucker angereichert (PAHLOW 1993).

Anschließend wird das klebrige, dunkle Tamarindenmus oft in Ballen gepresst und in Palmlattmatten oder in Plastiksäcken verpackt, gelagert und als Rohstoff auf den Märkten verkauft (GYSIN 1984). Das Fruchtfleisch der Tamarinde hat einen sehr hohen Nährwert, einen Vitamin-C-Gehalt von 7 bis 30 mg/kg und hohe Kalium-, Calcium- und Phosphoranteile (MORTON 1987, DABLER und HEITMANN 1991). GYSIN (1984) weist darauf hin, dass der hohe Wert an Mineralstoffen (29 g/kg) mit Vorsicht zu interpretieren ist, da das Fruchtmus nur selten unverdünnt genossen wird.

Das Fruchtfleisch ist wichtiger Bestandteil von Produkten wie Worcester- und Barbecue-Soßen. Tamarinden-Sirup wird gern als Grundlage für erfrischende Getränke und Sorbets, für süß-saure Soßen, Konfitüren, Eiskremstabilisatoren und Bonbons verwendet (TEUBNER 1997, CORVALLIS 1999), ja selbst als Würze im Kautabak (LIEBSTER 1990).

Die reifen Früchte können in getrockneter Form für einen längeren Zeitraum gelagert werden, ein Schutz gegen Schadinsekten ist jedoch notwendig (VON MAYDELL 1990).

Das überreife Fruchtmus kann auch mit Salz gemischt zum Polieren von Messing, Kupfer und Silber verwendet werden (PURSEGLOVE 1982, HUGHES 1999).

In Deutschland gibt es u.a. neben Tamarindenfrüchten auch Tamarindenmus, Tamarindensaft und Tamaridenkonzentrat zum Kochen zu kaufen. Aber auch als Inhaltsstoff in weiteren Produkten ist die Tamarinde zu finden.

Die Samen werden häufig in Wasser eingeweicht, um sie von ihrer unverdaulichen Schale zu befreien. Das verbleibende Innere wird gekocht oder geröstet (DABLER und HEITMANN 1991) und dient in vielen Gebieten als Notnahrung (FRANKE et al. 1989). Der Nährwert der Samen ist als relativ gering einzustufen (FAO 1988b). Das aus den Samen gewonnene Mehl wird als Zuschlagstoff lokaler Gerichte und zum Backen von Brot verwendet.

Nach BOLE (1999) ist das Samenöl mit dem Erdnussöl vergleichbar. Es dient als Lampenöl sowie zur Herstellung von Farben und Lacken.

Die bei der Aufarbeitung anfallenden Samen in Indien finden wegen des Gehaltes an hydrokolloiden Substanzen als Samenmehl in der Jute- und als Appreturmittel in der Textilindustrie Verwendung (FRANKE 1997).

Die Fruchtschalen, die als Nebenprodukte bei der Verwendung von Tamarindenfrüchten anfallen, haben einen Gehalt an Tanninen und Farbstoffen, der sie u.a. zur Färbung von Wolle, Seide und Baumwolle tauglich macht.

Die Asche des Holzes wird zur Enthaarung von Tierhäuten verwendet (GARRITY 2001b).

Die Blätter, Samen und Früchte dienen auch als Viehfutter. Insbesondere die Blätter werden sehr gerne gefressen. In einer Untersuchung von KIBON und ORSKOV (1993) wurde herausgefunden, dass die Wachstumsrate bei Ziegen besonders hoch war, die bevorzugt mit Tamarindenblättern gefüttert wurden.

Die Samen, zerkleinert und in Wasser eingeweicht, dienen auch als schmackhaftes Viehfutter. Insbesondere Wiederkäuer sind gut in der Lage die Kohlenhydrate zu verdauen und aufzunehmen (FAO 1988b).

In der Volksmedizin spielt die Tamarinde eine wichtige Rolle (Tabelle 2). Viele Teile des Baums finden Verwendung.

Tab. 2: Verwendung der Tamarinde in der Volksmedizin.

Frucht	Blüten	Blätter
Abführmittel	Rheuma	Husten
Malaria	Schmerzen	Fieber
Ruhr	Entzündungen	
Rheuma	Wunden	
Hämorrhoiden	Gelenkleiden	
Schlangenbisse		
Wundheilung		
Blähungen		
Infusionen bei fiebrigen Erkrankungen		
Gallenleiden		
Antiskorbutmittel		

3.4 Vermehrung und Kultivierung

Da in Afrika die Tamarinde zu den wichtigen Nutzbäumen zählt, deren Früchte von der Bevölkerung als Wildobst gegessen werden und so zur Vitaminversorgung beitragen, werden sie oft in die Nähe von Ortschaften gepflanzt (KNAPP 1973). Die Ernte erfolgt durch Schütteln der Äste und Aufsammeln der reifen Früchte per Hand (ANONYMUS 1989).

Im Sudan stammt die gesamte Ernte von wilden Tamarindenbäumen, die kaum eine Kultivierung erfahren (EL-SIDDIG et al. 1999).

Die Vermehrung erfolgt überwiegend generativ. Dabei spaltet die Nachkommenschaft stark auf und die Sämlinge tragen in der Regel erst relativ spät nach 13 bis 14 Jahren Früchte. Dafür entschädigt eine lange Ertragsdauer von etwa 60 Jahren (MORTON 1987).

Die Samen unterliegen einer physikalischen Keimhemmung, die durch die relativ harte Samenschale (Testa) hervorgerufen wird. Die Keimhemmung wird in der Natur durch das Passieren des Verdauungstrakts von Vögeln und Säugetieren gebrochen.

T. indica-Saatgut kann für mehrere Monate ohne nennenswerte Keimverluste gelagert werden (VERHEIJ und CORONEL 1991). Die Samen keimen ohne Vorbehandlung frühestens 15 Tage nach der Aussaat, erst nach 6 Wochen ist dann die Mehrzahl der Samen aufgelaufen. Nach PRINS und MAGHEMBE (1994) und EL-SIDDIG et al. (2000) kann die Keimdauer durch folgende Vorbehandlungen des Saatguts deutlich verringert werden:

- Anschleifen der Testa
- Einweichen in Wasser
- Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure

Unter günstigen Bedingungen ist ein rascher Wuchs der Sämlinge möglich, die im ersten Jahr eine Wuchshöhe von mehr als 60 cm und im zweiten von 120 cm erreichen können. Oft werden die Sämlinge von konkurrenzstärkeren Pflanzen an einer optimalen Entwicklung gehindert. Junge Pflanzen sind extrem frostempfindlich (TROUP 1921). Ausreichender Regen oder Bewässerung der jungen Pflanzen ist in sehr trockenen Gebieten erforderlich, um ein ausreichendes Wachstum zu ermöglichen (HUGHES 1999). Wirksamer Schutz vor Verbiss durch Haustiere und Wild ist während der Entwicklung zwingend notwendig.

Vegetative Propagation wird in Form von Pfropfung, Stecklingsbewurzelung und Absenkerbildung durchgeführt. Dabei kommen die Bäume eher in den Ertrag und die Vermehrung von wertvollen Ökotypen ist möglich (GUNASENA und HUGHES 2000).

Kommerzielle Bedeutung hat die Vermehrung und Kultivierung in Indien, Brasilien, Zentralamerika, Vietnam und Thailand (MORTON 1987, FRANKE 1997). Hier werden die Tamarinden zum Teil in Obstanlagen und Plantagen angebaut. In Indien, dem größten Produzenten, werden pro Jahr etwa 250.000 t Früchte geerntet, die getrocknet und ohne Schalen auf die Märkte bis nach Europa gelangen (BOLE 1999).

4 DER SUDAN

4.1 Allgemeiner Überblick

Die Republik Sudan ist mit einer Fläche von 2,5 Mio. km² das größte Land des afrikanischen Kontinents und damit siebenmal so groß wie die Bundesrepublik Deutschland. Das Land liegt im nördlichen Afrika und erstreckt sich zwischen 4° und 23° nördlicher Breite über ca. 2.100 km und zwischen 22° und 38° östlicher Länge über ca. 1.600 km (STBA 1990). Der Sudan (Abbildung 5) hat gemeinsame Grenzen mit neun afrikanischen Staaten: im Norden Ägypten, im Westen Libyen, Tschad und die Zentralafrikanische Republik, im Süden Zaire, Uganda und Kenia sowie im Osten Äthiopien und Eritrea. Im Nordosten grenzt der Sudan an das Rote Meer. Die Küste am Roten Meer erstreckt sich über mehr als 700 km (SUDAN INFORMATION OFFICE 2001).

Der Sudan hat ca. 35 Mio. Einwohner. In den Ballungsgebieten wie der Hauptstadt Khartoum, Kassala, Port Sudan oder Wadi Halfa leben 35% der Sudanesen. (MUNZINGER 2002). Es existieren 115 Sprachen und es werden 597 Völker unterschieden, die drei großen ethnischen Gruppen angehören (SUDAN INFORMATION OFFICE 2001). Die Bevölkerungsmehrheit stellen die Araber im Norden und in der Mitte des Landes dar, daher ist die Staatssprache Arabisch. Die zweite Gruppe umfaßt die Völker am Roten Meer im Nordosten. Zur dritten Gruppe zählen die schwarzafrikanischen Völker, die im Süden und in einigen Gebieten im Westen leben. Die Bevölkerung im Norden ist überwiegend muslimisch und die Südsudanesen sind Christen oder Anhänger verschiedener Volksreligionen.

Von 1899 bis 1955 galt der Sudan als britisch-ägyptisches Kondominium. Seit dem Jahre 1956 ist der Sudan unabhängig (MUNZINGER 2002)



Abb. 5: Sudankarte (verändert nach ZAHN 1996).

Das Relief des Sudan besteht aus einer flachen, nach Norden geöffneten Beckenlandschaft mit vereinzelt Inselbergen. Im Westen wird das Becken von der Wadai-Darfur-Schwelle, im Südwesten von der Asandeschwelle, im Süden von den Imatong-Bergen, im Osten vom äthiopischen Hochland und dem Bergland am Roten Meer begrenzt. Im Norden liegt die Libysche- bzw. Nubische Wüste. Im südlichen Grenzbereich zu Uganda befindet sich mit dem Kinyeti (3.187 m) der höchste Berg des Landes.

Der Nil ist mit einer Länge von 6.737 km der bedeutendste Strom Afrikas und der längste Fluß der Welt (METZ 1992). Der Weiße Nil entspringt am Victoria See in Uganda und der Blaue Nil am Tana See im äthiopischen Hochland. Der Blaue Nil führt in der Regel sechsmal weniger Wasser als der Weiße Nil. Im August, während der starken Regenfälle im äthiopischen Hochland, steigt er jedoch stark an und speist zu 90% den Nil mit Wasser (METZ 1992).

Der Weiße Nil bildet im Süden des Sudan im Niltal ein riesiges Fluß-Sumpfland, den Sudd. Er ist mit mehr als 150.000 km² das größte Sumpfbereich Afrikas (MUNZINGER 2002). Auf dieser enorm großen Fläche verliert der Weiße Nil ca. 50% seines Wassers durch Verdunstung (FAO 1997). Um den massiven Wasserverlust einzudämmen und einen schnelleren Transport des Wassers in den Norden zu gewährleisten, begann der Sudan mit ägyptischer Unterstützung im Jahre 1978 mit dem Bau des 360 km langen Jonglei-Kanal (CAPUTO 1982). Aufgrund der kriegesischen Aktionen mußten die Arbeiten am Kanal im Jahre 1984 eingestellt werden (METZ 1992). Eine Fertigstellung scheint auch unter ökologischen Gesichtspunkten diskussionswürdig.

In der Hauptstadt Khartoum im Zentralsudan vereinen sich Blauer und Weißer Nil zum Nil, der dann durch den Nordsudan nach Ägypten fließt und schließlich ins Mittelmeer mündet.

Das Klima variiert von trockenem Wüstenklima im Norden bis zu tropischem Klima im Süden. Mit der Dauer der Regenzeit nehmen ebenso die Niederschlagsmengen von Nord nach Süd zu. Die Regenzeit erstreckt sich auf den Zeitraum von Juli bis September. Nur an der Küste am Roten Meer gibt es Winterregen. In den Wüsten im Norden liegt der durchschnittliche Jahresniederschlag bei unter 1 mm, im Süden bei mehr als 2000 mm (STBA 1990). Die mittleren Monatstemperaturen liegen zwischen 24°C und 32°C. In den nördlichen Trockengebieten können in den Monaten Mai und Juni Höchsttemperaturen um 52°C auftreten (STRECK 1982). Der Zentralsudan wird dem trockenheißen Steppenklima und der Süden dem tropischen wintertrockenen Savannenklima zugeordnet (STBA 1990).

Der Tourismus im Sudan ist unterentwickelt. Für die Einreise ist ein Visum von der sudanesischen Botschaft notwendig. Im Land besteht Meldepflicht und für Exkursionen außerhalb von Khartoum müssen weitere Reisegenehmigungen beantragt werden. Hotels von internationalem Standard gibt es in Khartoum und Port Sudan. Reisen in den Süden des Landes sind zur Zeit nicht möglich (BENJAK und ENDERS 1992, AUSWÄRTIGES AMT 2001).

4.2 Agrarwirtschaft

Der Sudan ist ein typisches Agrarland. Über 69% der Bevölkerung sind in der Landwirtschaft beschäftigt (SUDAN INFORMATION OFFICE 2001). Die Land- und Forstwirtschaft bilden die Grundlage der sudanesischen Volkswirtschaft. Allein 95% der Exporterlöse sind land- und forstwirtschaftliche Produkte (STBA 1990). Mehr als 34% der Landesfläche des Sudan sind ackerbaulich nutzbare Flächen. Das entspricht einer Fläche von ca. 85 Mio. ha, von der zur Zeit nur 20% bewirtschaftet werden (MOHAMED 1999).

Neben den landwirtschaftlichen Anbauflächen verfügt der Sudan über 120 Mio. ha Weideland. Die extensive Viehhaltung spielt eine außerordentlich wichtige Rolle (GRAFE 1999). Das Weideland wird oft durch eine steigende Zahl von Weidetieren wie Rindern, Ziegen, Schafen und Kamelen übernutzt (BLISS 1989). Dabei werden zu viele Tiere auf einer zu kleinen Weidefläche gehalten. Langfristig kommt es zu einer Auflockerung und einem Rückgang der Pflanzendecke. Die dadurch entstehenden Lücken in der Vegetation vergrößern sich allmählich, wenn die Beweidung nicht nachläßt, und führt bis zur völligen Zerstörung der Pflanzendecke. In der Folge kommt es zu immer stärkerer Erosion des unbedeckten Bodens, insbesondere durch den Wind. Eine natürliche Neuansiedlung von Pflanzen wird verhindert. Derzeitig grasen über 80 Mio. Nutztiere auf den Weideflächen des Sudan (MOHAMED 1999).

Aufgrund der geologischen, hydrologischen und klimatischen Verhältnisse in den verschiedenen Landschaftsregionen sind die Böden sehr unterschiedlich (STAB 1990).

Im Norden befinden sich die Sandwüsten der Sahara und die Sahelzone mit extremer Aridität und Temperaturen über 50°C. Wasser und Vegetationsarmut schließen diesen Raum von der landwirtschaftlichen Nutzung aus. Lediglich die zum Teil schmalen, aber fruchtbaren Überschwemmungsgebiete des Niltals östlich der Libyschen- und westlich der Nubischen Wüste bieten gutes, anbaufähiges Land und umfassen eine Fläche von ca. 34.000 ha (BURAYMAH 2000). Unter Schatten spendenden Bäumen nutzen die Bauern das Nilwasser zur Bewässerung, pflanzen und ernten (STRECK 1982). Im Inland, entfernt vom Nil, befinden sich weiterhin die sogenannten „Wadis“. Das sind meist trockene Flussbetten, die heutzutage kaum Wasser führen. Die Böden sind meist fruchtbar, können salzbeeinträchtigt sein und die Wasserknappheit ist hier der limitierende Faktor für eine Produktion.

Der Zentralsudan ist das Gebiet der offenen bis halboffenen Landschaften, parkähnlichen Steppen oder Savannen mit Sand-, Lehm- und Tonböden (GABRIEL 1996). Die schweren Lehmböden des Nilbeckens in Verbindung mit künstlicher Bewässerung eignen sich sehr gut für den intensiven Anbau landwirtschaftlicher

Produkte. Es entstanden Mammutfarmen, Stauseen und Kanalsysteme (STRECK 1982).

Unter den herrschenden Klimabedingungen führt eine falsche Bodenbewirtschaftung wie z.B. eine Verkürzung der Brachezeiten oder mangelhafte Bewässerungstechniken zur Veränderung der Bodenverhältnisse, die sich als Nährstoffmangel oder als Anreicherung von Salzen in den oberen Bodenschichten darstellen und eine Verminderung der Ernteerträge zur Folge haben. Diese Prozesse sind meist irreversibel und führen zur Bodenerosion und Desertifikation.

Der Süden ist die meist überflutete Lehmebene der Nilmarschen. Sie ist gekennzeichnet durch zahlreiche Flußarme, Seen und Tümpel, die sich in den langen Regenzeiten zu riesigen Wasserflächen vereinen. Sumpf- und Buschgebiete prägen die Landschaft und bilden einen einmaligen Lebensraum mit unerbittlichem Klimarhythmus und heimtückischen Krankheiten (STRECK 1982). Im äußersten Südwesten schließt sich der immerfeuchte, tropische Regenwald an.

Grundsätzlich läßt sich die pflanzenbauliche Landwirtschaft im Sudan in drei verschiedene Sektoren unterteilen. In den traditionellen kleinbäuerlichen Regenfeldbau, den mechanisierten Regenfeldbau und den modernen bewässerungslandwirtschaftlichen Sektor (WORLD BANK 1992, MINISTRY OF AGRICULTURE 1996).

Fast drei Viertel der landwirtschaftlichen Bevölkerung sind im traditionellen Regenfeldbau beschäftigt. Kerngebiete dieser kleinbäuerlich-subsistenzwirtschaftlichen Produktionsweise befinden sich in den Provinzen Kordofan und Darfur im Westen sowie im Süden des Landes (STBA 1990). Kleine Farmen, die zur Eigenversorgung der Familie dienen, sind typisch. Oft werden noch traditionelle und einfachste, selbst hergestellte Handwerkzeuge für die Bewirtschaftung der kleinen Flächen verwendet. Im Anbau befinden sich vor allem Sorghum, Hirse, Maniok, Mais, Sesam und Erdnüsse (MINISTRY OF AGRICULTURE 1996). Brandrodung und Wanderfeldbau zur Erschließung neuer fruchtbarer Flächen sind im Süden besonders typisch, da die Böden oft schon innerhalb von fünf Jahren ihre Fruchtbarkeit verlieren (METZ 1992).

Der mechanische Regenfeldbau konzentriert sich im Osten des Sudan in den Provinzen Kassala und Blauer Nil. Die Produktion erfolgt in mechanisierten Großbetrieben, in denen Sorghum, Sesam, Baumwolle, Sonnenblumen, Hirse und Guar angebaut werden (MINISTRY OF AGRICULTURE 1996). Naturgemäß unterliegt der Regenfeldbau in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge erheblichen Produktionsschwankungen.

Im Sudan wird ein Großteil der Landwirtschaft durch Bewässerung ermöglicht. Die Bewässerungslandwirtschaft als der wichtigste Sektor wird zum überwiegenden

Teil in regierungseigenen Großprojekten betrieben. Diese Gebiete erstrecken sich zumeist entlang des Nils und seinen Nebenflüssen Atbara und Rahad (WORLD BANK 1990). Das bedeutendste bewässerte Agrargebiet des Sudan ist das "Gezira Scheme", das mit fast 1 Mio. ha das größte Bewässerungsgebiet der Welt ist (STAB 1990, YOUSIF 1997). Es liegt südlich von Khartoum zwischen Blauem und Weißem Nil und wird mittels Schwerkraftbewässerung vor allem mit Wasser aus dem Blauen Nil bewässert.

Im Jahr 1959 wurde das Nilwasserabkommen zwischen dem Sudan und Ägypten geschlossen. Demnach stehen dem Sudan 18,5 Mrd. m³ und Ägypten 55,5 Mrd. m³ des Nilwassers zu. Trotz des geringeren Anteils für den Sudan werden die vertraglich gesicherten Wassermengen zur Zeit nicht ausgeschöpft und Ägypten profitiert davon (BECKER 2000).

Weitere große Bewässerungsprojekte sind das "New Halfa Scheme" nahe Kassala und das "Rahad Scheme" nahe Singa (CRAIG 1991). In der Bewässerungslandwirtschaft werden hauptsächlich Baumwolle, Erdnüsse, Zuckerrohr, Weizen sowie Hülsenfrüchte angebaut. Baumwolle, Sonnenblumen, Erdnüsse und Hülsenfrüchte sind auch wichtige Exporterzeugnisse (SUDAN INFORMATION OFFICE 2001).

Zusätzlich werden in Privatgärten entlang des Nils Obst und Gemüse angebaut. Eine Bewässerung erfolgt dort mit Hilfe von Pumpen, die Wasser aus dem Nil fördern (MINISTRY OF AGRICULTURE 1996). Zitrusfrüchte, Guaven, Mangos, Bananen, Papayas, Melonen und Datteln bzw. Okraschoten, Auberginen, Paprika, Zwiebeln und Tomaten werden geerntet und in den Städten auf den Märkten angeboten oder dienen der Eigenversorgung (ALI-DINAR et al. 1997). In den niederschlagsreichen Gebieten im Süden werden neben den genannten Obst- und Gemüsearten auch Ananas angebaut.

Heute bedecken Wald- und Baumbestände weniger als ein Fünftel der Landesfläche im Sudan (MUNZINGER 2002). Diese Fläche nimmt durch anhaltende Trockenzeiten in den letzten Jahrzehnten, unkontrolliertes Schlagen von Brennholz sowie die Ausdehnung des Dauerfeldbaus in ökologisch labilen Zonen rapide ab (AHMED 1982, NELSON 1990, AKHTAR et al. 1992, AKHTAR 1993, KIRKBY 2001).

Wald bzw. einzelne Bäume werden gerodet, um landwirtschaftlich nutzbares Land, Holz für den Export oder Brennholz zu gewinnen. Mehr als 80% des Energiebedarfs im Sudan wird durch Feuerholz gedeckt (MINISTRY OF AGRICULTURE 1996). Im Sahel hat der Bedarf an Brennholz fast zum vollständigen Verlust von Bäumen in der Umgebung von Städten geführt und ist damit eine Ursache der Desertifikation (BABIKER 1982).

Wichtigste forstwirtschaftliche Produkte sind Harthölzer aus dem Süden und Gummiarabikum, das aus einer Akazienart (*Acacia senegal*), die in den Savannengebieten wächst, gewonnen wird. Mit einem Anteil von 80% der Weltproduktion an Gummiarabikum ist der Sudan der weltweit größte Lieferant dieses Naturstoffs (SUDAN INFORMATION OFFICE 2001).

4.3 Wildobst

Der Sudan ist wie andere afrikanische Länder mit einem Spektrum an edapho-klimatischen Bedingungen ausgestattet. In den unterschiedlichen ökologischen Zonen gibt es eine Fülle von Wildpflanzen, die eine sehr unterschiedliche Nutzung ermöglichen. Hungersnöte, bedingt durch Dürreperioden, sind oft ein Problem im ländlichen Raum (IBRAHIM 1988, MAXWELL 1991). In diesen Zeiten stellen viele Wildobstarten eine wichtige Grundlage als Notnahrung dar.

Es gibt jedoch nur spärliche Informationen über das Spektrum der im Sudan genutzten Wildobstarten, deren Potenzial und Verwendung. Ein Zentrum der Artenvielfalt sind die Trocken- und Feuchtsavannen bis hin zum Tropischen Regenwald (ENGELHARD 2000, BASHIR 2001).

Im Rahmen der Forschungsaufenthalte im Zentralsudan wurden Recherchen zur Vielfalt, Verwendung, Bedeutung und zum Zukunftspotenzial von Wildobstarten durchgeführt. Feldstudien vor Ort, Befragungen der einheimischen Bevölkerung, Gespräche mit Forstkollegen und Untersuchungen auf den Märkten zum Angebot von Wildobst in den Gebieten von Khartoum, Wad Medani, Ed Damazin bei Er Roseires, El Obeid und Kadugli ergaben eine Auswahl von Wildobstbäumen, -palmen und -sträuchern, die in Tabelle 3 zusammengefaßt sind.

Die Früchte von wildwachsenden Gehölzen beinhalten viele wichtige und lebensnotwendige Substanzen wie Vitamine, Proteine und Mineralstoffe. Sie werden von Frauen und Kindern in ihren natürlichen Verbreitungsgebieten geerntet und gesammelt, dienen der Eigenversorgung bzw. werden auf regionalen Märkten verkauft (Abbildung 6) und sind damit auch eine wichtige Einkommensquelle. Plantagen der genannten Wildobstarten sowie Aufforstungsmaßnahmen sind im Sudan nicht bekannt, allenfalls sind einige einzelne Bäume in Hausgärten vorhanden.

Oft ist der potenzielle Nutzen der Wildobstgehölze bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Sie bieten eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten und werden als "multipurpose woody plants" bezeichnet.

Die Früchte von *Cordia africana*, *Diospyros mespiliformis*, *Pithecellobium dulce* und *Ximenia americana* werden als Frischobst gegessen. Aus den Früchten von *Adansonia digitata*, *Sclerocarya birrea* und *Tamarindus indica* werden erfrischende Säfte hergestellt. Die zermahlenden Samen der meisten Früchte liefern ein Mehl, das als Zuschlagstoff zum Andicken von Suppen und Speisen verwendet wird. Die zermahlenden und gepressten Samen von *Balanites aegyptiaca* ergeben ein hochwertiges und hitzebeständiges Speiseöl. Die Blätter, junge Wurzeln und

Sprossen der Baumarten *Adansonia digitata* und *Tamarindus indica* werden auch als Gemüse gegessen.

Tab. 3: Auswahl wichtiger Wildobstarten im Sudan.

Wildobstart	Familie	Erscheinungsbild
<i>Acacia nilotica</i>	Mimosaceae	laubabwerfender Baum, bis 20 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	laubabwerfender Baum, bis 25 m hoch, Früchte essbar, Holz schwammig und wasserspeichernd
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Balanitaceae	laubabwerfender Baum, bis 10 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Borassus aethiopum</i>	Palmae	Palme, bis 15 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Cordia africana</i>	Boraginaceae	laubabwerfender Baum, bis 15 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und wertvoll
<i>Diospyros mespiliformis</i>	Ebenaceae	immergrüner Baum, bis 20 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Grewia tenax</i>	Tiliaceae	laubabwerfender Strauch, bis 2 m hoch, Früchte essbar
<i>Hyphaene thebaica</i>	Palmae	verzweigende Palme, bis 15 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Pithecellobium dulce</i>	Mimosaceae	laubabwerfender Baum, bis 15 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Sclerocarya birrea</i>	Anacardiaceae	laubabwerfender Baum, bis 15 m hoch, Früchte essbar, Holz weich und leicht
<i>Tamarindus indica</i>	Caesalpiniaceae	immergrüner Baum, bis 30 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Ximenia americana</i>	Olacaceae	laubabwerfender Baum, bis 8 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft
<i>Ziziphus spina-christi</i>	Rhamnaceae	immergrüner Strauch, bis 5 m hoch, Früchte essbar, Holz hart und dauerhaft

In der Volksmedizin spielen die Früchte von *Acacia nilotica*, *Adansonia digitata*, *Grewia tenax*, *Tamarindus indica* und *Ziziphus spina-christi* eine wichtige Rolle. Sie werden u.a. bei Diabetes, starken Erkältungen, Fieber, Entzündungen und Verdauungsstörungen eingesetzt.



Abb. 6: Wildobstangebot auf einem Markt in Wad Medani (Sudan).

Von fast allen Wildobstarten werden die frischen Triebe, Früchte und Samen an das Vieh verfüttert. Eine Naturverjüngung ist aufgrund des enormen Weidedrucks in diesen Gebieten kaum möglich.

Viele dieser Wildobstarten sind massive Bäume, die ein gutes und dauerhaftes Holz liefern. So ist das Holz von *Acacia nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Cordia africana* und *Tamarindus indica* sehr hart und beständig. Es wird als Bau- und Möbelholz verwendet, ergibt aber auch eine gute Holzkohle. Das Holz als Brennholz zum täglichen Kochen ist eine wichtige Lebensgrundlage der Menschen. Gerade in ländlichen Gegenden hat Brennholz als Energiequelle entscheidende Vorteile. Es ist in der Regel frei verfügbar, sofern die Mitglieder der Familien es selbst sammeln und es ihnen so kostenlos zur Verfügung steht (ENGELHARD 2000). Der ständig steigende Bedarf und das unkontrollierte Schlagen von Brennholz führen insbesondere in der Sahelzone zur Übernutzung der Brennholzressourcen und gefährdet die natürlichen Bestände der Wildobstarten zunehmend.

Die Fasern von *Adansonia digitata*, die aus der Rinde des Stamms gewonnen werden, sind für die Herstellung von Seilen und Schnüren geeignet, die Blätter der Palmen *Borassus aethiopum* und *Hyphaene thebaica* werden zu Matten, Körben und Taschen verflochten.

Neben den vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten spenden die Gehölze Schatten für Mensch, Tier und Boden. Sie tragen speziell in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung dazu bei, eine Degradierung von erosions- bzw. austrocknungsgefährdeten Böden zu verhindern.

Die Wildobstarten Baobab, *Adansonia digitata* (arabisch: "Tebaldi") und Tamarinde, *Tamarindus indica* (arabisch: "Aradaib") sind Gegenstand der folgenden Untersuchungen – zwei imposante Wildobstbäume aus der ursprünglich heimischen Vielfalt des Sudan, die durch die Desertifikationsprozesse bedroht sind. Insbesondere die Übernutzung, die überhöhte Viehbeweidung und der unkontrollierte Holzeinschlag verhindern die Naturverjüngung und gefährden die alten Bestände.

Der Baobab gilt aufgrund seines markanten Aussehens, seiner vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten sowie seiner kulturellen und spirituellen Bedeutung als ein Wahrzeichen Afrikas. Sein weiches und schwammiges Holz speichert Wasser, das speziell im Sudan von Nomaden genutzt wird (TOTHILL 1954, CRAIG 1991).

Die Tamarinde ist als Schattenspender beliebt, da ihr gefiedertes Laubwerk die Helligkeit in angenehmer Weise mildert. Im Sudan werden die essbaren Früchte sehr geschätzt.

5 BODENVERSALZUNG

5.1 Ursachen und Bedeutung der Bodenversalzung

Die stetige Zunahme der Versalzung von Böden ist ein eher schleichender Prozess, der weltweit immer größere ökologische und wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Salzbelastete Böden bedecken einen erheblichen Teil der Landoberfläche der Erde und die Gesamtfläche wird mit 500 bis 1000 Mio. ha angenommen (FLOWERS et al. 1977, DOWNTON 1984). Das entspricht etwa 4 bis 7% der Gesamtlandfläche des Globus (COOMBS et al. 1985).

Das gemeinsame Merkmal aller Salzstandorte ist ein erhöhter Gehalt von leicht löslichen Salzen im Bodenprofil oder an der Bodenoberfläche. Die Ursachen sind sehr vielschichtig. Als wichtigste Belastungsquellen gelten folgende:

- Verwitterungsbedingte Freisetzung von Salzionen aus dem Ausgangsgestein
- Meersalz, das durch Wind als Aerosol kilometerweit ins Land getragen wird, Überflutungen und Meerwasserintrusion des Grundwassers
- Transport von Salzen durch Kapillarwasser je nach Bodenart
- Regenwasser, das bei hohen Verdunstungsraten nicht tief genug in den Boden eindringt
- Bewässerungswasser, das einen zusätzlichen Salzeintrag verursacht
- Unzureichende Entwässerung und damit Anstieg des Grundwasserspiegels
- Salzlasten aus Industrie, Bergbau und Verkehr

Neben den natürlichen Gegebenheiten spielen in steigendem Umfang die anthropogen bedingten Prozesse eine zunehmende Rolle.

Unter humiden Klimaverhältnissen werden mögliche angereicherte Salze in der Regel durch hohe Niederschlagsmengen rasch wieder ausgewaschen (PIMENTEL und HALL 1989).

Die Bodenversalzung ist eine Entwicklung, die maßgeblich klimatisch gesteuert ist, und in erster Linie Trockengebiete kennzeichnet (YEO 1999, ZECH 2002).

In den typischen Klimaverhältnissen arider und semiarider Gebiete, in denen bei hoher Sonneneinstrahlung die Bodenverdunstung größer ist als die jährlich einsickernde Niederschlagsmenge, können sich die Salze zum Teil auf natürliche Weise und insbesondere durch ineffiziente Bewässerungslandwirtschaft in den oberen Bodenschichten akkumulieren. Meist befinden sich die Salzböden in Senken mit hochstehendem Grundwasser, in abflusslosen Mulden (Depressionen), entlang von Flussläufen und sind die Folgen intensiver Bewässerung ohne ausreichende Drainage (ZECH 2002).

Die sich entwickelnde Salinität wird für die Vegetation allgemein und für die landwirtschaftliche Produktion im Besonderen zunehmend zum Problem. Die

Folgen sind Produktionsverluste, da viele Nutzpflanzen wenig salztolerant sind (SHAY 1990). Länder wie z.B. Argentinien, Ägypten, Australien, China, Indien, Iran, Pakistan, Südafrika, Thailand und die USA sind besonders betroffen (GHASSEMI et al. 1995). Allein in Afrika sind rund 69,5 Mio. ha durch Salz beeinflusst (PIMENTEL und HALL 1989).

Gerade in den Entwicklungsländern der Tropen und Subtropen zwingt der wachsende Bevölkerungsdruck dazu, landwirtschaftliche Flächen immer intensiver zu nutzen, sie massiv künstlich zu bewässern und marginale Flächen in für die Pflanzenproduktion klimatisch labilen Zonen in Kultur zu nehmen.

Die langjährige Bewässerung ohne Drainage führt in den Trockengebieten zur anthropogenen Bodenversalzung. Neben der Bodenerosion ist die Salinität einer der Hauptgründe dafür, dass weltweit in den letzten Jahren mehr als 15% der landwirtschaftlich genutzten Flächen an Wert verloren haben (BONGAARTS 1994). Zur Zeit werden 15-20% der landwirtschaftlichen Fläche der Welt bewässert. Von dem Wasser, das die Menschheit nutzt, gehen 75% der Wassermenge in die Landwirtschaft, in Afrika sogar ca. 90% (BEESE et al. 1997). Die bewässerten Flächen produzieren aber auch 30-40% der landwirtschaftlichen Nahrungsmittel und werden damit sehr intensiv genutzt (PIMENTEL und HALL 1989).

In ariden und semiariden Gebieten sind bis zu 25% der bewässerten Flächen von massiven Problemen der Bodenversalzung betroffen und die Tendenz ist stark steigend (FAO 2002).

Eine unsachgemäße Bewässerung des Bodens beschleunigt und verstärkt diesen Prozess. Ein Grundproblem dabei ist, dass auch Süßwasser immer gelöste Salze enthält. Die nicht sachgemäße Bewässerung führt zu Verdunstungsverlusten bereits während der Bewässerung und zur Konzentration der gelösten Salze. Nur bei ausreichender Zufuhr von Bewässerungswasser und gleichzeitig guter Drainage des Bodens ist ein Transport der gelösten Salze aus dem Oberboden in tiefere Horizonte gewährleistet. Die zu intensive Bewässerung, unzureichende Drainage und die Versickerung von Wasser aus unverkleideten Bewässerungskanälen führen zu einer Vernässung des Bodens und zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels. Steigt der Grundwasserspiegel auf über 1,5 m an, dann kann Wasser über Kapillarkräfte zur Bodenoberfläche aufsteigen und verdunsten. Die im Wasser gelösten Salze reichern sich an der Bodenoberfläche an (BEESE et al. 1997).

In den achtziger Jahren hielt sich der Wegfall landwirtschaftlicher Flächen durch Versalzung und die Neuerschließung durch Bewässerung noch in etwa die Waage (ABROL et al. 1988). In den letzten 20 Jahren hat sich die Bewässerungslandwirtschaft stark ausgedehnt und die enorme Zunahme der Bodenversalzung und damit die Vernichtung wichtiger Bodenressourcen ist heutzutage eine Folge (WATERLOW et al. 1998). Die jährliche Zunahme versalzter

Böden (natürlich und anthropogen) wird weltweit auf 0,16-1,5 Mio. ha pro Jahr geschätzt (BARROW 1994).

Nach einer Definition des U.S. SALINITY LABORATORY (1958) werden Böden als „Salzböden“ bezeichnet, wenn die elektrische Leitfähigkeit (EC) der Bodenlösung bei Wassersättigung 4 mS cm^{-1} überschreitet. Das entspricht einem NaCl-Gehalt von etwa 40 mM Cl^- . Bewässerungswasser sollte einen EC-Wert von 2 mS cm^{-1} nicht überschreiten, da salzempfindliche Pflanzen Ertragseinbußen ab 4 mS cm^{-1} erleiden. Meerwasser weist zum Vergleich stets Werte über 44 mS cm^{-1} auf (LARCHER 1994).

Salzstandorte sind charakterisiert durch einen hohen Gehalt an Chlorid-, Sulfat- oder Karbonatsalzen in erster Linie des Natriums und in geringerem Umfang des Kalziums, Kaliums und Magnesiums (ZECH 2002).

Die hohe Evapotranspirationsrate, die Verdunstung aus Pflanzen und Boden, in ariden und semiariden Regionen bewirkt eine überwiegend aufwärts gerichtete Wasserbewegung im Boden. Dadurch werden Salze in die oberflächennahen Bodenschichten und damit in den Wurzelraum der angebauten Kulturpflanzen verlagert und fallen aus. Salzionen reichern sich in starkem Maße als Verdunstungsrückstand an, bauen hohe osmotische Werte auf und wirken so negativ auf die Pflanzen (FELLENBERG 1999).

Die Melioration von Salzböden ist sehr teuer und aufwendig. Sie umfasst die Absenkung des Grundwasserspiegels, die Auswaschung der Salze und die Entfernung der Salze durch Wasserüberstau. Natriumreiche Böden lassen sich durch Gipsdüngung verbessern (ZECH 2002).

5.2 Bodenversalzung im Sudan

Im Sudan sind ca. 350.000 ha potenzieller landwirtschaftlicher Flächen massiv durch primäre Bodenversalzung betroffen (LAND AND WATER RESEARCH CENTRE 2001). Chemische und physikalische Bodeneigenschaften verändern sich im Laufe der Zeit. Die Böden der ariden und semiariden Gebiete sind von Natur aus sehr salzreich. Durch die Verwitterung der salzreichen Sedimente im Boden werden Salze freigesetzt (BEESE et al. 1997). Speziell im Nordsudan, wo die Niederschlagsmenge nicht ausreicht die gelösten Salze in tiefere Bodenschichten zu verfrachten, erfolgt ein umgekehrter Wassertransport von tieferen Bodenschichten zur Bodenoberfläche, in der sich die Salze anreichern. Sie fallen an der Bodenoberfläche aus oder befinden sich innerhalb des oberen Bodenprofils.

Mit der Zunahme der Aridität dehnen sich die Flächen aus, die durch natürliche Bodenversalzung belastet sind (LAND AND WATER RESEARCH CENTRE 2001). In der Vergangenheit wurde diesen salzbeeinflussten Böden keinerlei Aufmerksamkeit geschenkt, da genügend fruchtbares Land zur Verfügung stand (BURAYMAH 2000). Forschungen auf diesem Gebiet wurden vernachlässigt und viele praktische Probleme blieben unbeantwortet. Erst in den letzten zwei Jahrzehnten, in denen der Norden des Sudan von Dürren und Desertifikation schwer getroffen wurde und eine Nahrungssicherheit nicht mehr gewährleistet werden konnte, erlangten Grenzstandorte immer mehr an Bedeutung. Die Regierung entschied deshalb gerade im Nordsudan marginale salzbeeinflusste Böden zur erschließen und einer landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen (BURAYMAH 2000).

Die Salzproblematik rückt nicht nur auf salinen Böden, die in Kultur genommen werden sollen, in den Vordergrund und gewinnt an Brisanz, sondern auch in Bewässerungsgebieten ist sie eine schleichende Gefahr (EL-KAROURI 1978).

Die unzureichende bzw. zu intensive Bewässerung und fehlende Dränage sind die wichtigsten Ursachen für eine mögliche sekundäre Bodenversalzung (GHASSEMI et al. 1995).

Salze im Boden in zu hohen Konzentrationen wirken in vielfältiger Art und Weise auf die Vegetation und vermindern die landwirtschaftlichen Erträge. Institutionen wie die sudanesische Agricultural Research Corporation beschäftigen sich seit einigen Jahren verstärkt mit den Problemen der Bodenversalzung, um die Agrarwirtschaft zu erhalten und auszubauen. Exakte und detaillierte Informationen zu den Fragen der physikalischen und chemischen Eigenschaften von Böden, Ermittlung der Anforderungen für eine Auswaschung von Salzen, zu Dränagesystemen, den Effekten von Salz auf das Pflanzenwachstum, der Qualität des Bewässerungswassers und ökonomischen Fragestellungen sind notwendig.

Im folgenden werden an drei spezifischen Beispielen die Probleme und Gefahren der Bodenversalzung im Sudan erläutert.

- Die ariden Regionen im Norden des Sudan mit der Nordprovinz und der Nilprovinz umfassen eine Fläche von 7,6 Mio. ha, die 19% der Gesamtfläche entsprechen (LAND AND WATER RESEARCH CENTRE 2001). Der dringende Bedarf, speziell hier neben dem sehr fruchtbaren Schlammstreifen des Niltals weitere Gebiete für die Landwirtschaft zu erschließen, erforderte eine systematische Begutachtung und Beurteilung von potenziellen Bewässerungsflächen entlang der Nilterrassen. Die Untersuchungen ergaben eine Verfügbarkeit von Flächen im Umfang von 672.000 ha (BURAYMAH 2000), auf denen neben den topographischen und physikalischen Nachteilen auch die natürliche Bodenversalzung ein limitierender Faktor ist. Die von HUNTINGS (1964) durchgeführte Untersuchung zeigte auf, dass beträchtliche Unterschiede im Salzgehalt und in der Salzzusammensetzung in unterschiedlichen Gebieten zu finden sind. So schwankt der EC-Wert der Bodenlösung zwischen 0,2 und 49,5 mS cm⁻¹. Natriumchlorid und Natriumsulfat dominieren als Salzarten. Die Bodentextur ist sandig mit unterschiedlich hohen Anteilen an Lehm und Ton. Untersuchungen zur Erschließung dieser Böden liegen kaum vor. Es wird vermutet, dass sie sich besser meliorieren lassen als die schweren Böden, z.B. im Gezira Bewässerungsgebiet. TAHIR und FADL (1978) wiesen nach, dass Salze auf diesen Böden aufgrund der groben Struktur leichter ausgewaschen werden können. Die kürzlich eingerichteten Forschungsstationen in Dongola und Hudeiba bei Atbara führen konkrete Untersuchungen durch und installieren leistungsfähige Pumpen, um die landwirtschaftlichen Probleme dieser Regionen zu lösen (BURAYMAH 2000). Ergebnisse zeigen auf, dass eine Erschließung der Nilterrassen mittels Salzauswaschung durchaus möglich ist. Um diesen Prozess zu unterstützen und die gewonnenen Flächen vor Desertifikation zu schützen ist es notwendig Baumgürtel anzupflanzen, um u.a. Sandinversionen abzuhalten. Das erfordert die Etablierung von genügend Baumschulen zur Produktion junger, geeigneter Bäume, die dann in die Schutzgürtel gepflanzt werden können (BURAYMAH 2000).
- Das Gebiet südlich von Khartoum zwischen Blauem und Weißem Nil bis zur nördlichen Grenze des Gezira Bewässerungsgebiets ist massiv durch natürliche Salinität beeinflusst (Abbildung 7). Es umfasst eine Fläche von 81.000 ha. Dieses Gebiet wurde bisher landwirtschaftlich wenig genutzt bzw. diente zum Teil nur als kurzfristige Weideflächen für den Viehmarkt in Khartoum. Durch die Verfügbarkeit von hochqualitativem Bewässerungswasser mit geringem Salzgehalt der beiden Flüsse (EC-Höchstwerte von 0,12 bis 0,22 mS cm⁻¹, MUSTAFA 1973) sowie die relativ gute Infrastruktur um Khartoum wird das Gebiet immer interessanter für den Anbau von Frischobst und -gemüse für die

Hauptstadt und den Export. Das flache Gelände ist hauptsächlich durch Lehm- und Tonböden gekennzeichnet, die EC-Werte bis 30 mS cm^{-1} aufweisen. Die Auswaschung von Salzen ist unter diesen Bodenbedingungen schwieriger und erfordert weitere Untersuchungen und Forschungsaktivitäten.



Abb. 7: Bodenversalzung südlich von Khartoum (Sudan).

- Das “Gezira Scheme“ ist mit einer Bewässerungsfläche von 1 Mio. ha das wichtigste landwirtschaftliche Areal im Sudan. Bewässerungswasser von guter Qualität und Niederschläge in der Regenzeit sind die Grundlagen für hohe Erträge auf den nährstoffreichen Lehm- und Tonböden. Eine zu intensive Bewässerung könnte hier auf den schweren, undurchlässigen Böden eher zur Vernässung und zum Anstieg des Grundwasserspiegels führen und so einen aufwärts gerichteten Transport von gelösten Salzen bewirken. In den vergangenen Jahrzehnten spielte die Bodenversalzung in diesem Gebiet keine entscheidende Rolle, da Brachezeiten eingehalten und relativ salztolerante Kulturen wie Baumwolle angebaut wurden (BURAYMAH und WEBSTER 1989). Eine ständige Kontrolle der Flächen ist zwingend notwendig um der Gefahr der Bodenversalzung entgegenzuwirken.

5.3 Schädwirkungen auf die Pflanze

Saline Böden wirken in Trockengebieten arider und semiarider Regionen in Kombination mit den Umwelt-Stressfaktoren hoher Lichteinfluss, hohe Wärmebelastung und gravierender Wassermangel auf die Physiologie der Pflanzen ein. Sie beeinflussen den Ertrag und setzen Anbaugrenzen fest. Die Pflanzen sind gefordert in ihren Lebensvorgängen Mechanismen zu entwickeln, um den Belastungen stand zu halten.

Als Maß für die Salinität wird besonders in der Bodenkunde und den Agrarwissenschaften die Elektrolytleitfähigkeit des wässrigen gesättigten Bodenextrakts (EC) in mS cm^{-1} angegeben. Ab einer elektrischen Leitfähigkeit von mehr als 4 mS cm^{-1} werden Böden als „Salzböden“ bezeichnet (GHASSEMI et al. 1995). Zwischen EC und osmotischem Potenzial besteht eine lineare Beziehung ($1 \text{ mS cm}^{-1} = -0,036 \text{ MPa}$).

Salze im Boden bedeuten für die Pflanzen immer direkten oder indirekten Stress. Direkt sind die Pflanzen von Änderungen im osmotischen Potenzial des Bodenwassers betroffen, dem Mangel an Nährstoffen und der Anwesenheit toxischer Ionen – indirekt von den besonderen physikalisch-chemischen Eigenschaften saliner bzw. alkalischer Böden (TIVY 1993).

Die direkte Einflussnahme hoher Salzkonzentrationen belastet die Pflanze über die osmotische Wasserbindung und durch spezifische Ionenwirkungen. In Salzlösungen ist Wasser osmotisch stark gebunden, so dass es mit zunehmender Salzkonzentration schlechter für die Pflanzen verfügbar ist und daher physiologischen Trockenstress hervorruft. Neben der Konzentration der Ionen ist ihre spezifische toxische Wirkung entscheidend. Durch einen Überschuss an Na^+ und vor allem an Cl^- im Protoplasma entstehen ionenspezifische Wirkungen auf Enzymproteine und Membraneigenschaften, die zur unzureichenden Energieausbeute führen (LARCHER 1994). Weiterhin treten Ionenungleichgewichte (z.B. K^+ und Ca^{2+} gegenüber Na^+) auf.

Durch Überforderung erleiden die Pflanzen Funktionsstörungen in den Regulationsvorgängen und Schädigungen, die sich u.a. in einer eingeschränkten Photosyntheseintensität, einem Anstieg der Atmung, insbesondere im Wurzelraum, und einer Verminderung der Aufnahme mineralischer Nährstoffe (z.B. NO_3^- , K^+ , Ca^{2+}) zeigen. Um die Konzentration an Schadionen im Protoplasma herabzusetzen, werden die überschüssigen Ionen oft aktiv und energieverbrauchend mittels Ionenpumpen in die Vakuole verlagert und dort kompartimentiert. Die Vakuole dient hierbei als „Ionendeponie“ für Schadsalze. Für das osmotische Gleichgewicht

zwischen Protoplasma und den mit Salzionen angereicherten Vakuolen sorgen speziell synthetisierte, kompatible Substanzen wie Prolin (KREEB 1996).

Nach MUNNS und TERMAAT (1986) lässt sich die Salzstressreaktion von Pflanzen in zwei Phasen unterteilen. Das Wachstum wird anfänglich durch den salzinduzierten Wasserstress beeinträchtigt. Nachdem die Kapazität der Vakuole als „Ionenspeicher“ erschöpft ist, schließt sich die zweite Phase an. In ihr reichern sich Natrium- und Chloridionen in den Zellwänden und im Cytoplasma an und es kommt zu toxischen Reaktionen durch Salzionen im Pflanzengewebe.

Viele Kulturpflanzen sind mehr oder weniger salzempfindlich, d.h. sie unterscheiden sich in ihrer Salztoleranz. Nach STOCKER (1928) werden die Pflanzen in Nicht-Halophyten bzw. Glycophyten (salzempfindlich) und Halophyten (salztolerant) unterteilt.

Um Salinität im Boden zu überleben, können Pflanzen zwei Reaktionswege beschreiten, die stets als Mischform auftreten (GREENWAY und MUNNS 1980):

- Includer-Mechanismus: verstärkte Aufnahmen von Ionen und Einlagerung in die Vakuole (Salzakkumulation), um das interne osmotische Potenzial abzusenken und damit die Wasseraufnahme zu ermöglichen, Eliminierung von überschüssigen NaCl durch Salzsekretion (Absalzdrüsen, Salzhaare, Blattabwurf), charakteristisch für Halophyten
- Excluder-Mechanismus: Verminderung der Ionenaufnahme („avoidance“) und verstärkte Produktion von nicht-dissoziierenden organischen Verbindungen (z.B. Manit), Salzionen werden oft in der Wurzelrinde durch Ionenbarrieren zurückgehalten (Ultrafiltration), charakteristisch für Glycophyten

Das Toleranzniveau der Pflanzen schwankt zeitlich und räumlich je nach Art und Sorte der Nutzpflanze, ihrem Entwicklungsstadium sowie der Zeitspanne, die sie hohen Salzkonzentrationen ausgesetzt sind. So sind z.B. junge Pflanzen wesentlich weniger salztolerant als adulte (TIVY 1993). Die Grenzen für die Keimung und das Auflaufen von Samen liegen in der Regel bei 15 – 20 mS cm⁻¹ (LARCHER 1994).

Als allgemeine Kriterien für Salzstress und deren Bewältigung werden das Wachstum, die Wachstumsgeschwindigkeit und die Substanzproduktion angenommen. Darüber hinaus können Untersuchungen der Veränderungen der Ionengehalte in verschiedenen Pflanzenorganen sowie der Blattgaswechsel

Grundlage einer physiologischen Charakterisierung des Salzstresses sein (EBERT 2000).

MENGEL (1984), TIVY (1993) und LARCHER (1994) beschreiben die Symptome bei Pflanzen, die unter extremer Salzbelastung stehen, als Kleinwuchs und Hemmung des Wurzelwachstums (Spross/Wurzel-Verhältnis), Knospen treiben verspätet und kümmerlich aus, die Blätter bleiben klein, Zellbezirke sterben ab und verursachen Wurzel-, Knospen-, Blattrand-, und Sprossspitzennekrosen. Die Fertilität der Pflanze ist oft stark eingeschränkt und eine verfrühte Seneszenz tritt ein.

Nach Angaben aus der Literatur (YARON et al. 1973, MENGEL 1984, TIVY 1993 und EBERT 2000) gelten viele Obstarten unter den Nutzpflanzen als besonders salzempfindlich. Auch GREENWAY und MUNNS (1980) ordnen die meisten Obstarten der Gruppe der sehr salzempfindlichen Nicht-Halophyten zu.

In der landwirtschaftlichen, gärtnerischen und forstlichen Praxis ist eine auch schon bescheidende Salzresistenz von Kulturpflanzen für eine Wiederbewirtschaftung salzgeschädigter Anbauflächen in Trockengebieten, besonders der Subtropen, hilfreich. Große Anstrengungen werden unternommen, um für die meist armen Länder widerstandsfähige Arten zu finden und daraus resistente Sorten zu entwickeln (LARCHER 1994).

6 MATERIAL UND METHODE

6.1 Versuchsvorbereitung

Bei dem ersten Forschungsaufenthalt im Sudan wurden im Februar 2002 in den Gebieten um Ed Damazin von den Wildobstbäumen Baobab (*Adansonia digitata*) und Tamarinde (*Tamarindus indica*) vor Ort aus den reifen Früchten die Samen gewonnen. Vom Fruchtfleisch getrennt und getrocknet kamen sie nach Deutschland und bildeten die Grundlage für die Versuchsreihen im subtropischen Gewächshaus des Fachgebiets Obstbau in Berlin-Dahlem.

Vorversuche zum Keimverhalten ergaben, dass durch ein Einweichen der Samen für eine Dauer von 24 Stunden in Wasser und anschließendem Anschleifen mit Sandpapier die Keimrate erhöht und die Keimdauer verkürzt wird.

Die so vorbehandelten Samen von Baobab und Tamarinde wurden Anfang März 2002 zu je 150 Stück in Paletten ausgesät. Die Paletten, zuvor mit Quarzsand (Körnung: 0,6-1,2 mm) gefüllt, wurden in die Sprühnebelanlage mit einer Durchschnittstemperatur von 28°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100% zur Keimung aufgestellt.

Das Pikieren erfolgte eine Woche nach dem Auflaufen der Samen in 2,5 l Container, die ebenfalls das Quarzsand-Substrat enthielten. Die Sämlinge wurden auf die Versuchstische im subtropischen Gewächshaus plaziert. Die Umweltbedingungen im Gewächshaus lagen bei einer Tagestemperatur von 25-30°C, einer Nachttemperatur von 20-25°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70-80%. In den Monaten März und April erhielten die Pflanzen in der Zeit von 6-18 Uhr eine Zusatzbeleuchtung mit 400 Watt Quecksilber-Dampf lampen.

Nach einer dreiwöchigen Adaptation der Pflanzen an die kontrollierten Umweltbedingungen starteten Mitte April 2002 die Versuchsreihen. Hierzu wurden 50 homogene Baobab- und 50 homogene Tamarindensämlinge ausgewählt und zu je fünf Reihen (Kontrolle und Behandlungsvarianten) mit je zehn Sämlingen gruppiert (Abbildung 8 und 9).



Abb. 8: Versuchsaufbau der Baobabsämlinge zu Versuchsbeginn.



Abb. 9: Versuchsaufbau der Tamarindensämlinge zu Versuchsbeginn.

6.2 Versuchsdurchführung

Die Baobab- und Tamarindensämlinge in einem Alter von vier Wochen wurden über einen Zeitraum von 20 Wochen mit Nährlösung und in den Behandlungsvarianten zusätzlich mit unterschiedlichen Salzgaben bewässert. Grundlage der Nährlösung bildete der Dünger Manna Lin A Spezial, der folgende Nährstoffe und Spurenelemente enthielt: 24% N (13% Nitratstickstoff und 11% Ammoniumstickstoff), 5% P₂O₅, 11% K₂O, 3% MgO, 0,025% B, 0,005% Cu, 0,06% Fe, 0,025% Mn, 0,0025% Mo und 0,02% Zn. Einem Liter destilliertem Wasser wurde 1g Dünger zugegeben und entsprechend der Behandlungen die Salzgaben (Tabelle 4).

In den ersten zehn Wochen erhielten die Pflanzen täglich 50 ml der entsprechenden Lösung. Aufgrund des erhöhten Wasserbedarfs wurde die tägliche Gabe ab der 6. Woche auf 100 ml erhöht.

Tab. 4: Festsetzung der Salzapplikationen (* gemessene Werte).

Behandlungs- variante	NaCl g l ⁻¹	mM (NaCl)	EC in mS cm ⁻¹ *
Kontrolle	---	---	0,54
Variante 1	1,17	20	2,95
Variante 2	2,34	40	5,73
Variante 3	3,51	60	8,05
Variante 4	4,68	80	10,30

6.3 Analysen und Untersuchungen

Vegetatives Wachstum

Die Bestimmungen der Pflanzenhöhe und der Blattanzahl erfolgten vor Beginn der Salzbelastungen, alle zwei Wochen während der Behandlungen und bei Versuchsabschluss. Darüber hinaus wurden während des Versuchs die Blattsymptome beobachtet und beim Baobab zusätzlich der Beginn der Fiederblattbildung erfasst.

Nach 20 Wochen Behandlungen wurden die Pflanzen in Blätter, Sprosse und Wurzeln separiert. Die Bestimmung der Blattfläche pro Pflanze erfolgte mit dem Blattflächenmessgerät LI-CORE (Model 3100). Der Sprossdurchmesser wurde an der Sprossbasis mittels Messschieber gemessen. Nach der Frischmassenbestimmung wurden die Pflanzenbestandteile bei 90°C im Trockenofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und die Trockenmasse bestimmt. Der relative Wassergehalt der Blätter ergab sich aus der Differenz zwischen Frisch- und Trockenmasse bezogen auf die Blattfläche.

Photosynthese

Die Photosyntheserate wurde als CO₂-Aufnahme des Gewebes, in diesem Fall des Blattes, in einem offenen System erfaßt. Zur Messung der Photosynthese diente das tragbare Photosynthesemessgerät (Model CI-301PS, CID, Inc., USA), bei dem ein Blattausschnitt definierter Größe (11 cm²) in eine transparente Blattküvette für kurze Zeit eingeschlossen wurde. In einem ein bis zwei Minuten dauernden Messintervall wurden der CO₂-Gehalt des Messgases vor und nach der Passage des untersuchten Blattausschnitts bestimmt. Die Differenz, auf die Zeit und die Blattfläche bezogen, ergibt die Nettphotosyntheserate ($\mu\text{Mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-2}$). Die angesaugte Außenluft, zuvor zur Pufferung der CO₂-Konzentrationschwankungen in der Außenluft in einen 50 l Kanister gepumpt, wird dem Messsystem zugeführt. Die Photosynthese wurde zu Versuchsbeginn, alle vier Wochen während des Versuchs und zu Versuchsende gemessen.

Chlorophyll

Die Chlorophyllbestimmung erfolgte an frischen Blättern. Hierzu wurden mittels Korkbohrer je 5 Blattscheiben (1,5 cm²) ausgestant. Die Blattscheiben wurden in 80%igem Aceton mit dem Ultra-Turrax zerkleinert. Um die organischen Säuren zu binden wurde Magnesiumcarbonat (MgCO₃) hinzugegeben. Nach Absaugen der Suspension über eine G3-Fritte unter Vakuum wurde das Aceton-Filtrat mit Hilfe eines Spektralphotometers (SP8-300, Pye Unicam, USA) durch Messung der Absorption bei 664 nm (Chlorophyll a) bzw. 647 nm (Chlorophyll b) auf die Chlorophyllgehalte untersucht.

Mineralstoffe

Die getrockneten Pflanzenbestandteile (Blätter, Sprosse, Wurzeln) wurden in einer Micro-Feinmühle (Culatti, IKA-Werk, Deutschland) gemahlen und für drei Stunden bei 105°C im Trockenofen getrocknet.

Für die Bestimmung der Kationen (Na^+ , K^+ und Ca^{2+}) wurden 500 mg der Proben in einem Muffelofen bei 490°C über einen Zeitraum von 3 Stunden verascht. Die abgekühlte Asche wurde dann mit 5 ml 10%iger HCl versetzt und auf dem Sandbad bis zur „Trockne“ abgeraucht. Die Rückstände wurden dann wiederum für 9 Stunden bei 490°C in den Muffelofen gegeben und anschließend in 5 ml 25%iger HCl gelöst, in destilliertem Wasser verdünnt und filtriert. Die Messung der Kationen erfolgte mit einem Atomabsorptionsspektrometer (AAS, Typ 905AA, GBC, Australien) bei folgenden Wellenlängen: Na^+ : 589,0 nm, K^+ : 766,5 nm und Ca^{2+} : 422,7 nm.

Zur Cl^- -Bestimmung wurden 500 mg des Probenmaterials mit 30 ml destilliertem Wasser in geeichte Zentrifugengläser gegeben und für eine Stunde geschüttelt um die enthaltenden Chloridionen zu extrahieren. Zuvor wurde festgestellt, dass eine Erhöhung der Chloridionenextraktion durch Schütteln in einem 100°C heißen Wasserbad nicht erreicht werden kann. Nach anschließendem Zentrifugieren bei 3500 U/min für 10 min wurde der Überstand der Probe nach dem coulometrischen Titrationsprinzip mittels Eppendorf-Chloridmeter (Typ 6610, Deutschland) auf den Chloridgehalt untersucht. Bei diesem Messsystem werden durch eine stabilisierende Spannung an den Silberelektroden Silberionen frei, die die vorhandenen Chloridionen in Form von Silberchlorid in einer Säurepufferlösung ausfällen. Bei Titrationsende verändert sich die Leitfähigkeit des Puffers durch frei werdende Silberionen.

6.4 Statistische Auswertung und Gestaltung der Grafiken

Die Versuche wurden mit jeweils zehn Wiederholungen angelegt. Die statistische Auswertung zur Beurteilung der Auswirkungen von unterschiedlichen Salzbehandlungen auf Wachstum und Stoffwechsel der Pflanzen erfolgte mit dem Statistikprogramm Statgraphics Plus für Windows (Version 3.1). Zur Prüfung auf Signifikanz wurde die einfaktorielle Varianzanalyse, Modell I (Prüffaktor fix) angewendet. Bei positivem Ergebnis (F-Test, $p < 0,05$) schloss sich der multipler Mittelwertvergleich mittels Tukey-Test HSD (honest significant difference) an, um zu klären zwischen welchen Varianten signifikante Unterschiede bestehen. Zur Interpretation der Mittelwerte wurden die Grenzdifferenzen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha < 5\%$ in die Balken der Diagramme eingezeichnet. Wenn die eingezeichneten Grenzdifferenzen der Mittelwerte nicht überlappen, dann liegt ein signifikanter Unterschied der Mittelwerte vor.

Bei der Erstellung der Grafiken kam das Tabellenkalkulationsprogramm Exel 7.0 zum Einsatz. Es wurden einheitliche Skalierungen der Diagramme vorgenommen, um den Vergleich der Ergebnisse zwischen Baobab und Tamarinde zu vereinfachen.

7 VERSUCHSAUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

7.1 Baobab

7.1.1 Schadsymptome

Während des Versuchs zeigte sich, dass sich die oberirdischen Pflanzenorgane zwischen den Behandlungsvarianten unterschiedlich entwickelten. Mit zunehmender Salzbehandlung verfärbten sich die Blätter gelblich, einzelne Blattbereiche und Blätter bereits in der 2. Woche. Ab der 12. Behandlungswoche waren deutliche Unterschiede in der Gesamtblatrfärbung zwischen den Behandlungsvarianten sichtbar, von dunkelgrün (Kontrolle) bis blassgelb (80 mM). Beginnende Blattschadsymptome in Form von Nekrotisierungen von Blattbereichen zeigten die ersten Pflanzen bereits in der 4. Behandlungswoche bei 40 mM und 60 mM NaCl-Behandlungen bzw. ab der 6. Woche bei 20 mM und 80 mM. Die Schadsymptome traten vornehmlich an den Rändern voll entwickelter Blätter auf. Dabei verfärbten sich zuerst Gewebereiche in scharf abgegrenzten Bereichen von grün nach gelb (Chlorose). Der Vergilbung folgte eine Nekrotisierung der Blattrandzonen, zumeist im oberen Blattdrittel bzw. der Blattspitze. Weiterhin wurden Nekrosen von dunkelbrauner Färbung beobachtet, die zusätzlich von konzentrisch, chlorostischen Ringen umgeben waren. In der Abbildung 10 ist ein geschädigtes Blatt im Vergleich zur Kontrolle abgebildet.

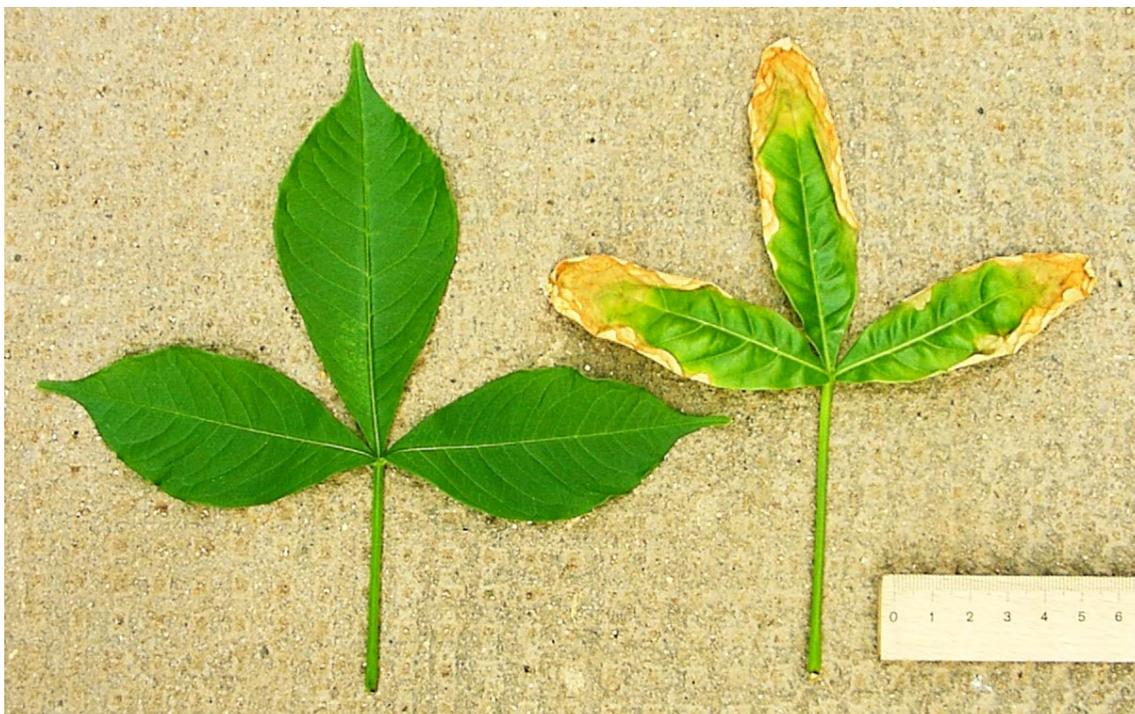


Abb. 10: Baobab-Blattschäden (20 mM) im Vergleich zur Kontrolle.

Die Blattschäden traten zuerst an vollentwickelten, älteren Blättern auf. Der Neuaustrieb blieb weitgehend symptomfrei. Die geschädigten Blätter wurden relativ

schnell abgeworfen und es kam zum Verkahlen der basalen Triebabschnitte. In der mit 80 mM behandelten Variante ergab sich verstärkt eine Welketracht der Pflanzen. Bei einigen Pflanzen, insbesondere in der 20 mM Variante, zeigten sich Eintrocknungen und Schwarzfärbungen der apikalen Triebspitzen. Einige dieser Pflanzen bildeten später neue Triebe an der Triebbasis aus. Die vollentwickelten Blätter der Neuaustriebe zeigten nach wenigen Tagen ebenfalls die beschriebenen Schadsymptome.

7.1.2 Vegetatives Wachstum

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten in allen Behandlungsvarianten einen deutlichen Einfluss auf das vegetative Wachstum.

In der Abbildung 11 ist die Entwicklung der durchschnittlichen Wuchshöhe der Baobabsämlinge über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt. Schon nach 4 Wochen war die durchschnittliche Höhe der Sämlinge bei 80 mM geringer als bei den anderen Pflanzen. Ab der 8. Woche waren die Unterschiede entsprechend der Behandlungen deutlich sichtbar. Ab der 10. Behandlungswoche stellten die Pflanzen in den Behandlungen das Höhenwachstum fast völlig ein.

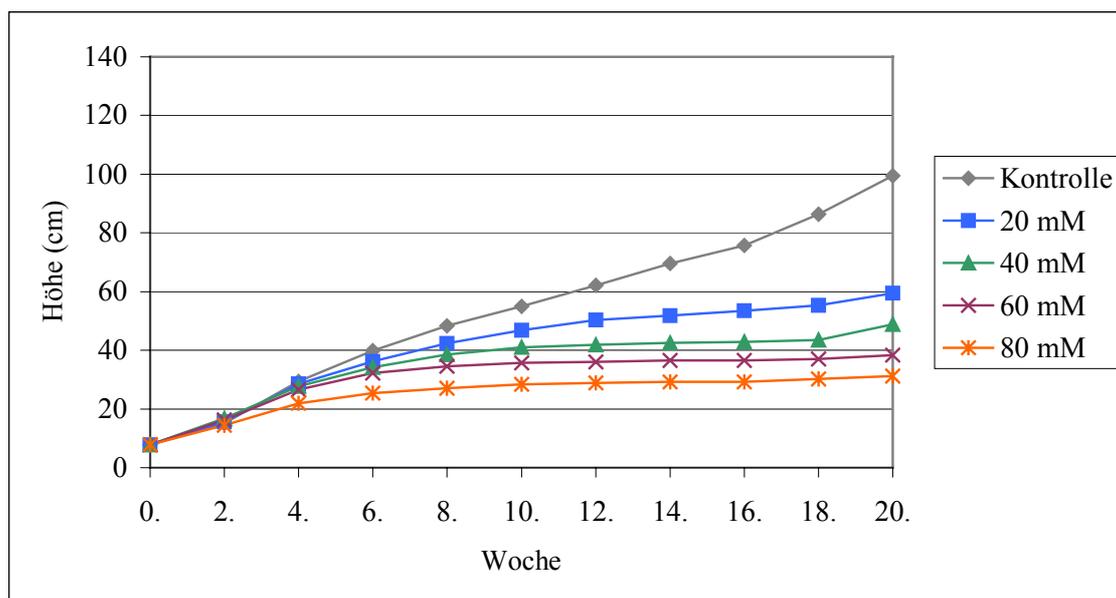


Abb. 11: Durchschnittliche Wuchshöhe der Baobabsämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

Die Kontrollpflanzen wuchsen im Gegensatz zu den Pflanzen in den Behandlungen kontinuierlich. Ab der 16. Woche kam es hier zu einer Erhöhung des wöchentlichen Höhenzuwachses. Nach 20 Wochen lag die durchschnittliche Höhe der Baobabsämlinge in der Kontrolle bei 99,5 cm und damit deutlich höher als die der Behandlungen. Die mit 20 mM behandelten Sämlinge erreichten eine Höhe von

60%, die mit 40 mM von 50%, die mit 60 mM von 39% und die mit 80 mM von 32% der Kontrolle.

In der Abbildung 12 ist der durchschnittliche Wuchshöhenzuwachs der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Der Wuchshöhenzuwachs der Kontrolle war deutlich (signifikant) höher als der Wuchshöhenzuwachs in den Behandlungen. Der Höchstwert im Wuchshöhenzuwachs einer Pflanze der Kontrolle wurde mit 109 cm nach 20 Wochen gemessen. Im Durchschnitt waren die Kontrollpflanzen um 92 cm gewachsen. Im Gegensatz dazu waren die Pflanzen bei 80 mM im Durchschnitt nur um 24 cm gewachsen. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

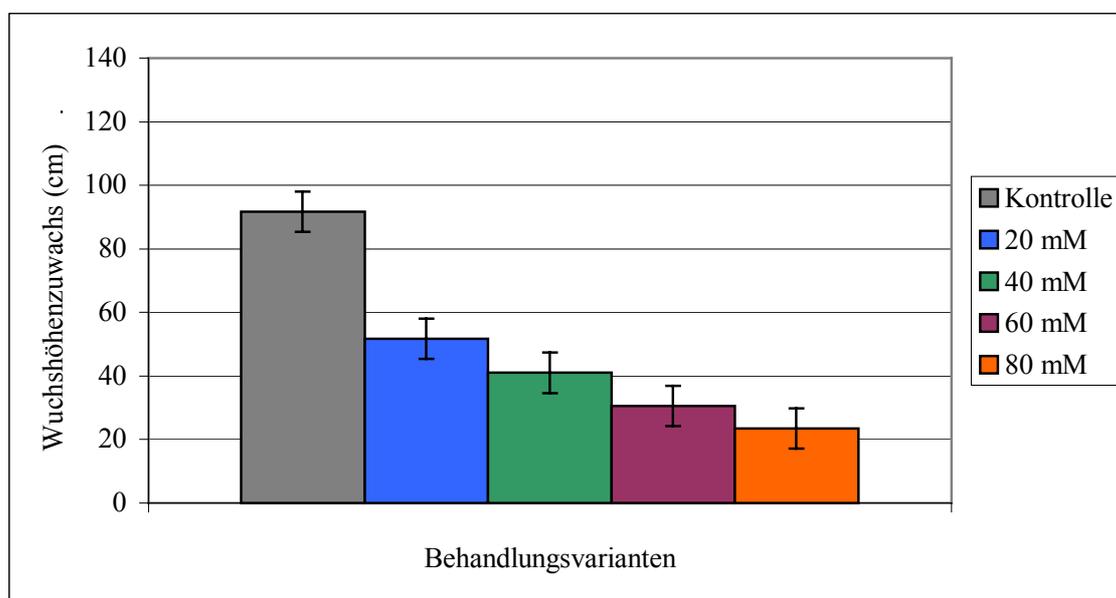


Abb. 12: Durchschnittlicher Wuchshöhenzuwachs der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 13 ist die Entwicklung der durchschnittlichen Blattanzahl der Baobabsämlinge über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt.

Die durchschnittliche Blattanzahl war ebenfalls deutlich durch die Behandlungen beeinflusst. In der Kontrolle nahm die Blattanzahl pro Pflanze stetig zu. Die Pflanzen bildeten innerhalb von 2 Wochen im Durchschnitt 3 neue Blätter. Blattschäden waren hier nicht zu beobachten und nur einzelne alte Blätter wurden abgeworfen. Bei den Behandlungsvarianten 40, 60 und 80 mM reduzierte sich die

durchschnittliche Blattanzahl ab der 8. Woche bzw. bei 20 mM ab der 10. Woche, da mehr geschädigte Blätter abgeworfen wurden als neue gebildet.

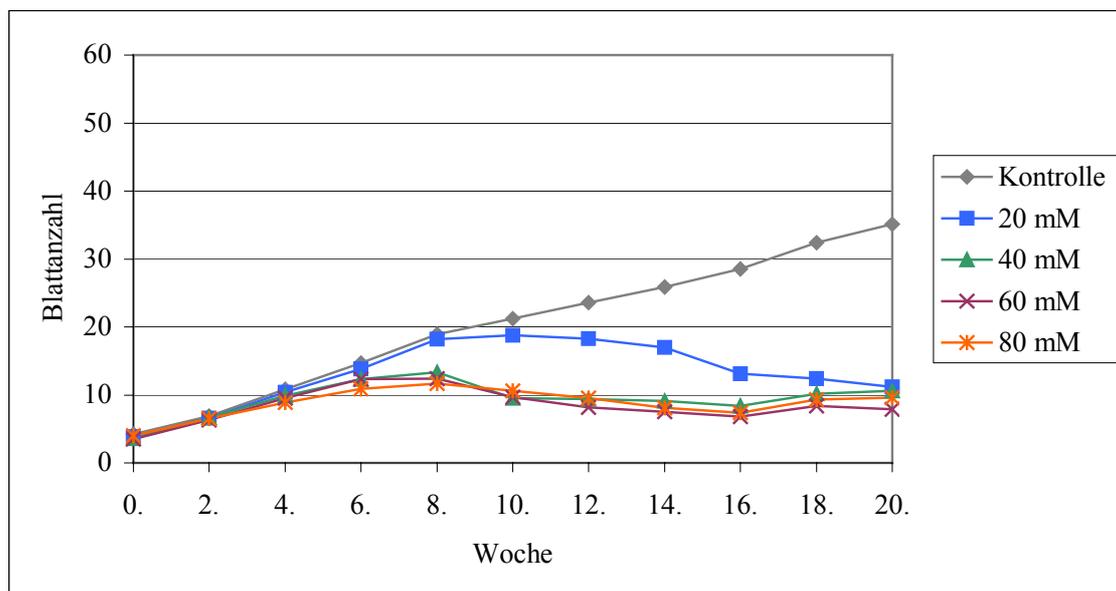


Abb. 13: Durchschnittliche Blattanzahl der Baobabsämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

In der Abbildung 14 ist die durchschnittliche Blattanzahlzunahme der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Hierbei wurden die abgeworfenen Blätter ebenfalls erfasst und als graue Schraffierung in die Säulen eingezeichnet. Die Salzbehandlungen hatten Einfluss auf die Blattanzahlzunahme (Signifikanz der Kontrolle mit 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM). Der Anteil an abgeworfenen Blättern lag deutlich über dem in der Kontrolle. In der Kontrolle wurden 7,76%, bei 20 mM 75,50%, bei 40 mM 73,28%, bei 60 mM 74,42% und bei 80 mM 59,42% der Blätter innerhalb der 20 Wochen abgeworfen. Hierbei handelte es sich in der Regel um ältere Blätter, die oft erhebliche Schadsymptome aufwiesen. Der starke Blattabwurf führte zum Verkahlen der basalen Triebabschnitte. Einige Pflanzen in den Behandlungen 40 mM, 60 mM und 80 mM wiesen teilweise nur noch kleine, verkümmerte Blätter an der Triebspitze auf. Andere Pflanzen wiederum erschienen relativ vital. So schwankte die Blattanzahl pro Pflanze z.B. in der 80 mM Behandlung zwischen 2 und 18 Blättern. Auch in der Wuchshöhe und den Blattschäden wurde eine hohe Variabilität beobachtet bzw. gemessen.

Auch der Zeitpunkt der ersten Fiederblattausbildung wurde durch die Behandlungen beeinflusst. In der Kontrolle bildeten alle Pflanzen ab der 6. Woche nur noch

Fiederblätter aus und in der 20 mM Behandlung ab der 8. Behandlungswoche. Einzelne Pflanzen in den Behandlungen mit 60 mM und 80 mM bildeten ab der 10. Woche Fiederblätter aus.

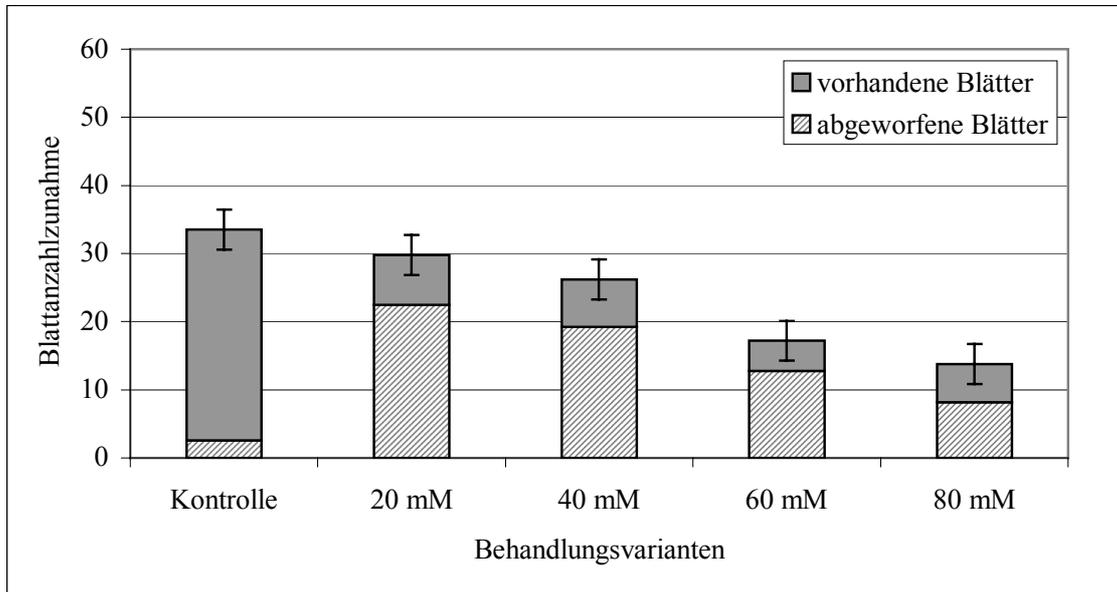


Abb. 14: Durchschnittliche Blattananzahlzunahme der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 15 ist die durchschnittliche Gesamtblattfläche der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich,

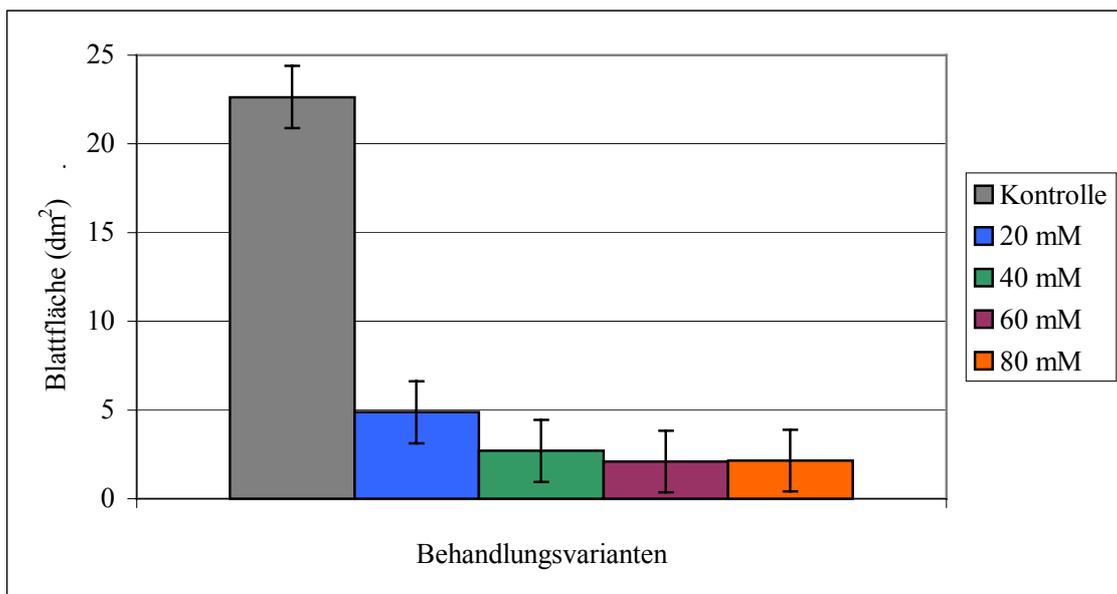


Abb. 15: Durchschnittliche Blattfläche der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

dass die Blattfläche zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Zwischen den Behandlungsvarianten lagen keine signifikanten Unterschiede in der Blattfläche vor. Dennoch reduzierte sich die Blattfläche mit der Zunahme der Salzbelastungen. Bemerkenswert ist auch hier die Variationsbreite in der Blattfläche zwischen einzelnen Pflanzen innerhalb einer Behandlung. So schwankte die Blattfläche beispielsweise bei der Behandlung 20 mM zwischen 14,41 dm² und 0,32 dm².

In der Abbildung 16 ist der durchschnittliche Sprossdurchmesser, gemessen nach 20 Wochen Behandlung an der Sprossbasis der Baobabsämlinge, dargestellt. Die unterschiedlichen Salzbelastungen zeigten einen deutlichen Einfluß auf die Werte. Mit steigendem NaCl-Gehalt in der Nährlösung nahm der Sprossdurchmesser entsprechend ab (Signifikanz der Kontrolle mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM).

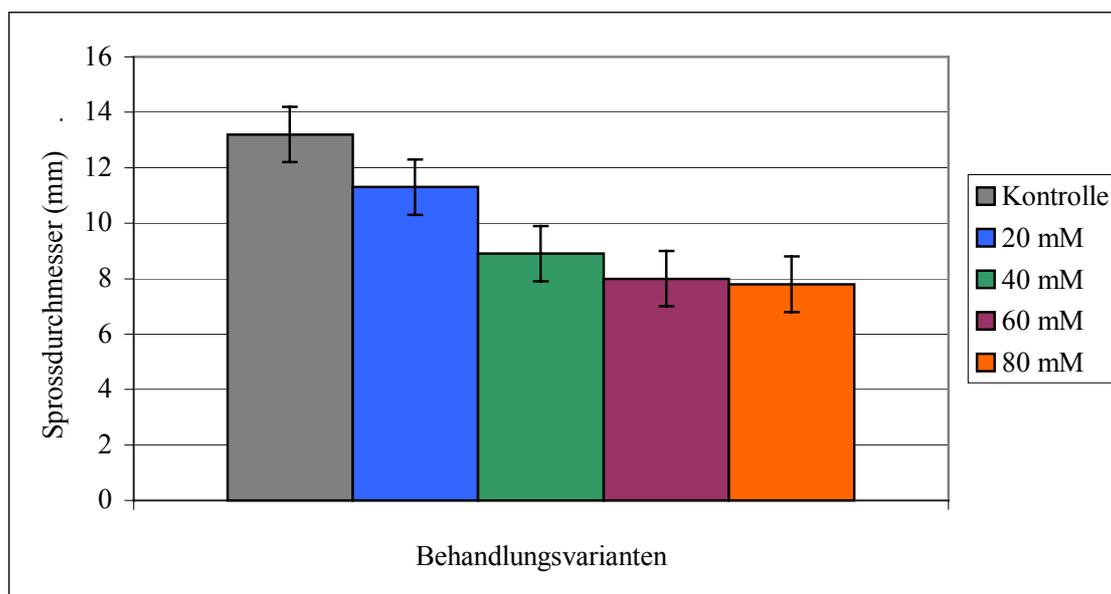


Abb. 16: Durchschnittlicher Sprossdurchmesser der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 17 ist die durchschnittliche Frischmasse der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Frischmasse zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM vor.

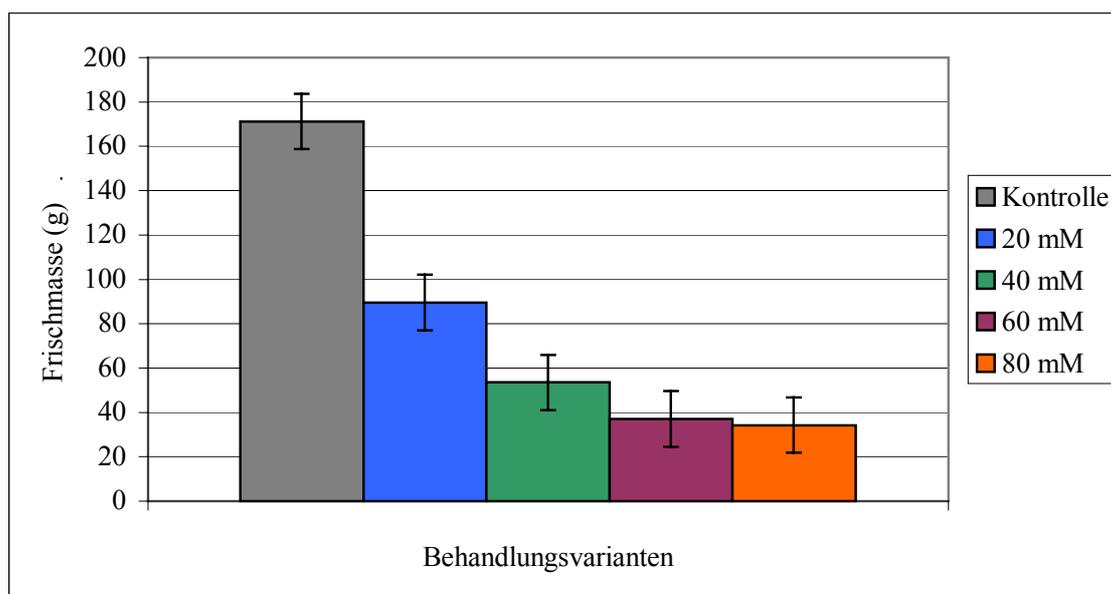


Abb. 17: Durchschnittliche Frischmasse der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 18 ist die durchschnittliche Frischmasse der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Die

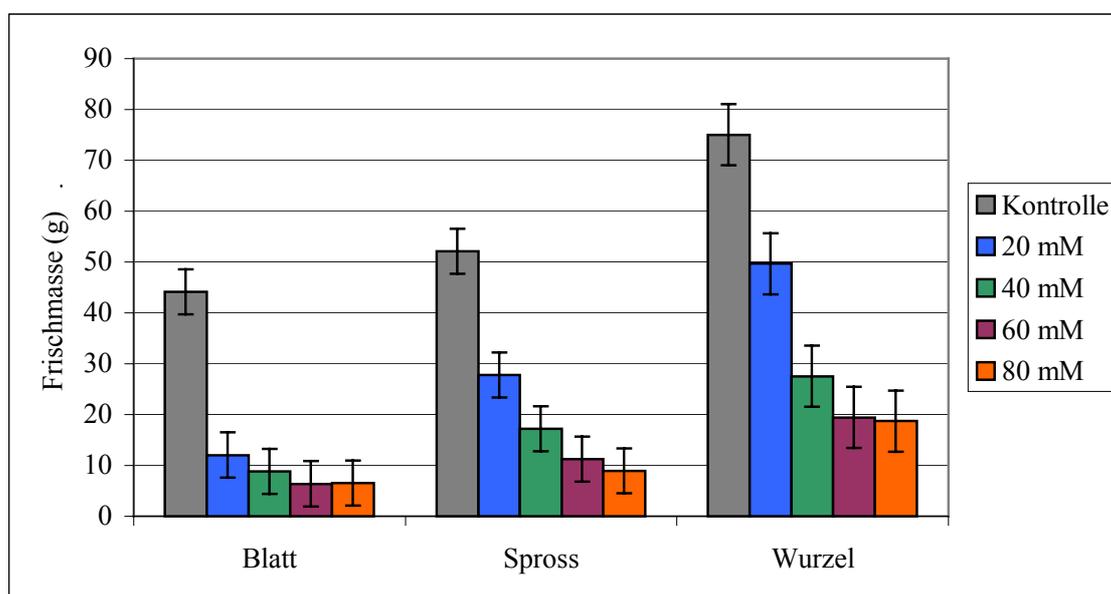


Abb. 18: Durchschnittliche Frischmasse (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

Frischmasse der Blätter in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) geringer im Vergleich zur Kontrolle. Zwischen den Behandlungsvarianten lagen bei der Frischmasse der Blätter keine signifikanten Unterschiede vor. Die Frischmasse der Sprosse nahm mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Signifikanz

der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM). Die Frischmasse der Wurzeln nahm mit zunehmender Salzbehandlung ebenfalls ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM).

In der Abbildung 19 ist die durchschnittliche Trockenmasse der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Trockenmasse zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zu Kontrolle war. Die mit 20 mM behandelten Sämlinge erreichten eine Trockenmasse von 34,27%, die mit 40 mM von 19,21%, die mit 60 mM von 13,55% und die mit 80 mM von 12,23% der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM vor.

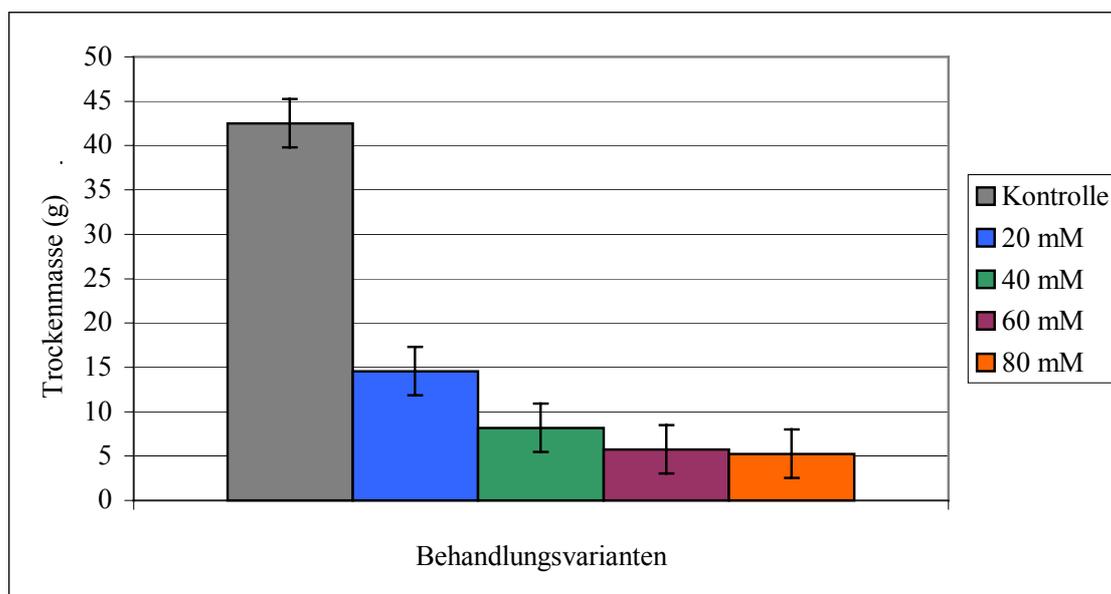


Abb. 19: Durchschnittliche Trockenmasse der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 20 ist die durchschnittliche Trockenmasse der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Die Trockenmasse der Blätter in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) geringer im Vergleich zur Kontrolle. Zwischen den Behandlungsvarianten lagen bei der Trockenmasse der Blätter keine signifikanten Unterschiede vor. Die Trockenmasse der Sprosse nahm mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM und der

Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM). Die Trockenmasse der Wurzeln nahm mit zunehmender Salzbehandlung ebenfalls ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM). Das Spross/Wurzel-Verhältnis der Pflanzen veränderte sich nicht mit der Zunahme der Salzbelastung (Kontrolle: 0,62, 80 mM: 0,63).

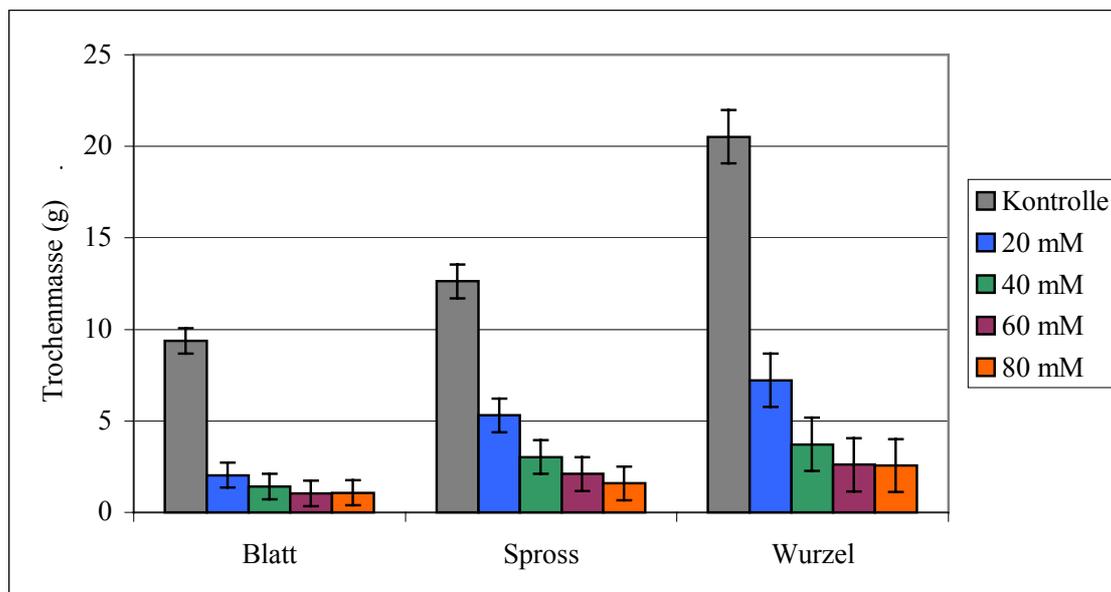


Abb. 20: Durchschnittliche Trockenmasse (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 21 ist der durchschnittliche Blattwassergehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Blattwassergehalt zu Versuchsende signifikant höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Ein weiterer signifikanter Unterschied lag bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM vor.

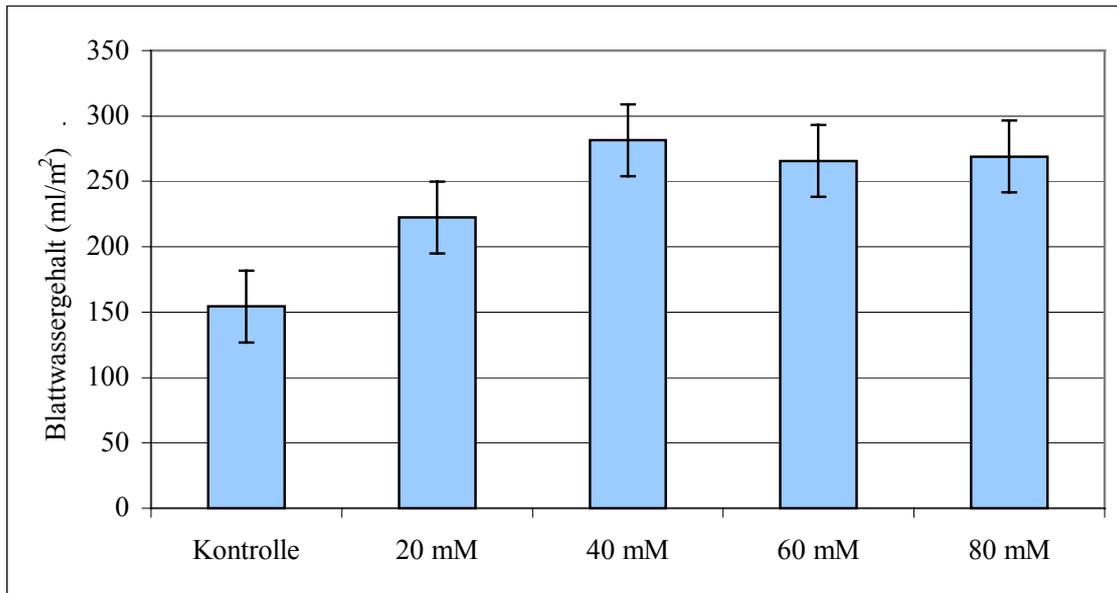


Abb. 21: Durchschnittlicher Blattwassergehalt der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

7.1.3 Photosynthese

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten in allen Behandlungsvarianten einen deutlichen Einfluss auf die Nettophotosyntheserate und die Chlorophyllgehalte.

In der Abbildung 22 ist die Entwicklung der durchschnittlichen

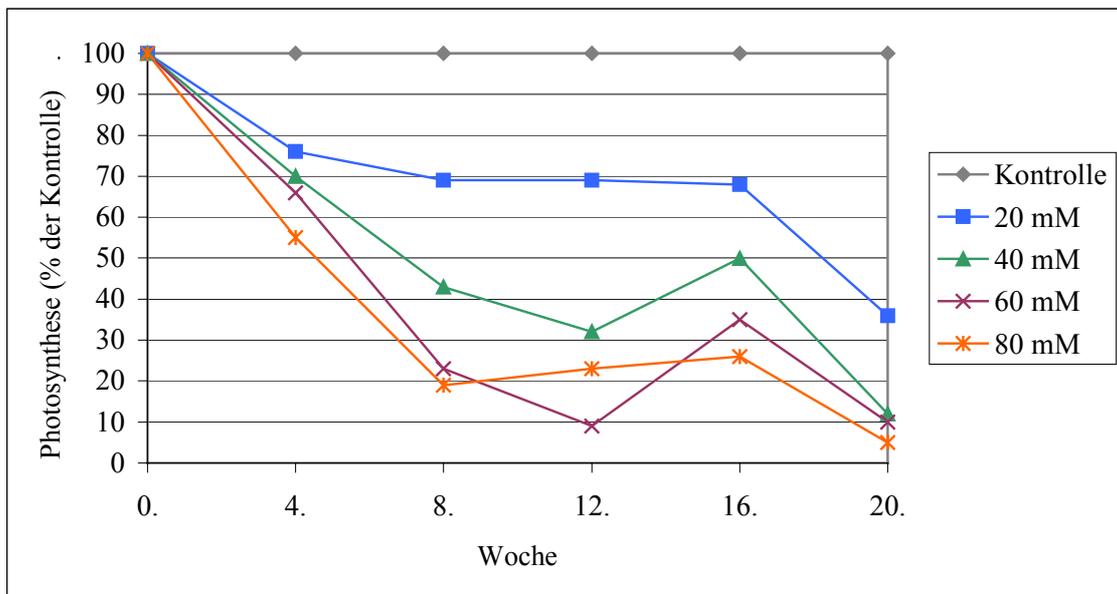


Abb. 22: Durchschnittliche Nettophotosyntheserate der Baobabsämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

Nettophotosyntheserate der Blätter der Baobabsämlinge im Verhältnis zur Kontrolle über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt. Sie nahm mit steigender Salzbelastung und Versuchsdauer ab. Schon nach 4 Wochen war die Photosyntheseleistung der Behandlungsvarianten deutlich reduziert.

In der Abbildung 23 ist die durchschnittliche Nettophotosyntheserate der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Die Nettophotosyntheserate der Kontrolle war deutlich (signifikant) höher als in den Behandlungen. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM vor.

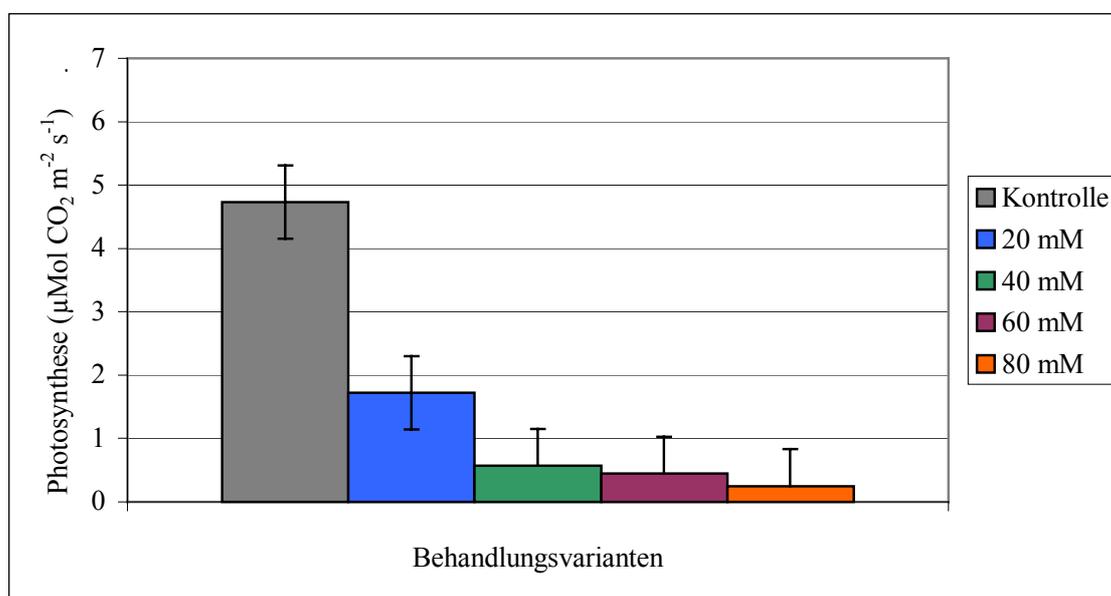


Abb. 23: Durchschnittliche Nettophotosyntheserate der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 24 sind die durchschnittlichen Chlorophyllgehalte a und b der Blätter der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Die Chlorophyllgehalte nahmen mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Chlorophyll a: Signifikanz der Kontrolle mit 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM; Chlorophyll b: Signifikanz der Kontrolle mit 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM). Der Chlorophyll a-Gehalt ging im Verhältnis zur Kontrolle bei der Behandlungsvariante 80 mM um 74,71% zurück und der Chlorophyll b-Gehalt um 70,30%. Das

Chlorophyll a/b-Verhältnis verringerte sich geringfügig von 2,58 (Kontrolle) auf 2,20 (80 mM).

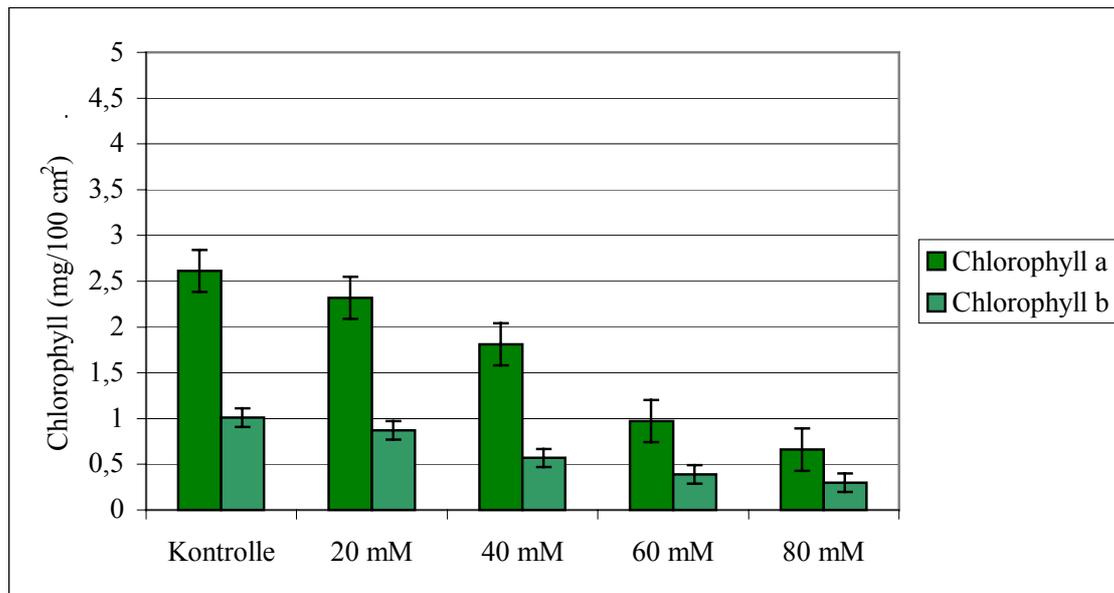


Abb. 24: Durchschnittliche Chlorophyllgehalte a und b der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

7.1.4 Mineralstoffe

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten in allen Behandlungsvarianten einen deutlichen Einfluss auf die Natrium-, Chlorid- und Kalziumgehalte. Der Kaliumgehalt wurden nur gering beeinflusst.

In der Abbildung 25 ist der durchschnittliche Natriumgehalt der Baobabsämlinge

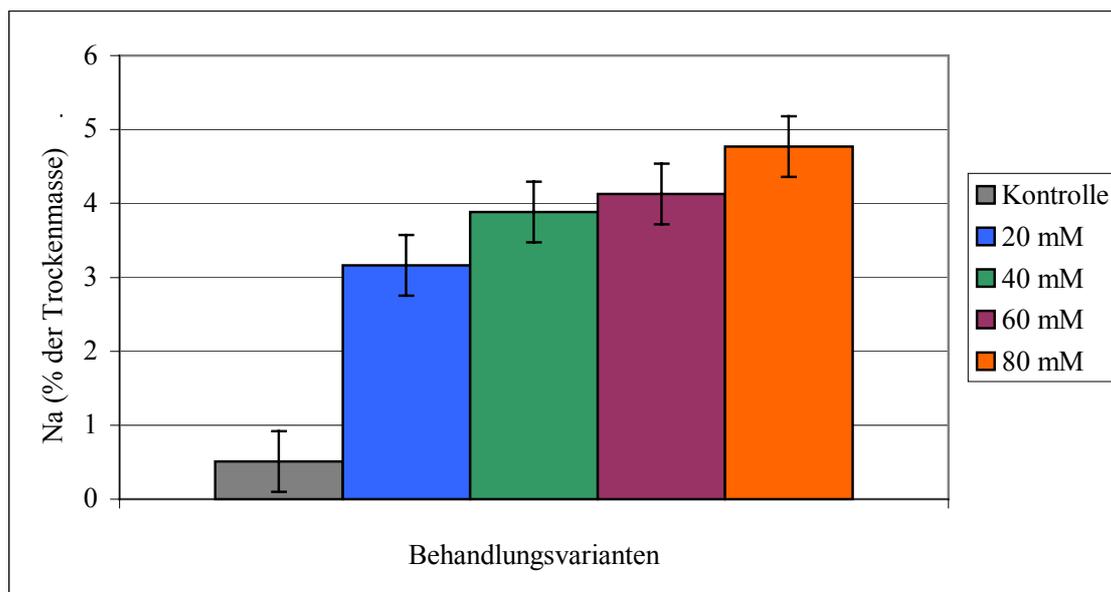


Abb. 25: Durchschnittlicher Natriumgehalt der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Natriumgehalt zu Versuchsende signifikant höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM war der durchschnittliche Natriumgehalt in den Pflanzen 6 mal höher als in den Pflanzen der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

In der Abbildung 26 ist der durchschnittliche Natriumgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der höchste Natriumgehalt befand sich grundsätzlich in den Wurzeln. Der Natriumgehalt der Blätter, Sprosse und Wurzeln in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) höher im Vergleich zur Kontrolle. Bei den Blättern lagen weitere signifikante Unterschiede bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und bei den Sprossen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor. Bei den Wurzeln lagen keine weiteren signifikanten Unterschiede vor.

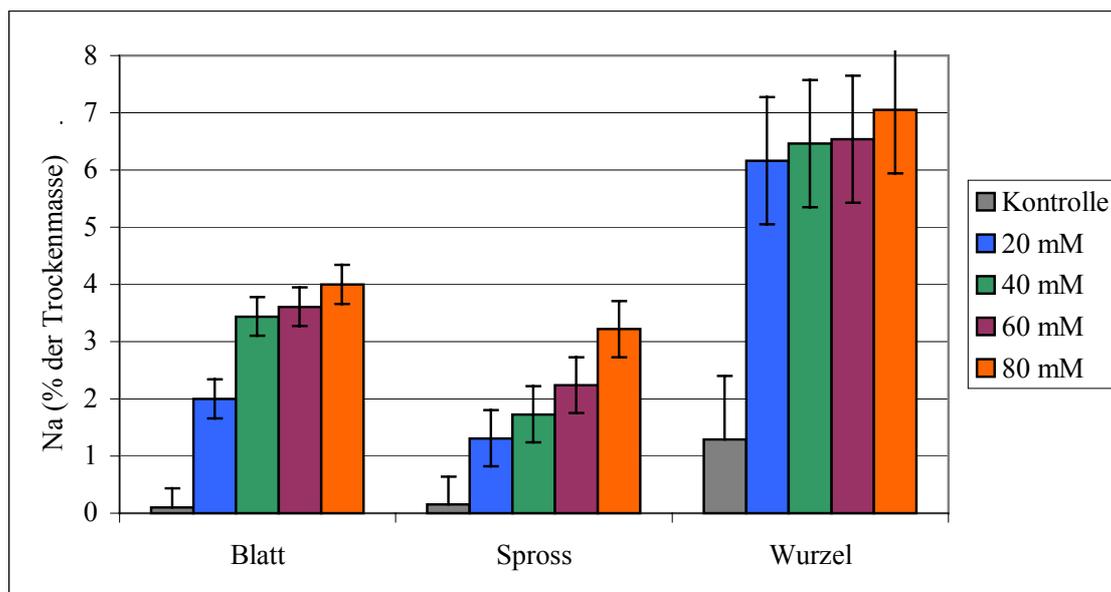


Abb. 26: Durchschnittlicher Natriumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 27 ist der durchschnittliche Chloridgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Chloridgehalt zu Versuchsende signifikant höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM war der durchschnittliche Chloridgehalt in den Pflanzen 6 mal höher als in den Pflanzen der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

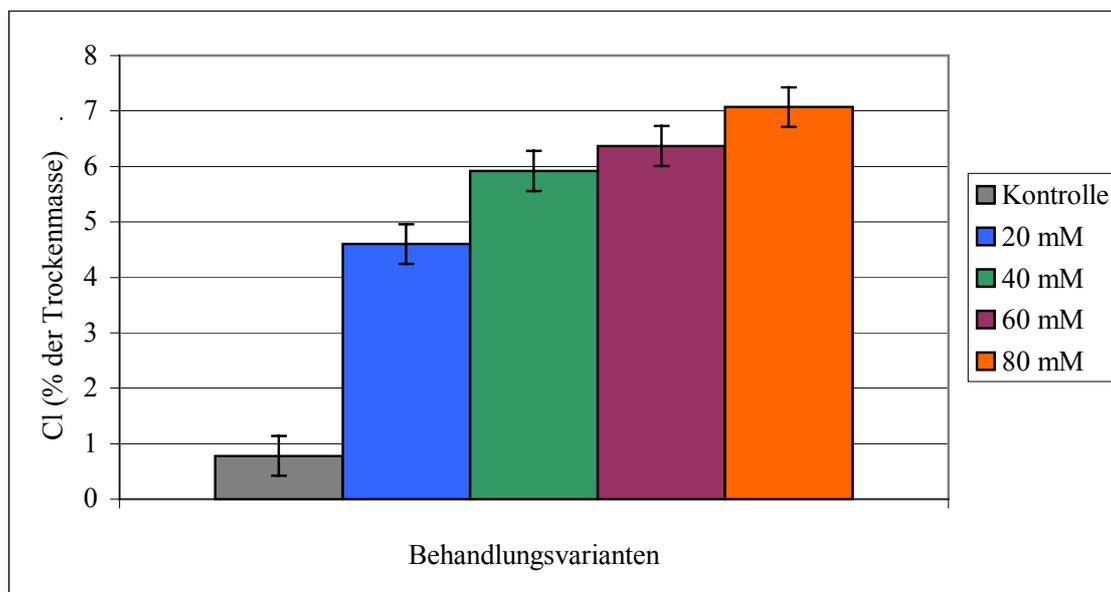


Abb. 27: Durchschnittlicher Chloridgehalt der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 28 ist der durchschnittliche Chloridgehalt der Baobabsämlinge

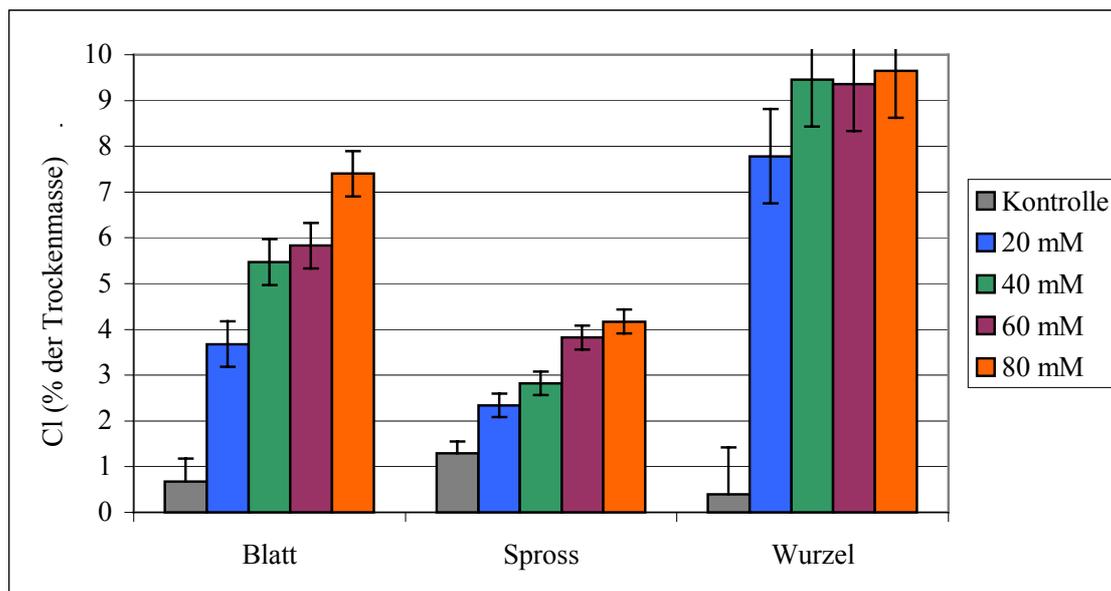


Abb. 28: Durchschnittlicher Chloridgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet). nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der höchste Chloridgehalt in den Behandlungsvarianten befand sich in den Wurzeln. Der Chloridgehalt der Blätter, Sprosse und Wurzeln in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) höher im Vergleich zur Kontrolle. Bei den Blättern lagen weitere signifikante Unterschiede bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM,

60 mM und 80 mM, bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM und bei der Behandlungsvariante 60 mM mit 80 mM und bei den Sprossen bei den Behandlungsvarianten 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor. Bei den Wurzeln lagen keine weiteren signifikanten Unterschiede vor.

In der Abbildung 29 ist der durchschnittliche Kalziumgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Kalziumgehalt zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. In den Behandlungsvarianten lagen keine weiteren signifikanten Unterschiede vor.

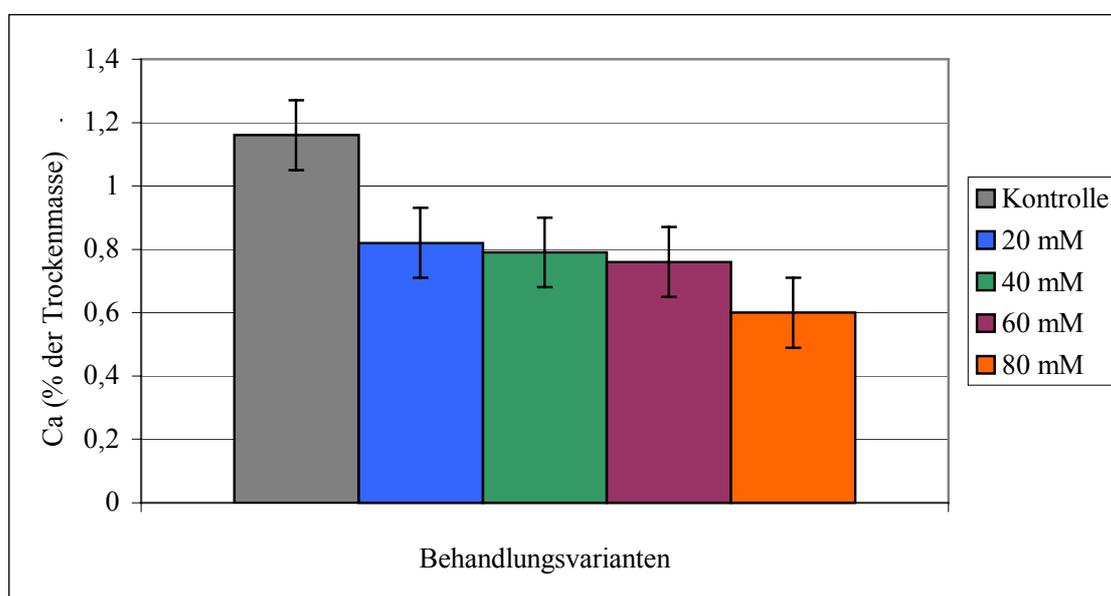


Abb. 29: Durchschnittlicher Kalziumgehalt der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 30 ist der durchschnittliche Kalziumgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der Kalziumgehalt der Blätter, Sprosse und Wurzeln in den Behandlungsvarianten war abnehmend im Vergleich zur Kontrolle. Bei den Blättern lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Bei den Sprossen lagen signifikante Unterschiede der Kontrolle mit allen Behandlungsvarianten, der Behandlungsvariante 20 mM mit 80 mM, der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM und der Behandlungsvariante 60 mM mit 80 mM und bei den Wurzeln bei der Kontrolle mit 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor. Das $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ -Verhältnis der Blätter reduzierte sich mit der Zunahme der Salzbelastung von 14,90 (Kontrolle) auf 0,24 (80 mM Behandlung).

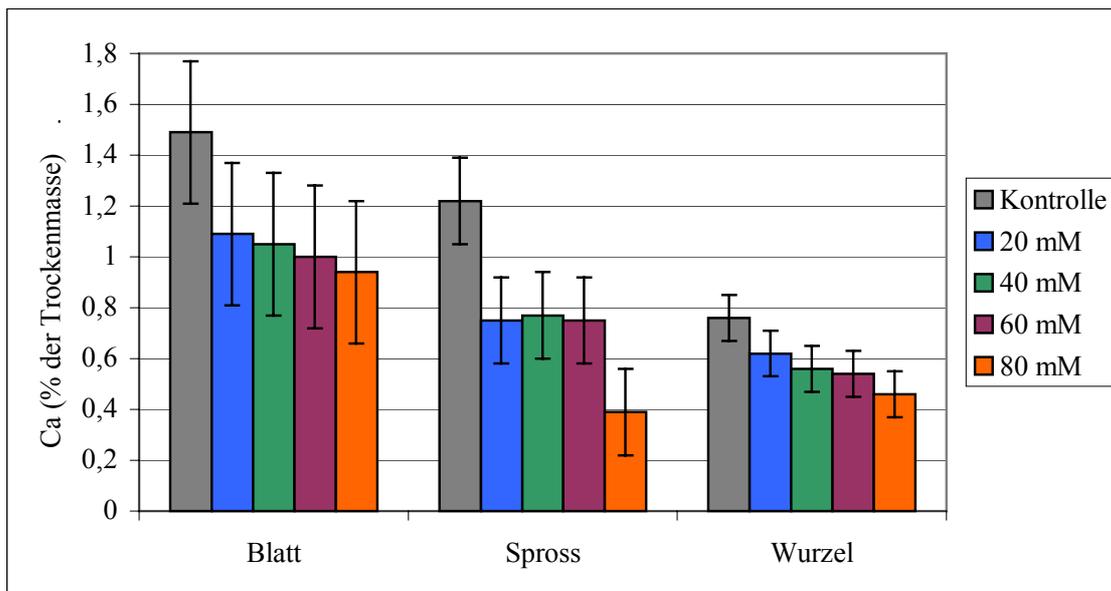


Abb. 30: Durchschnittlicher Kalziumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 31 ist der durchschnittliche Kaliumgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Kaliumgehalt zu Versuchsende höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Es lagen jedoch keine signifikanten Unterschiede vor.

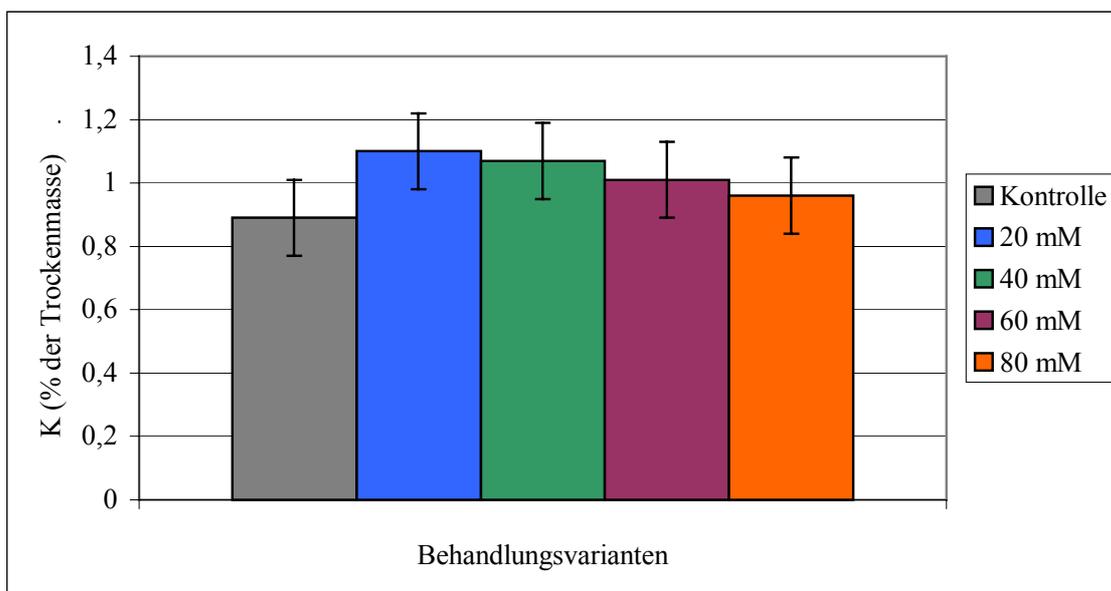


Abb. 31: Durchschnittlicher Kaliumgehalt der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 32 ist der durchschnittliche Kaliumgehalt der Baobabsämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der

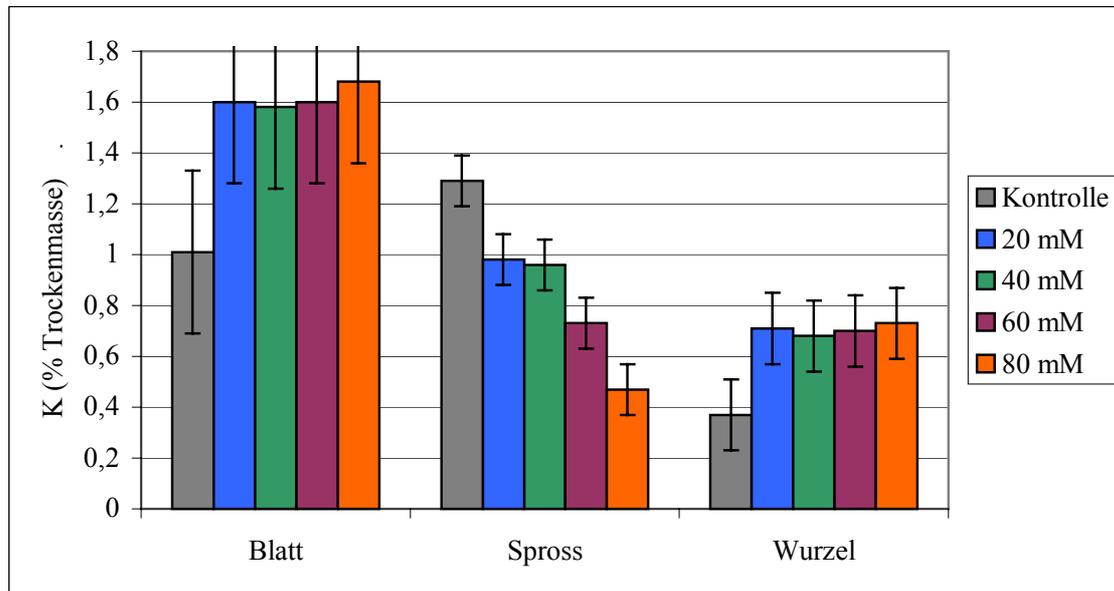


Abb. 32: Durchschnittlicher Kaliumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Baobabsämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

Kaliumgehalt der Blätter und Wurzeln war in den Behandlungsvarianten höher als in der Kontrolle. Bei den Blättern lag ein signifikanter Unterschied der Kontrolle mit 80 mM vor. Bei den Wurzeln lagen signifikante Unterschiede der Kontrolle mit allen Behandlungsvarianten vor. Im Gegensatz dazu war der Kaliumgehalt der Sprosse in den Behandlungsvarianten signifikant geringer im Vergleich zur Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 60 mM mit 80 mM vor. Das K^+/Na^+ -Verhältnis der Blätter reduzierte sich mit der Zunahme der Salzbelastung von 10,10 (Kontrolle) auf 0,42 (80 mM Behandlung).

7.2 Tamarinde

7.2.1 Schadsymptome

Während des Versuchs zeigte sich, dass sich die oberirdischen Pflanzenorgane zwischen den Behandlungsvarianten unterschiedlich entwickelten. Mit zunehmender Salzbehandlung verfärbten sich die Blätter scheckig gelb. Ab der 12. Behandlungswoche wiesen einzelne Pflanzen bei 40 mM und alle Pflanzen bei 60 mM und 80 mM Blattscheckungen (Chlorosen) auf. In der Abbildung 33 ist ein geschädigtes Blatt im Vergleich zur Kontrolle abgebildet. Ebenfalls ist hier eine Wölbung der geschädigten Blättchen deutlich zu erkennen. Sie zeigten sich dicker, ledriger und leicht brüchig im Vergleich zu den Blättchen der Kontrollpflanzen. Weiterhin wurde beobachtet, dass die Blättchen aufgrund ihrer Formveränderung (Wölbung) während der Nachtstunden nicht mehr zusammengeklappt werden konnten. Die Formveränderungen der Blättchen traten ab der 8. Behandlungswoche bei 80 mM NaCl-Behandlungen, ab der 12. Woche bei 60 mM und ab der 18. Woche bei 40 mM auf. In der Behandlungsvariante 40 mM zeigten nur einige Pflanzen diese Formveränderungen.

Nekrotisierungen von Blattrandzonen bzw. Blattspitzen oder Eintrocknungen von Triebspitzen traten nicht auf.



Abb. 33: Tamarinden-Blattschäden (80 mM) im Vergleich zur Kontrolle.

7.2.2 Vegetatives Wachstum

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten, insbesondere bei den Behandlungsvarianten 60 mM und 80 mM, einen deutlichen Einfluss auf das vegetative Wachstum.

In der Abbildung 34 ist die Entwicklung der durchschnittlichen Wuchshöhe der Tamarindensämlinge über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt. Bei den Pflanzen der Behandlungsvarianten 20 mM und 40 mM war nur ein minimaler Einfluss sichtbar. Ab der 8. Woche war die durchschnittliche Höhe der Sämlinge bei 60 mM und 80 mM deutlich geringer als bei den anderen Pflanzen, ab der 16. Woche nahm das Höhenwachstum jedoch wieder zu. In keiner der Behandlungsvarianten stellten die Pflanzen das Höhenwachstum ein. Nach 20 Wochen lag die durchschnittliche Höhe der Tamarindensämlinge in der Kontrolle bei 139 cm und damit höher als in den Behandlungsvarianten. Die mit 20 mM behandelten Sämlinge erreichten eine Höhe von 93%, die mit 40 mM von 80%, die mit 60 mM von 47% und die mit 80 mM von 42% der Kontrolle.

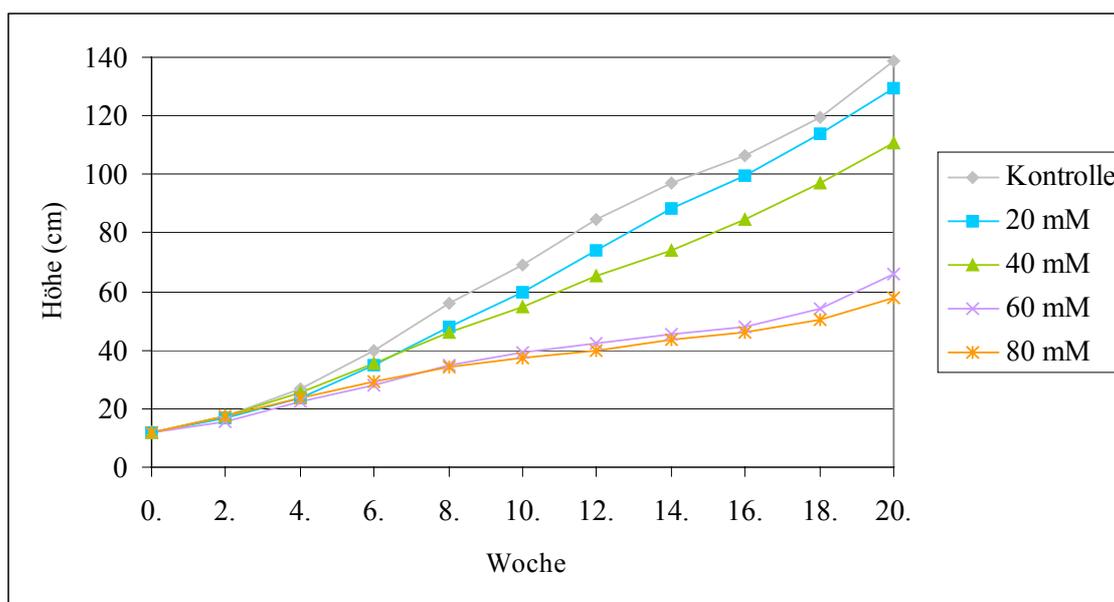


Abb. 34: Durchschnittliche Wuchshöhe der Tamarindensämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

In der Abbildung 35 ist der durchschnittliche Wuchshöhenzuwachs der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Der Wuchshöhenzuwachs der Kontrolle und der Behandlungsvarianten 20 mM und 40 mM war deutlich signifikant höher als der Wuchshöhenzuwachs in den Behandlungen 60 mM und 80 mM. Der Höchstwert im Wuchshöhenzuwachs einer Pflanze der Kontrolle wurde mit 156 cm nach 20 Wochen gemessen. Im

Durchschnitt waren die Kontrollpflanzen um 127 cm gewachsen. Im Gegensatz dazu waren die Pflanzen bei 80 mM im Durchschnitt nur um 46 cm gewachsen. Ein weiterer signifikanter Unterschied lag bei der Kontrolle mit 40 mM vor.

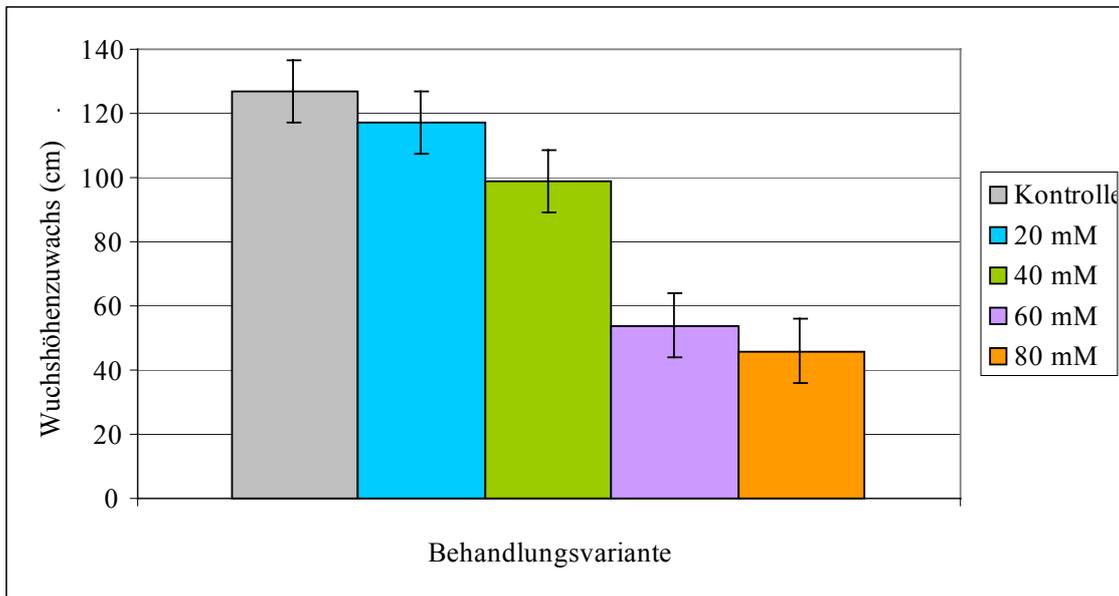


Abb. 35: Durchschnittlicher Wuchshöhenzuwachs der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 36 ist die Entwicklung der durchschnittlichen Blattanzahl der Tamarindensämlinge über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt.

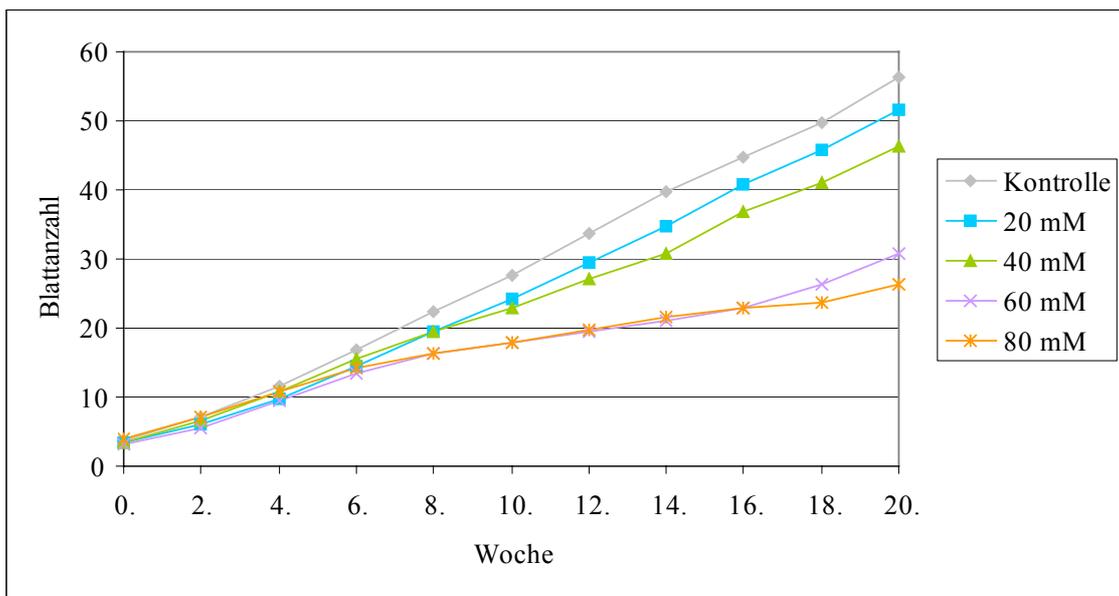


Abb. 36: Durchschnittliche Blattanzahl der Tamarindensämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

Die durchschnittliche Blattanzahl war ebenfalls in der 20 mM und 40 mM Behandlung nur gering beeinflusst. Ab der 8. Woche war die durchschnittliche Blattanzahl der Sämlinge bei 60 mM und 80 mM deutlich geringer als bei den anderen Pflanzen, ab der 18. Woche nahm die Blattanzahl wieder stärker zu. Die Pflanzen in der Kontrolle bildeten innerhalb von 2 Wochen im Durchschnitt 5,3 neue Blätter.

In der Abbildung 37 ist die durchschnittliche Blattanzahlzunahme der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Hierbei wurden die abgeworfenen Blätter ebenfalls erfasst und als graue Schraffierung in die Säulen eingezeichnet. Die Salzbehandlungen hatten Einfluss auf die Blattanzahlzunahme (Signifikanz der Kontrolle mit 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM). Nur in den Behandlungsvarianten 60 mM und 80 mM wurden vereinzelt Blätter abgeworfen. Bei der Behandlungsvariante 60 mM wurden 6,76% und bei der Behandlungsvariante 80 mM 15,07% der Blätter innerhalb der 20 Wochen abgeworfen. Hierbei handelte es sich in der Regel um ältere Blätter, die oft erhebliche Schadsymptome aufwiesen. Nur in der Kontrolle bildeten alle Pflanzen in den letzten zwei Wochen Verzweigungen im oberen Sprossdrittel aus.

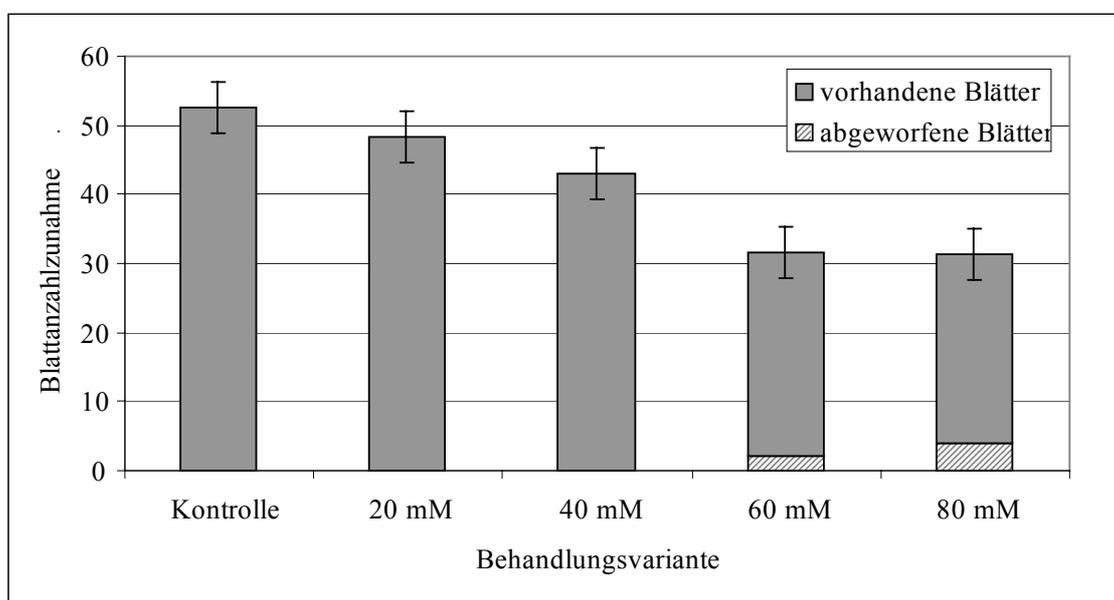


Abb. 37: Durchschnittliche Blattanzahlzunahme der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 38 ist die durchschnittliche Gesamtblattfläche der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Blattfläche der Kontrolle und der Behandlungsvarianten 20 mM und 40 mM deutlich signifikant höher als die Blattfläche in den Behandlungen 60 mM und 80 mM war. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Kontrolle mit 40 mM und bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM vor. Bemerkenswert ist hier die Variationsbreite in der Blattfläche zwischen einzelnen Pflanzen innerhalb einer Behandlung. So schwankte die Blattfläche beispielsweise bei der Behandlung 20 mM zwischen 14,12 dm² und 8,17 dm².

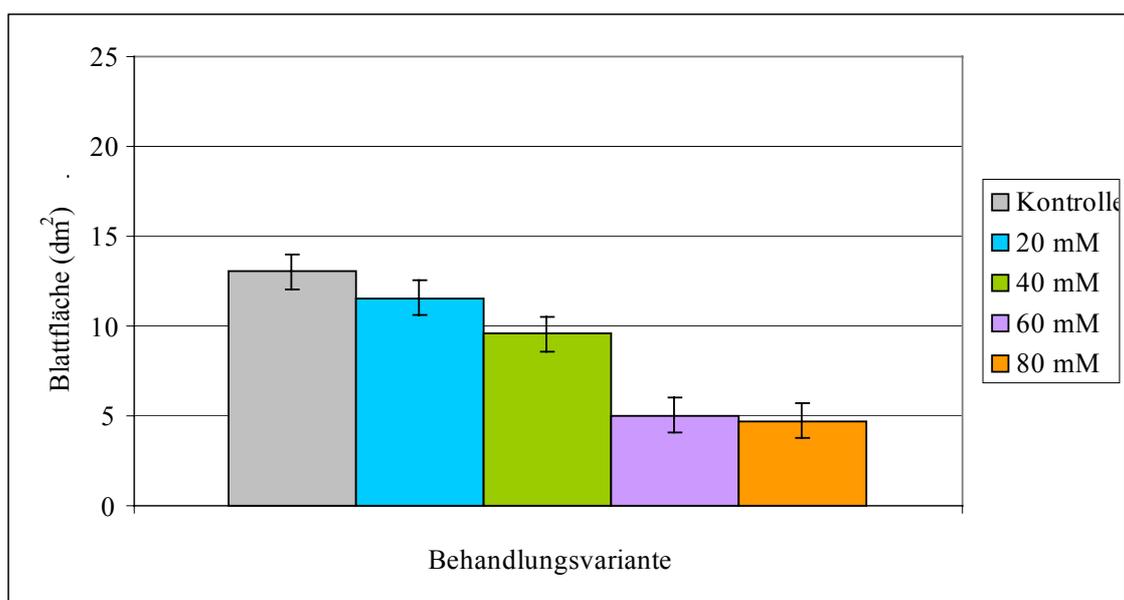


Abb. 38: Durchschnittliche Blattfläche der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 39 ist der durchschnittliche Sprossdurchmesser, gemessen nach 20 Wochen Behandlung an der Sprossbasis der Tamarindensämlinge, dargestellt. Die unterschiedlichen Salzbelastungen zeigten einen deutlichen Einfluss auf die Werte. Mit steigendem NaCl-Gehalt in der Nährlösung nahm der Sprossdurchmesser entsprechend ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM).

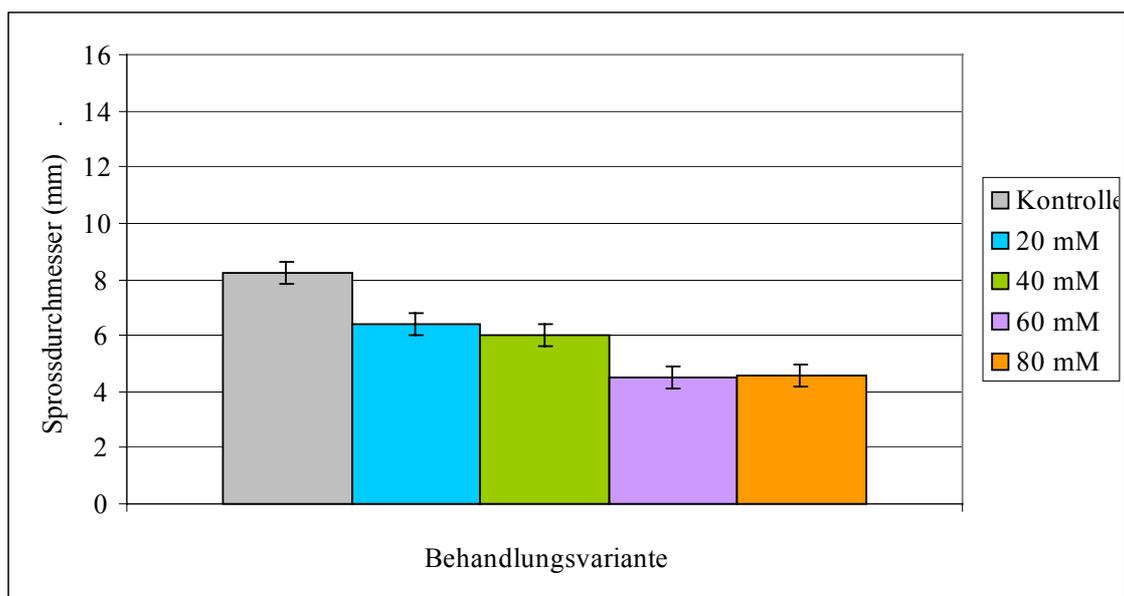


Abb. 39: Durchschnittlicher Sprossdurchmesser der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 40 ist die durchschnittliche Frischmasse der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Frischmasse zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor.

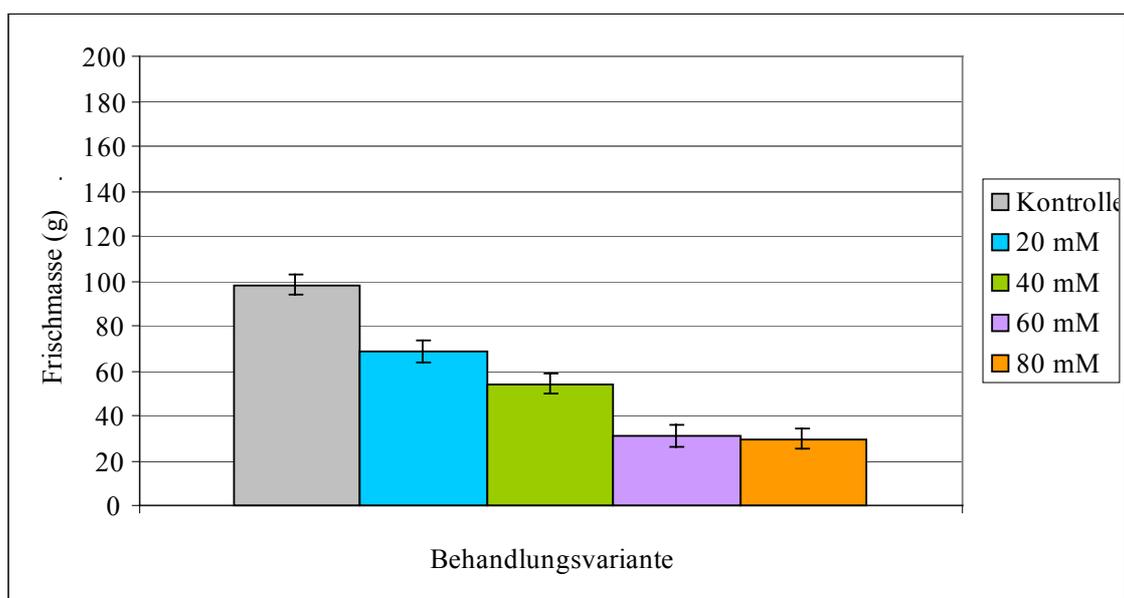


Abb. 40: Durchschnittliche Frischmasse der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 41 ist die durchschnittliche Frischmasse der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Bemerkenswert ist, dass die Frischmasse der Blätter in der Behandlungsvariante 20 mM geringfügig höher war als in der Kontrolle. Die Frischmasse der Blätter in den Behandlungsvarianten 40 mM, 60 mM und 80 mM war geringer im Vergleich zur Kontrolle (Signifikanz der Kontrolle mit 60 mM und 80 mM). Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor. Die Frischmasse der Sprosse nahm mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM). Die Frischmasse der Wurzeln nahm mit zunehmender Salzbehandlung ebenfalls ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM).

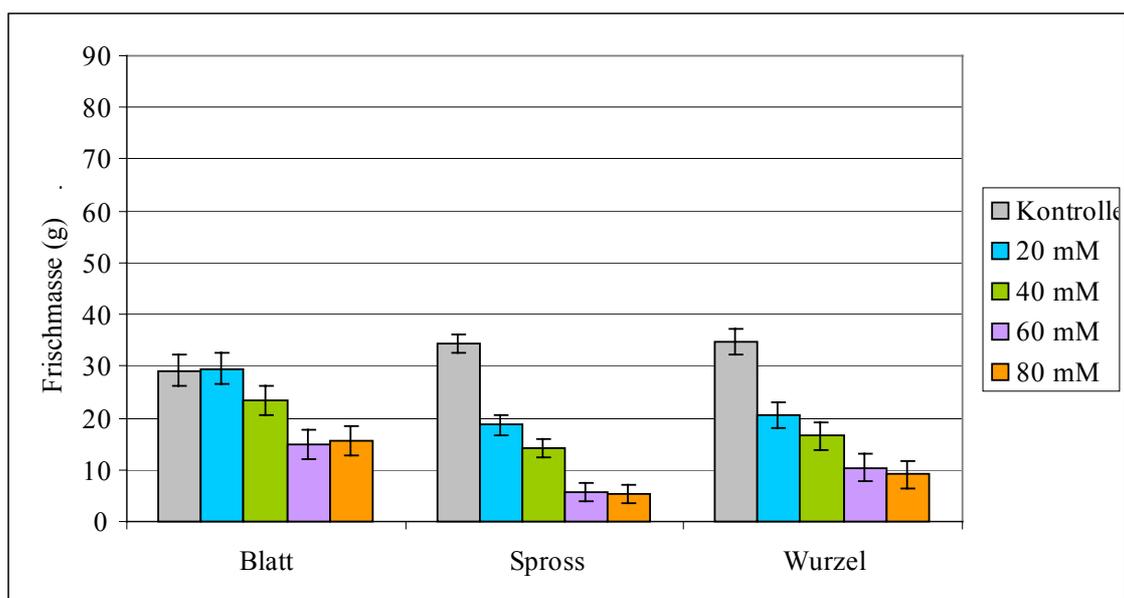


Abb. 41: Durchschnittliche Frischmasse (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 42 ist die durchschnittliche Trockenmasse der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Trockenmasse zu Versuchsende signifikant geringer in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Die mit 20 mM behandelten

Sämlinge erreichten eine Trockenmasse von 62,22%, die mit 40 mM von 50,71%, die mit 60 mM von 27,64% und die mit 80 mM von 25,04% der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor.

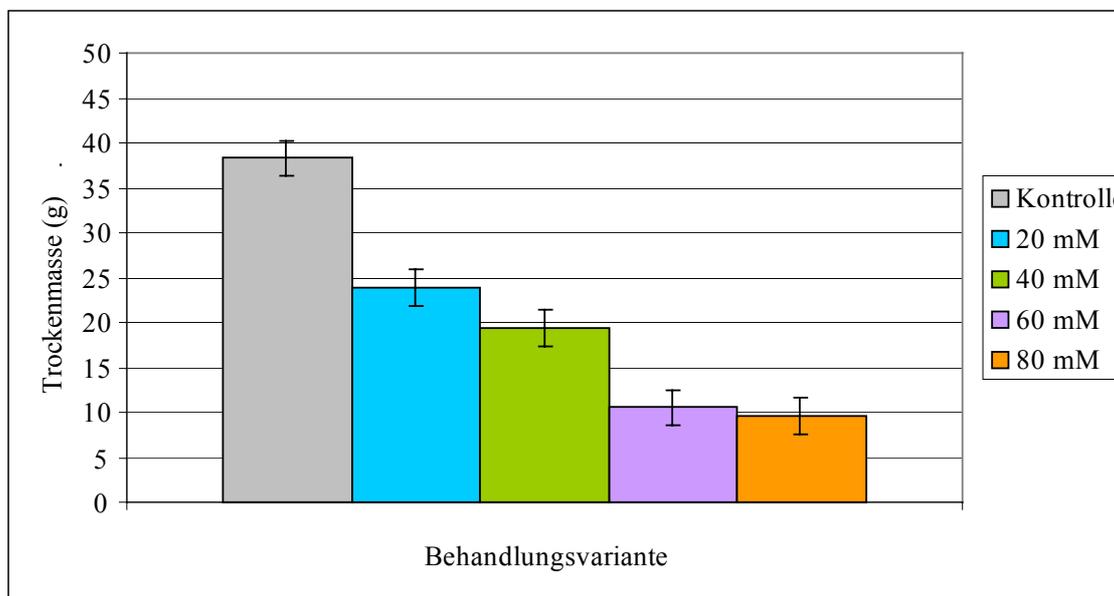


Abb. 42: Durchschnittliche Trockenmasse der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 43 ist die durchschnittliche Trockenmasse der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Die Trockenmasse der Blätter nahm mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM). Die Trockenmasse der Sprosse nahm mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM). Die Trockenmasse der Wurzeln nahm mit zunehmender Salzbehandlung ebenfalls ab (Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM). Das Spross/Wurzel-Verhältnis der Pflanzen verringerte sich mit der Zunahme der Salzbelastung von 1,15 (Kontrolle) auf 0,65 (80 mM Behandlung).

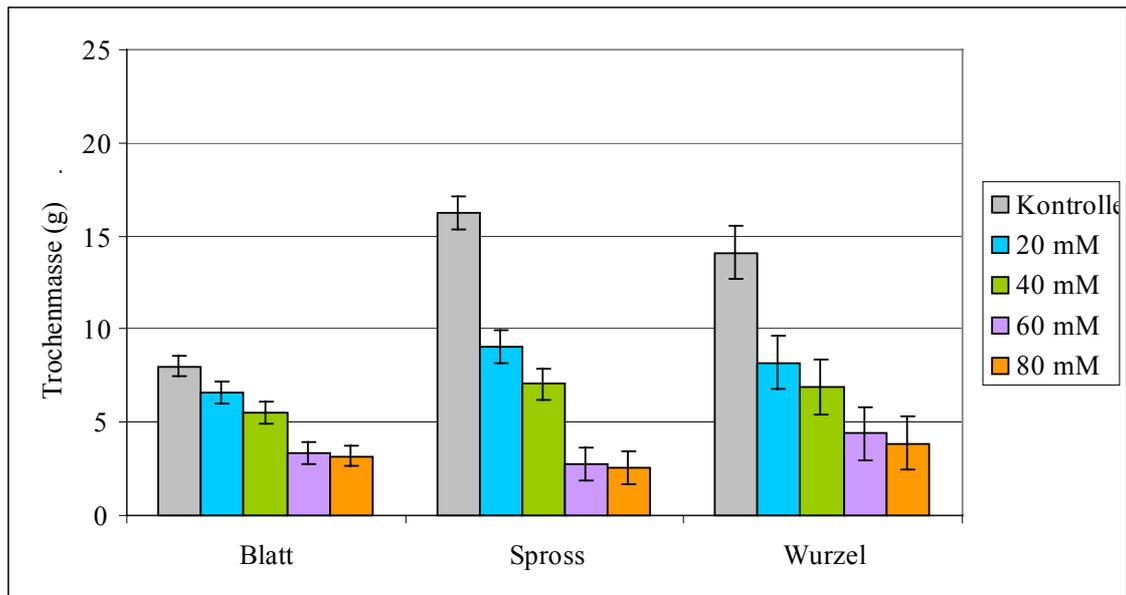


Abb. 43: Durchschnittliche Trockenmasse (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 44 ist der durchschnittliche Blattwassergehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich, dass

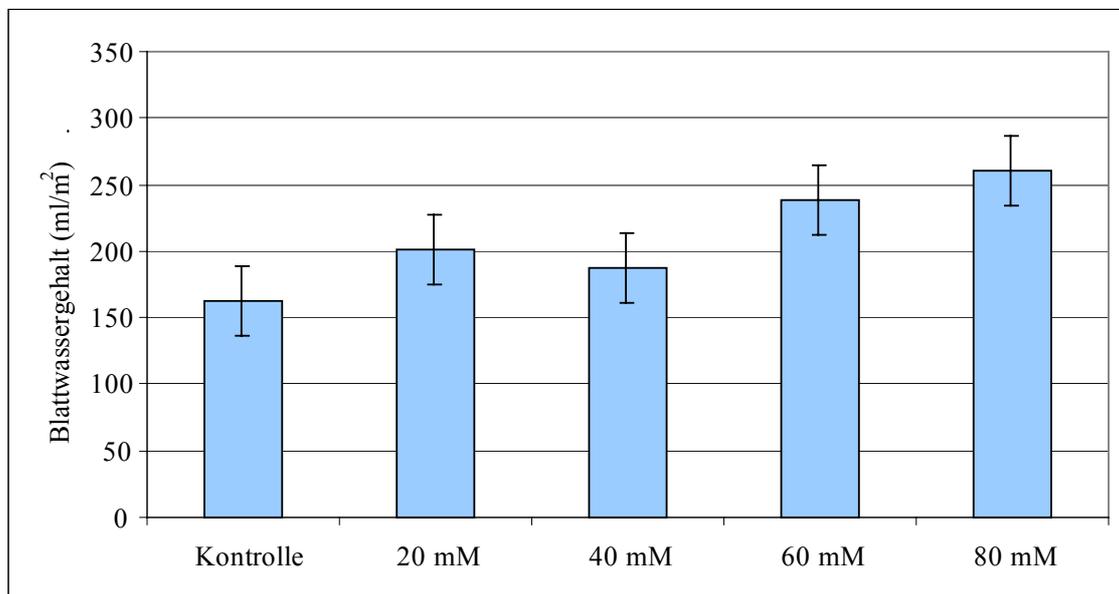


Abb. 44: Durchschnittlicher Blattwassergehalt der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

der Blattwassergehalt zu Versuchsende höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der

Kontrolle mit 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

7.2.3 Photosynthese

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten in allen Behandlungsvarianten einen deutlichen Einfluss auf die Nettphotosyntheserate und die Chlorophyllgehalte.

In der Abbildung 45 ist die Entwicklung der durchschnittlichen Nettphotosyntheserate der Blätter der Tamarindensämlinge im Verhältnis zur Kontrolle über den Behandlungszeitraum von 20 Wochen dargestellt. Sie verringerte sich mit steigender Salzbelastung und der Versuchsdauer. Schon nach 4 Wochen war die Photosyntheseleistung der Behandlungsvarianten deutlich reduziert.

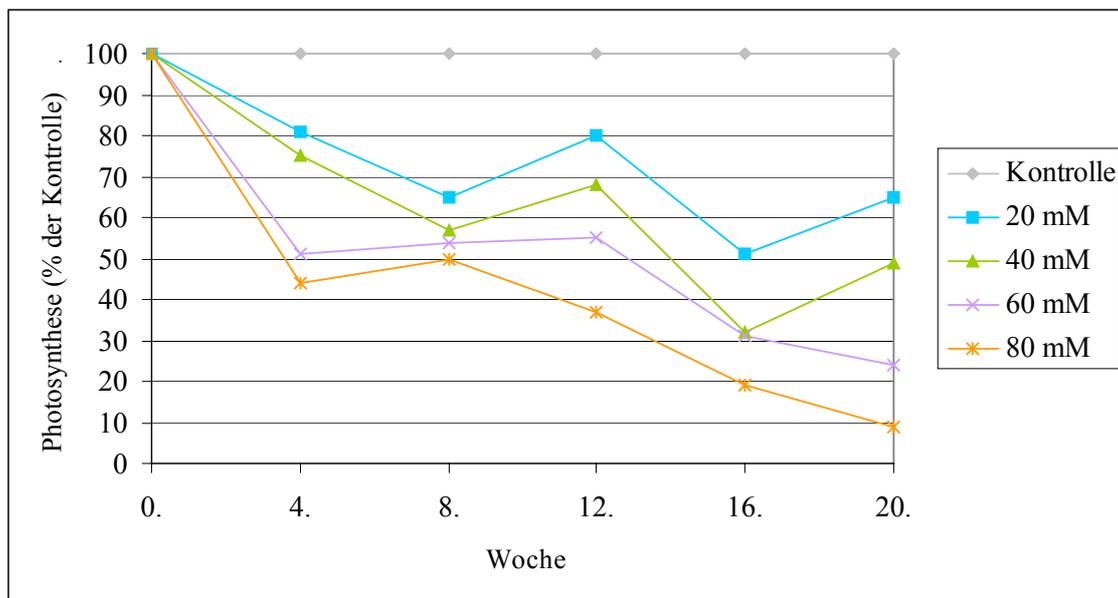


Abb. 45: Durchschnittliche Nettphotosyntheserate der Tamarindensämlinge über den Zeitraum von 20 Wochen NaCl-Belastung.

In der Abbildung 46 ist die durchschnittliche Nettphotosyntheserate der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Die Nettphotosyntheserate der Kontrolle war deutlich (signifikant) höher als in den Behandlungen. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

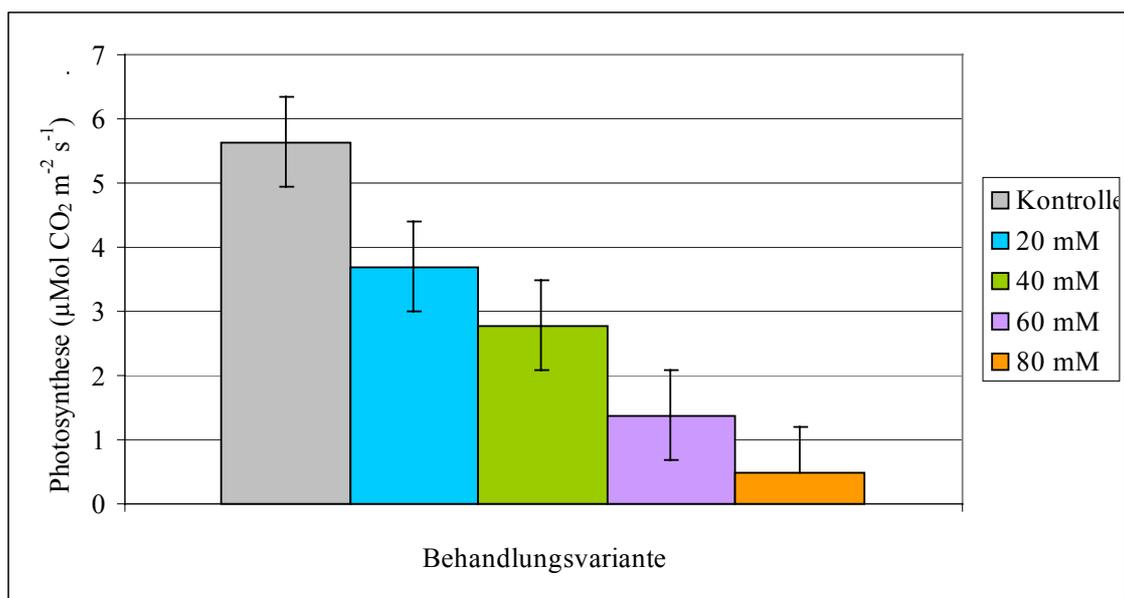


Abb. 46: Durchschnittliche Nettophotosyntheserate der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 47 sind die durchschnittlichen Chlorophyllgehalte a und b der Blätter der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Die

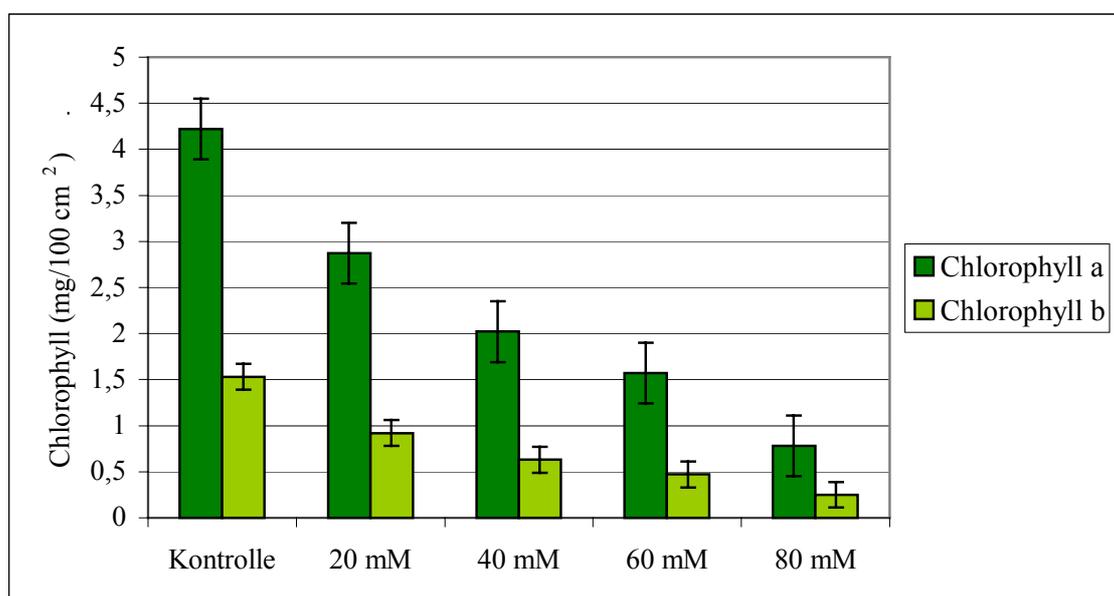


Abb. 47: Durchschnittliche Chlorophyllgehalte a und b der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

Chlorophyllgehalte nahmen mit zunehmender Salzbehandlung stufenweise ab (Chlorophyll a: Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM und der Behandlungsvariante 60 mM mit

80 mM; Chlorophyll b: Signifikanz der Kontrolle mit 20 mM, 40 mM, 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM). Der Chlorophyll a-Gehalt ging im Verhältnis zur Kontrolle bei der Behandlungsvariante 80 mM um 81,52% zurück und der Chlorophyll b-Gehalt um 83,66%. Das Chlorophyll a/b-Verhältnis erhöhte sich von 2,76 (Kontrolle) auf 3,12 (80 mM).

7.2.4 Mineralstoffe

Die Salzbehandlungen über den Zeitraum von 20 Wochen zeigten in allen Behandlungsvarianten einen deutlichen Einfluss auf die Natrium- und Chloridgehalte. Die Kalzium- und Kaliumgehalte wurden nur gering beeinflusst.

In der Abbildung 48 ist der durchschnittliche Natriumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Natriumgehalt zu Versuchsende signifikant höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle war. Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM war der durchschnittliche Natriumgehalt in den Pflanzen 7 mal höher als in der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

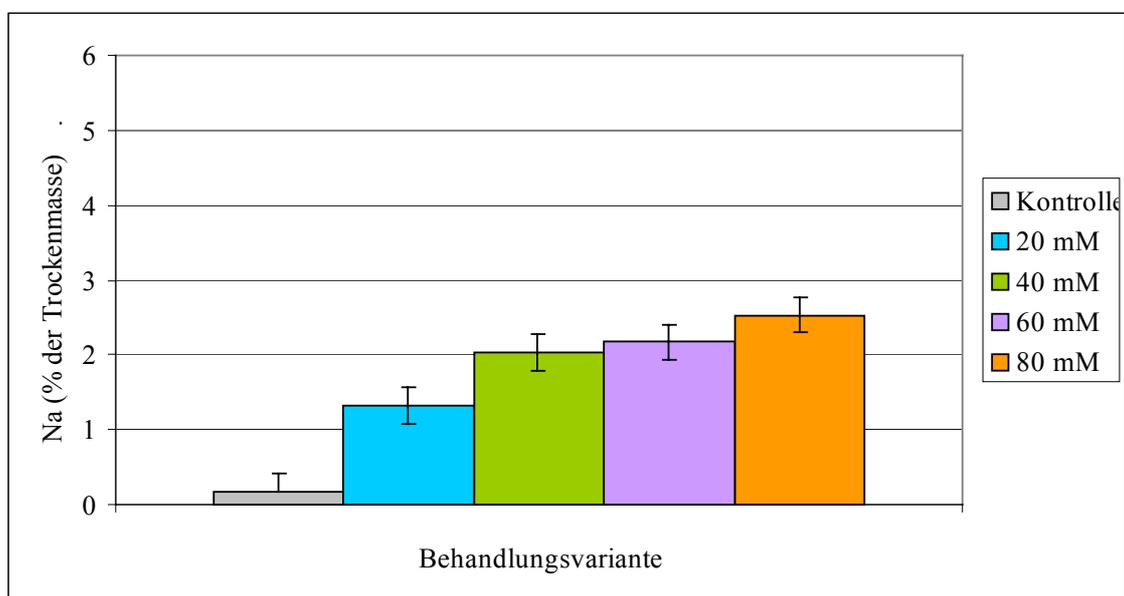


Abb. 48: Durchschnittlicher Natriumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 49 ist der durchschnittliche Natriumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel

gesplittet dargestellt. Der geringste Natriumgehalt befand sich in den Sprossen. Der Natriumgehalt der Blätter, Sprosse und Wurzeln in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) höher im Vergleich zur Kontrolle. Bei den Blättern lagen weitere signifikante Unterschiede bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM, bei den Sprossen bei der Behandlungsvarianten 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM und bei den Wurzeln bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM vor.

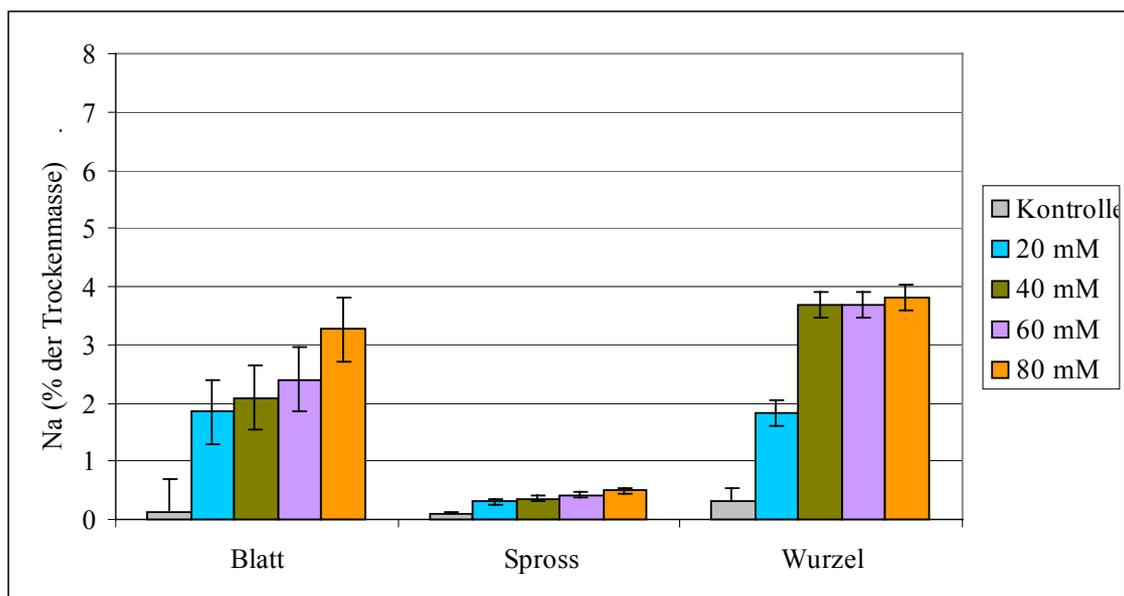


Abb. 49: Durchschnittlicher Natriumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 50 ist der durchschnittliche Chloridgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass der Chloridgehalt zu Versuchsende signifikant höher in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zu Kontrolle war. Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM war der durchschnittliche Chloridgehalt in den Pflanzen 6 mal höher als in den Pflanzen der Kontrolle. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor.

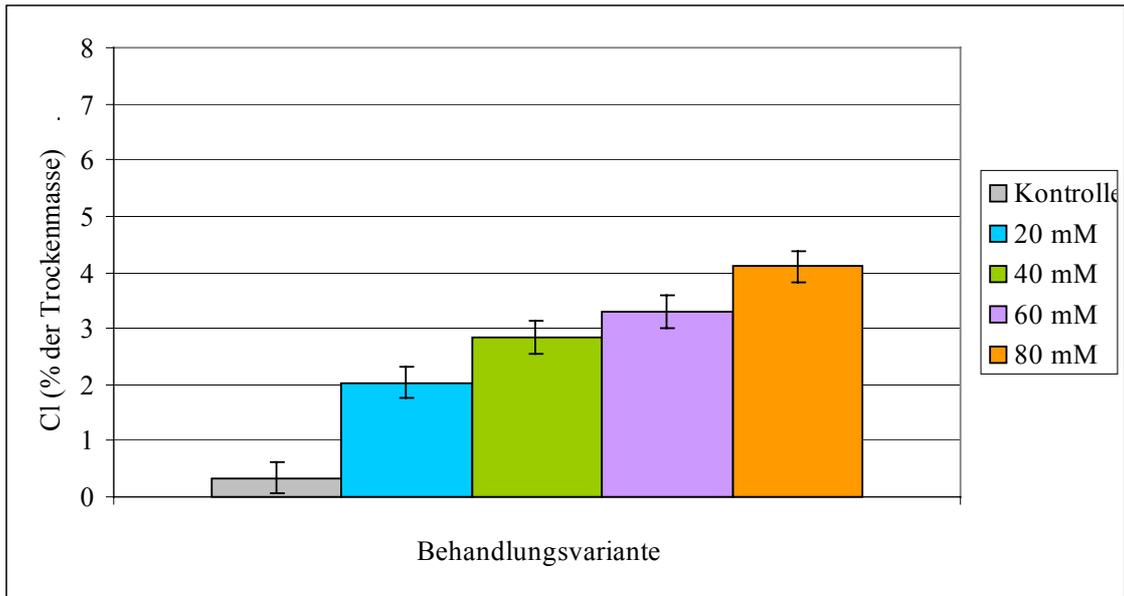


Abb. 50: Durchschnittlicher Chloridgehalt der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 51 ist der durchschnittliche Chloridgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der Chloridgehalt der Blätter, Sprosse und Wurzeln in den Behandlungsvarianten war erheblich (signifikant) höher im Vergleich zur Kontrolle.

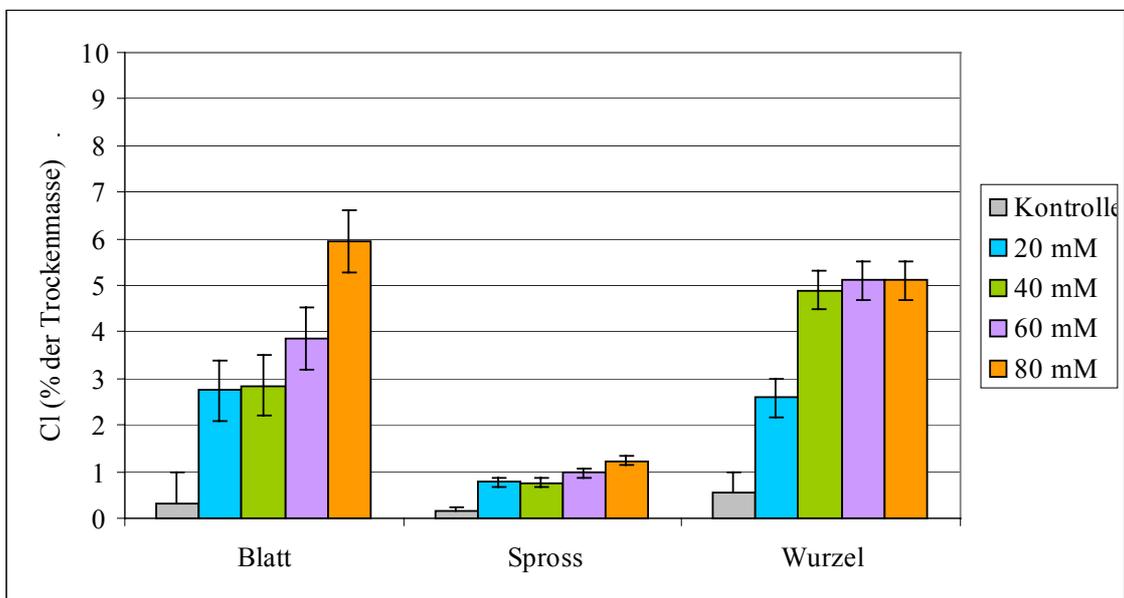


Abb. 51: Durchschnittlicher Chloridgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

Bei den Blättern lagen weitere signifikante Unterschiede bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 80 mM, bei der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM und bei der Behandlungsvariante 60 mM mit 80 mM, bei den Sprossen bei den Behandlungsvarianten 20 mM mit 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 60 mM mit 80 mM und bei den Wurzeln bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 40 mM, 60 mM und 80 mM vor.

In der Abbildung 52 ist der durchschnittliche Kalziumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich, dass der Kalziumgehalt zu Versuchsende geringfügig höher in den Behandlungsvarianten 40 mM, 60 mM und 80 mM im Vergleich zu Kontrolle war. Es lagen keine signifikanten Unterschiede vor.

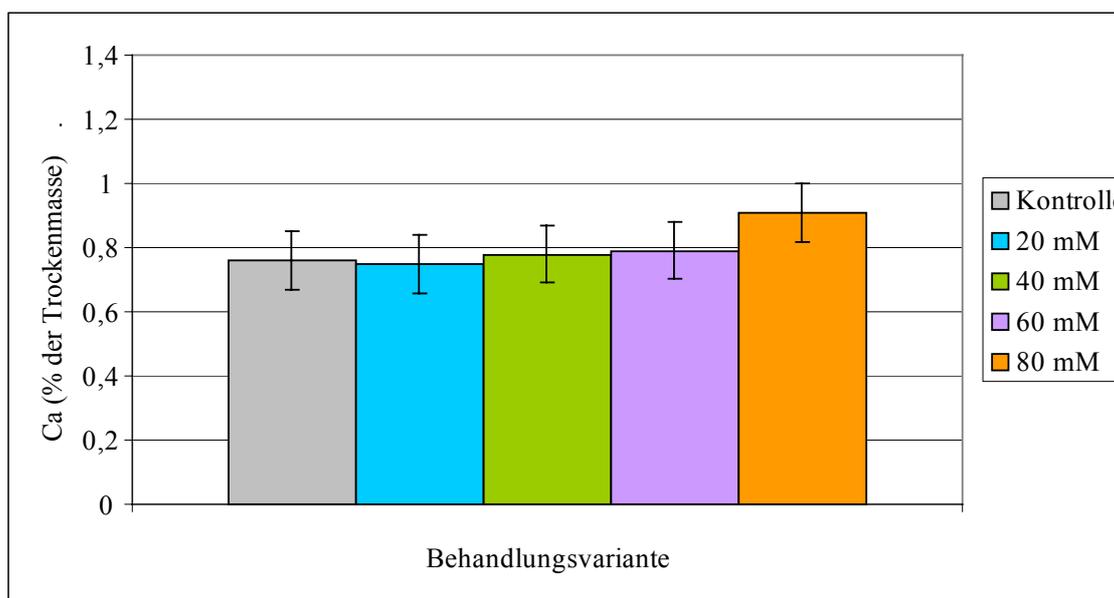


Abb. 52: Durchschnittlicher Kalziumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 53 ist der durchschnittliche Kalziumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel gesplittet dargestellt. Der Kalziumgehalt der Blätter und Sprosse in den Behandlungsvarianten war überwiegend ansteigend im Vergleich zur Kontrolle. Bei den Blättern lag kein signifikanter Unterschied vor. Bei den Sprossen lagen signifikante Unterschiede der Kontrolle mit 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 80 mM vor. Der Kaliumgehalt der Wurzeln in den

Behandlungsvarianten war abnehmend im Vergleich zur Kontrolle. Signifikante Unterschiede lagen bei der Kontrolle mit 60 mM und 80 mM, der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM und der Behandlungsvariante 40 mM mit 60 mM und 80 mM vor. Das $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ -Verhältniss der Blätter reduzierte sich mit der Zunahme der Salzbelastung von 6,46 (Kontrolle) auf 0,35 (80 mM Behandlung).

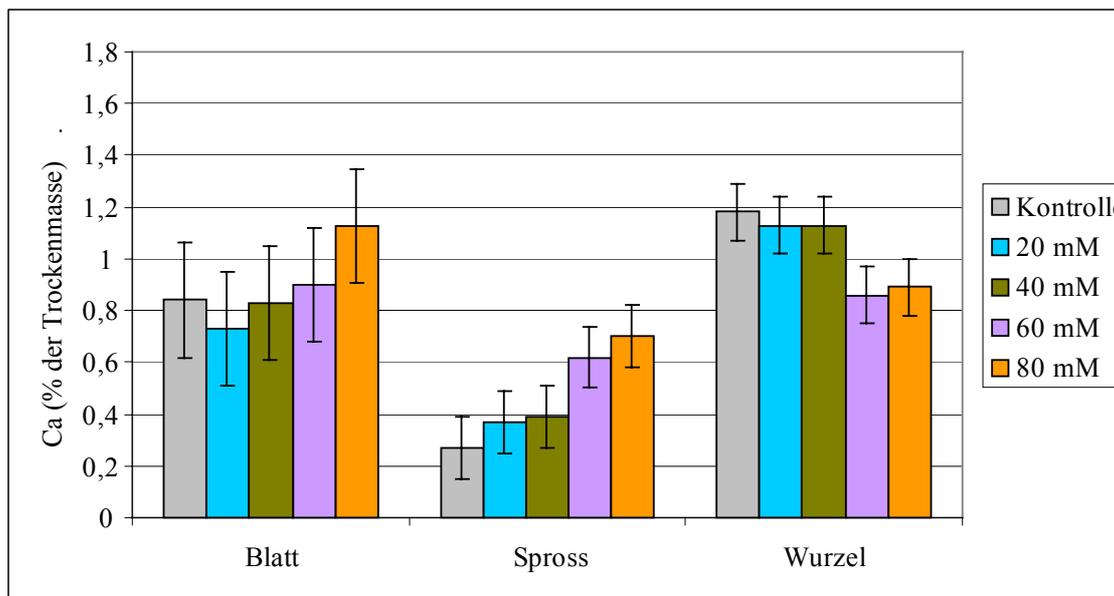


Abb. 53: Durchschnittlicher Kalziumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 54 ist der durchschnittliche Kaliumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung dargestellt. Es zeigt sich, dass der Kaliumgehalt zu Versuchsende geringer in den Behandlungsvarianten 40 mM, 60 mM und 80 mM im Vergleich zur Kontrolle war. Es lagen jedoch keine signifikanten Unterschiede vor.

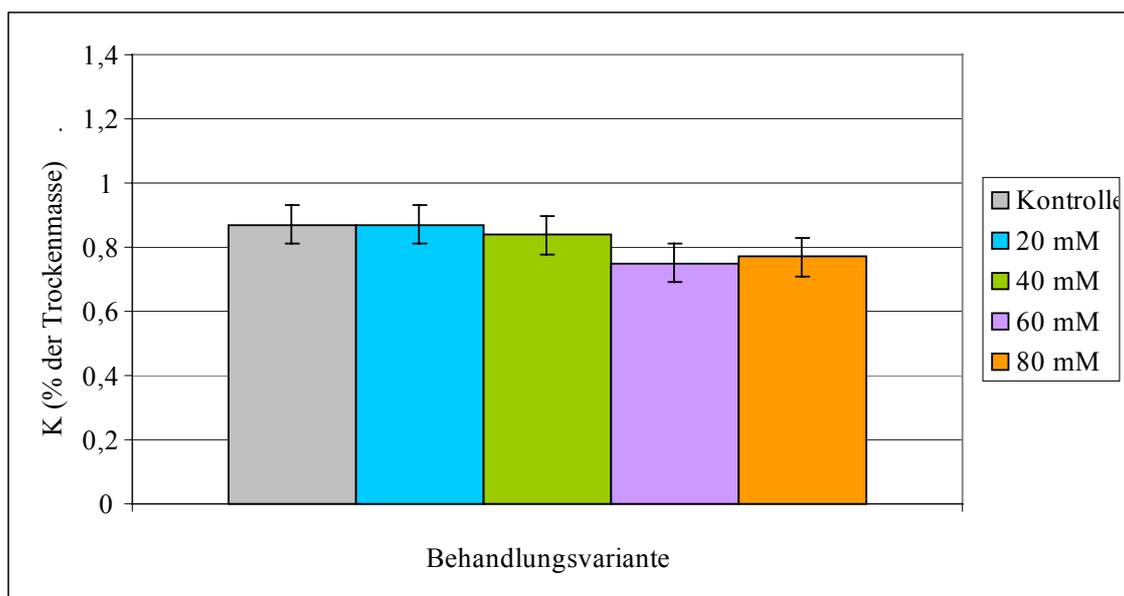


Abb. 54: Durchschnittlicher Kaliumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

In der Abbildung 55 ist der durchschnittliche Kaliumgehalt der Tamarindensämlinge nach 20 Wochen Behandlung in Blatt, Spross und Wurzel

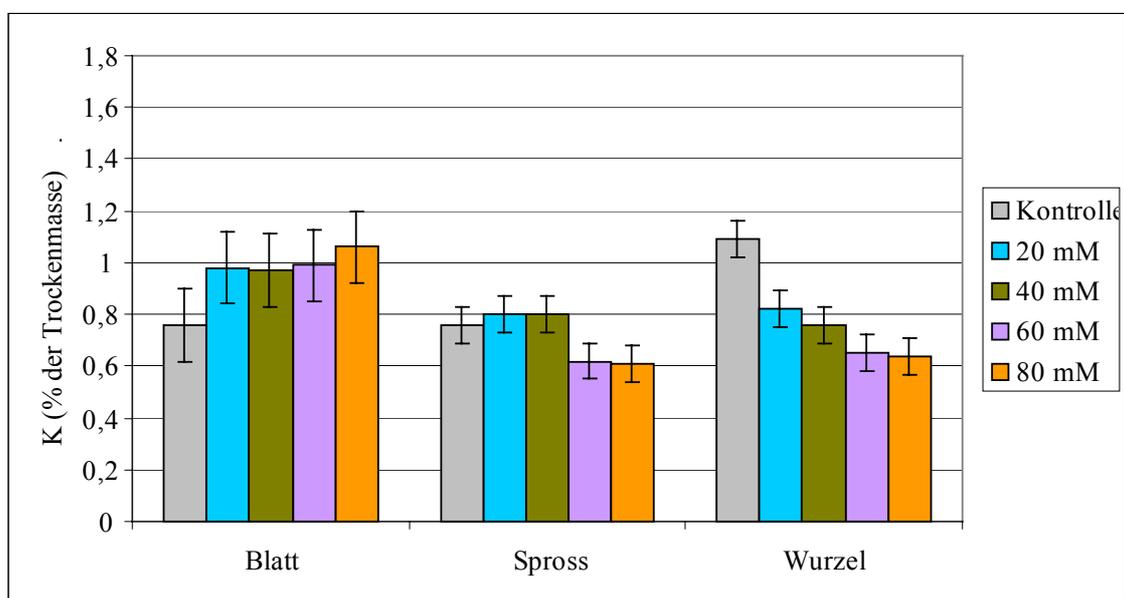


Abb. 55: Durchschnittlicher Kaliumgehalt (Blatt, Spross, Wurzel) der Tamarindensämlinge nach 20-wöchiger NaCl-Belastung (Grenzdifferenz eingezeichnet).

gesplittet dargestellt. Der Kaliumgehalt der Blätter war in den Behandlungsvarianten höher als in der Kontrolle. Ein signifikanter Unterschied lag nur bei der Kontrolle mit 80 mM vor. Der Kaliumgehalt der Sprosse war in den

Behandlungsvarianten 20 mM und 40 mM im Vergleich zur Kontrolle geringfügig höher und nur in den Behandlungsvarianten 60 mM und 80 mM signifikant geringer. Der Kaliumgehalt der Wurzeln war in allen Behandlungsvarianten im Vergleich zur Kontrolle signifikant geringer. Weitere signifikante Unterschiede lagen bei der Behandlungsvariante 20 mM mit 60 mM und 80 mM vor. Das K^+/Na^+ -Verhältnis der Blätter reduzierte sich mit der Zunahme der Salzbelastung von 5,85 (Kontrolle) auf 0,32 (80 mM Behandlung).

8 DISKUSSION

Vorbemerkungen

Der Baobab (*Adansonia digitata*) ist ein mächtiger, laubabwerfender und die Landschaft prägender Baum, der u.a. in den Savannen des Zentralsudan verbreitet ist. Dort finden vor allem die Früchte als Nahrung und die Rinde des Stammes zur Seilherstellung Verwendung.

Die Tamarinde (*Tamarindus indica*) ist ein graziöser, immergrüner Baum, der u.a. entlang der „Wadis“ im Zentralsudan verbreitet ist. Insbesondere die Früchte werden von der ländlichen Bevölkerung gesammelt und auf den Märkten als Wildobst angeboten.

Neben dem Baobab und der Tamarinde konnten während der Forschungsaufenthalte im Sudan elf weitere, bedeutende Wildobstarten identifiziert werden, die im Zentralsudan natürlich vorkommen. Sie tragen zur Sicherung der Nahrungsgrundlage und des Einkommens bei.

Den Früchten kommt die größte Bedeutung zu. Die meisten Arten liefern jedoch auch Bau- und Brennholz, Fasern, Öle, Harze und spenden Schatten. Daher werden sie auch als „multipurpose woody plants“ bezeichnet. In der Volksmedizin spielen viele Wildobstarten eine sehr wichtige Rolle. Keine der Wildobstarten wird in Plantagen angebaut oder dient als Exportfrucht. Die meisten der Wildobstarten sind außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsraums kaum bekannt, wissenschaftlich wenig untersucht und damit züchterisch nicht bearbeitet. Der potenzielle Nutzen der Wildobstgehölze im Sudan ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

Bodenversalzung ist im Sudan ein zunehmendes Problem. Gerade im Norden des Landes sind landwirtschaftliche Flächen durch primäre und sekundäre Bodenversalzung so massiv betroffen, dass eine Produktion von landwirtschaftlichen Erzeugnissen nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Salztolerante Obstgehölze könnten eine Nutzungsform für landwirtschaftlich unbrauchbare Flächen sein, da sie speziell in Gebieten mit hoher Sonneneinstrahlung dazu beitragen, eine Degradierung von erosions- bzw. austrocknungsgefährdeten Böden zu verhindern. Im Obstbau ist die Bodenbearbeitung minimal und die Schattenwirkung von Obstbäumen wirkt einer übermäßigen Erhitzung der Bodenoberfläche entgegen. Kenntnisse über die Salztoleranz indigener Wildobstgehölze liegen jedoch kaum vor.

Es ist deshalb von großer Bedeutung Untersuchungen zur Salzverträglichkeit von Wildobstgehölzen durchzuführen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Gewächshausversuche diskutiert.

Schadsymptome

Gehölze zeigen bei Salzstress im Gegensatz zu krautigen Pflanzen oft sehr schnell Blattschadsymptome (MAAS 1993a). Bei den Baobabsämlingen traten bereits in der 2. Behandlungswoche Vergilbungen (Chlorosen) auf. Dem Chlorophyllabbau und der damit verbundenen Vergilbung folgten Nekrotisierungen ab der 4. Behandlungswoche. Im Gegensatz dazu wiesen die Tamarindensämlinge erst ab der 12. Behandlungswoche Blattscheckungen auf, es kam nicht zu Nekrotisierungen von Blattbereichen.

Die ersten auftretenden Schadsymptome werden oft durch Cl-Ionen hervorgerufen, da diese von Pflanzen schneller aufgenommen und verlagert werden können (EHLIG 1964, LLOYD et al. 1989). Weiterhin liegen die Konzentrationen von Cl-Ionen in den Blättern meist höher als die der Na-Ionen (LESSANI und MARSCHNER 1978, NIEVES et al. 1991, STOREY 1995). Die bereits in der 4. Behandlungswoche bei den Baobabsämlingen aufgetretenen hellbraunen, scharf vom lebenden Blattgewebe abgegrenzten Blattspitzen- und Blattrandnekrosen können nach BAÑULS und PRIMO-MILLO (1995) und RUIZ et al. (1999) als typische Cl-Blattschäden charakterisiert werden. Insbesondere an den Blatträndern, wo der Grenzsichtwiderstand des Blattes am geringsten ist, kommt es zu einer verstärkten Anreicherung von Schadionen und zu einem erheblichen Wasserverlust, da die Transpirationsrate in diesen Bereichen besonders hoch ist (OERTLI 1971).

Die im späteren Versuchsverlauf aufgetretenen dunkelbraunen Nekrosen, die zusätzlich von konzentrischen, chlorotischen Ringen umgeben waren, gehen wahrscheinlich auf Na-Ionen zurück (EHLIG 1964, KARAKAS et al. 2000).

Blattsymptome traten vor allem an älteren Blättern der Baobab- und Tamarindensämlinge auf, während jüngere Blätter und der Neuaustrieb weitgehend symptomfrei blieben. Nach GREENWAY und MUNNS (1980), BONGI und LORETO (1989) und MUNNS (1993) kommt es zuerst zu einer Anreicherung von Cl- und Na-Ionen in älteren Blättern. Erst später steigen dann auch die Gehalte in jüngeren, apikalen Blättern an.

Die verstärkt auftretenden Blattschädigungen der mit Salz belasteten Baobab- und Tamarindensämlinge können neben den direkten toxischen Effekten der Cl- und

Na-Ionen auch durch Verschiebungen von Ionengleichgewichten, z.B. Na^+/K^+ bzw. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, hervorgerufen werden. Diese Ionenverschiebungen können zum Mangel an bestimmten Ionen führen (GRATTAN und GRIEVE 1999). Zu hohe Ionenkonzentrationen bewirken eine Zerstörung der Membranintegrität und damit den Austritt von Cytosol in die Interzellularräume.

Die verstärkte „Welketracht“ (Turgorverluste) einiger Baobabsämlinge bei der 80 mM Behandlungsvariante wurde wahrscheinlich durch das niedrige Wasserpotenzial der Bodenlösung hervorgerufen (MUNNS und TERMAAT 1986). In dieser Behandlungsvariante war durch den hohen Salzgehalt die Wasseraufnahme besonders erschwert.

Die Wölbung der Blättchen von Tamarindensämlingen bei den Behandlungsvarianten 40, 60 und 80 mM führten zum typischen Erscheinungsbild einer „Starrtracht“ und ließen eine veränderte Blattanatomie vermuten.

Eintrocknung und Schwarzfärbung von apikalen Trieben und Triebspitzen wird allgemein als „die-back“ bezeichnet. Dies trat nur bei den Baobabsämlingen auf. DOWNTON (1978) beobachtete bei salzempfindlichen Avocadobäumen (*Persea americana*) bereits bei NaCl-Belastungen von 20 mM ein Absterben ganzer Zweige.

Der verstärkte Blattabwurf der Baobabsämlinge kann als ein Schutzmechanismus gedeutet werden. Oft kommt es zu einer erheblichen Anreicherung an Schadsalzen in den älteren Blättern. Mit dem Abwurf dieser belasteten Blätter entledigen sich die Pflanzen der aufgenommenen Salze (LARCHER 1994).

Vegetatives Wachstum

Durch Salinität wird das vegetative Wachstum aller Nicht-Halophyten beeinflusst. Obstgehölze reagieren auf hohe Salzgehalte in der Bodenlösung besonders stark mit einem Rückgang der Wachstumsrate (DÖRING und LÜDDERS 1986, EBERT 2000).

Die Salzbehandlungen hatten einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Wuchshöhe der Baobab- und Tamarindensämlinge. Bei den Baobabsämlingen wurde das Höhenwachstum bei allen Behandlungsvarianten maßgeblich durch die NaCl-Belastung beeinflusst. Im Gegensatz dazu zeigten die Tamarindensämlinge nur in den Behandlungsvarianten 60 und 80 mM eine ähnlich deutliche Reduzierung des Höhenwachstums. Insgesamt lag der durchschnittliche Wuchshöhenzuwachs der Kontrollpflanzen bei den Tamarindensämlingen um 35 cm höher als bei den

Baobabsämlingen. Bei der Behandlungsvariante 80 mM war er bei den Tamarindensämlingen um 22,5 cm höher als bei den Baobabsämlingen.

Die Abnahme des Sprosszuwachses kann auf ein durch den osmotischen Wert bedingtes Wasserdefizit, Salziontoxizität, induzierten Mangel an essentiellen Ionen, Störung des Hormonhaushalts und induzierte Ionenungleichgewichte zurückzuführen sein (CRAMER und SPUR 1986, SOYLU und LÜDDERS 1988a, SOYLU und LÜDDERS 1988b). Weiterhin kann vermutet werden, dass die Wachstumsreduktion auch durch die auftretenden Salzschäden an den Blättern, insbesondere bei den Baobabsämlingen, hervorgerufen wurde. Bei geschädigten Blättern sinkt die Assimilationskapazität und damit die Produktion von Assimilaten, die dann der Pflanze nicht mehr in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen. Ebenso kann eine frühzeitige Beendigung des Wachstums zur Reduzierung des Wuchses führen. IVANOVA (1974) stellte bei Pfirsichbäumen (*Persica vulgaris*) eine durch Versalzung bedingte Verkürzung der Wachstumsperiode fest.

Die Salzbelastung hatte einen wesentlichen Einfluss auf die Blattanzahl der Baobabsämlinge. In den Behandlungsvarianten reduzierte sich ab der 8. bzw. 10. Behandlungswoche die Blattanzahl. Dieses war darauf zurückzuführen, dass mehr Blätter abgeworfen als neue gebildet wurden. Mit steigender NaCl-Belastung verringerte sich auch die Blattneubildung. Der starke Blattabwurf bei den Baobabsämlingen führte zur extremen Reduzierung der Gesamtblattfläche. Es wurden vornehmlich die ältesten Blätter abgeworfen, die oft erhebliche Blattsymptome aufwiesen. Der starke Blattabwurf in den Behandlungsvarianten führte zum Verkahlen von basalen Triebabschnitten. Es fiel eine hohe Variabilität innerhalb der Behandlungsvarianten auf. So war zu beobachten, dass einige Pflanzen kaum Blätter abwarfen, wenige Blattsymptome aufwiesen und damit vitaler erschienen. Die durchschnittliche Blattfläche lag zu Versuchsabschluss in der Kontrolle fast 5-mal höher als in der Behandlungsvariante 20 mM. Der starke Blattfall ist als eine wesentliche Ursache für die Verringerung des vegetativen Wachstums der Baobabsämlinge zu sehen. Wenn mehr alte Blätter abgeworfen als neue gebildet werden, verringert sich die photosynthetisch aktive Blattfläche (MUNNS und TERMAAT 1986), hinzu kommt oft eine Einschränkung der Photosynthese durch hohe Ionenkonzentrationen in den Blättern. Damit verringert sich die Produktion von Kohlenhydraten und die Gehalte in der Pflanze sinken auf ein Niveau ab, bei dem ein Wachstum nicht mehr möglich ist.

Salzempfindliche Obstgehölze reagieren auf hohe Salzgehalte im Wurzelraum häufig mit einer Reduzierung ihrer Blattfläche. EBERT (1998) stellte einen deutlichen Rückgang der Gesamtblattfläche bei Cherimoyapflanzen (*Annona cherimola*) unter Salzstress fest. Dies war im wesentlichen auf die Ausbildung

kleinerer Blätter und nicht auf eine Verringerung der Blattanzahl zurückzuführen. Bei den Baobabsämlingen erhöhte sich die Einzelblattfläche in der Kontrolle ab der 6. Behandlungswoche und in der Behandlungsvariante 20 mM ab der 8. Behandlungswoche, da es zur Ausbildung von Fiederblättern kam, die eine größere Blattfläche aufwiesen. Dennoch wurde die durchschnittliche Gesamtblattfläche in der Behandlungsvariante 20 mM durch den hohen Blattfall verringert.

Die NaCl-Belastung zeigte bei den Tamarindensämlingen einen weniger deutlichen Einfluss auf die Blattanzahl. Bei den Behandlungsvarianten 20 und 40 mM war nur eine geringe Reduzierung in der Blattneubildung im Vergleich zur Kontrolle zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu waren die Unterschiede der Behandlungsvarianten 60 und 80 mM zur Kontrolle wesentlich deutlicher. In allen Behandlungsvarianten kam es jedoch zu einer stetigen Zunahme der Blattanzahl und nicht wie bei den Baobabsämlingen zu einer Reduzierung der Blattanzahl. Damit vergrößerte sich zumindest die Photosynthesefläche, auch wenn unter Salzstress durch spezifische Überschüsse von Kationen in Verbindung mit induziertem Mangel an essentiellen Nährelementen oft die Photosyntheseleistung pro Flächeneinheit abnimmt. Ein geringer Blattabwurf älterer Blätter wurde nur bei den Behandlungsvarianten 60 und 80 mM beobachtet. Der geringe Blattabwurf der Tamarindensämlinge deutete darauf hin, dass entweder die Schadionengehalte in den Blättern geringer oder die Verträglichkeit der Blätter höher waren. Das bedeutet eine effektivere Kompartimentierung der Ionen in den Blättern im Gegensatz zu den Baobabsämlingen. Die stetige Blattneubildung und der nur zum Teil geringe Blattabwurf spiegelten sich auch in der Blattflächenentwicklung wieder. Die durchschnittliche Blattfläche der Pflanzen bei der Behandlungsvariante 20 mM lag nur um 11% unter der der Kontrolle.

Die NaCl-Belastung zeigte bei den Baobab- und Tamarindensämlingen einen Einfluss auf das Dickenwachstum des Sprosses, gemessen an der Sprossbasis. Mit steigender Salinität verminderte sich die Zunahme des Sprossdurchmessers. SOYLU und LÜDDERS (1988b) wiesen ebenfalls mit steigenden Salzgaben eine Reduzierung des Stammdurchmessers bei Apfelbäumen 'Golden Delicious' nach. Sie führen den Rückgang auf einen durch Natrium induzierten Kaliummangel zurück, der eine Verminderung der Kambiumaktivität im Stamm bedingt. Interessant war, dass der Sprossdurchmesser bei den Baobabsämlingen in der Kontrolle sowie in den Behandlungsvarianten weitaus stärker war als bei den Tamarindensämlingen. Bereits im Sämlingsstadium war damit das für den Baobab typische Dickenwachstum des Sprosses zu erkennen.

Zu Versuchsende wurden die Frisch- und Trockenmasse der Baobab- und Tamarindensämlinge bestimmt.

Die Frischmasse wurde bei den Baobab- und Tamarindensämlingen durch die Salzgehalte im Wurzelraum verringert. Bei den Baobabsämlingen bewirkte bereits ein NaCl-Gehalt von 20 mM eine starke Reduzierung der Frischmasse. Die besonders starke Abnahme der Frischmasse der Blätter ist auch hier auf den starken Blattabwurf der Baobabsämlinge zurückzuführen. Die Frischmasse der Tamarindensämlinge reduzierte sich weniger stark. Auffällig war, dass die Frischmasse der Blätter in der Behandlungsvariante 20 mM sogar geringfügig höher war als in der Kontrolle. Die Tamarindensämlinge der Kontrolle bildeten insgesamt weniger Frischmasse in den 20 Behandlungswochen aus als die Baobabsämlinge.

Die Trockenmasse ging ebenfalls bei den Baobabsämlingen stark zurück. Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM war die Trockenmasse um 66% reduziert. Die Trockenmassen der Blätter, Sprosse und Wurzeln nahm ebenfalls stark ab, wobei der Sprung zwischen Kontrolle und Behandlungsvariante 20 mM besonders groß war. Damit scheinen die Baobabsämlinge ähnlich salzempfindlich wie die sehr salzempfindliche Avocado (*Persea americana*) zu sein. DOWNTON (1978) stellte bei Avocadopflanzen nach einer 20-wöchigen Behandlungsdauer mit 20 mM NaCl eine Reduzierung der Trockenmasse um 58% fest.

Auffällig war eine starke Substanzproduktion der Wurzeln bei den Baobabsämlingen in den 20 Behandlungswochen. Der Baobab bildet im Sämlingstadium eine Wurzelrübe aus, die zur Wasserspeicherung dient.

Bei den Tamarindensämlingen war der Einfluss der Salinität auf die Trockenmasse nicht so stark wie bei den Baobabsämlingen. In der Behandlungsvariante 20 mM war die Trockenmasse um 38% reduziert. Eine Verringerung der Trockenmasse um mehr als 50% wurde erst durch die Behandlungsvariante 60 mM bewirkt. Damit ist in Bezug auf das vegetative Wachstum die Tamarinde deutlich salztoleranter als die im Sudan häufig angebaute mäßig salztolerante Obstart Guave (*Psidium guajava*). ALI-DINAR et al. (1998) stellten bei Guavenpflanzen aus dem Sudan bereits nach 12 Wochen Salzbehandlung mit 30 mM NaCl eine Reduzierung der Trockenmasse um 54% fest. Die Spross- und Wurzeltrockenmasse wurde bei den Tamarindensämlingen stärker beeinflusst als die Trockensubstanz der Blätter. Daraus kann geschlossen werden, dass nicht nur die Assimilatbildung, sondern auch der Assimilattransport aus den Blättern in Spross und Wurzel gehemmt wurde (SOYLU und LÜDDERS 1988b).

Das Spross/Wurzel-Verhältnis der Baobabsämlinge veränderte sich nicht. Im Gegensatz dazu verringerte sich das Spross/Wurzel-Verhältnis der

Tamarindensämlinge von 1,15 auf 0,65. Das deutet darauf hin, dass die Wurzel weniger salzempfindlich zu sein scheint als der Spross. Aufgrund der größeren Reaktionsmöglichkeit gegenüber Salzen (z.B. Casparyscher Streifen) ist die Salzempfindlichkeit der Wurzel meist geringer als die des Sprosses. Eine Reihe von Versuchen zur Salzverträglichkeit von Gehölzen zeigen, dass Salzstress oft eine Verschiebung des Spross/Wurzel-Verhältnisses zugunsten der Wurzel bewirkt (MUNNS und TERMAAT 1986). Die relative Vergrößerung der wasseraufnehmenden Wurzel gegenüber den transpirierenden Pflanzenorganen kann als ein Adaptationsmechanismus angesehen werden, bei der die Pflanze versucht mögliche Wasserdefizite auszugleichen. Bei den Baobabsämlingen reduzierte sich die Substanzproduktion der Wurzel ähnlich stark wie die Substanzproduktion des Sprosses, ohne dass es zu einer Anpassungsreaktion kam.

Interessant war, dass der Wassergehalt je Blattflächeneinheit der Baobab- und Tamarindensämlinge in allen Behandlungsvarianten zu Versuchsende höher im Vergleich zur Kontrolle war. LLOYD und HOWIE (1989), ZEKRI (1991) und RUIZ et al. (1999) stellten ebenfalls bei Zitruspflanzen eine salzinduzierte Blattsukkulenz fest. Bei Versuchen von ZEKRI und PARSONS (1990a) war die erhöhte Sukkulenz mit einer dreifachen Vergrößerung der Schwammparenchymzellen verbunden, die zu einer Verdickung der Blätter führten. Bei Glycophyten werden unter mäßigem Salzstress häufig Veränderungen der Blattanatomie beobachtet. Die erhöhte Sukkulenz kann eine Verdünnung der Schadionen im Protoplasma bewirken (STOREY und WALKER 1999). Nach LARCHER (1994) sind vor allem die Chloridionen für die Ausbildung einer Blattsukkulenz verantwortlich. Die Veränderungen der Blattmorphologie führten bei den Tamarindensämlingen in den Behandlungsvarianten dazu, dass sie ledriger und leicht brüchig erschienen und aufgrund ihrer Formveränderungen in der Nacht nicht mehr zusammengeklappt werden konnten.

Photosynthese

Die Photosynthese ist ein äußerst komplexer Prozeß, bei der Pflanzen Kohlendioxid aus der Atmosphäre binden und unter Ausnutzung von Lichtenergie energiereiche Verbindungen wie Kohlenhydrate, Proteine und Fette aufbauen. Es liegen zahlreiche Berichte vor, dass sich bei Salzstress die Photosyntheseleistung der meist salzempfindlichen Obstgehölzen reduziert (DESAI und SINGH 1983, GARCIA-LEGAZ et al. 1993, BAÑULS et al. 1997, ALI-DINAR et al. 1998, EBERT et al. 2002). Der Rückgang kann u.a. auf Stomataschluss, Chloroplastendefekte und Chlorophyllabbau zurückzuführen sein.

In den eigenen Versuchen reduzierte sich die Nettophotosyntheserate der Baobab- und Tamarindensämlinge mit steigender Salzbelastung und Versuchsdauer. Bereits in der 4. Behandlungswoche lag die Photosyntheserate in den Behandlungsvarianten deutlich unter der in der Kontrolle. Bei Salzbelastung geht oft bereits vor dem Auftreten von sichtbaren Blattschäden deren Kohlendioxidaufnahme und damit die Photosyntheseleistung zurück (KARSTENS et al. 1993). Die NaCl-Belastungen von 20, 40 und 60 mM bewirkten nach der Behandlungszeit von 20 Wochen bei den Baobabsämlingen eine deutlich stärkere Reduzierung der Nettophotosyntheseleistung als bei den Tamarindensämlingen. Nach 20 Wochen war die Photosyntheserate durch die 20 mM Behandlung bei den Baobabsämlingen um 64% reduziert, im Gegensatz dazu bei den Tamarindensämlingen nur um 34%. In der höchsten Behandlungsvariante (80 mM) lag die Nettophotosyntheserate der Tamarindensämlinge mit $0,5 \mu\text{Mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ähnlich niedrig wie bei den Baobabsämlingen.

Als wesentliche Ursache für eine verringerte Photosyntheseleistung von Pflanzen bei Salzstress wird die Abnahme der Chlorophyllgehalte in den Blättern gesehen. Dabei kann sowohl die Chlorophyllsynthese vermindert als auch der enzymatische Abbau verstärkt sein. EBERT et al. (1999a) behandelten Lulopflanzen (*Solanum quitoense*) mit 60 mM NaCl und stellten eine Reduzierung des Blattchlorophyllgehaltes von 27% fest. In den eigenen Versuchen zeigte sich ebenfalls sowohl bei den Baobab- als auch bei den Tamarindensämlingen ein negativer Einfluss von NaCl auf den Chlorophyllgehalt der Blätter. Bei den Baobabsämlingen ging der Chlorophyll a-Gehalt im Verhältnis zur Kontrolle bei der Behandlungsvariante 80 mM um 75% zurück und der Chlorophyll b-Gehalt um 70%. Bei den Tamarindensämlingen reduzierte sich der Chlorophyll a-Gehalt im Verhältnis zur Kontrolle bei der Behandlungsvariante 80 mM um 82% und der Chlorophyll b-Gehalt um 84%. Damit lag ein stärkerer Chlorophyllabbau bei den Tamarindensämlingen vor. Das Chlorophyll a/b-Verhältnis veränderte sich bei den Baobab- bzw. Tamarindensämlingen nur geringfügig.

Bei beiden Versuchspflanzenarten war die Reduzierung der Photosyntheserate höher als die Reduzierung der Chlorophyllkonzentration in den Blättern. Dieses lässt vermuten, dass neben dem Chlorophyllabbau auch andere Veränderungen zu einer Verringerung der Photosyntheseleistung führten. Eine Zunahme des Salzgehaltes in der Bodenlösung führt zu einer Absenkung des osmotischen Potentials und bewirkt eine Veränderung des Blattwasserpotentials der Pflanze (MUNNS und TERMAAT 1986). Durch Turgorverluste kann eine Schwächung der Reaktionsfähigkeit der Stomata hervorgerufen werden. Die damit verbundene

Verminderung der Stomataleitfähigkeit und Transpiration bewirkt einen Rückgang der CO₂-Assimilation (PEZESHKI und CHAMBERS 1986, BEN-HAYYIM et al. 1987, ZEKRI und PARSONS 1989, ZEKRI und PARSONS 1990b). Oft besteht eine Korrelation der Nettophotosyntheserate und des stomatären Widerstands. So stellten BAÑULS und PRIMO-MILLO (1995) bei Zitrus-Veredelungskombinationen, die mit 20, 40 bzw. 60 mM NaCl behandelt wurden eine starke Abhängigkeit der Photosyntheserate zum Stomatawiderstand fest. Das bedeutet, dass in diesem Versuch die Stomataöffnungsweite die Photosynthese im Wesentlichen limitierte. Nach BEHBOUDIAN et al. (1986) kann auch ein Anstieg des Mesophyllwiderstands ein wesentlicher Grund für den Rückgang der Photosynthese sein.

Neben dem Chlorophyllabbau können noch andere, nicht-stomatäre Einflüsse zu einer verringerten Photosyntheseleistung führen. Hierbei können toxische Wirkungen der Schadionen auf Chloroplastenmembranen bzw. Enzymreaktionen eine Rolle spielen. Eiweißmoleküle sind oft sehr salzempfindlich und so können bereits geringe Konzentrationen Konfigurationsveränderungen bewirken, die wiederum die Reaktionsfähigkeit der Enzyme herabsetzen. Es existieren eine Reihe von Untersuchungen an Zitruspflanzen, die entweder die hohen Cl⁻-Konzentrationen (WALKER et al. 1982, LLOYD et al. 1989, GARCIA-LEGAZ et al. 1993) oder die hohen Na⁺-Konzentrationen (BEHBOUDIAN et al. 1986, LLOYD et al. 1987, WALKER et al. 1993) im Blatt für den Rückgang der CO₂-Assimilation verantwortlich machen. GOLOMBEK (1991) untersuchte den Einfluß von NaCl auf Gaswechsel und Kohlenhydratstoffwechsel bei der Feige (*Ficus carica*). Sie stellte eine starke negative Korrelation zwischen Konzentration beider Ionen im Blattgewebe und der Photosyntheserate fest.

Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass die Salzbelastungen bei den Baobabsämlingen einen stärkeren negativen Effekt auf die Photosyntheseleistung als bei den Tamarindensämlingen hatten.

Mineralstoffe

Bei hohen Bodensalzgehalten ist das Wasser in der Bodenlösung osmotisch stärker gebunden und daher für die Pflanzen schlechter verfügbar. Um eine Wasseraufnahme auch bei Salinität zu gewährleisten und den Zellturgor aufrechtzuerhalten, können Pflanzen ihr internes osmotisches Potenzial in den Zellen absenken. Dieser Prozess wird als osmotische Anpassung ("osmotic adjustment") bezeichnet. Bei diesem Vorgang kommt es zu einer verstärkten Aufnahme von Ionen aus der Bodenlösung oder/und zur Bildung von organischen Osmotika.

Die zu Versuchsende durchgeführten Mineralstoffanalysen ergaben bei den Baobab- und Tamarindensämlingen mit steigender NaCl-Belastung erhöhte Na⁺- und Cl⁻-Gehalte in den Pflanzenorganen. Mit steigender NaCl-Konzentration im Nährmedium findet sich auch bei vielen anderen Pflanzenarten eine Zunahme des Chlorid- und Natriumgehalts im Pflanzengewebe (DOWNTON 1977, SEEMANN und CRITCHLEY 1985, WALKER 1989). Ein Anstieg von Ionen im Zellsaft führt dort zu einer Absenkung des osmotischen Potentials.

Bereits in der Behandlungsvariante 20 mM lag der durchschnittliche Na⁺-Gehalt bei den Baobab- (von 0,51 auf 3,16%) und den Tamarindensämlingen (von 0,18 auf 1,32%) um ein Vielfaches höher als in den Kontrollen. Die Aufnahme von Na-Ionen der Sämlinge war bei Baobab sehr viel stärker als bei Tamarinde, die Baobabsämlinge akkumulierten mehr als doppelt so viel Na-Ionen im Pflanzengewebe.

Na⁺ wurde bei den Baobab- und Tamarindensämlingen vornehmlich in den Wurzeln angereichert. Das deutet auf einen Na⁺-Retentionsmechanismus der Wurzeln hin und beruht vermutlich auf einen gehemmten akropetalen Na⁺-Transport im Zentralzylinder der Wurzeln (MARSCHNER und OSSENBERG-NEUHAUS 1976, YEO et al. 1977). EBERT et al. (1999b) stellten ebenfalls bei Feigenkakteen (*Opuntia ficus-indica*) eine verstärkte Natriumeinlagerung in den Wurzeln fest.

In den eigenen Versuchen wurden bei der Behandlungsvariante 80 mM in den Blättern durchschnittliche Na⁺-Gehalte von 4% der Trockenmasse bei den Baobabsämlingen und von 3% der Trockenmasse bei den Tamarindensämlingen nachgewiesen. Die Natriumgehalte der Blätter lagen damit im Vergleich zu anderen Arten sehr hoch. In einem Vergleich von unterschiedlichen Zitrusunterlagen wiesen NASTOU et al. (2002) in den Blättern lediglich Natriumgehalte bis 1,4% der Trockenmasse bei einer Salzbehandlung von 100 mM nach.

Im Vergleich zu den Na⁺-Gehalten lagen die Cl⁻-Gehalte bei den Baobab- und Tamarindensämlingen noch weitaus höher. NIEVES et al. (1991) und STOREY (1995) berichten ebenfalls von einer bevorzugten Aufnahme von Chloridionen in Zitruspflanzen bei gleichen Gehalten an Na⁺ und Cl⁻ in der Nährlösung.

In den eigenen Versuchen wurde Cl⁻ ebenso wie Na⁺ verstärkt in den Wurzeln akkumuliert. Vor allem halophobe Pflanzen halten Schadionen in ihren Wurzeln zurück, dadurch werden Meristeme, wachsende Blätter und junge Früchte einer geringeren Salzbelastung ausgesetzt (LARCHER 1994).

Übermäßig hohe Ionenkonzentrationen in den Blättern deuten darauf hin, dass die Retentionsfähigkeit für Na⁺ und Cl⁻ in den Wurzeln ausgelastet ist (EBERT 2000).

Offensichtlich war die Anreicherungskapazität erschöpft bzw. daran beteiligte Carrier-Systeme gesättigt. In den Blättern wurden bei den Baobabsämlingen durchschnittliche Cl⁻-Gehalte bis 7% der Trockenmasse nachgewiesen. Bei den Tamarindensämlingen erreichten die durchschnittlichen Cl⁻-Gehalte in den Blättern Werte bis 6% der Trockenmasse. Damit lagen die Gehalte an Chloridionen in den Baobabblättern deutlich höher als in den Blättern der Tamarindensämlinge. HATZMANN et al. (1991) wiesen sogar Cl⁻-Gehalte bis zu 10% der Trockenmasse in den Kladodien bei Feigenkakteen (*Opuntia ficus-indica*) nach. Jedoch akkumulieren Kakteenarten oft beachtliche Mengen mineralischer Ionen zur Aufrechterhaltung ihrer Sukkulenz. Höhere Cl⁻-Konzentrationen als Na⁺-Gehalte in den Blättern der Baobab- und Tamarindensämlinge dienten möglicherweise einer Erhöhung des osmotischen Wertes, da Cl⁻-Ionen sehr hydrophil sind (AMBERGER 1979). Andererseits weisen die hohen Chloridionenreicherungen auf ein gestörtes Kationen/Anionen-Verhältnis hin. Die Salztoleranz einer Art steht oft in engem Zusammenhang mit der Verlagerung von Schadionen in ihr Blattgewebe (KARSTEN et al. 1993, TYERMAN und SKERRETT 1999). EBERT (1998) untersuchte die Salztoleranz von zwei Annonenarten (*Annona muricata* und *Annona cherimola*) und stellte fest, dass die höhere Salztoleranz von *Annona cherimola* im Vergleich zu *Annona muricata* stark mit einer geringeren Na⁺- und Cl⁻-Akkumulation in *Annona muricata* Blättern korrelierte.

Nach MENGEL (1984) können bereits Cl⁻-Gehalte ab 2% der Trockenmasse toxische Effekte in den Blättern von Nichthalophyten hervorrufen. Die Schwellenwerte, bei deren Überschreiten Nekrosen auftreten, sind auch stark vom Ernährungszustand der Pflanze und von Witterungsbedingungen abhängig. In einem Versuch zur Salzverträglichkeit von Birnenunterlagen beobachteten OKUBO und SAKURATANI (2000) bereits Blattnekrosen bei Na⁺-Gehalten von 0,4% und Cl⁻-Gehalten von 1,4% der Trockenmasse in den Blättern. Nekrotisierungen von Blattbereichen traten bei den Baobabsämlingen bereits in der Behandlungsvariante 20 mM (mit Blattchloridgehalten von 3,68% der Trockenmasse) auf. Die Tamarindensämlinge wiesen selbst in der Behandlung 80 mM bei Blattchloridgehalten von 6% der Trockenmasse keine Blattnekrosen auf. EBERT et al. (1999a) wiesen bei Lulopflanzen (*Solanum quitoense*) Cl⁻-Gehalte von mehr als 4% der Trockenmasse nach, ohne Blattschadsymptome festzustellen. Durch selektive Kompartimentierung der in die Zellen eingedrungenen Na⁺ und Cl⁻ kann das Protoplasma auch hohe externe Salzkonzentrationen tolerieren. Die Hauptmenge der Salzionen wird in der Vakuole der Blätter deponiert (Includer-Mechanismus). Das Cytosol und die Chloroplasten werden dadurch entlastet und der unmittelbar auf das Enzymsystem einwirkende Salzstress vermindert (LARCHER 1994). Zu hohe Salzkonzentrationen im Cytoplasma beeinflussen jedoch den Zellmetabolismus und hohe

Salzkonzentrationen in den Zellwänden führen zu Turgorverlusten und damit zu verstärkten Wasserverlusten (MUNNS und TERMAAT 1986).

Die sehr hohe Akkumulation von Na- und Cl-Ionen in den Baobabblättern kann als eine wesentliche Ursache für die starke Blattschädigung und den starken Blattfall gesehen werden. Vermutlich entledigten sich die Baobabsämlinge durch den Abwurf der Blätter von den akkumulierten Salzen, da in älteren Blättern die Gehalte an Schadionen besonders hoch sind (GREENWAY und MUNNS 1980, WALKER et al. 1982, SYKES 1985, SYVERTSEN et al. 1988). Die höhere Toleranz der Tamarinde gegenüber den Schadionen im Blatt kann einerseits auf die geringeren Gehalte an Schadionen in den Blättern und andererseits auf eine größere Kapazität der Vakuolen, Schadionen zu kompartimentieren, zurückzuführen sein (LLOYD et al. 1990, RUIZ et al. 1999). Es ist zu vermuten, dass die Ionenkonzentrationen (Na^+ und Cl^-) im salzempfindlichen Cytoplasma weitaus geringer waren als die gemessenen Ionenkonzentrationen des Gesamtblattes.

Untersuchungen an einigen Baumarten haben gezeigt, dass eine Natriumanreicherung in den Blättern durch Akkumulation in basalen Stammabschnitten vermieden werden kann (MYERS et al. 1995). Das Natrium wird hierbei aktiv aus den Xylemgefäßen durch Na^+/K^+ -Austausch in das Plasmalemma der Xylemparenchymzellen aufgenommen. Die Höhe der Speicherkapazität kann durch Unterlagenwahl beeinflusst werden wie es beim Apfel nachgewiesen wurde (SOYLU und LÜDDERS 1988b).

Die Akkumulation von Na- und Cl-Ionen im Spross war bei den Baobab- und Tamarindensämlingen gering. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die Pflanzen sich im Sämlingsstadium befanden und daher noch nicht über nennenswerte Speicherkapazitäten im Spross verfügten.

Durch die verstärkte Anreicherung der Na^+ und Cl^- im Zellsaft entsteht ein Wasserpotenzialgefälle zur Wurzel, das den Sämlingen erlaubt dem Boden osmotisch gebundenes Wasser zu entziehen. Zur osmotischen Wirkung der gespeicherten Salzionen addiert sich das osmotische Potenzial von löslichen Kohlenhydraten (LARCHER 1994). Weiterhin werden von Pflanzen unter Salzstress organische Säuren wie Aminosäuren und Proteine gebildet. So konnten LLOYD et al. (1990) bei unterschiedlichen Zitrusveredelungen eine vermehrte Bildung von Prolinbetain in den Blättern salzgestresster Pflanzen nachweisen. Die organischen Osmotika sorgen weiterhin für ein osmotisches Gleichgewicht zwischen Protoplasma und den mit Salzionen angereicherten Vakuolen (KREEB 1996).

Salzstress kann zum Nährstoffmangel bei Pflanzen führen. Hohe Na^+ und Cl^- -Konzentrationen können bereits im Boden eine Verschiebung von Nährstoffverhältnissen (Na^+/K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} bzw. $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$) bewirken. Daraus resultieren oft Nährstoffungleichgewichte in der Pflanze, da Salzionen auch die Nährstoffverfügbarkeit sowie die Aufnahme und Verteilung von Nährstoffen in Pflanzen beeinflussen. Die Aufnahme von Ionen durch die Pflanzenwurzel ist nur im niedrigen Konzentrationsbereich selektiv, da bei höheren Ionengehalten in der Bodenlösung diese Fähigkeit verloren geht (MARSCHNER 1995). Eine häufige Konsequenz der hohen Salzionenaufnahme ist ein salzinduzierter Nährstoffmangel, da mit steigender Na^+ -Konzentration im Pflanzengewebe die Gehalte an K^+ und Ca^{2+} absinken können (EBERT 1998).

In den eigenen Versuchen war die Aufnahme des bivalenten Kations Ca^{2+} bei den Baobabsämlingen in den Behandlungen deutlich verringert. Insbesondere in den Blättern und Sprossen kam es zu einer Absenkung der Ca^{2+} -Gehalte. Salinität verursacht bei vielen gärtnerischen Kulturen eine Verringerung der Kalziumaufnahme (GRATTAN und GRIEVE 1999). Ca^{2+} ist für Pflanzen essenziell und besonders für die Aufrechterhaltung der strukturellen und funktionellen Membranintegrität, die Regulation der Ionenaufnahme (Selektivität) und die Stabilisierung der Zellwandstrukturen verantwortlich sowie an Enzymreaktionen in der Zellwand beteiligt (RENGEL 1992, MARSCHNER 1995). Vor allem Na^+ ist im Wesentlichen dafür verantwortlich, dass die Ca^{2+} -Aufnahme gehemmt und der Transport von Ca^{2+} zu den Wachstumszonen der Pflanze behindert wird (GRATTAN und GRIEVE 1999). Ca^{2+} -Mangel führt zu einem Verlust der Ionenselektivität der Membranen und damit zu einem verstärkten Eindringen von Schadionen (HANSEN und MUNNS 1988, RENGEL 1992). Aufgrund der reduzierten Aufnahme von Ca^{2+} und der verstärkten Aufnahme der Na^+ kam es bei den Baobabsämlingen zu einer deutlichen Verschiebung des $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ -Verhältnisses in den Blättern von 14,90 auf 0,24 zugunsten von Na^+ . Ein Kalziummangel in den Blättern kann bei den Baobabsämlingen ebenfalls als Ursache für das starke Auftreten von Blattschäden und den Blattabwurf gesehen werden (RUIZ et al. 1999). Die Zugabe von Kalzium zur Bodenlösung kann zu einem Ausgleich des Ca^{2+} -Mangels in der Pflanze führen. EBERT et al. (2002) führten Versuche mit Guavensämlingen (*Psidium guajava*) durch, bei denen sie zusätzlich zu 30 bzw. 60 mM NaCl verschiedene Konzentrationen an $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ verabreichten. Die $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Gaben zeigten einen positiven Effekt auf das Wachstum, die Mineralstoffaufnahme und die Photosynthese der Versuchspflanzen. Eine Vielzahl von Versuchen an Zitruspflanzen zeigen, dass eine zusätzliche Kalziumgabe die Na^+ - und Cl^- -

Aufnahme in die Pflanze und den Weitertransport in ihre Blätter unter salinen Bedingungen reduziert (GRATTAN und GRIEVE 1999).

Bei den Tamarindensämlingen wurde ein geringfügiger Anstieg der Kalziumgehalte in den Pflanzen gemessen. Die NaCl-Behandlung führte insbesondere in den Sprossen zu einem Anstieg der Ca^{2+} -Gehalte. Salinität bewirkt nicht zwangsläufig eine Ca^{2+} -Abnahme im Pflanzengewebe. So stellten EBERT et al. (1999a) ebenfalls bei Lulopflanzen (*Solanum quitoense*) höhere Ca^{2+} -Gehalte in den Blättern und Sprossen salzbehandelter Pflanzen fest. Das $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ -Verhältnis der Tamarindensämlinge in den Blättern verringerte sich wie bei den Baobabsämlingen aufgrund der starken Akkumulation der Natriumionen von 6,46 auf 0,35. Die Verschiebung des $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ -Verhältnisses war damit geringer als in den Blättern der Baobabsämlinge. Eine starke Reduzierung des Verhältnisses ist besonders ausgeprägt bei Arten mit geringer Salztoleranz.

Die Aufrechterhaltung von physiologisch wirksamen Kaliumgehalten in den Geweben ist essenziell für das Überleben von Pflanzen, insbesondere auf salinen Böden (GRATTAN und GRIEVE 1999). K^+ wird speziell benötigt für die Proteinsynthese und zur Aktivierung von Enzymen (MARSCHNER 1995). Bei geringen Bodensalzgehalten, wenn die Pflanzenwurzel noch in der Lage ist die Ionen selektiv aufzunehmen, wird K^+ gegenüber Ca^{2+} relativ bevorzugt (RAINS 1972). Hohe K^+ -Gehalte in den Schließzellen sind ebenfalls notwendig für die Aufrechterhaltung der Photosynthese, besonders unter Stressbedingungen (CHOW et al. 1990). Zurückgehende K^+ -Gehalte in den Blättern haben einen verminderten Turgordruck zur Folge. Da eine Zellstreckung nur bei turgeszenten Zellen möglich ist, geht mit abnehmendem K^+ -Gehalt auch das Wachstum zurück (SOYLU und LÜDDERS 1988a).

Durch hohe Na^+ -Gehalte in der Bodenlösung wird die selektive Aufnahme von Ionen durch die Wurzel eingeschränkt. Das trifft damit auch für Kalium zu. In den eigenen Versuchen veränderten sich die Kaliumgehalte in den Pflanzen insgesamt nur geringfügig. Die Gehalte lagen im Vergleich zur Kontrolle bei den Baobabsämlingen in den Behandlungsvarianten sogar höher. Bei den Tamarindensämlingen fielen die Gehalte mit steigender Salzbehandlung leicht ab. Die veränderten Kaliumgehalte konnten jedoch nicht eindeutig auf die NaCl-Behandlungen zurückgeführt werden. Eine Vielzahl von Versuchen haben gezeigt, dass die K^+ -Konzentration in den Pflanzen mit steigender Salinität im Boden abnimmt (u.a. SUBBARAO et al. 1990, GRAIFENBERG et al. 1995). Andere Untersuchungen wiederum zeigten eine verstärkte Aufnahme des Kaliums unter salinen Bedingungen (u.a. MEIRI et al. 1971, CACHORRO et al. 1993). Sehr oft

bewirkt jedoch, im Gegensatz zu dem Spross und der Wurzel, eine steigende Na^+ -Akkumulation eine verstärkte Aufnahme und Einlagerung von K^+ in die Blätter (u.a. SALIM 1989, CACHORRO et al. 1993). In den eigenen Versuchen konnte dies bestätigt werden, so wurde sowohl bei den Baobabsämlingen als auch bei den Tamarindensämlingen eine Erhöhung der K^+ -Gehalte in den Blättern festgestellt.

Das K^+/Na^+ -Verhältnis in den Blättern reduzierte sich bei den Baobabsämlingen von 10,1 auf 0,42 und bei den Tamarindensämlingen von 5,85 auf 0,32. Die Verschiebung des Ionenverhältnisses kann ebenfalls bei den Baobabsämlingen eine Ursache für die aufgetretenen Blattschäden sein. Auffällig war, dass es bei den Baobabsämlingen zu einer starken Reduzierung der Kaliumgehalte im Spross kam. Eine Verbesserung in der Versorgung der Pflanze mit Ca^{2+} unter salinen Bedingungen kann einen positiven Effekt auf die K^+ -Aufnahme bewirken. Durch eine ausreichende Ca^{2+} -Versorgung wird die Fähigkeit der Wurzel erhalten Ionen selektiv aufzunehmen (GRATTAN und GRIEVE 1999). Auch eine zusätzliche K^+ -Gabe zur Bodenlösung kann die salzbedingten Einschränkungen der Pflanzen zum Teil ausgleichen (BOTELLA et al. 1997).

Für Wachstumsdepressionen bei Obstgehölzen sind die relativen Veränderungen der internen Ionenkonzentrationen unter Salzeinfluss von großer Bedeutung (EBERT 2000).

Abschließende Anmerkungen

Die hohe Variabilität der Versuchspflanzen innerhalb der Behandlungsvarianten, insbesondere bei Baobab, ist darauf zurückzuführen, dass die Pflanzen über Samen vermehrt wurden. Nach MORPURGO (1991) ist die Auswahl salztoleranter Kulturpflanzenarten oder die Auslese von Varietäten einer Art eine mögliche Strategie zur Bewältigung der Salinitätsprobleme aus der Sicht der Pflanzenproduktion. Auch bei züchterisch intensiv bearbeiteten Gehölzarten wie z.B. Obstgehölzen ist eine mehr oder weniger stark ausgeprägte intraspezifische Variabilität der Salztoleranz vorhanden. So können auch bei salzempfindlichen Arten wie Zitrusgewächsen durchaus tolerante Individuen ausgelesen bzw. gezüchtet werden (ZEKRI und PARSONS 1992).

Die hohe intraspezifische Variabilität der Sämlinge kann in Zukunft eine wichtige Grundlage für die Selektion von salztoleranten Individuen bei Baobab und Tamarinde darstellen. Besonders wenn Sorten von Baobab und Tamarinde in Zukunft im Sudan gezüchtet werden, die sich durch hervorragende Eigenschaften wie z.B. Fruchtqualität auszeichnen, jedoch salzempfindlich sind, dann ist es ebenso wichtig salztolerante Individuen zu selektieren. Die salztoleranten Auslesen könnten vegetativ vermehrt werden und als Unterlagen dienen und damit einen Anbau der

salzempfindlichen Sorten auf salzbelasteten Böden ermöglichen. Die Wahl einer geeigneten Unterlage, die der Veredelung eine höhere Salztoleranz als die Edelsorte verleiht, ist besonders in der Gattung *Citrus* die derzeit wichtigste Maßnahme zur Anpassung von Zitruspflanzen an saline Bedingungen (MAAS 1993b, STOREY und WALKER 1999).

Die gewonnenen Ergebnisse der Salzverträglichkeit beziehen sich auf Untersuchungen an Pflanzen im Sämlingsstadium. Es ist möglich, dass sich die Salztoleranz im weiteren Entwicklungsverlauf der Bäume noch ändert. Viele Obstgehölze sind besonders im Sämlingsstadium empfindlich gegenüber Salinität und entwickeln erst mit zunehmendem Alter eine gewisse Toleranz (MAAS 1990). Deshalb kann es sinnvoll sein Jungbäume zunächst in einem möglichst salzarmen Substrat anzuziehen, um sie nach der Etablierung auf Standorte mit höherem Salzgehalt zu verpflanzen (THERIOS und MISOPOLINOS 1988).

Ein wichtiger Aspekt sind die besonders in älteren Bäumen vorhandenen „Deponieräume“ für Salzionen, die vor allem in den verholzten Organen wie stärkeren Ästen, Stamm und Wurzeln vorhanden sind (ZISKA et al. 1991, MYERS et al. 1995, BOLAND et al. 1996). Durch die dortige Speicherung von Salzionen in den Zellen, Zellwänden und Interzellularen können die empfindlichen Blätter zumindest über eine gewisse Zeit vor zu hohen Schadsalzkonzentrationen geschützt werden. Die Anreicherung von Salzen in Bäumen kann ein über Jahre andauernder Prozess sein, während die Gehölze relativ salztolerant erscheinen. Sollten sich jedoch die Salzretentionsmechanismen im Baum erschöpfen, kann es zu einem plötzlichen Absterben des Baumes kommen (MYERS et al. 1995). So ist Vorsicht geboten, wenn im Kurzzeitversuch bei Bäumen ermittelte Toleranzgrenzen auf die Langzeitbedingungen der Obstbaupraxis übertragen werden sollen.

Die Toleranz gegenüber Salzen wird von einer Vielzahl von endogenen und exogenen Faktoren modifiziert wie z.B. der Zusammensetzung von Salzarten in der Bodenlösung, der Obstart bzw. -sorte, der Unterlage sowie dem Zeitpunkt und der Dauer der Salzbelastung im Jahresverlauf. In den eigenen Gewächshausversuchen unter kontrollierten Umweltbedingungen wurde lediglich die Salzart NaCl verwendet. Besonders bei Gehölzen hängt der Grad der Schädigung durch Salinität von der Zusammensetzung der Schadsalze in der Bodenlösung ab. Auf salzbeeinflussten Standorten sind Obstbäume in der Regel nicht nur einer einzigen Salzart wie in den eigenen Versuchen, sondern einem Gemisch verschiedener Salze ausgesetzt. So kommen neben NaCl auch Chloride anderer Metallionen und sulfatische Salze vor. NaCl gilt als besonders schädlich für Pflanzen, so führte es zu stärkeren Schädigungen bei Zitrusunterlagen als Na_2SO_4 (WALKER et al. 1993).

Dies liegt zum einen an der höheren Aufnahmerate von Cl^- im Vergleich zu SO_4^{2-} und zum anderen besitzt Cl^- auch eine stärkere Wirkung auf die Absenkung des osmotischen Potentials im Zellsaft (WALKER et al. 1993). Weiterhin wirkt Salzstress in der Bodenlösung, hervorgerufen durch unterschiedliche Salzarten, weniger schädigend auf die Pflanze als eine Bodenlösung gleicher Osmolarität, die durch nur eine einzige Salzart verursacht wurde (MUNNS und TERMAAT 1986).

Die Verwendung von reinem Quarzsand als Substrat führt ebenfalls zu Verstärkung der Salzeffekte von NaCl. Natürliche Böden sind in der Lage durch Pufferung Salzbelastungen in bestimmten Maße auszugleichen. Auf Böden, die aufgrund ihres guten Nährstoffstatus eine ausreichende Versorgung der Obstbäume ermöglichen, sind die Auswirkungen von Salzstress weniger stark ausgeprägt (MAAS 1986). Außerdem kam es zu einer Anreicherung (Steigerung der Salzkonzentration) von NaCl im Quarzsand, da durch die bemessene tägliche Wassergabe nur eine geringe Auswaschung der Salze möglich war.

Es wird daher vermutet, dass die Schadwirkung aufgrund der artifiziellen Bedingungen (nur NaCl als Schadsalz, Quarzsand als Substrat) verstärkt wurde und unter Feldbedingungen die Schädigungen nicht so stark ausgebildet worden wären. Weiterhin kann vermutet werden, dass die Salzempfindlichkeit der Baobab- und Tamarindensämlinge mit zunehmender Entwicklung abnimmt, da die Bäume dann über Speicherkapazitäten in Ästen, Stamm und Wurzeln verfügen.

Die eigenen Versuche haben ergeben (siehe auch Tabelle 5), dass die Baobabsämlinge bereits auf geringe Salzgehalte (20 mM) in der Bodenlösung sehr stark mit einem Rückgang des vegetativen Wachstums und einer Veränderung des Stoffwechsels reagieren und daher als sehr salzempfindlich eingestuft werden können. Im Gegensatz dazu reagierten die Tamarindensämlinge weniger deutlich auf die Salzgehalte in der Bodenlösung. Dies läßt vermuten, dass die Tamarinde zu den mäßig salztoleranten Obstgehölzen zählt und damit eher geeignet wäre für die Kultivierung in salzbelasteten semiariden und ariden Gebieten.

Der Autor empfiehlt nachfolgende Untersuchungen durchzuführen. Im Zentralsudan sollten Untersuchungen zur Identifizierung von Wildobstarten, die Evaluation ihres Nutzungspotenzials und die Entwicklung von Vermehrungsmöglichkeiten der Ökotypen mit besonderen Eigenschaften durchgeführt werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen könnten die Grundlagen für einen möglichen Anbau und eine vermehrte Nutzung dieser Ökotypen geschaffen werden.

In Deutschland müssten spezielle Untersuchungen zur Ökophysiologie und zu Fruchtinhaltsstoffen ausgewählter Wildobstgehölze durchgeführt werden um Arten herauszustellen, die für einen Anbau auf degradierten landwirtschaftlichen Flächen geeignet sind.

Tab. 5: Zusammenstellung ausgewählter Parameter nach 20 Wochen NaCl-Belastung.

Parameter	Baobabsämlinge	Tamarindensämlinge
Blattchlorosen	ab 20 mM	ab 40 mM
Blattnekrosen	ab 20 mM	keine
Reduzierung um 50%:		
Wuchshöhe	ab 40 mM	ab 60 mM
Blattfläche	ab 20 mM	ab 60 mM
Trockenmasse (TM)	ab 20 mM	ab 60 mM
Reduzierung um 50%:		
Photosynthese	ab 20 mM	ab 40 mM
Chlorophyllgehalte a und b	ab 60 mM	ab 40 mM
Mineralstoffgehalte (% der TM)		
bei 80 mM NaCl:		
Natrium	5%	2,5%
Chlorid	7%	4%
Kalzium	0,6%	0,91%
Kalium	0,96%	0,77%

9 ZUSAMMENFASSUNG

Die Felduntersuchungen im Sudan und die Versuche in den Gewächshäusern in Berlin-Dahlem haben folgende Ergebnisse erzielt:

1. Der Baobab (*Adansonia digitata*) ist ein mächtiger und laubabwerfender Baum, der im Sudan heimisch ist. Neben den Früchten bietet er eine Vielzahl von Verwendungsmöglichkeiten u.a. als Nahrungs- und Heilmittel.
2. Die Tamarinde (*Tamarindus indica*) ist ein graziöser und immergrüner Baum, der im Sudan verbreitet ist. Die Früchte sind bei der Bevölkerung sehr begehrt. Weiterhin ist er Grundlage für viele Forstprodukte.
3. Im Zentralsudan konnten weitere Wildobstarten identifiziert werden, die zur Sicherung der Nahrungsgrundlage der ländlichen Bevölkerung in den Savannen beitragen.
4. Vor allem im Nordsudan existieren große, potenzielle Agrarflächen, auf denen die Bodenversalzung als limitierender Faktor wirkt. Um Nahrungssicherheit für die zunehmende Bevölkerung zu gewährleisten, erlagen diese marginalen Flächen immer mehr an Bedeutung.
5. Die Gewächshausversuche über einen Zeitraum von 20 Wochen zeigten, dass bei *Adansonia digitata*-Sämlingen das Wachstum und der Stoffwechsel bereits bei Salzbelastungen von 20 mM NaCl stark beeinflusst wurden. Daher kann diese Art im Sämlingsstadium als sehr salzempfindlich eingestuft werden.
6. *Tamarindus indica*-Sämlinge tolerierten Salzbelastungen von 40 mM NaCl. Daraus folgt, dass die Tamarinde im Vergleich zu anderen Obstarten im Sämlingsstadium relativ salzverträglich ist.
7. Unter den gegebenen Versuchsumständen ist zu vermuten, dass die Tamarinde eher geeignet scheint für die Kultivierung in salzbelasteten semiariden Gebieten.
8. Weitere Untersuchungen sind notwendig und vielversprechend.

10 SUMMARY

The field studies in Sudan and the experiments in the greenhouse in Berlin-Dahlem have shown the following results:

1. The Baobab (*Adansonia digitata*) is a massive, deciduous tree and native to Sudan. Beside its fruits, the Baobab has an exceedingly wide range of uses ranging from food and beverages to medicinal uses.
2. The tamarind (*Tamarindus indica*) is an aesthetic, evergreen tree and grows wild throughout Sudan. Its fruits are highly appreciated by the people. In addition, the tree provides a diversity of further important forest products.
3. A number of under-utilised species with edible fruits were identified in Central Sudan. Fruits of these indigenous species play an important role in the diet of rural people in the savanna belt, especially during famines and food shortages.
4. Particularly in Northern Sudan there are vast areas of potentially arable land which are affected by salinity to variable degrees. In order to maintain food security for the increasing population, this land is becoming more and more important.
5. The results of the greenhouse experiments over a period of 20 weeks indicate that a salinity level of 20 mM NaCl strongly influences growth and metabolism of *Adansonia digitata* seedlings. Therefore in the seedling stage the species can be characterised as salt-sensitive.
6. *Tamarindus indica* seedlings tolerated a salinity level of 40 mM NaCl. This indicates that in the seedling stage tamarind is a fairly salt tolerant tree species compared to other fruit trees.
7. The conclusion of the greenhouse experiments indicates that the tamarind seems to be the more suitable under-utilized fruit tree species for cultivation in semi-arid areas with salinity problems.
8. Further investigations in this research area are necessary and promising.

11 LITERATURVERZEICHNIS

- ABROL I.P., YADAV J.S.P. AND MASSOUD F.I. 1988: Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin 39, Italy.
- ADDY E.O. AND ETESHOLA E. 1984: Nutritive value of mixture of tigernut tubers (*Cyperus esculentus* L.) and baobab seeds (*Adansonia digitata* L.). Journal of the Science of Food and Agriculture. 35, 437-440.
- AHMED A.A. 1982: Land use history of Jebel Marra, Sudan, as related to the present distribution of woody vegetation. GeoJournal. 6, 5-14.
- AKHTAR M. 1993: Desertification in the Butana. GeoJournal. 31, 41-50.
- AKHTAR M., MENSCHING H.G., PFLAUMBAUM H. AND PÖRTGE K.-H. 1992: The natural potential of a transition zone - examples from different ecosystem units of the Sahel, Republic of Sudan. Zeitschrift für Geomorphologie. 91, 175-184.
- ALI-DINAR H.M., ABDELRAHMAN E., EL-SIDDIG K. AND LÜDDERS P. 1997: Fruit Crops Growing in Sudan: Present Status and Future Prospects. Ressourcenknappheit und Erhaltung der Lebensgrundlage - die Herausforderung für die Zukunft. Humboldt Universität Berlin, Deutschland.
- ALI-DINAR H.M., EBERT G. AND LÜDDERS P. 1998: Biomass production and partitioning of Guava (*Psidium guajava* L.) in response to salinity and nitrogen nutrition. Angewandte Botanik. 72, 56-60.
- ALLEN O. AND ALLEN E. 1981: The Leguminosae. The University of Wisconsin Press, USA.
- AMBERGER A. 1979: Pflanzenernährung. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- ANONYMUS 1976: Wealth of India. Council of Science and Industrial Research, India.
- ANONYMUS 1979: Tropical Legumes: Resources for the Future. National Academy of Sciences, USA.
- ANONYMUS 1989: Tamarind - Brochure. Indian Council of Forestry Research and Education, India.
- ANONYMUS 1996, download 28.01.00: Tamarind. <http://www.crfg.org/pubs/ff/tamarind.html>.
- ANONYMUS 2001, download 01.11.01: The Baobab (*Adansonia digitata*). <http://www.naturelink.co.za/Descriptions/Baobab.htm>.

- AUSWÄRTIGES AMT 2001, download 27.12.01: Sudan: Allgemeine Informationen. [wysiwyg://10/http://www.auswaertiges-amt....aender_ausgabe_html?land_id=163&type_id=3](http://www.auswaertiges-amt.de/aender_ausgabe_html?land_id=163&type_id=3).
- BABIKER A.A.G. 1982: Urbanisation and desertification in the Sudan with special reference to Khartoum. *GeoJournal*. 6, 69-76.
- BAÑULS J. AND PRIMO-MILLO E. 1995: Effects of salinity on some *Citrus* scion-rootstock combinations. *Annals of Botany*. 76, 97-102.
- BAÑULS J., SERNA M.D., LEGAZ M. AND PRIMO-MILLO E. 1997: Growth and gas exchange parameters of *Citrus* plants stressed with different salts. *Journal of Plant Physiology*. 150, 194-199.
- BARMINAS J.T., CARLES M. AND EMMANUEL D. 1998: Mineral composition of non-conventional leafy vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*. 53, 29-36.
- BARNES R.F.W. 1980: The decline of the baobab tree in Ruaha National Park, Tanzania. *African Journal of Ecology*. 18, 243-252.
- BARROW C.J. 1994: *Land Degradation*. Cambridge University Press, UK.
- BÄRTELS A. 1996: *Farbatlas Tropenpflanzen*. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- BASHIR M. 2001: *Sudan Country Study on Biodiversity*. Silver Star Press, UK.
- BAUM D.A. 1995: The comparative pollination and floral biology of baobabs (*Adansonia*-Bombacaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 82, 322-348.
- BAUM D.A., SMALL R.L. AND WENDEL J.F. 1998: Biogeography and floral evolution of baobabs (*Adansonia*, Bombacaceae) as inferred from multiple data sets. *Systematic Biology*. 47, 181-207.
- BECKER T. 2000, download 26.11.01: Nubien - Land am Nil. <http://www.nubien.de/nil3.shtml>.
- BEESE F.O., FRAEDRICH K., KLEMMER P., KOKOTT J., KRUSE-GRAUMANN L., RENN O., SCHELLNHUBER H.-J., SCHULZE E.-D., TILZER M., VELSINGER P. UND ZIMMERMANN H. 1997: *Welt im Wandel: Wege zu einem nachhaltigen Umgang mit Süßwasser*. Springer-Verlag, Deutschland.
- BEHBOUDIAN H.M., TÖRÖKFALVY E. AND WALKER R.R. 1986: Effects of salinity on ionic content, water relations and gas exchange parameters in some citrus scion-rootstock combinations. *Scientia Horticulturae*. 28, 105-116.

- BEN-HAYYIM G., KAFKAFI U. AND GANMORE-NEUMANN R. 1987: Role of internal potassium in maintaining growth of cultured citrus cells on increasing NaCl and CaCl₂ concentrations. *Plant Physiology*. 85, 435-439.
- BENJAK U. UND ENDERS U. 1992: Sudan. Conrad Stein Verlag, Deutschland.
- BEYER D.N. 2002: Die Wüste kommt. *WWF Journal*. 1, 30-34.
- BLANKE R. 1999: Farbatlas Pflanzen der Karibik und Mittelamerikas. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- BLISS F. 1989: Leben mit der Dürre: Alltag und Entwicklungsprobleme im Sahel am Beispiel der Provinz Darfur, Sudan. Horlemann Verlag und Vertrieb, Deutschland.
- BML 1999: Schutz und Bewirtschaftung der Tropenwälder: 6. Tropenwaldbericht der Bundesregierung. Fisch Druck, Deutschland.
- BMZ 1992: Eine Welt - eine Umwelt. Gütersloher Druckservice, Deutschland.
- BOLAND A.M., MITCHELL P.D., IRVINE J.L. AND NARDELLA N. 1996: The effect of a saline and non-saline water table on peach trees use, growth, productivity and ion uptake. *Australian Journal of Agricultural Research*. 47, 121-139.
- BOLE P.V. 1999: *Tamarindus indica*. Enzyklopädie der Holzgewächse. Band 3, Hrsg.: Schütt P., Schuck H., Aas G. und Lang U., ecomed Verlagsgesellschaft, Deutschland.
- BONGAARTS J. 1994: Genug Nahrung für 10 Milliarden Menschen?. *Spektrum der Wissenschaft*. 5, 86-92.
- BONGI G. AND LORETO F. 1989: Gas-exchange properties of salt stressed olive (*Olea europea* L.) leaves. *Plant Physiology*. 90, 1408-1416.
- BONKOUNGOU E.G. DJIMDE M., AYUK E.T., ZOUNGRANA I. AND TCHOUNDJEU Z. 1999: The market potential of parkland trees. *Agroforestry Today*. 11, 13-15.
- BOTELLA M.A., MARTINEZ V., PARDINES J. AND CERDA J. 1997: Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *Journal of Plant Physiology*. 150, 200-205.
- BOYKO H. 1966: Salinity and Aridity: New Approaches to Old Problems. Zuid-Nederlandsche Drukkerij N.V., Netherlands.
- BREMAN H. AND KESSLER J.J. 1995: Woody Plants in Agro-Ecosystems of Semi-Arid Regions. Springer Verlag, Germany.

- BURAYMAH I.M. 2000: Degradation and Rehabilitation of Marginal Lands in the Arab Region. Agricultural Research Corporation, Sudan.
- BURAYMAH I.M. AND WEBSTER R. 1989: Variation in soil properties caused by irrigation and cultivation in the Central Gezira of Sudan. *Soil and Tillage Research*. 13, 57-74.
- BUWALDA A.O., OTSYINA R., FILSON G. AND MACHADO V.S. 1997: Indigenous miombo fruit trees - health and wealth for Sukuma people. *Agroforestry Today*. 9, 23-25.
- CACHORRO P., ORTIZ P. AND CERDA A. 1993: Growth, water relations and solute composition of *Phaseolus vulgaris* L. under saline conditions. *Plant Science*. 95, 23-29.
- CAMPBELL C.W. 1982: Performance of tamarind selections in Florida. *HortScience*. 17, 494.
- CAPUTO R. 1982: Sudan: Arab-African Giant. *National Geographic Magazine*. 161, 346-379.
- CARR W.R. 1955: Ascorbic acid content of baobab fruit. *Nature*. 176, 1237.
- CHAPMAN K.R. 1983: Tropical Tree Fruits for Australia. Queensland Department of Primary Industries, Australia.
- CHOW W.S., BALL M.C. AND ANDERSON J.M. 1990: Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: implications of K⁺ nutrition for salt tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology*. 17, 563-578.
- COE M.J. AND ISAAC F.M. 1965: Pollination of the baobab (*Adansonia digitata* L.) by the lesser bush baby (*Galago crassicaudatus* E. Geoffroy). *East African Wildlife*. 3, 123-124.
- COOKE T. 1967: The flora of the Presidency of Bombay. *Botanical Survey of India*. 1, 457-458.
- COOMBS J., HALL D.O., LONG S.P. AND SCURLOCK J.M.O. 1985: Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Pergamon Press Ltd, UK.
- CORVALLIS O.R. 1999, download 11.02.00: Tamarino or Tamarinds. <http://www.orst.edu/food-resource/gums/tam.html>.
- CRAIG G.M. 1991: The Agriculture of the Sudan. Oxford University Press, UK.

- CRAMER G.R. AND SPUR A.R. 1986: Responses of lettuce to salinity: I. effect of NaCl and Na₂SO₄ on growth. *Journal of Plant Nutrition*. 9, 115-130.
- DAKO D.Y. 1981: Potential of dehydrated leaves and cocoyam leaf protein in the Ghanaian diet. *Nutrition Reports International*. 23, 181-187.
- DANERT S. ET AL. 1993: *Urania Pflanzenreich: Blütenpflanzen 2*. Urania Verlag, Deutschland.
- DANTHU P., ROUSSEL J., GAYE A. AND EL MAZZOUDI E.H. 1995: Baobab (*Adansonia digitata* L.) seed pretreatments for germination improvement. *Seed Science and Technology*. 23, 469-475.
- DABLER E. UND HEITMANN G. 1991: *Obst und Gemüse*. Verlag Paul Parey, Deutschland.
- DELISLE H., BAKARI S., GEVRY G., PICARD C. AND FERLAND G. 1997: Provitamin A content of traditional green leaves from Niger. *Cahiers Agricultures*. 6, 553-560.
- DESAI U.T. AND SINGH R.N. 1983: Biochemical studies in guava as influenced by salinity. *The Indian Journal of Horticulture*. 40, 160-164.
- DIRAR H.A. 1993: *The Indigenous Fermented Foods of the Sudan*. CAB International, UK.
- DÖRING J. UND LÜDDERS P. 1986: Einfluß verschiedener Salze auf Mineralstoffgehalt und vegetatives Wachstum von *Punica granatum* L.. *Angewandte Botanik*. 60, 31-40.
- DOWNTON W.J.S. 1977: Photosynthesis in salt-stressed grapevines. *Australian Journal of Plant Physiology*. 4, 183-192.
- DOWNTON W.J.S. 1978: Growth and flowering in salt-stressed avocado trees. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 523-534.
- DOWNTON W.J.S. 1984: Salt tolerance of food crops: perspectives for improvement. *Critical Reviews in Plant Science*. 1,
- EBERT G. 1998: Growth, ion uptake and gas exchange of two *Annona* species under salt stress. *Angewandte Botanik*. 72, 62-65.
- EBERT G. 2000: Salinity problems in (sub-) tropical fruit production. *Acta Horticulturae*. 531, 99-105.
- EBERT G., CASIERRA F. AND LÜDDERS P. 1999a: Influence of NaCl salinity on growth and mineral uptake of Lulo (*Solanum quitoense* L.). *Angewandte Botanik*. 73, 31-33.

- EBERT G., EBERLE J., ALI-DINAR H. AND LÜDDERS P. 2002: Ameliorating effect of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on growth, mineral uptake and photosynthesis of NaCl-stressed guava seedlings (*Psidium guajava* L.). *Scientia Horticulturae*. 93, 125-135.
- EBERT G., MISCHORR T. AND LÜDDERS P. 1999b: Intraspecific variation in response to drought and salinity in *Opuntia ficus-indica*. *Advances in Horticultural Science*. 13, 36-40.
- EHLIG C.F. 1964: Salt tolerance of raspberry, boysenberry, and blackberry. *Proceedings of the American Society of Horticultural Science*. 85, 318-324.
- EL AMIN H.M. 1990: *Trees and Shrubs of the Sudan*. Ithaca Press, UK.
- EL KHALIFA K.F.E., EL NOUR M. AND EL MATARI Y. 1995: Juvenile development of *Tamarindus indica* (L.) seedlings. *University of Khartoum Journal of Agricultural Science*. 3, 77-85.
- EL-KAROURI M.O.H. 1978, download 29.04.02: Effect of soil salinity on the productivity of arid lands, with special reference to Sudan. <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/80044e/80044EO7.htm>.
- EL-SIDDIG K., EBERT G. AND LÜDDERS P. 1999: Tamarind (*Tamarindus indica* L.): a review on a multipurpose tree with promising future in the Sudan. *Journal of Applied Botany*. 73, 202-205.
- EL-SIDDIG K., EBERT G. AND LÜDDERS P. 2000: A comparison of pretreatment methods for scarification and germination of *Tamarindus indica* L. seeds. *Seed Science and Technology*. 29, 271-274.
- ENGELHARD K. 2000: *Welt im Wandel: Die gemeinsame Verantwortung der Industrie- und Entwicklungsländer*. Omina, Deutschland.
- ERHARDT W., GÖTZ E, BÖDEKER N. UND SEYBOLD S. 2000: *Zander, Handwörterbuch der Pflanzennamen*. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- EROMOSELE I.C., EROMOSELE C.O. AND KUZHKUZHA D.M. 1991: Evaluation of mineral elements and ascorbic acid contents in fruits of some wild plants. *Plant Foods for Human Nutrition*. 41, 151-154.
- ESENOWO G.J. 1991: Studies on germination of *Adansonia digitata* seeds. *Journal of Agricultural Science*. 117, 81-84.
- ETEJERE E.O. AND OSATIMEHIN D.A. 1984: Some aspects of growth of *Adansonia digitata* L.. *Indian Journal of Plant Physiology*. 27, 190-200.

- FAO 1997, download 19.03.02: Sudan. <http://www.fao.org/landandwater/aglw/aquastat/countries/sudan/sudan1.htm>.
- FAO 1988a: *Adansonia digitata*. FAO Food and Nutrition Paper. 42, 63-67.
- FAO 1988b: *Tamarindus indica*. FAO Food and Nutrition Paper. 42, 479-485.
- FAO 2000: Der Weltbericht zu Hunger und Unterernährung 2000. FAO, Italy.
- FAO 2002, download 10.03.02: Dryland degradation: a people problem. <http://www.fao.org/news/2002/020205-e.htm>.
- FELLENBERG G. 1999: Umweltbelastungen. Teubner, Deutschland.
- FELTER H.W. AND LLOYD J.U. 1998, download 01.11.01: *Adansonia*.-Baobab.. <http://www.ibiblio.org/herbmed/eclectic/kings/adansonia.html>.
- FENNER M. 1980: Some measurements on the water relations of baobab trees. *Biotropica*. 12, 205-209.
- FLEURET A. 1980: Nonfood uses of plants in Usambara. *Economic Botany*. 34, 320-333.
- FLOWERS T.J., TROKE P.F. AND YEO A.R. 1977: The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 28, 89-121.
- FRANKE ET AL. 1989: Früchte der Erde. Urania Verlag, Deutschland.
- FRANKE W. 1997: Nutzpflanzenkunde. Georg Thieme Verlag, Deutschland.
- GABRIEL B. 1996: Klima- und Landschaftswandel im Nord-Sudan: Die Umwelt des Menschen in der Vor- und Frühgeschichte. *Das Altertum*. 42, 35-48.
- GAMBLE J.S. 1972: A Manual of Indian Timbers. Sampson, Low, Marston and Co, UK.
- GARCIA-LEGAZ M.F., ORTIZ J.M., GARCIA-LIDON A.G. AND CERDA A. 1993: Effect of salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate in lemon varieties on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*. 89, 427-432.
- GARRITY D. 2000, download 15.11.01: Agroforestry – the basics. http://www.icraf.cgiar.org/ag_facts/ag_facts.htm.
- GARRITY D. 2001a, download 01.11.01: *Adansonia digitata*. <http://198.93.235.8/cfdocs/examples/treesd/AFT/cfm/SpeciesInfo.cfm?SpID=143>.

- GARRITY D. 2001b, download 01.11.01: *Tamarindus indica*. <http://198.93.235.8/cfdocs/examples/treessd/AFT/cfm/SpeciesInfo.cfm?SpID=1589>.
- GHASSEMI F., JAKEMAN A.J. AND NIX H.A. 1995: Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies. Cab International, UK.
- GLEW R.H., VANDERJAGT D.J., LOCKETT C., GRIVETTI L.E., SMITH G.C., PASTUSZYN A. AND MILLSON M. 1997: Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis*. 10, 205-207.
- GOLOMBEK S. 1991: Einfluß von NaCl auf Gaswechsel und Kohlenhydratstoffwechsel von *Ficus carica* L.. Dissertation am FG Obstbau der Technischen Universität Berlin, Deutschland.
- GORDON C. 1997: Botanica. Sing Cheong Printing, China.
- GRAFE R. 1999: Landeskonzept Sudan. Deutsche Welthungerhilfe, Deutschland.
- GRAIFENBERG A., GIUSTINIANI L., TEMPERINI O. AND LIPUCCI DI PAOLA M. 1995: Allocation of Na, Cl, K and Ca within plant tissues in globe artichoke (*Cynara scolimus* L.) under saline-sodic conditions. *Scientia Horticulturae*. 63, 1-10.
- GRATTAN S.R. AND GRIEVE C.M. 1999: Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*. 78, 127-157.
- GREENWAY H. AND MUNNS R. 1980: Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes. *Annual Reviews of Plant Physiology*. 31, 149-190.
- GRIEVE M. 1995, download 28.01.00: Tamarinds. <http://www.botanical.com/botanical/mgmh/t/tamarind04.html#med>.
- GRIFFITHS M. 1992: The New Royal Horticulture Society Dictionary of Gardening. Royal Horticulture Society, UK.
- GUNASENA H.P.M. 2001: Underutilised fruits to enhance food and nutrient security. *Global Newsletter on Underutilized Crops*. 1, 3-4.
- GUNASENA H.P.M. AND HUGHES A. 2000: Tamrind, *Tamarindus indica* L.. Redwood Books, UK.
- GUY P.R. 1982: Baobabs and elephants. *African Journal of Ecology*. 20, 215-220.
- GYSIN H.-R. 1984: Tropen Früchte. AT Verlag Aaran, Schweiz.

- HAMMER T. 2000: Desertifikation im Sahel. Geographische Rundschau. 11, 4-10.
- HANSEN E.H. AND MUNNS D.N. 1988: Effect of CaSO₄ and NaCl on mineral content of *Leucaena leucocephala*. Plant and Soil. 107, 101-105.
- HAQ N. 2002: Fruits for the future: baobab. Factsheet of the International Centre for Underutilized Crops. 4, 1-2.
- HATZMANN S., EBERT G. AND LÜDDERS P. 1991: Influences of NaCl salinity on growth, ion uptake, and gas exchange of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Angewandte Botanik. 65, 161-168.
- HERNANDEZ-UNZON H.Y. AND LAKSHMINARAYANA S. 1982: Developmental physiology of tamarind fruit (*Tamarindus indica* L.). HortScience. 17, 938-940.
- HERRMANN K. 1987: Exotische Lebensmittel. Springer-Verlag, Deutschland.
- HINTGEN N. 2001, download 01.11.01: Baobab. <http://www.blueplanetbiomes.org/baobab.htm>.
- HUGHES A. 1999: Fruits for the future: tamarind. Factsheet of the International Centre of Underutilized Crops. 1, 1-2.
- HUNTINGS T.S. 1964: Roseres Soil Survey, Report No. 5. Ministry of Agriculture, Sudan.
- IBIYEMI S.A., ABIODUN A. AND AKANJI S.A. 1988: *Adansonia digitata* Bombax and *Parkia filicoideae* Welw: fruit pulp for the soft drink industry . Food Chemistry. 28, 111-116.
- IBRAHIM F.N. 1988: Causes of the famine among the rural population of the Sahelian Zone of the Sudan. GeoJournal. 17, 133-141.
- IGBOELI L.C., ADDY E.O.H. AND SALAMI L.I. 1997: Effects of some processing techniques on the antinutrient contents of baobab seeds (*Adansonia digitata*). Bioresource Technology. 59, 29-31.
- IVANOVA A.S. 1974: Effet of soil salinization on growth and development of peach. Fiziologiya Rastenii. 21, 995-999.
- JENUWEIN H. 1992: Tropische Nutzpflanzen für Wintergarten und Terrasse. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- JOHNS L. AND STEVENSON V. 1979: The Complete Book of Fruits. August and Robertson Publishers, Singapore.

- JOYNER G. 2000, download 16.04.01: The Tamarind. <http://www.gate.net/~tfnews/35tamjoy.htm>.
- KARAKAS B., LO BIANCO R. AND RIEGER M. 2000: Association of marginal leaf scorch with sodium accumulation in salt-stressed peach. *HortScience*. 1, 83-84.
- KARMANN M. UND LORBACH I. 2002, download 25.02.02: Utilization of non-timber tree products in dryland areas: examples from southern and eastern Africa. <http://fao.org/docrep/W3735E/w3735e12.htm>.
- KARSTENS G.-S., EBERT G. AND LÜDDERS P. 1993: Long-term and short-term effects of salinity in root respiration, photosynthesis and transpiration of citrus rootstock. *Angewandte Botanik*. 67, 3-8.
- KIBON A. AND ORSKOV E.R. 1993: The use of degradation characteristics of browse plants to predict intake and digestibility by goats. *Animal Production*. 57, 247-251.
- KIRKBY J. 2001: Saving the Gash Delta, Sudan. *Land Degradation and Development*. 12, 225-236.
- KNAPP R. 1973: *Die Vegetation von Afrika*. Gustav Fischer Verlag, Deutschland.
- KRATOCHVIL H. 1995: *Lexikon Exotischer Früchte*. Verlag Brüder Hollinek, Österreich.
- KREEB K.H. 1996: Salzstress. Stress bei Pflanzen. Hrsg.: Brunold Ch., Rüegegger A. und Brändle R., Verlag Paul Haupt, Deutschland.
- KUNKEL G. 1978: *Flowering trees in subtropical gardens*. The Hague, UK.
- LAND AND WATER RESEARCH CENTRE 2001: *Reclamation, Management and Conservation of Degraded Lands in Sudan*. Agricultural Research Corporation, Sudan.
- LARCHER W. 1994: *Ökophysiologie der Pflanze*. Verlag Eugen Ulmer, Deutschland.
- LE HOUEROU 2001, download 16.04.01: *Tamarindus indica* L.. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/DATA/Pf000172.htm>.
- LESSANI H. AND MARSCHNER H. 1978: Relation between salt tolerance and long-distance transport of sodium and chloride in various crop species. *Australian Journal of Plant Physiology*. 5, 27-37.
- LIEBSTER G. 1990: *Warenkunde Obst und Gemüse*. morion Verlagsproduktion, Deutschland.

- LLOYD J. AND HOWIE H. 1989: Response of orchard 'Washington navel orange', *Citrus sinensis* (L.) Osbeck to saline irrigation water: I. canopy characteristics and seasonal patterns in leaf osmotic potential, carbohydrates and ion concentrations. Australian Journal of Agricultural Research. 40, 259-369.
- LLOYD J., KRIEDEMANN P.E. AND ASPINALL D. 1989: Comparative sensitivity of Prior Lisbon lemon and Valencia orange trees to foliar sodium and chloride concentrations. Plant, Cell and Environment . 12, 529-540.
- LLOYD J., KRIEDEMANN P.E. AND ASPINALL D. 1990: Contrasts between *Citrus* species in response to salinisation: an analysis of photosynthesis and water relations for different rootstock-scion combination. Physiologia Plantarum. 78, 236-346.
- LLOYD J., SYVERTSEN J.P. AND KRIEDEMANN P.E. 1987: Salinity effects on leaf water relations and gas exchange of Valencia orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, on rootstocks with different salt exclusion characteristics. Australian Journal of Plant Physiology. 14, 605-617.
- LÖTSCHERT W. UND BEESE G. 1992: Pflanzen der Tropen. BLV Verlagsgesellschaft, Deutschland.
- MAAS E.V. 1986: Salt tolerance of plants. Applied Agricultural Research. 1, 12-26.
- MAAS E.V. 1990: Crop salt tolerance. Agricultural Salinity Assessment and Management. Band 1, Hrsg.: Tanji K.K., ASCE, USA.
- MAAS E.V. 1993a: Testing crops for salinity tolerance. Proceedings of a Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress. 1, 94-102.
- MAAS E.V. 1993b: Salinity and citriculture. Tree Physiology. 12, 195-216.
- MAHESHWARI J.K. 1971: The Baobab tree: disjunctive distribution and conservation. Biological Conservation. 4, 57-60.
- MARSCHNER H. 1995: Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, UK.
- MARSCHNER H. UND OSSENBERG-NEUHAUS H. 1976: Langstreckentransport von Natrium in Bohnenpflanzen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde. 139, 129-142.
- MAXWELL S. 1991: To Cure all Hunger: Food Policy and Food Security in Sudan. Short Run Press, UK.
- MEIRI A., KAMBUROFF J. AND POLJAKOFF-MAYBER A. 1971: Response of bean plant to sodium chloride and sodium sulphate salinization. Annals of Botany. 35, 837-847.

- MENGEL K. 1984: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Deutschland.
- METZ H.CH. 1992: Sudan a Country Study. U.S. Government Printig Office, USA.
- MILIMO P.B., DICK J.MCP. AND MUNRO R.C. 1992: Domestication of trees in semi-arid East Africa: the current situation. Tropical Trees: The Potential for Domestication and the Rebuilding of Forest Resources. Band 1, Hrsg.: Leakey R.R.B. and Newton A.C., Edinburgh Centre for Tropical Forests, UK.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, NATURAL RESOURCES AND ANIMAL WEALTH 1996: Sudan National Report to the: International Plant Genetic Resources. Ministry of Agriculture, Sudan.
- MOHAMED E.A. 1999: Sudanese Agriculture 1990 - 1997: Policies, Production Trends and International Competitiveness. German Development Institute, Deutschland.
- MORPURGO R. 1991: Correlation between potato clones in-vivo and in-vitro under sodium chloride stress conditions. Plant Breeding. 107, 80-82.
- MÖRSCHER F. 2002: Gute Wüste - schlechte Wüste. WWF Journal. 1, 4-5.
- MORTON J.F. 1987: Fruits of warm climates. Creative Resource Systems, USA.
- MUNNS R. 1993: Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment. 16, 15-24.
- MUNNS R. AND TERMAAT A. 1986: Whole-plant responses to salinity. Australian Journal of Plant Physiology. 13, 143-160.
- MUNZINGER 2002: Infobase Länder: Sudan. Munzinger CD-ROM Archiv 4.2.
- MUOK B.O., OWUOR B, DAWSON I. AND WERE J. 2001: The potential of indigenous fruit trees: results of a survey in Kitui District, Kenya. Agroforestry Today. 1, 13-16.
- MUSTAFA M.A. 1973: Appraisal of the water quality of the Blue and White Niles for irrigation use. African Soils. 18, 113-124.
- MYERS B.A., WEST D.W., CALLINAN L. AND HUNTER C.C. 1995: Long term effects of saline irrigation on the yield and growth of Williams pear trees. Irrigation Science. 16, 35-46.
- NASTOU A., THERIOS I., DIMASSI K. AND VIGO C. 2002: Effect of different levels of NaCl-induced salinity on the distribution of P, K, Ca, Mg, Na and Cl in six citrus rootstocks. Advances in Horticultural Science. 16, 53-62.

- NELSON R. 1990: Dryland Management: The "Desertification" Problem. The World Bank, USA.
- NIEVES M., CERDA A. AND BOTELLA M. 1991: Salt tolerance of two lemon scions measured by leaf chloride and sodium accumulation. *Journal of Plant Nutrition*. 14, 623-636.
- NOAD T. AND BIRNIE A. 1990: *Trees of Kenya*. Kul Graphics, Kenya.
- NOUR A.A., MAGBOUL B.I. AND KHERI N.H. 1980: Chemical composition of baobab fruit (*Adansonia digitata* L.). *Tropical Science*. 22, 383-388.
- NOWAK B. UND SCHULZ B. 1998: *Tropische Früchte: Biologie, Verwendung, Anbau und Ernte*. BLV Verlagsgesellschaft, Deutschland.
- OBIZOBA I. C. AND ANYIKA J.U. 1994: Nutritive value of baobab milk (gubdi) and mixtures of baobab (*Adansonia digitata* L.) and hungry rice, acha (*Digitaria exilis*) flours. *Plant Foods for Human Nutrition*. 46, 157-165.
- OERTLI J.J. 1971: A whole-system approach to water physiology in plants. *Advancin Fontiers of Plant Sciences*. 27, 1-283.
- OKAFOR J.C. 1980: Trees for food and fodder in the savanna areas of Nigeria. *International Tree Crops Journal*. 1, 131-141.
- OKUBO M. AND SAKURATANI T. 2000: Effects of sodium chloride on survival and stem elongation of two Asian pear rootstock seedlings. *Scientia Horticulturae*. 85, 89-90.
- OWEN J. 1970: The medico-social and cultural significance of *Adansonia digitata* (baobab) in African communities. *African Notes*. 6, 24-36.
- PACKHAM J. 1993: The value of indigenous fruit-bearing trees in Miombo Woodland Areas of South-Central Africa. *Rural Development Forestry Network Paper*. 15, 13-20.
- PAHLOW M. 1993: *Das große Buch der Heilpflanzen*. Gräfe und Unzer Verlag, Deutschland.
- PALGRAVE K.C. 1993: *Trees of Southern Africa*. Struik Publisher, South Africa.
- PALGRAVE O.H.C. 1957: *Trees of Central Africa*. University Press Glasgow, UK.
- PEZESHKI S.R. AND CHAMBERS J.L. 1986: Effect of soil salinity on stomatal conductance and photosynthesis of green ash (*Fraxinus pennsylvanica*). *Canadian Journal of Forest Research*. 16, 569-573.

- PIMENTEL D. AND HALL C.W. 1989: Food and Natural Resources. Academic Press, Inc., USA.
- PORSCH O. 1935: Zur Blütenbiologie des Affenbrotbaumes. Österreichische Botanische Zeitschrift. 84, 219-224.
- PRINS H. AND MAGHEMBE J.A. 1994: Germination studies on seed of fruit trees indigenous to Malawi. Forest Ecology and Management. 64, 111-125.
- PURSEGLOVE J.W. 1982: Tropical Crops: Dicotyledons. Longman Group Ltd, UK.
- RAINS D.W. 1972: Salt transport by plants in relation to salinity. Annual Review of Plant Physiology. 23, 367-388.
- RANDALL R. 2001, download 28.01.00: Dicotyledons. http://users.wantree.com.au/~weeds/western_weeds/bud_cac_caes.htm.
- RASHFORD J. 1994: Africa's baobab tree: Why monkey names?. Journal of Ethnobiology. 14, 173-183.
- RENGEL Z. 1992: The role of calcium in salt toxicity. Plant, Cell and Environment. 15, 625-632.
- ROCHELEAU D., WEBER W. AND FIELD-JUMA A. 1988: Agroforestry in Dryland. English Press, UK.
- ROSA K.R.D. 1993, download 22.09.00: *Tamarindus indica* - a widely adapted, multipurpose fruit tree. http://www.winrock.org/forestry/FACTPUB/AIS_web/AIS17.html.
- RUIZ D., MARTINEZ V. AND CERDA A. 1999: Demarcating specific ion (NaCl, Cl⁻, Na⁺) and osmotic effects in response of two citrus rootstocks to salinity. Scientia Horticulturae. 80, 213-224.
- SAHNI K.C. 1968: Important Trees of the Northern Sudan. Khartoum University Press, Sudan.
- SAKA J.D.K., MSONTHI J.D. AND MAGHEMBE J.A. 1994: Nutritional value of edible fruits of indigenous wild trees in Malawi. Forest Ecology and Management. 64, 245-248.
- SALIM M. 1989: Effects of NaCl and KCl salinity on growth and ionic relations of red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 163, 338-344.
- SAMSON J. 1986: Tropical Fruits. Longman Group, USA.

- SCHEMMERLING B. UND UHLARZ H. 1998: *Adansonia digitata* L.. Blätter aus dem Botanischen Garten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. 2, 20.
- SCHÜTT P. UND WOLF H. 1996: *Adansonia digitata*. Enzyklopädie der Holzgewächse. Band 3, Hrsg.: Schütt P., Schuck H., Aas G. und Lang U., ecomed Verlagsgesellschaft, Deutschland.
- SEEMAN J.R. AND CRITCHLEY C. 1985: Effects of salt stress on the growth, ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt-sensitive species, *Phaseolus vulgaris*. *Planta*. 164, 151-162.
- SENA L.P., VANDERJAGT D.J., RIVERA C., TSIN A.T.C., MUHAMADU I., MAHAMADOU O., MILLSON M., PASTUSZYN A. AND GLEW R.H. 1998: Analysis of nutritional components of eight famine foods of the Republic of Niger. *Plant Foods for Human Nutrition*. 52, 17-30.
- SHAY G. 1990: *Saline Agriculture*. National Academy Press, USA.
- SIDIBE M., SCHEURING J.F., KONE M., HOFMAN P. AND FRIGG M. 1998b: More on baobab's homegrown vitamin C: some trees have more than others - consistently. *Agroforestry Today*. 10, 10.
- SIDIBE M., SCHEURING J.F., KONE M., SCHIERLE J. AND FRIGG M. 1998a: A (and C) for Africa: the baobab tree as a source of vitamins. *Agroforestry Today*. 10, 7-9.
- SIDIBE M., SCHEURING J.F., TEMBELY D., SIDIBE M.M., HOFMAN P. AND FRIGG M. 1996: Baobab - homegrown vitamin C for Africa. *Agroforestry Today*. 8, 13-15.
- SOYLU M. UND LÜDDERS P. 1988a: Einfluß unterschiedlich hoher Na-Konzentrationen auf den Wasserverbrauch der Apfelsorte 'Golden Delicious'. *Mitteilungen Klosterneuburg*. 38, 250-254.
- SOYLU M. UND LÜDDERS P. 1988b: Einfluß unterschiedlich hoher Na-Konzentrationen auf das vegetative Wachstum der Apfelsorte 'Golden Delicious'. *Gartenbauwissenschaften*. 53, 253-257.
- STBA 1990: *Länderbericht Sudan des Statistischen Bundesamtes*. Metzler-Poeschel, Deutschland.
- STOCKER O. 1928: Das Halophytenproblem. *Ergebnisse der Biologie*. 3, 365-353.
- STOREY R. 1995: Salt tolerance, ion relations and the effect of root medium on the response of citrus to salinity. *Journal of Plant Physiology*. 22, 101-114.
- STOREY R. AND WALKER R.R. 1999: Citrus and salinity. *Scientia Horticulturae*. 78, 39-81.

- STRECK B. 1982: Sudan: Steinerne Gräber und lebendige Kulturen am Nil. DuMont Buchverlag, Deutschland.
- SUBBARAO G.V., JOHANSEN C., JANA M.K. AND KUMAR RAO J.V.D.K. 1990: Effects of the sodium/calcium ratio in modifying salinity response of pigeonpea (*Cajanus cajan*). Journal of Plant Physiology. 136, 439-443.
- SUDAN INFORMATION OFFICE 2001, download 08.02.01: Der Sudan heute. <http://www.sudan-info.de/heute/heute2.htm>.
- SWANEPOEL C.M. AND SWANEPOEL S.M. 1986: Baobab damage by elephant in the middle Zambesi Valley, Zimbabwe. African Journal of Ecology. 24, 129-132.
- SWART E.R. 1963: Age of the baobab tree. Nature. 198, 708-709.
- SYKES S.R. 1985: Effects of seedling age and size on chloride accumulation by juvenile citrus seedlings treated with sodium chloride under glasshouse condition. Australian Journal of Experimental Botany. 25, 943-953.
- SYVERTSEN J.P., LLOYD J. AND KRIEDEMANN P.E. 1988: Salinity and drought stress effects on foliar ion concentration, water relations, and photosynthetic characteristics of orchard citrus. Australian Journal of Agricultural Research. 39, 619-627.
- SZOLNOKI T.W. 1985: Food and Fruit Trees of the Gambia. Stiftung Walderhaltung in Afrika, Deutschland.
- TAHIR A. AND FADL H. 1978: Sahara Agricultural Company Soil Report: Land Uses, Soil Conservation and Water Programme. Ministry of Agricultural, Sudan.
- TEUBNER C. 1997: Das große Buch der Exoten. Teubner Edition, Deutschland.
- THERIOS I.N. AND MISOPOLINOS N.D. 1988: Genotype response to sodium chloride salinity of four major olive cultivars (*Olea europaea* L.). Plant and Soil. 106, 105-111.
- TIVY J. 1993: Landwirtschaft und Umwelt: Agrarökosysteme in der Biosphäre. Spektrum Akademischer Verlag, Deutschland.
- TOTHILL J.D. 1954: Agriculture in the Sudan. Oxford University Press, UK.
- TROUP R.S. 1921: The Silviculture of Indian Trees. Clarendo Press, UK.
- TYERMAN S.D. AND SKERRETT I.M. 1999: Root ion channels and salinity. Scientia Horticulturae. 78, 175-235.
- U.S. SALINITY LABORATORY 1958: Technical Bulletin No. 448, USA.

- VENTER F. AND VENTER J.-A. 1996: Marking the Most of Indigenous Trees. Briza Publications, Singapore.
- VERHEIJ E.W.M. AND CORONEL R.E. 1991: Plant Resources of South-East Asia No 2: Edible fruits and nuts. Prudoc Wageningen, Netherlands.
- VON BREITENBACH F. 1985: Aantekeninge oor die groeitempo van aangeplante kremetartbome (*Adansonia digitata*) en opmerkinge ten opsigte van lewenstyd, groeifases en genetiese variasie van die spesie. Journal of Dendrology. 5, 1-21.
- VON MAYDELL H.-J. 1990: Trees and Shrubs of the Sahel: Their Characteristics and Uses. GTZ, Verlag Josef Margraf, Deutschland.
- WALKER R.R. 1989: Growth, photosynthesis and distribution of chloride, sodium and potassium ions in salt-affected quandong (*Santalum acuminatum*). Australian Journal of Plant Physiology. 16, 365-377.
- WALKER R.R., BLACKMORE D.H. AND QING S. 1993: Carbon dioxide assimilation and foliar ion concentration in leaves of lemon (*Citrus limon* L.) trees irrigated with NaCl or Na₂SO₄. Australian Journal of Plant Physiology. 20, 173-185.
- WALKER R.R., TÖRÖKFALVY E. AND DOWNTON W.J.S. 1982: Photosynthetic response of the citrus varieties Rangpur lime and Etrog citron to salt treatment. Australian Journal of Plant Physiology. 9, 783-790.
- WATERLOW J.C., ARMSTRONG D.G. AND FOWDEN L. 1998: Feeding a World Population of More Than Eight Billion People: A Challenge to Science. Oxford University Press, USA.
- WEYERHAESER F.J. 1985: Survey of elephant damage to baobabs in Tanzania's Lake Manyara National Park. African Journal of Ecology. 23, 235-243.
- WICKENS G.E. 1982: The baobab - Africa's upside-down tree. Kew Bulletin. 37, 173-209.
- WILSON K.T. 1988: Vital statistics of the baobab (*Adansonia digitata*). African Journal of Ecology. 26, 197-206.
- WOLFF P. UND STEIN TH.-M. 1999: Zur Diskussion gestellt: Mit weniger Wasser mehr Nahrungsmittel erzeugen?. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft. 1, 61-84.
- WORLD BANK 1990: Sudan: Toward an Action Plan for Food Security, Stimulating Growth and Targeting Interventions. The World Bank, USA.
- WORLD BANK 1992: Project Completion Report: Sudan, Agricultural Research Project. The World Bank, USA.

- WURZER W. 1994: Die grosse Enzyklopädie der Heilpflanzen. Neuer Kaiser Verlag, Deutschland.
- WYK B. AND GERICK N. 2000: People's plants: A Guide to Useful Plants of Southern Africa. Tien Wha Press, Singapore.
- YARON E., DANFORS E. AND VAADIA Y. 1973: Arid Zone Irrigation: Ecological Studies. Chapman and Hall, USA.
- YAZZIE D., VANDERJAGT D.J., PASTUZYN A., OKOLO A. AND GLEW R.H. 1994: The amino acid and mineral content of baobab (*Adansonia digitata* L.) leaves. Journal of Food Composition and Analysis. 7, 189-193.
- YEO A.R., KRAMER D., LÄUCHLI A. AND GULLASCH J. 1977: Ion distribution in salt-stressed mature *Zea mays* roots in relation to ultrastructure and retention of sodium. Journal of Experimental Botany. 28, 17-29.
- YOE A. 1999: Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. Scientia Horticulturae. 78,
- YOUSIF G.M. 1997: The Gezira Scheme: The Greatest on Earth. African University House for Printing, Sudan.
- ZAHN U. 1996: Diercke Weltatlas. Westermann Schulbuchverlag, Deutschland.
- ZECH W. 2002: Salzböden: Klassifikation, Genese, Verbreitung und Nutzung. Geographische Rundschau. 3, 36-40.
- ZEKRI M. 1991: Effects of NaCl on growth and physiology of sour orange and Cleopatra mandarin seedlings. Scientia Horticulturae. 47, 305-315.
- ZEKRI M. AND PARSONS L.R. 1989: Growth and root hydraulic conductivity of several citrus rootstocks under salt and polyethylene glycol stresses. Physiologia Plantarum. 77, 99-106.
- ZEKRI M. AND PARSONS L.R. 1990a: Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. HortScience. 25, 784-786.
- ZEKRI M. AND PARSONS L.R. 1990b: Comparative effects of NaCl and polyethylen glycol on root distribution, growth, and stomatal conductance of sour orange seedlings. Plant and Soil. 129, 137-143.
- ZEKRI M. AND PARSONS L.R. 1992: Salinity tolerance of citrus rootstocks: effects of salt and leaf mineral concentrations. Plant and Soil. 147, 171-181.

-
- ZISKA L.H., DEJONG T.M., HOFFMAN G.F. AND MEAD R.M. 1991: Sodium and chloride distribution in salt-stressed *Prunus salicina*, a deciduous species . *Tree Physiology*. 8, 47-57.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle sei meinem Doktorvater Herrn PD Dr. G. Ebert für die fachliche Beratung und tatkräftige Unterstützung gedankt.

Ebenso danke ich allen Mitarbeitern des Fachgebiets Obstbau, die mir vor allem während der Versuchsdurchführung zur Seite standen.

Frau PD Dr. Ch. Richter danke ich für die Beratung zu statistischen Fragen.

Meinen beiden Betreuern im Sudan, Herrn Prof. Dr. K. El-Siddig und Prof. Dr. A.A. Salih, sei gedankt für die Vorbereitung und Durchführung meiner Forschungsaufenthalte vor Ort und die vielen Korrespondenzen zu allen wichtigen Fragen.

Ein besonders herzliches Dankeschön gilt allen sudanesischen Kollegen, die mich unterstützt bzw. auf meinen ausgedehnten Forschungsreisen durch die Savannen dieses faszinierenden afrikanischen Landes begleitet und mir als Europäer Einblicke in ihr Leben gewährt haben.



Abb. 56: „Unterwegs in den Savannen im Zentralsudan“.

Weiterhin danke ich der „Studienstiftung des deutschen Volkes“ für die finanzielle Unterstützung und für die Betreuung durch meinen Vertrauensdozenten Herrn Prof. Dr. Dr. U. Göbel.

SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, die vorliegende Dissertation selbständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Quellen angefertigt zu haben.

Berlin, im April 2003

.....